

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE MARSEILLE  
ÉCOLE DOCTORALE 355 «ESPACES, CULTURES, SOCIÉTÉS»

10 DÉCEMBRE 2012

THÈSE DE DOCTORAT EN ARCHITECTURE

**LES SYSTÈMES DE RAFRAÎCHISSEMENT PASSIFS  
DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA  
CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT.  
MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À  
TRAVERS LE MONDE.**

LABORATOIRE ABC

AUTEUR: GIANLUCA CADONI

**MEMBRES DU JURY :**

**MARJORIE MUSY :**

Professeur des Universités, Université de Nantes, HDR, docteur en Génie Civil, Rapporteur

**DORA FRANCESCE :**

Professeur à l'Université Federico II de Naples, directrice du centre de recherche CITTAM, docteur en technologie de l'architecture, Rapporteur

**MARIO GROSSO :**

Professeur et chercheur à l'Ecole Polytechnique de Turin, département des sciences et technologies

**JEAN LOUIS IZARD :**

En retraite de l'ENSA-Marseille, Co-directeur de thèse

**MOHAMED BELMAAZIZ :**

Maître assistant, docteur en sciences de l'ingénieur, ENSA-Marseille, Tuteur du doctorant depuis le départ du co-directeur

**STÉPHANE HANROT :**

Professeur des Ecoles d'Architecture, HDR, ENSA-Marseille, Directeur de thèse.

*Habitation troglodytique à Matmata TUNISIE (Cadoni 2007)*



# Remerciements

Je remercie la région Sardaigne, qui m'a permis de mener à bien ce travail de recherche grâce au financement du programme Master and Back.

Je remercie le laboratoire ABC pour son accueil pendant ces dernières années.

Je remercie Stéphane, Jean-Louis et Mohamed pour leur encadrement efficace et leur aide précieuse.

Je remercie Anne-Marie et Corinne d'avoir eu le temps et la patience, beaucoup de patience, de m'aider dans la correction de mon manuscrit.

Je remercie tous les doctorants qui ont partagé cette aventure avec moi et souvent les mêmes locaux de travail, pendant ces 4 années.

Je remercie tous ceux qui ont pu m'aider dans la réalisation de mon travail.

Je remercie ma famille, mes parents et mes grands-parents pour leur soutien.

Je remercie Saskia, Tecla et Freya pour leur patience et leurs encouragements pendant ces années, où j'ai été souvent très pris par le travail...

A mes deux petits monstres... et demi...





Buildings don't use energy: people do. (Janda, 2001)



## Table des matières

<b>Introduction aux deux parties</b> .....	<b>•23</b>
<i>1.1 Préambule</i> .....	<b>•23</b>
<i>1.2 Est-il aujourd'hui possible de se passer de l'AC (angl. : air conditioning) et d'utiliser des systèmes de rafraîchissement passif pour le confort des utilisateurs ?</i> .....	<b>•24</b>
<i>1.3 Pourquoi une recherche sur le rafraîchissement passif est-elle nécessaire ?</i> .....	<b>•25</b>
<i>1.4 Autres recherches à ce sujet.</i> .....	<b>•31</b>
<i>1.4.1 Textes de référence pour le pré-dimensionnement des systèmes de rafraîchissement passif</i> .....	<b>•33</b>
<i>1.5 Plan de la thèse</i> .....	<b>•35</b>
<b>Partie 1 - l'état de l'art.</b> .....	<b>•39</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>•41</b>
<b>1. Le rafraîchissement passif</b> .....	<b>•47</b>
<i>1.1 Introduction</i> .....	<b>•47</b>
<i>1.2 Le contrôle thermique</i> .....	<b>•49</b>
<i>1.2.1 Les apports internes</i> .....	<b>•50</b>
<i>1.2.2 Les apports thermiques externes</i> .....	<b>•52</b>
<i>1.2.3 L'influence de la végétation</i> .....	<b>•53</b>
<i>1.3 Le rafraîchissement géothermique</i> .....	<b>•53</b>
<i>1.4 Le rafraîchissement par ventilation</i> .....	<b>•56</b>
<i>1.5 Le rafraîchissement par évaporation</i> .....	<b>•58</b>
<i>1.6 Le rafraîchissement radiatif</i> .....	<b>•62</b>
<b>2. Le rafraîchissement dans l'architecture</b>	

<b>vernaculaire et dans la nature</b> .....	<b>•67</b>
<i>1.1 La termitière</i> .....	<b>•67</b>
<i>1.2 Les stratégies de rafraîchissement urbaines.</i> .....	<b>•69</b>
1.2.1 L'exemple de Nice.....	<b>•70</b>
1.2.2 L'exemple de Gafsa .....	<b>•72</b>
<i>1.3 Les systèmes de contrôle solaire</i> .....	<b>•75</b>
1.3.1 Les Moucharabiehs .....	<b>•77</b>
<i>1.4 Les systèmes géothermiques : les habitations hypogées et les systèmes de ventilation hypogée.</i> .....	<b>•78</b>
1.4.1 L'habitat troglodytique .....	<b>•79</b>
<i>1.5 Les constructions lourdes</i> .....	<b>•84</b>
<i>1.6 Les stratégies de contrôle de la ventilation dans l'architecture vernaculaire.</i> .....	<b>•87</b>
1.6.1 Les constructions légères.....	<b>•87</b>
1.6.2 Les systèmes pour la captation de l'air .....	<b>•89</b>
<i>1.7 Synthèse</i> .....	<b>•95</b>
<b>3. Les exigences de confort dans l'architecture contemporaine</b> .....	<b>•101</b>
<i>1.1 Le confort thermique</i> .....	<b>•101</b>
<i>1.2 Le confort thermique selon le standard ASHRAE</i> .....	<b>•101</b>
1.2.1 Principales cause d'inconfort.....	<b>•107</b>
<i>1.3 Autres définitions de confort</i> .....	<b>•109</b>
1.3.1 Le confort dans les bâtiments de bureaux au Royaume-Uni.....	<b>•109</b>
1.1.1 Analyse comparative du confort thermique dans des résidences rurales et urbaines en Chine.....	<b>•111</b>
<i>1.4 Synthèse</i> .....	<b>•112</b>
<b>Conclusions de la première partie</b> •	<b>117</b>

<b>Partie 2 - l'évaluation des bâtiments et les règles</b>	<b>•121</b>
<b>Introduction</b>	<b>•123</b>
<b>1. L'analyse du corpus d'étude</b>	<b>•129</b>
1.1 <i>Présentation de la problématique</i>	•129
1.1 <i>Méthode adoptée pour l'analyse des bâtiments.</i>	•130
1.1.1 La recherche à la base de la méthode	•130
1.2 <i>Choix des bâtiments</i>	•139
1.3 <i>La base de données</i>	•141
1.1.1 Le CII Institute of Quality.	•141
1.3.1 Les niveaux de définition	•150
1.3.2 Les dispositifs <i>critiques</i>	•151
1.3.3 Interprétation du graphe radar	•163
1.4 <i>Création des fiches</i>	•169
1.4.1 Objectif de la base de données et des fiches	•169
1.4.2 Méthode pour analyser la prégnance des systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture.	•182
1.4.3 La typologie des bâtiments rafraîchis passivement	•187
1.4.4 Contenu des fiches	•189
1.5 <i>Synthèse</i>	•193
<b>2. Les fiches des bâtiments</b>	<b>•199</b>
1.1 <i>Les bâtiments analysés</i>	•383
<b>3. Synthèse du travail d'analyse de la base des données et des dispositifs critiques</b>	<b>•389</b>
1.1 <i>Méthode d'analyse des dispositifs</i>	•389
1.1 <i>L'évaluation des bâtiments</i>	•396
1.1.1 Objectif du groupement des dispositifs	•397

<i>la morphologie de l'ensemble</i> .....	•401
<i>L'usage</i> .....	•404
<i>Le schéma fonctionnel</i> .....	•409
<i>Le coefficient de forme adimensionnel</i> .....	•412
<i>Le taux de vitrage actif</i> .....	•414
<i>Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site</i> .....	•417
<i>L'éclairage naturel</i> .....	•420
<i>L'inertie du bâtiment</i> .....	•424
<i>Le fonctionnement du système de rafraîchissement</i> .....	•427
<i>La stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif</i> .....	•432
<i>La compartimentation</i> .....	•436
<i>Les protections solaires</i> .....	•439
<b>4. Le carnet de règles</b> .....	•445
<i>1.1 Classification des règles par leur interrelation</i> .....	•461
<b>Conclusion de la deuxième partie</b> .....	•467
<i>1.1 Sujets intéressés par notre recherche</i> .....	•468
<i>1.2 Les résultats obtenus</i> .....	•468
<i>1.3 La prégnance des systèmes de rafraîchissement</i> .....	•469
<i>1.4 Possibilités de développement</i> .....	•470
<b>Conclusions de la recherche</b> .....	•475
<i>1.1 Les différentes phases de la recherche</i> .....	•475
<i>1.1.1 La première partie, l'état de l'art</i> .....	•475
<i>1.1.2 La deuxième partie, la méthodologie d'évaluation et les règles</i> .....	•476
<i>1.2 Est-il possible de rafraîchir un bâtiment contemporain au moyen de systèmes passifs ?</i> .....	•477

1.2.1 La prégnance des systèmes de rafraîchissement sur l'architecture	•478
1.3 Notre apport à la recherche sur le rafraîchissement passif	•480
1.4 Possibilités de développement	•481
<b>Bibliographie</b>	•485



# TABLE DES ILLUSTRATIONS

<i>Habitation troglodytique à Matmata TUNISIE (Cadoni 2007)</i> .....	•1
<i>Habitation troglodytique en Cappadoce TURQUIE (Cadoni 2007)</i> .....	•21
<b>Introduction aux deux parties</b> .....	•23
1. <i>Nécessités de rafraîchissement dans les immeubles de bureaux en Europe (MOLINA, 2009)</i> .....	•26
2. <i>Prévisions de consommation électrique en Italie MAP (Ministero Attività Produttive, 2005)</i> .....	•27
3. <i>marché mondial de la climatisation (en volume) en 2000 (Marchio)</i> .....	•27
4. <i>Taux d'équipement en climatisation dans le monde en 1997 (Marchio)</i> .....	•28
5. <i>Dépense annuelle consacrée à la climatisation en 2000 (Marchio)</i> .....	•28
6. <i>Evolution de la surface climatisée en Europe à l'horizon 2010 et 2020 (Marchio)</i> .....	•28
7. <i>Evolution du stock par pays à l'horizon 2010 et 2020 (Marchio)</i> .....	•29
8. <i>Evolution des températures dans les principales capitales européennes (WWF International, 2005)</i> .....	•29
9. <i>Images de la 'questura' de Napoli (47 climatiseurs) (Google , 2011)</i> .....	•30
10. <i>Images d'un bâtiment récemment réhabilité à Marseille (Google , 2011)</i> .....	•30
11. <i>Climatiseurs en façade...(Google , 2011)</i> .....	•30
<b>Partie 1 - l'état de l'art.</b> .....	•39
<i>Habitation troglodytique à Matmata TUNISIE (Cadoni 2007)</i> .....	•39
<b>Introduction</b> .....	•41
<i>Habitation troglodytique à Matmata TUNISIE (Cadoni 2007)</i> .....	•45
<b>1. Le rafraîchissement passif</b> .....	•47
1. <i>Diagramme psychrométrique au niveau de la mer (Wikipedia, 2012)</i> .....	•48
2. <i>potentiel d'extension de la zone de confort en exploitant la masse thermique, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)</i> .....	•49
3. <i>Les échanges thermiques du corps humain (bâtir durable, 2008)</i> .....	•50

## Table de matières

4.	<i>Images d'appareils qui produisent de la chaleur (Turner, 2010)</i> .....	•51
5.	<i>Bilan thermique d'un bureau (DGO4 · Architecture et Climat, 2012)</i> .....	•51
6.	<i>Albédo des différents matériaux (E Source Companies, 2011)</i> .....	•52
7.	<i>Albédo des matériaux communément utilisés pour les toitures (E Source Companies, 2011)</i> .....	•52
8.	<i>Rapport entre la température de l'air et la puissance du système de rafraîchissement pour un terrain non cultivé et un terrain paysagé (GROSSO, 2008)</i> .....	•53
9.	<i>Exemple de la relation entre la profondeur et les températures annuelles du sol (Williams, et al.)</i> .....	•53
10.	<i>Cartographie des régions où le rafraîchissement géothermique est plus efficace (COOK, 1989)</i> .....	•54
11.	<i>le rafraîchissement par ventilation naturelle, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)</i> .....	•56
12.	<i>le rafraîchissement par ventilation nocturne et exposition de la masse thermique, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)</i> .....	•57
13.	<i>Un exemple de rafraîchissement par évaporation en Iran (jw2zv, 2011)</i> .....	•58
14.	<i>Le comportement de la goutte d'eau par rapport à la température extérieure. (MOLINA, 2009)</i> .....	•59
15.	<i>le rafraîchissement par évaporation directe, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)</i> .....	•60
16.	<i>Photo de la halle centrale gare de Marseille rafraîchie par évaporation (photos, 2011)</i> .....	•60
18.	<i>Photo des tours évaporatives de l'avenue de l'Europe à Séville (ba, 2011)</i> .....	•61
19.	<i>Le rafraîchissement passif direct (à gauche) et indirect (à droite) (GROSSO, 2008)</i> .....	•61
20.	<i>le rafraîchissement par évaporation indirecte, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)</i> .....	•62
21.	<i>Le rafraîchissement radiatif direct (SANTAMOURIS, et al., 1996)</i> .....	•63
22.	<i>Le rafraîchissement radiatif indirect (GROSSO, 2008)</i> .....	•63
	<i>Village Mediterranean Cisternino ITALIE (Cadoni 2007)</i> .....	•65

## **2. Le rafraîchissement dans l'architecture vernaculaire et dans la nature**.....

•67

1.	<i>Une termitière à champignon, pour améliorer la protection solaire et une termitière géante (DUMOUSSEAU, 2011)</i> .....	•67
2.	<i>La termitière avec les cheminées de ventilation fermées ou ouvertes (Bezemer, 2009 p. 4)</i> .....	•68
3.	<i>La géométrie de la termitière selon la latitude (Turner, 2001)</i> .....	•68
4.	<i>Le bâtiment Eastgate et une termitière en parallèle (Doan, 2007)</i> .....	•69

5.	<i>Le modèle de géométrie des voies d'une ville en région côtière à climat chaud et aride (IZARD, et al., 1979 p. 104)</i> .....	•69
6.	<i>Plan de la vieille ville de Nice (RAUZIER, et al., 1991 p. 140)</i> .....	•70
7.	<i>Clairoir pour la ventilation des parties intérieures de l'immeuble (TRIMBUR, 2008)</i> .....	•71
8.	<i>Circulation de l'air par cheminée thermique à Nice (TRIMBUR, 2008)</i> .....	•71
9.	<i>Plan de la ville de Gafsa et morphologie des carrefours (Cadoni, et al., 2003)</i> .....	•72
10.	<i>Plan de la ville de Gafsa et morphologie des rues (Cadoni, et al., 2003)</i> .....	•73
11.	<i>Plan de la ville de Gafsa et simulation informatique de pénétration du vent d'ouest (Cadoni, et al., 2003)</i> .....	•74
12.	<i>Plan de la ville de Gafsa et simulation informatique de pénétration du vent de sud (Cadoni, et al., 2003)</i> .....	•74
13.	<i>Volets « niçois » avec clapet de prise d'air (TRIMBUR, 2008)</i> .....	•75
14.	<i>Maisons à Nias sur le lac Toba en Indonésie (LAUBER, 2005 p. 58)</i> .....	•75
15.	<i>Maisons Dogon au Mali (LAUBER, 2005 p. 8)</i> .....	•76
16.	<i>Moucharabiehs à Carthage en Tunisie (IZARD, et al., 1979 p. 102)</i> .....	•76
17.	<i>Moucharabieh de la maison Zeinab Khatum, Le Caire (GROSSO, 2008 p. 139)</i> .....	•77
18.	<i>Moucharabiehs à Carthage en Tunisie (IZARD, et al., 1979 p. 102)</i> .....	•77
19.	<i>Schéma de comportement d'une maison iranienne avec les moucharabiehs (IZARD, et al., 1979 p. 102)</i> .....	•78
20.	<i>Photos villes souterraines en Cappadoce (CADONI, 2007)</i> .....	•79
21.	<i>Photos Matmata en Tunisie (CADONI, 2007)</i> .....	•79
22.	<i>Les habitations troglodytiques du village de Xia Nin (LOUBES, et al., 2003) et le village de Quianlingen Chine (CHANG, et al., 1988)</i> .....	•80
23.	<i>Photos habitat troglodytique en Cappadoce (CADONI, 2007)</i> .....	•80
24.	<i>Panorama de Sassi de Matera (CADONI, 2007)</i> .....	•81
25.	<i>Les Sassi de Matera (CADONI, 2007)</i> .....	•81
26.	<i>Le comportement bioclimatique des Sassi de Matera (GROSSO, 2008 p. 165) et l'intérieur d'une maison (CADONI, 2007)</i> .....	•82
27.	<i>Camera dello scirocco di Micciulla à Palerme (VALENTI, 2009)</i> .....	•82
28.	<i>Camera dello scirocco di Micciulla à Palerme (TODARO p. 79)</i> .....	•82
29.	<i>Le rafraîchissement des villas de Palladio à travers les Covoli (GROSSO, 2008 p. 173)</i> .....	•83
30.	<i>Comportement bioclimatique de la Villa Rotonda de Palladio, Vicenza ITALIE (Energitemo Eng, 2012)</i> .....	•84

## Table de matières

31.	<i>Un usager d'une habitation très inerte prépare son lit sur la toiture de la maison, sud-est de la Turquie et maisons traditionnelles du sud de la Tunisie (CADONI, 2007)</i> .....	•84
32.	<i>Habitation dite Tanberma au nord du Togo (LAUBER, 2005 p. 71)</i> .....	•84
33.	<i>Habitation à Djenné, Mali (LAUBER, 2005 p. 74)</i> .....	•85
34.	<i>Vieille ville de Sanaa, Yemen (CADD, 2009)</i> .....	•85
35.	<i>Les Trulli de Alberobello, Italie (CADONI, 2007)</i> .....	•86
36.	<i>Schéma en coupe des Trulli (ALEXANDROFF, 1982 p. 66)</i> .....	•86
37.	<i>Village de pêcheurs sur le lac Ganvié au Benin (LAUBER, 2005 p. 52)</i> .....	•87
38.	<i>Village des Karo Batak dans les années 80, au nord de Sumatra (LAUBER, 2005 p. 57)</i> .....	•88
39.	<i>Différentes réponses aux changements saisonniers du Tipi (GROSSO, 2008 p. 133)</i> .....	•88
40.	<i>Différentes réponses au climat subtropical d'après ALEXANDROFF (ALEXANDROFF, 1982 p. 75)</i> .....	•89
41.	<i>Diffusion et typologie des systèmes de captation de l'air (RICHARD, et al., 2006)</i> .....	•90
42.	<i>Différentes formes de capteurs de vent (IZARD, et al., 1979 p. 103)</i> .....	•90
43.	<i>Malquaf dans la tombe du pharaon Neb-Amun (FATHY, 1986)</i> .....	•91
44.	<i>Section de la maison Muhib Ad-Din Ash-Shi Al-Muwaqqi, montrant le malquaf et l'extraction de l'air (FATHY, 1986)</i> .....	•91
45.	<i>Les malquafs de Hyderabad au Pakistan (Pakistan Defence, 2008)</i> .....	•92
46.	<i>Coupe et axonométrie du Qa'a de la maison Muhibb al-Din al-Muwaqqi (MIT Libraries, 2006)</i> .....	•93
47.	<i>Maison Muhibb al-Din al-Muwaqqi (RABBAT, 2008)</i> .....	•93
48.	<i>Coupe et fonctionnement d'un bagdir (CRIT, 2006)</i> .....	•94
49.	<i>Différentes typologies de bagdirs (RICHARD, et al., 2006)</i> .....	•94
50.	<i>Typologies de bagdir de Yazd en Iran (VIDET, 2006)</i> .....	•95
51.	<i>Typologies de bagdir de Yazd en Iran (VIDET, 2006)</i> .....	•95
	<i>Le confort thermique (Poeleco, 2007)</i> .....	•99
<b>3.</b>	<b>Les exigences de confort dans l'architecture contemporaine</b> .....	<b>•101</b>
1.	<i>Stations météo analysées et divisions du bassin de la méditerranée par zones (Desogus, 2012)</i> .....	•102
2.	<i>Tableau synthétique des résultats de la recherche de G. DESOGUS (Desogus, 2012)</i> .....	•102

3.	<i>Met typiques selon l'activité physique (ASHRAE, 2004 p. 15)</i> .....	•104
4.	<i>Clo des vêtements typiques (ASHRAE, 2004 p. 18)</i> .....	•105
5.	<i>Acceptable range of operative temperature and humidity (ASHRAE, 2004 p. 5)</i> .....	•106
6.	<i>Acceptable range of operative temperature and humidity (ASHRAE, 2004 p. 10)</i> .....	•107
7.	<i>Zone de confort estivale en fonction de la vitesse de l'air (GROSSO, 2008 p. 110)</i> .....	•108
	<i>Photographie des Bagrids de, Meybod, Iran (DANNA, 2002)</i> .....	•115
	<b>Conclusions de la première partie</b> .....	•117
	<b>Partie 2 - l'évaluation des bâtiments et les règles</b> .....	•121
	<i>Photographie du Queens building de l'université de Leicester (D.G.Boyce)</i> .....	•121
	<b>Introduction</b> .....	•123
	<i>Photographie du Lycée Charles de Gaulle à Damas (Saget, 2010)</i> .....	•127
<b>1.</b>	<b>L'analyse du corpus d'étude</b> .....	•129
1.	<i>Les verandas du Bedok Court à Singapore (Bay, et al., 2006)</i> .....	•140
2.	<i>Le projet d'habitation à Pattada (CADONI 2009)</i> .....	•140
3.	<i>Image du CII Institute of Quality, Bangalore Inde. (Aga Khan Trust for Culture)</i> .....	•142
4.	<i>Plan du CII Institute of Quality, Bangalore Inde. (Aga Khan Trust for Culture )</i> .....	•142
5.	<i>La base de données critique du bâtiment CII Institute of Quality, Bangalore Inde.</i> .....	•149
6.	<i>Grphe radar du CII Institute of Quality, Bangalore Inde</i> .....	•151
7.	<i>Représentation du taux de vitrage actif, abstraction d'un plan parallélépipède</i> .....	•155
8.	<i>Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement par évaporation directe et par ventilation nocturne, avec exposition de la masse thermique.</i> .....	•158
9.	<i>Analyse du potentiel de confort à Bangalore utilisant le rafraîchissement par évaporation directe et par ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique.</i> .....	•158
10.	<i>Image du bâtiment de direction de iGuzzini (CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität SiegenFachgebiet Bauphysik &amp; Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique, 9)</i> .....	•164
11.	<i>Plan du bâtiment de direction de iGuzzini (EULEB , 2006)</i> .....	•164

## Table de matières

12.	<i>Graphe radar du bâtiment iGuzzini</i> .....	•165
13.	<i>Plan représentant le taux de vitrage actif du bâtiment de direction de iGuzzini</i> .....	•166
14.	<i>Comparaison des graphes radar de deux bâtiments : CII Institute of Quality et iGuzzini</i> .....	•168
15.	<i>Fiche du CII Institute of Quality</i> .....	•181
16.	<i>Schéma en coupe du CII Institute of Quality</i> .....	•184
1.	<i>Images du CII Institute of Quality (Aga Khan Trust for Culture )</i> .....	•185
17.	<i>Schéma en coupe du bâtiment iGuzzini</i> .....	•185
18.	<i>Images du bâtiment iGuzzini (EULEB , 2006)</i> .....	•186
19.	<i>Images du bâtiment iGuzzini (EULEB , 2006); (kiriocomunicazione, 2010)</i> .....	•186
1.	<i>Grille d'analyse morphologique des systèmes de ventilation (MANSOURI, et al., 2003 p. 92)</i> .....	•188
1.	<i>Grille d'analyse morphologique des systèmes de rafraîchissement</i> .....	•189
20.	<i>Photo Google maps coordonnées bâtiment CII Institute of Quality</i> .....	•190
21.	<i>Exemple de logo synthétique du CII Institute of Quality</i> .....	•191
22.	<i>Légende du logo synthétique du CII Institute of Quality</i> .....	•191
23.	<i>Logo typo/topologique du CII Institute of Quality</i> .....	•192
	<i>Photographie du Eastgate Center à Harare, Zimbabwe (BRAID, 2001)</i> .....	•197
<b>2.</b>	<b>Les fiches des bâtiments</b> .....	<b>•199</b>
	<i>Photographie du Sohrabji Godrej Green building centre, Hyderabad, Inde (Rediff, 2004)</i> .....	•387
<b>3.</b>	<b>Synthèse du travail d'analyse de la base des données et des dispositifs critiques</b> .....	<b>•389</b>
1.	<i>Superposition des graphes radars des 14 bâtiments</i> .....	•390
2.	<i>Graphe des notes moyennes</i> .....	•392
3.	<i>Graphe des écarts type</i> .....	•393
4.	<i>Graphe de synthèse du comportement des 14 bâtiments</i> .....	•398
5.	<i>Graphe de synthèse du dispositif Morphologie de l'ensemble</i> .....	•401
6.	<i>Graphe de synthèse du dispositif Usage</i> .....	•404

7.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Schéma fonctionnel</i> .....	•409
8.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Coefficient de forme adimensionnel</i> .....	•412
9.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Taux de vitrage actif</i> .....	•414
10.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site</i> .....	•417
11.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Eclairage naturel</i> .....	•420
12.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Inertie du bâtiment</i> .....	•424
13.	<i>Grappe de synthèse du dispositif fonctionnement du système de rafraîchissement</i> .....	•427
14.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif</i> .....	•432
15.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Compartimentation</i> .....	•436
16.	<i>Grappe de synthèse du dispositif Protection solaire des surfaces verticales</i> .....	•439
	<i>Photographie du Department of Global Ecology, Stanford University, USA (Malin, 2007)</i> .....	•443
<b>4.</b>	<b>Le carnet de règles</b> .....	•445
	<i>Photographie du Zion National Park Visitor Center, USA (Letty, 2006)</i> .....	•465
	<b>Conclusion de la deuxième partie</b> .....	•467
	<i>Photographie du BRE Office, Watford, England (Colt Group, 2012)</i> .....	•473
	<b>Conclusions de la recherche</b> .....	•475
1.	<i>Le bâtiment iGuzzini (EULEB , 2006)</i> .....	•478
2.	<i>Le bâtiment CII bangalore (CII INSTITUTE OF QUALITY, 2007)</i> .....	•479
3.	<i>Le bâtiment Departement of Global Ecology (G Living Staff Monkies, 2008)</i> .....	•480
	<i>Photographie de la Sandra Day O'connor Fédéral Courthouse, Phoenix, Arizona (Silverman, 2012)</i> .....	•483





# Introduction aux deux parties

*Habitation troglodytique en Cappadoce TURQUIE (Cadoni 2007)*



# Introduction aux deux parties

## 1.1 *Préambule*

L'idée de mener un travail de ce type est née il y a long temps, durant mes études lors du projet de diplôme d'architecte. Ce projet, réalisé avec trois autres confrères, partis de Turin pour quelques mois dans le sud de la Tunisie en 2001 (Cadoni, et al., 2003), nous avait amenés à étudier les écrits de H FATHY et à nous questionner sur les nécessités du rafraîchissement dans des pays à climat chaud. A l'occasion, nous avons tenté de faire des hypothèses sur la possibilité de rendre utilisables dans l'architecture contemporaine les idées de H FATHY. Un autre ouvrage qui nous avait beaucoup influencés pendant ce travail était le livre de Mario Buono *L'architettura del Vento* (BUONO, 1997).

Par la suite, pendant mon travail d'agence j'ai toujours été tenté de réaliser des bâtiments bioclimatiques adaptés aux climats chauds, mais malheureusement il est très compliqué de trouver des clients prêts à investir dans ce domaine. De plus, quand s'est présentée l'occasion de réaliser un vrai bâtiment rafraîchi passivement, pour des motifs familiaux propres aux clients, le projet a été mis en attente et il l'est encore depuis quatre ans. Ce projet faisait partie de mon travail de recherche actuel et même s'il est toujours en attente, il a été utilisé pour tester la méthodologie d'évaluation, non pas sur un bâtiment existant, mais sur un projet en phase APD (Avant Projet Définitif). Quand s'est présentée l'opportunité du doctorat, le sujet choisi a été bien sûr celui de la conception bioclimatique dans les climats chauds, mais comme souvent, le sujet de la thèse a évolué et nous amenés à approfondir nos connaissances sur les systèmes de rafraîchissement et à mettre en place une méthodologie d'évaluation du comportement bioclimatique des bâtiments étudiés.

Nous démarrons ce travail de recherche avec l'idée d'apporter une petite pierre au grand édifice de la recherche sur la conception bioclimatique dans les zones à climat chaud ou connaissant des saisons chaudes.

D'une part l'expérience en tant qu'architecte exerçant la profession, d'autre part l'analyse des bâtiments rafraîchis passivement existants, nous ont convaincus une fois de plus de la nécessité de considérer l'utilisateur comme faisant partie des dispositifs permettant le fonctionnement d'un bâtiment. Il s'agit d'un des engrenages fondamentaux dont le concepteur doit tenir compte pendant son travail. Si cet engrenage n'est pas bien évalué, tout le moteur du système bâtiment ne fonctionnera plus. Nous sommes conscients qu'il est difficile pour le concepteur d'avoir un rapport direct avec les usagers. Malheureusement aujourd'hui il est très rare de travailler directement pour l'utilisateur lui-même, à l'exclusion de rares projets pour des maisons individuelles. Il est beaucoup plus courant qu'un architecte soit missionné par un promoteur ou un investisseur pour la réalisation d'un bâtiment, sans connaître les usagers finaux. De plus, l'architecte doit tenir compte du fait que la durée de vie d'un bâtiment dépasse largement la période d'utilisation d'un usager déterminé. Mais même si ces contraintes sont difficiles, il n'est pas pour autant impossible de réaliser des bâtiments bien conçus et rafraîchis.

Mon expérience en tant qu'architecte exerçant a eu un poids important dans cette thèse. D'une part, j'ai démarré ce travail de recherche, car le travail d'agence ne permet pas de faire de la recherche. D'autre part, au cours de mes prospections, je me suis aperçu que souvent la distance entre chercheur et 'homme d'action' est trop grande. D'ailleurs, nous retrouvons cette problématique dans les écrits de J L LE MOIGNE (LE MOIGNE, 2006), un des auteurs à la base de mon travail, et qui déclarait vouloir rapprocher les hommes 'd'action' des chercheurs. Pendant toute la poursuite des investigations que j'ai menées, j'ai toujours continué à penser comme un architecte. Je demeure de toute manière convaincu que le travail d'architecte est nécessairement lié à la recherche.

L'attention que j'ai envers les usagers des bâtiments vient probablement de l'expérience d'architecte. Grâce à cela j'ai appris que les architectes ne devraient pas être trop 'militants' car dans, cette optique, ce sont les usagers qui doivent s'adapter à l'architecture. Or, dans la réalité, ce n'est presque jamais le cas.

C'est à partir de ces idées de base que j'ai mené ce travail de recherche, afin de produire un document exploitable par les concepteurs, qui comporte un carnet de règles pour la conception d'un bâtiment rafraîchi passivement et à la fois un travail d'analyse qui permette de comprendre les contraintes architecturales et les possibles solutions à adopter.

En définitive, nous avons tenté de répondre à une question simple :

### ***1.2 Est-il aujourd'hui possible de se passer de l'AC (angl. : air conditioning) et d'utiliser des systèmes de rafraîchissement passif pour le confort des utilisateurs ?***

Bien sûr il n'existe pas de réponse tranchée à cette question. Il est nécessaire de considérer plusieurs facteurs.

L'objectif d'un système de rafraîchissement est de garantir le confort des utilisateurs d'un bâtiment quand les conditions climatiques n'y sont pas favorables. Il est impossible d'affirmer que les systèmes de rafraîchissement passif peuvent garantir le confort thermique des usagers, sans concevoir un bâtiment adapté et étudié pour réduire les charges thermiques et dont l'usage ne soit pas harmonisé avec les systèmes de contrôle.

Un système de climatisation mécanique peut *atténuer* les problèmes liés à un mauvais projet bioclimatique, mais cela est très difficile avec un système de rafraîchissement passif.

Le rafraîchissement passif d'un bâtiment doit faire partie d'une conception *bioclimatique* du bâtiment. Le bâtiment dans son ensemble doit être étudié pour réduire la consommation énergétique et les systèmes de rafraîchissement passif sont une des stratégies, pas la seule, pour réduire la consommation d'énergie d'un bâtiment.

C'est la raison de cette recherche : comprendre si vraiment on peut rafraîchir un bâtiment passivement et quel impact ont les systèmes de rafraîchissement

sur le projet architectural. Bien entendu nous reviendrons sur cette question et à la suite du travail de recherche nous essayerons de donner une réponse plus précise.

### ***1.3 Pourquoi une recherche sur le rafraîchissement passif est-elle nécessaire ?***

Aujourd'hui la demande de la société de réduire l'utilisation d'énergie dans la vie quotidienne est de plus en plus pressante. La prise de conscience que les ressources de la planète ne sont pas infinies, les fluctuations du prix des sources d'énergie plus diffuses, le gaz et le pétrole, poussent les marchés et la recherche dans cette direction. Un autre grand motif d'inquiétude des sociétés concerne la grande instabilité politique des régions du monde qui fournissent les sources d'énergie, les diverses guerres au Moyen Orient, les crises du Caucase et les récentes émeutes du monde arabe causent des fluctuations importantes du prix du pétrole et du gaz. Ces problèmes poussent la classe politique et la société des pays consommateurs en énergie à se questionner sur la possibilité de réduire la dépendance aux hydrocarbures. La nécessité de construire des bâtiments moins énergivores est évidente. Les différents gouvernements visent à développer une économie prenant en compte les sources d'énergie renouvelables et l'économie d'énergie. Cette politique se reflète sur le marché de la construction. Il faut aussi rappeler que les différents gouvernements européens se sont engagés, à travers le protocole de Kyoto<sup>1</sup>, sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Actuellement, le secteur du bâtiment a un grand impact sur la production de CO<sub>2</sub>, soit près de 25% du rejet total de CO<sub>2</sub> (Enerzine, 2006). Le développement durable<sup>2</sup> est devenu l'un des nouveaux mots clefs de la politique et de l'économie. La réduction des besoins énergétiques dans le bâtiment passe par l'utilisation de matériaux écologiques qui aura pour effet de réduire l'utilisation de l'énergie dans son cycle de vie. Pour définir les matériaux écologiques, nous pouvons introduire le concept d'énergie grise<sup>3</sup>. L'énergie grise correspond à la somme de toutes les énergies nécessaires à la production, à la fabrication, à l'utilisation et enfin au recyclage des matériaux ou des produits industriels (wikipedia, 2011).

L'objectif est la réduction de consommation d'énergie, qui est inversement proportionnelle à l'efficacité des *systèmes* (de chauffage, de rafraîchissement, d'eau chaude, d'éclairage ...). On est donc dans la situation :

$$\text{Consommation d'énergie : } C = \frac{\text{demande d'énergie}}{\text{efficacité des systèmes}}$$

La consommation d'énergie est inversement proportionnelle à l'efficacité des systèmes et directement proportionnelle à la demande d'énergie. Pour

1 Le Protocole de Kyoto : <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf> ;

[http://unfccc.int/portal\\_francoophone/essential\\_background/kyoto\\_protocol/items/3274.php](http://unfccc.int/portal_francoophone/essential_background/kyoto_protocol/items/3274.php) ;

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Protocole\\_de\\_Ky%C5%8Dto](http://fr.wikipedia.org/wiki/Protocole_de_Ky%C5%8Dto)

2 Définitions officielles et plus communes du développement durable : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Definition-du-developpement,15067.html> et [http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9veloppement\\_durable](http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9veloppement_durable)

3 Définitions de l'énergie grise : <http://www.voizo.fr/energies/energie-grise> ; [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_grise](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_grise) ;

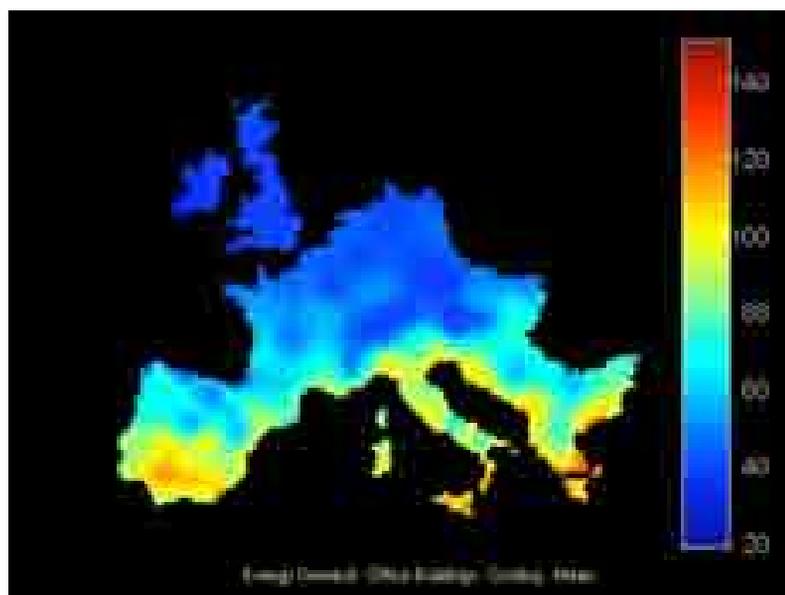
[http://fr.ekopedia.org/%C3%89nergie\\_grise](http://fr.ekopedia.org/%C3%89nergie_grise)

réduire C il faut augmenter l'efficacité des systèmes et réduire la demande d'énergie.

La réduction de la demande en énergie passe par la réduction des besoins et l'utilisation des techniques naturelles, renouvelables. Cette approche fait partie de la conception bioclimatique du bâtiment<sup>4</sup>.

L'architecture bioclimatique est une discipline de l'architecture qui valorise l'environnement géographique et climatique d'un bâtiment, dans le respect des modes et des rythmes de vie ainsi que dans le respect de la santé des usagers du bâtiment. L'architecture bioclimatique concerne tous les types de bâtiments, habitat, tertiaire et industriel. Elle a pour objectif de minimiser les besoins énergétiques du cycle de vie d'un bâtiment (construction, exploitation, rénovation, déconstruction) sans créer de pression sur les ressources environnementales, afin de maintenir des températures constantes et agréables, tout en contrôlant l'hygrométrie, l'acoustique, la qualité de l'air et de la lumière intérieures (wikipedia, 2011).

Nous avons vu rapidement que pour réduire la consommation en énergie nous devons procéder à une approche bioclimatique de l'architecture. Dans les pays à climat chaud, la réduction de la consommation passe par la réduction des nécessités de rafraîchir.



### 1. *Nécessités de rafraîchissement dans les immeubles de bureaux en Europe (MOLINA, 2009)*

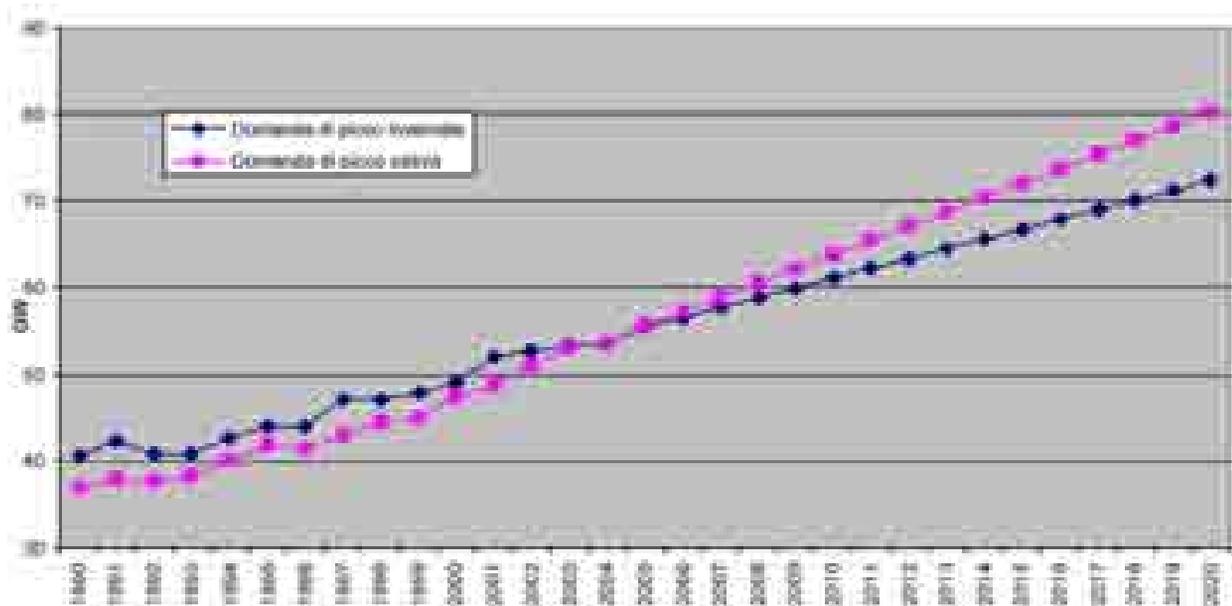
Il est évident que le rafraîchissement passif est l'une des voies possibles pour réduire la consommation des bâtiments dans les régions à climat tempéré et chaud. L'image ci-dessus montre les nécessités de rafraîchissement des immeubles de bureau en Europe. On notera que les régions méditerranéennes ont des besoins élevés en rafraîchissement, souvent supérieurs aux besoins en chauffage.

Pour illustrer cette affirmation, examinons le graphique du développement

<sup>4</sup> Définitions de la conception bioclimatique du bâtiment : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture\\_bioclimatique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_bioclimatique)

de la consommation électrique en Italie entre 1990 et 2020<sup>5</sup>.

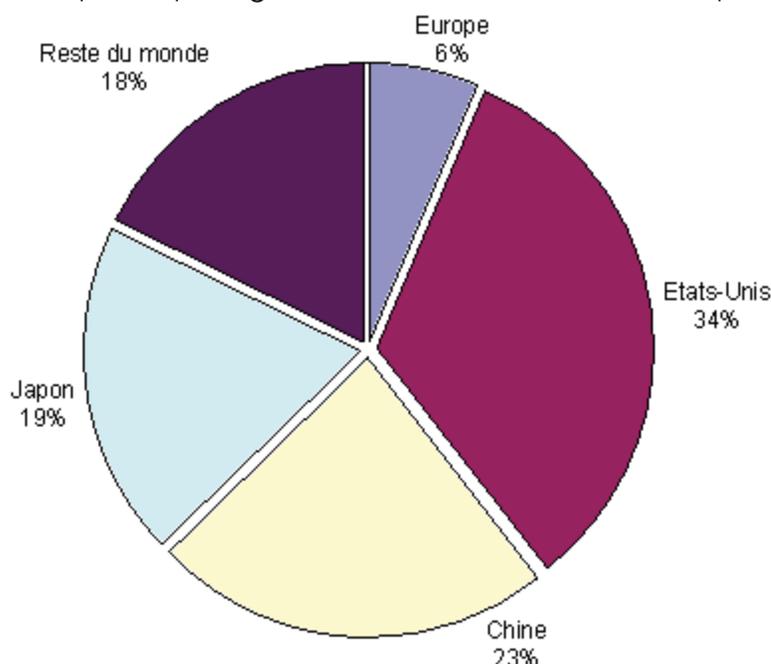
On voit qu'en 2004 la consommation électrique estivale a rejoint la consommation hivernale. Nous nous dirigeons donc dans les années à venir vers une augmentation de la demande qui sera particulièrement forte en été.



### 2. Prévisions de consommation électrique en Italie MAP (Ministero Attività Produttive, 2005)

Éviter la climatisation est un enjeu majeur du développement durable urbain et architectural.

Pour donner un exemple de la nécessité de trouver des alternatives à la climatisation, il suffit de rappeler qu'en 2007 le marché global des climatiseurs à usage domestique a connu une croissance de 14 %. Encore plus *inquiétant* est le fait que le plus grand marché au monde de produits de climatisation, depuis



2008, est devenu la Chine, cela signifie que dans les pays en développement la demande d'énergie va continuer à augmenter de manière exponentielle (BSRIA , 2008). Comme support de ces affirmations, nous pouvons citer une recherche menée par Dominique Marchio, École des Mines de Paris, «Chiffres clés de La climatisation dans le monde, en Europe et en France»

### 3. marché mondial de la climatisation (en volume) en 2000 (Marchio)

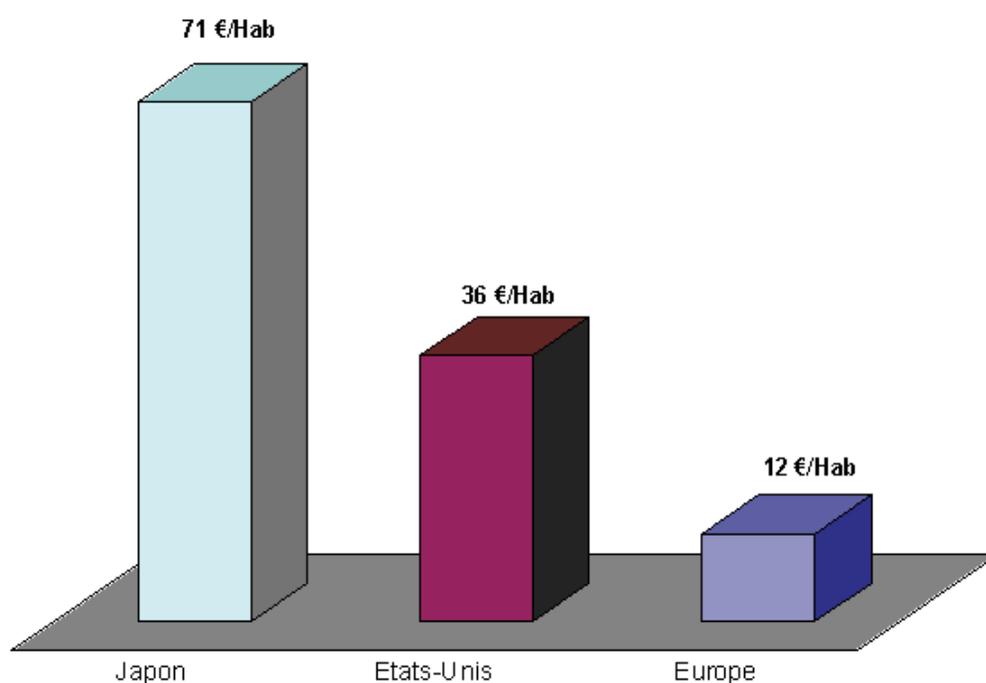
MAP. (Ministère des activités productives), scenario energetico tendenziale al 2020 vers 5, <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/scenarioenergetico.asp>

## Introduction générale

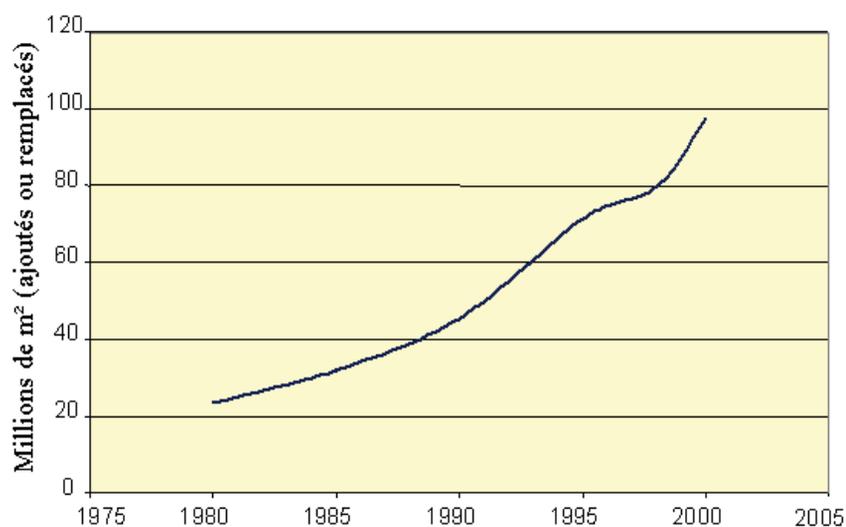
Dans ce graphe nous pouvons voir comment la Chine, déjà en 2000, est un des marchés les plus importants au monde pour les installations de climatisation mécanique. Cela est lié à sa croissance économique et à sa population, Nous pouvons constater l'inquiétante perspective d'une croissance exponentielle des ventes de ces appareils comme l'indiquent; en particulier, les taux d'équipement en climatisation et les dépenses annuelles consacrées à la climatisation des graphes ci-dessous. Il apparait clairement que le marché Japonais est saturé, tandis que les marchés européens et le marché chinois, qui n'apparait même pas, sont en pleine expansion.

PAYS	TERTIAIRE	RESIDENTIEL
Japon	100%	85%
Etats-Unis	80%	65%
Europe	27%	5%

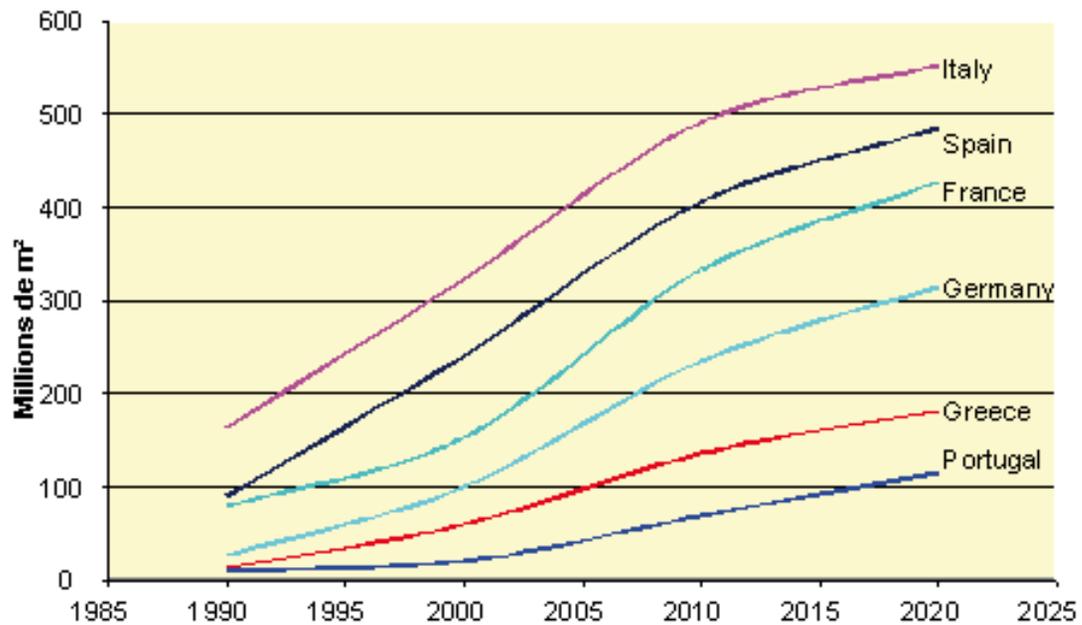
4. Taux d'équipement en climatisation dans le monde en 1997 (Marchio)



5. Dépense annuelle consacrée à la climatisation en 2000 (Marchio)



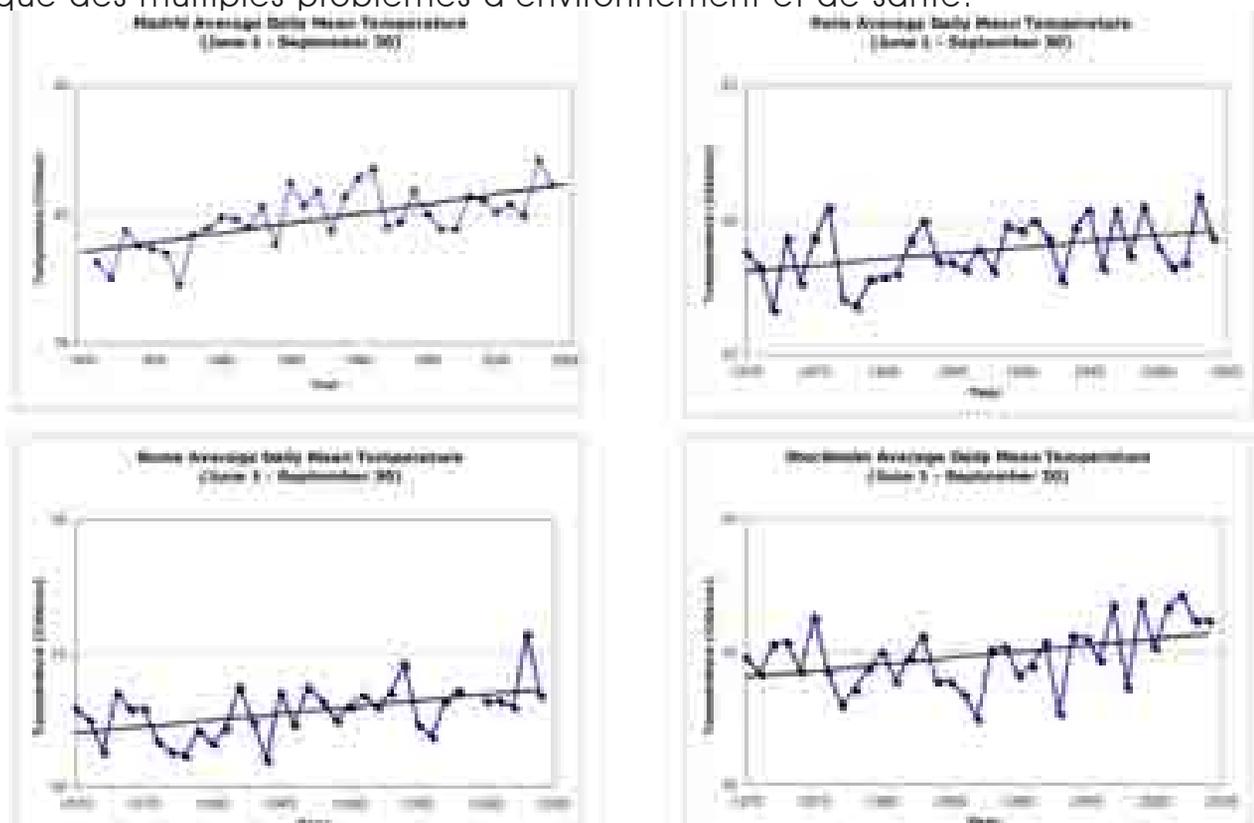
6. Evolution de la surface climatisée en Europe à l'horizon 2010 et 2020 (Marchio)



7. Evolution du stock par pays à l'horizon 2010 et 2020 (Marchio)

Le marché des climatiseurs est en pleine évolution aussi en Europe, les graphes ci-dessus nous montrent l'évolution des surfaces climatisés en Europe.

Les graphes ci-dessus nous montrent la tendance à la croissance des installations de climatisation en Europe et dans le monde. Cela confirme une fois de plus, au besoin, la nécessité de travailler sur le thème du rafraîchissement passif. De plus, la prolifération des installations des systèmes de climatisation est une des causes aussi bien du problème de l'ICU (îlot de chaleur urbain) que des multiples problèmes d'environnement et de santé.



8. Evolution des températures dans les principales capitales européennes (WWF International, 2005)

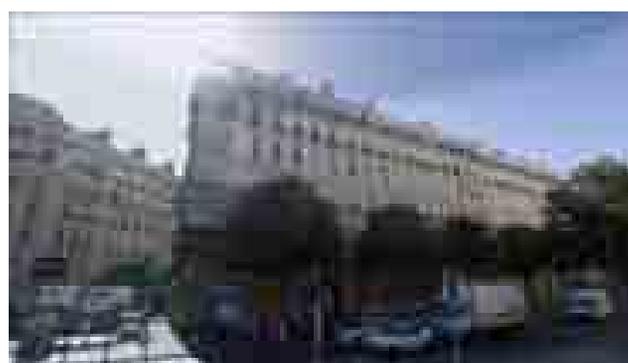
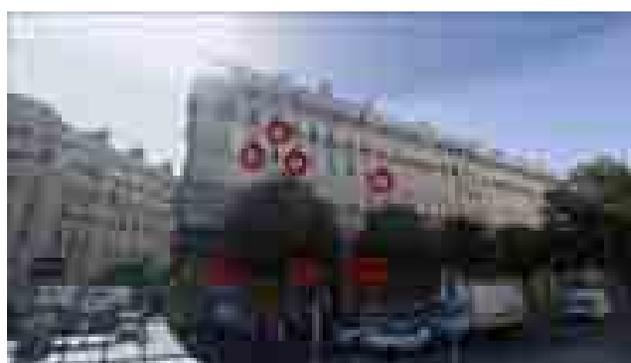
## Introduction générale

On se retrouve donc dans la situation de rafraîchir l'air interne avec des installations mécaniques qui contribuent à chauffer l'air externe et à devenir donc moins rentables.

De plus, l'application des climatiseurs sur la façade des bâtiments contribue à la dégradation du patrimoine. Ici dessous quelques images de dégradation des façades par l'installation de climatiseurs.



9. Images de la 'questura' de Napoli (47 climatiseurs) (Google , 2011)



10. Images d'un bâtiment récemment réhabilité à Marseille (Google , 2011)



11. Climatiseurs en façade...(Google , 2011)

Si en plus on considère que les climatiseurs ont besoin d'une maintenance continue et que les gaz utilisés pour produire les frigories sont très polluants, on s'aperçoit rapidement de la nécessité de trouver des alternatives à la climatisation mécanique pour garantir le confort des usagers des bâtiments.

À ce jour, la recherche sur une conception bioclimatique du projet et sur la réalisation de bâtiments peu énergivores a été menée principalement dans le nord de l'Europe (Passiv-Haus)<sup>6</sup>.

Ces concepts sont nés et s'adaptent très bien à des régions à climat froid, mais dans les régions du bassin méditerranéen le problème principal est de se protéger de la chaleur. À ce sujet, la recherche est en plein développement et c'est dans ce domaine que s'insère notre travail d'études.

## **1.4 Autres recherches à ce sujet.**

Il existe, bien sûr, plusieurs recherches qui argumentent le rafraîchissement passif. Nous allons citer celles qui se rapprochent le plus de notre travail, pour en analyser les différences et les similitudes d'approche.

Nous devons citer la recherche menée par M. GROSSO (GROSSO, 2008). Son ouvrage paru en juin 2008 (2<sup>e</sup> édition) a été une source très intéressante de données et d'informations sur le rafraîchissement passif. Le livre de M. Grosso est un manuel de projet, contenant une partie plus théorique sur le rafraîchissement, l'analyse des systèmes de rafraîchissement dans l'architecture vernaculaire et la partie centrale dédiée à l'explication des procédés pour la réalisation d'un projet bioclimatique rafraîchi passivement. Dans les derniers chapitres du livre, des exemples de projets rafraîchis passivement sont présentés et leur fonctionnement est analysé.

La structure de ce livre pourrait paraître similaire à ce travail de thèse. En partie, cela est vrai, mais le livre de M. GROSSO veut être un manuel pour la conception bioclimatique du projet, notre travail est un peu différent. Le cœur de notre travail se base sur une méthodologie mise en place pour analyser la qualité et l'efficacité des systèmes de rafraîchissement passif dans des bâtiments existants. Un autre objectif de notre travail a été d'évaluer la prégnance des systèmes de rafraîchissement dans l'architecture contemporaine. L'objectif de M. GROSSO est de réaliser un manuel et de présenter des exemples pour aider le lecteur à comprendre l'approche bioclimatique du projet et le rafraîchissement passif. Notre objectif est d'analyser des bâtiments différents, dans différents endroits dans le monde, de les rendre comparables et à travers cette analyse, de comprendre l'efficacité des systèmes de rafraîchissement passif. Nous voudrions donner au concepteur une série d'exemples de bâtiments plus ou moins réussis en cherchant à comprendre quelles erreurs ont été commises et quelles astuces peuvent être source d'inspiration.

Une autre recherche qui vient d'aboutir très récemment a été menée par le groupe de travail PHDC. Le livre en question est : *The Architecture*

<sup>6</sup> Définition de PassivHaus, qui renvoie à la maison passive en France :

[http://www.passiv.de/07\\_eng/haupt\\_e.html](http://www.passiv.de/07_eng/haupt_e.html)

et <http://www.lamaisonpassive.fr/spip/spip.php?rubrique1>

And Engeneering Of Downdraught Cooling, A Design Source Book (FORD, et al., 2010). Ce livre est un- guide de conception pour la réalisation de bâtiments rafraîchis par évaporation. Au-delà de l'intérêt pour cet ouvrage bien réalisé et de l'outil important pour la conception de bâtiments rafraîchis par évaporation qu'il présente, on trouve l'analyse de dix bâtiments rafraîchis passivement. L'approche des auteurs pour évaluer l'efficacité des systèmes de rafraîchissement passif a été de réaliser des questionnaires post-occupation de l'immeuble. Cette démarche avait précédemment été présentée pendant la conférence internationale PLEA 2008 (Schiano-Phan, et al., 22-24 October 2008).

L'analyse post-occupation est une méthode efficace pour évaluer l'efficienne des systèmes de rafraîchissement et la qualité de l'architecture. Les résultats de cette recherche ont été d'une grande utilité pour notre travail, mais nous avons choisi une approche différente pour l'évaluation des bâtiments. L'avantage d'une approche post occupancy est que les utilisateurs présents d'un immeuble donnent leurs avis sur le fonctionnement du système de rafraîchissement, la qualité de l'air, le confort thermique... ; le problème de ce type d'approche est que l'avis des usagers peut être 'pollué' par d'autres problèmes, comme les conditions de travail, les relations internes... L'analyse des résultats des questionnaires est donc très difficile. De plus, souvent les entreprises sont opposées à la réalisation d'enquêtes au sein de leur personnel, pour éviter que des conflits internes puissent ressortir. Un autre problème est soulevé par le fait que souvent les utilisateurs des immeubles n'ont pas la profondeur du regard d'un expert de la matière et leur jugement peut être influencé négativement ou positivement par des détails peu importants ou des préjugés. Bien entendu, le filtrage de toutes ces difficultés relève de l'habileté de l'enquêteur, sans oublier que cet ouvrage regarde seulement les systèmes de rafraîchissement par évaporation.

Nous avons travaillé dans une autre direction et avec une autre approche, qui n'est pas en contraste avec l'approche du groupe de recherche PHDC mais, au contraire, pourrait être complémentaire. D'ailleurs, les données publiées par PHDC, nous ont donné un bon outillage. Dans cette même famille de recherche que nous voudrions citer, on trouve le groupe de recherche EULEB qui a produit une publication online. « *Le projet EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique* » a été prévu pour fournir des informations sur des bâtiments publics non résidentiels existants, à haute qualité et à faible demande énergétique à travers l'Europe. » (EULEB, 2006). De la même manière que pour la publication du PHDC, la recherche EULEB a été source d'informations et renseignements, tout en utilisant une méthode différente de la notre.

Le projet EULEB analyse tous les bâtiments bioclimatiques et non seulement ceux rafraîchis passivement. Il demeure une des recherches qui nous a été la plus utile en fournissant une grande base de données et d'informations sur les bâtiments 'durables' en Europe.

Naturellement les recherches citées ci-dessus ne sont pas les seules que nous avons considérées, mais ce sont celles avec lesquelles nous avons des points en commun.

Il faut citer également B. GIVONI (GIVONI, 1994), ses ouvrages sont le fondement toutes les recherches sur le rafraîchissement passif, et M. SANTAMOURIS (SANTAMOURIS, et al., 1996), à la base de notre bibliographie.

Toutes ces recherches nous ont donné les assises techniques et théoriques pour avancer dans notre travail, mais un de nos objectifs était de comprendre la posture des architectes par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement passif et la prégnance de ces systèmes sur l'architecture.

Dans l'ouvrage *The Architectural Expression of Environmental Control Systems* (BRAID, 2001), G. BAIRD classe les bâtiments par rapport à la volonté du concepteur de manifester la présence des systèmes techniques. Notre travail s'insère dans un débat ouvert sur la question de l'intégration des systèmes techniques dans le bâtiment. G. BRAID voudrait pousser les architectes et les ingénieurs à donner une place architecturale aux systèmes techniques du bâtiment. A ce sujet nous ne pouvons pas oublier le travail de Louis KAHN (Kahn, 1984), qui explique, entre autre, sa posture par rapport à l'intégration des systèmes techniques et le fait qu'il les « déteste » mais étant nécessaires. Il les interprète comme objets architecturaux avec leur propre langage, refusant d'œuvrer pour tout dissimuler. Nous ne voudrions pas partager un avis ou un autre, mais nous voudrions faire ressortir la posture des architectes qui ont affronté la problématique du rafraîchissement passif du bâtiment.

Il nous semble fondamental de comprendre comment l'architecte peut se confronter à ces processus.

Un autre point important est de comprendre la prégnance des systèmes de rafraîchissement passif sur l'architecture. Il ne suffit pas de se poser la question sur la posture, nous voudrions aussi comprendre les difficultés techniques, de typologie, topologie et morphologie des systèmes de rafraîchissement passif sur la conception architecturale. À ce sujet, nous voudrions citer la recherche de Y. MANSOURI, *Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés Proposition d'une méthodologie de conception* (MANSOURI, et al., 2003), elle analyse la typo/topologie des systèmes de ventilation par rapport à la typologie des bâtiments rafraîchis. Nous avons exploité ce travail de recherche pour comprendre mieux le rapport entre les typo/topologies des systèmes de rafraîchissement et la typologie des bâtiments.

Il reste à résoudre la question du pré-dimensionnement des systèmes de rafraîchissement. Ce sujet n'a pas fait partie de notre recherche, car nous avons analysé des bâtiments existants et déjà dimensionnés par rapport à leurs nécessités. Néanmoins, nous avons voulu donner une base bibliographique de textes de référence qui seront utiles aux architectes pour travailler sur le pré-dimensionnement des systèmes de rafraîchissement passif dans l'architecture.

#### **1.4.1 Textes de référence pour le pré-dimensionnement des systèmes de rafraîchissement passif**

Dans ce paragraphe nous voudrions simplement citer des ouvrages qui nous semblent intéressants pour l'architecte qui voudrait concevoir des bâtiments rafraîchis passivement. Citons les ouvrages qui grâce à une explication simple

des procédés peuvent permettre à l'architecte de démarrer la conception. Notre regard reste attentif aux besoins du concepteur. C'est-à-dire que nous pensons qu'un architecte qui va réaliser un bâtiment rafraîchi-passivement, devra obligatoirement travailler avec une équipe de techniciens (bureau d'étude thermique, d'étude fluides, d'étude construction...) et être en mesure de dialoguer de manière positive. Un architecte doit être un chef d'orchestre qui connaît tous les instruments joués par ses musiciens, sans pour autant être lui-même violoncelliste, pianiste, contrebassiste...

### 1.4.1.1 Conception bioclimatique

Pour ce qui regarde la conception bioclimatique, dans quelques chapitres dédiés au rafraîchissement passif, nous voudrions citer le livre intitulé Manuel d'architecture naturelle de D. Wright (WRIGHT, 2005). Ce livre est un petit guide utile d'approche de la matière avec des règles de pré-dimensionnement simples et facilement applicables. Un ouvrage similaire est le livre Sun Wind & Light Architectural Design Strategies (BROWN, et al., 2001), qui est plus technique par rapport au précédent, et représente un vrai manuel du pré-dimensionnement de l'architecture bioclimatique<sup>7</sup>.

### 1.4.1.2 Manuels sur le rafraîchissement passif

Il existe beaucoup d'exemples de recueils traitant du rafraîchissement passif. Les plus connus sont les livres écrits par B. GIVONI et M. SANTAMOURIS. 'Ces pierres angulaires' de la recherche sur le rafraîchissement passif sont encore aujourd'hui les principales sources d'informations.

Un ouvrage, selon nous, simple et complet, à la fois utile et détaillé, est le livre de M. GROSSO, Il Rafrescamento Passivo Degli Edifici in Zone a Clima Temperato (GROSSO, 2008), même si la langue dans laquelle il est édité, a pu le favoriser dans notre jugement.

### 1.4.1.3 Rafraîchissement par évaporation

Pour ce qui concerne le rafraîchissement par évaporation signalons le travail du groupe de recherche PHDC (FORD, et al., 2010), qui a abouti à la publication du livre : The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book. Dans cet ouvrage le lecteur pourra trouver toutes les informations de base pour procéder à la conception d'un bâtiment rafraîchi par évaporation. De plus, dans le CD annexé à cet ouvrage se trouve un logiciel de simulation dynamique des potentiels de rafraîchissement par évaporation, facile à utiliser et qui peut être une base pour le pré-dimensionnement des tours évaporatives.

### 1.4.1.4 Rafraîchissement par ventilation

Au sujet du rafraîchissement par ventilation beaucoup d'ouvrages existent, comme l'architettura del vento de M. BUONO (BUONO, 1997), un simple petit manuel de conception de la ventilation passive. Nous voudrions citer aussi la thèse de Y. MANSOURI, dont nous avons parlé plus haut, qui offre des outils de

<sup>7</sup> Nous voudrions citer plusieurs autres ouvrages, nous nous limiterons à signaler encore deux livres qui nous semblent intéressantes et adaptées à résoudre des problèmes liés au pré-dimensionnement: (KWOK, et al., 2007) ; (Alain, et al., 2006).

pré-dimensionnement intéressants (MANSOURI, et al., 2003).

#### 1.4.1.5 **Rafrâichissement géothermique**

Les ouvrages qui sont pour nous les plus utiles pour une approche – de cette technique sont ceux édités par P. HOLLMULLER, B LACHAL et D. PAHUD (HOLLMULLER, et al., 2005). Cet ouvrage est un très bon manuel avec des « *règles du pouce* » (règles d'expert en Suisse) qui permettent de pré-dimensionner facilement les échangeurs géothermiques, tels que le puits canadien ou provençal.

#### 1.4.1.6 **Rafrâichissement radiatif**

Sur l'argument du rafraîchissement radiatif, il est assez difficile de trouver des ouvrages complets et de simple application. Deux travaux de recherche sur cet argument retiennent notre attention : le premier de E. GONZALES (GONZALES, et al., 1997) qui a travaillé sur l'expérimentation d'un système de rafraîchissement radiatif en climat chaud et humide et le deuxième de H. BENCHEIKT (BENCHEIKH, et al., 2007) qui propose un système de rafraîchissement radiatif dans une zone à climat chaud et aride. Ces deux recherches nous donnent des résultats d'expériences positives dans deux types de climats complètement différents. Sur ce sujet nous voudrions signaler un exemple de bâtiment rafraîchi avec succès par rafraîchissement radiatif, le Department of Global Ecology de la Stanford University. Ce bâtiment fait partie des cas étudiés dans notre recherche et nous pourrions voir en détail son fonctionnement dans les chapitres suivants.

## 1.5 ***Plan de la thèse***

Cette thèse de recherche a comme objet d'étude les systèmes de rafraîchissement passif en architecture.

L'objectif est de comprendre si les systèmes de rafraîchissement passif sont réellement applicables à l'architecture contemporaine.

Les résultats de la recherche sont présentés en deux parties.

D'une part nous avons cherché à comprendre ce qu'est le rafraîchissement passif, comment il a été appliqué dans l'architecture vernaculaire et comment définir la notion de confort. Cette première partie se veut être une base théorique à partir de laquelle nous pourrions nous concentrer sur l'analyse des systèmes de rafraîchissement dans l'architecture contemporaine.

Dans la deuxième partie, nous avons analysé des bâtiments contemporains, rafraîchis passivement, et nous avons évalué leur fonctionnement pour comprendre si les systèmes de rafraîchissement passif peuvent garantir le confort des usagers. L'objectif était de mettre en valeur les motifs qui ont conduit à la réussite ou à la faillite des systèmes de rafraîchissement passif. Cela nous a permis de rédiger un *cahier de règles* appropriées pour aider l'architecte à réaliser un projet de bâtiment rafraîchi passivement. Un autre aspect que nous avons voulu mettre en évidence est l'impact des systèmes de rafraîchissement passif sur le projet. Cette thèse veut être une recherche

en architecture, recherche qui voudrait apporter des informations et des connaissances aux responsables de la conception et de la réalisation des bâtiments rafraîchis passivement.

La thèse a été divisée en deux parties parce qu'il nous semblait nécessaire de séparer la partie plus bibliographique et historique de ce travail de la partie d'analyse critique de l'architecture contemporaine.

La première partie veut donner au lecteur les instruments et les bases nécessaires à la compression des systèmes de rafraîchissement passif, la théorie sur le fonctionnement du rafraîchissement passif et les motifs pour lesquels ces connaissances, communément appliquées dans l'architecture vernaculaire, ont été en partie perdues.

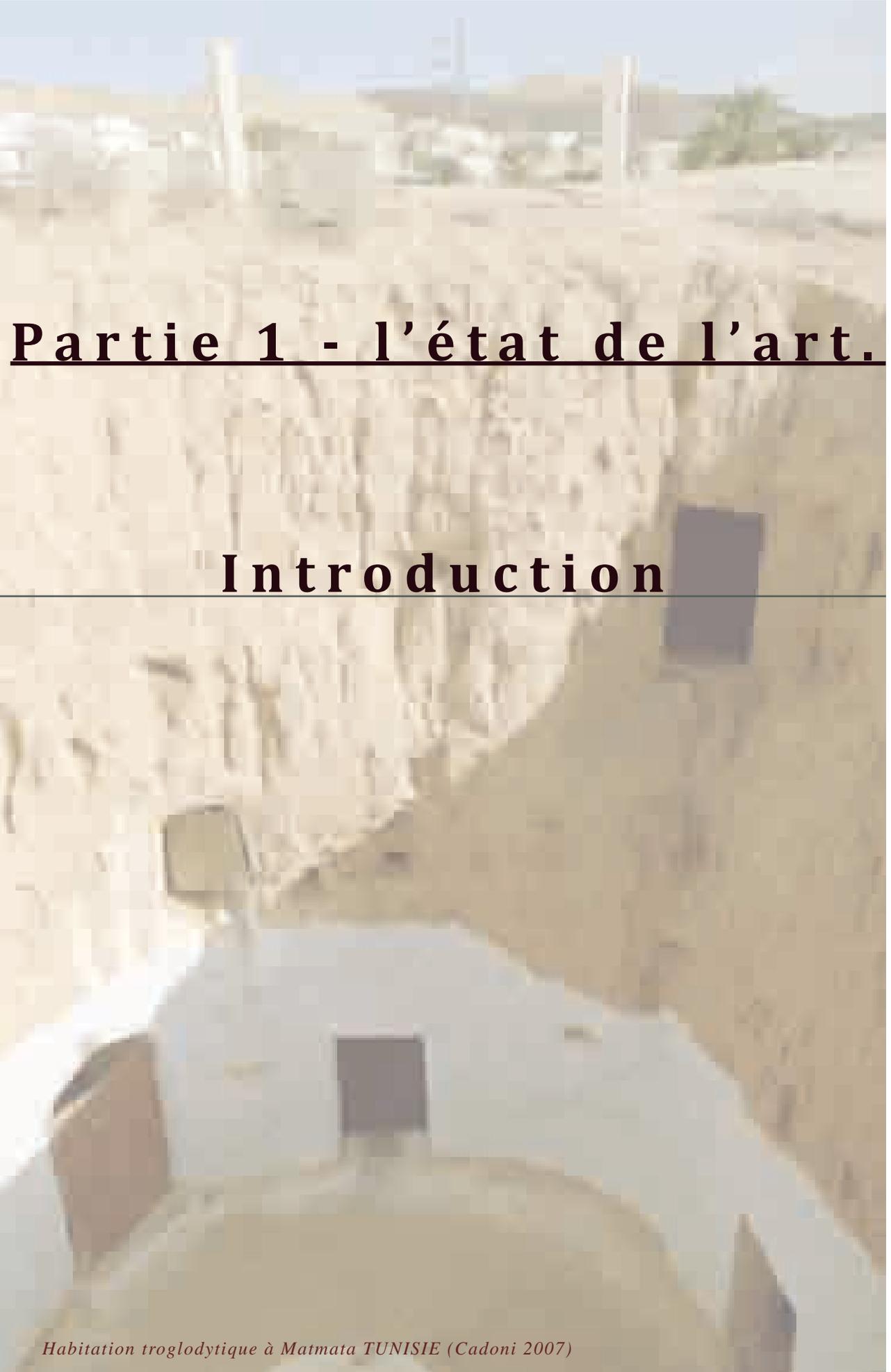
Cette division de la thèse en deux parties, un état de l'art et une deuxième partie contenant le cœur de la thèse, est assez classique. Nous trouvons une division de ce type dans différents ouvrages, comme dans le livre de M. GROSSO (GROSSO, 2008), qui d'ailleurs a été l'une des sources d'inspiration des titres de paragraphe du chapitre sur l'architecture vernaculaire.

Dans la deuxième partie, nous avons essayé de comprendre comment les architectes contemporains réappliquent et interprètent ces connaissances historiques, comment ils ont pu mener leurs expériences et quel impact l'application des systèmes de rafraîchissement passif a eu sur la conception architecturale du projet.

Nous avons voulu étudier des bâtiments rafraîchis passivement, les évaluer, comprendre les motifs de leur succès et de leur échec. Pour ce faire, nous avons mis en place une méthodologie, qui nous a permis de comparer des bâtiments différents construits dans divers climats. Grâce à ce bagage de connaissances, nous avons essayé d'établir des règles pour aider le concepteur à réaliser un bâtiment rafraîchi passivement. Notre travail veut être un support pour les architectes prêts à se confronter à ces problématiques. Cela nous a menés à comprendre un point qui pour nous est fondamental, c'est-à-dire l'impact des systèmes de rafraîchissement sur la conception architecturale. De plus, nous avons analysé la posture des architectes par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement passif dans l'architecture. Ce type d'analyses a pour objectif de mettre le concepteur en condition de s'approcher d'un projet de bâtiment rafraîchi passivement en pleine connaissance des contraintes pour la conception architecturale. Pendant notre recherche nous avons souvent trouvé des ouvrages techniques qui apportent aux concepteurs des notions techniques pour bien dimensionner les conduits d'aération, les puits canadiens ou les tours évaporatives, mais ce n'est pas notre objectif. Nous voudrions donner un certain nombre de règles de base et d'erreurs à éviter, de plus nous présentons un bon nombre d'exemples très différents avec des approches architecturales diverses. Dans notre analyse nous avons toujours considéré l'utilisateur comme faisant partie des dispositifs qui permettent au bâtiment de fonctionner. Cela pourrait sembler banal, mais dans la littérature de la recherche, ainsi que dans les normes en vigueur, nous ne trouvons presque jamais la place de l'utilisateur. D'une part, les normes prescrivent des prestations de plus en plus élevées, mais souvent elles oublient les différents lieux et les cultures des usagers. D'autre part, nous avons souvent lu que des

données fiables sur le comportement d'une maison expérimentale, devraient être recueillies en absence des usagers. Nous sommes conscients que les normes en vigueur ne peuvent que demander des prestations, mais nous avons vu pendant notre recherche qu'un projet de bâtiment très performant n'est pas forcément un bon projet. Les performances techniques sont à la base d'un bon projet, mais ne suffisent pas.





**Partie 1 - l'état de l'art.**

**Introduction**

*Habitation troglodytique à Matmata TUNISIE (Cadoni 2007)*



# Introduction

Qu'est ce que le rafraîchissement passif ? Est-ce une nouvelle technologie ou quelque chose qu'on connaissait et dont on a perdu l'usage ? Pourquoi a-t-on arrêté d'utiliser ces systèmes qui pouvaient garantir le confort dans le passé ? Ce sont les premières questions que nous nous sommes posées pendant notre recherche. Dans cette partie de la thèse, plus 'bibliographique', nous allons essayer de donner des réponses à ces questions. Premièrement, nous allons essayer de donner des bases théoriques pour permettre de comprendre ce qu'est le rafraîchissement passif et ses quatre grandes familles : le rafraîchissement par évaporation, par ventilation, géothermique et radiatif. Ensuite nous allons analyser les réponses données par l'architecture vernaculaire, pour garantir le confort thermique des usagers. À ce sujet il faut apporter des précisions. L'architecture vernaculaire, dans les régions à climat chaud, a souvent été réfléchi pour améliorer le confort d'été. Historiquement en hiver on pouvait se couvrir ou allumer un feu et l'activité physique à la maison était majeure. La température de confort dans une maison était d'environ 16°C (GROSSO, 2008 p. 18). Encore aujourd'hui souvent, dans les villes du sud, les maisons n'ont pas de système de chauffage. Cela est vrai aussi dans le sud de l'Italie, comme à Cagliari ou en Sicile et encore plus sur la rive sud de la Méditerranée. Par expérience personnelle, en hiver on souffre beaucoup plus de froid au sud que dans les villes du nord. Cela est dû, comme on l'a vu, au fait qu'historiquement il était plus important de se protéger du chaud que du froid. Dans les périodes de grande canicule, la seule solution était de réduire l'activité physique. C'est pour cette raison que les constructeurs du passé ont cherché des solutions pour protéger les usagers de la chaleur estivale.

Aujourd'hui le concept de confort a changé, les températures de confort vont dans la même direction au sud comme au nord et varient entre 21/22°C en hiver et 26/27°C en été (GROSSO, 2008 p. 18). C'est pour répondre à ces nécessités et aux nécessités d'un marché de la construction de plus en plus ouvert à tous, que l'architecture contemporaine n'a plus suivi les règles de l'architecture vernaculaire. De plus, les systèmes de rafraîchissement passifs sont souvent en contradiction avec les règles de la construction et de l'urbanisme contemporains : l'étanchéité à l'air, la sécurité du bâtiment pour les tiers, la luminosité, le rapport entre plancher et surfaces ouvrantes, la distance à respecter par rapport aux autres bâtiments, la distance des arbres à grande hauteur avec les bâtiments, sont en contradiction ouverte avec la ventilation, la ventilation nocturne, la nécessité de se protéger du soleil, etc. Vu la difficulté de réaliser un projet de bâtiment bioclimatique, de la simplicité et du faible coût des installations de climatiseurs, dans l'architecture contemporaine, les constructeurs ont abandonné les techniques de rafraîchissement naturelles en faveur des installations AC.

Il faut tout de même s'interroger sur les apports de l'architecture vernaculaire et sur les applications de ces enseignements. N'oublions pas que le concept de confort est en évolution continue et dépend de plusieurs facteurs subjectifs qui doivent être bien analysés et compris avant de démarrer un projet de bâtiment rafraîchi passivement.

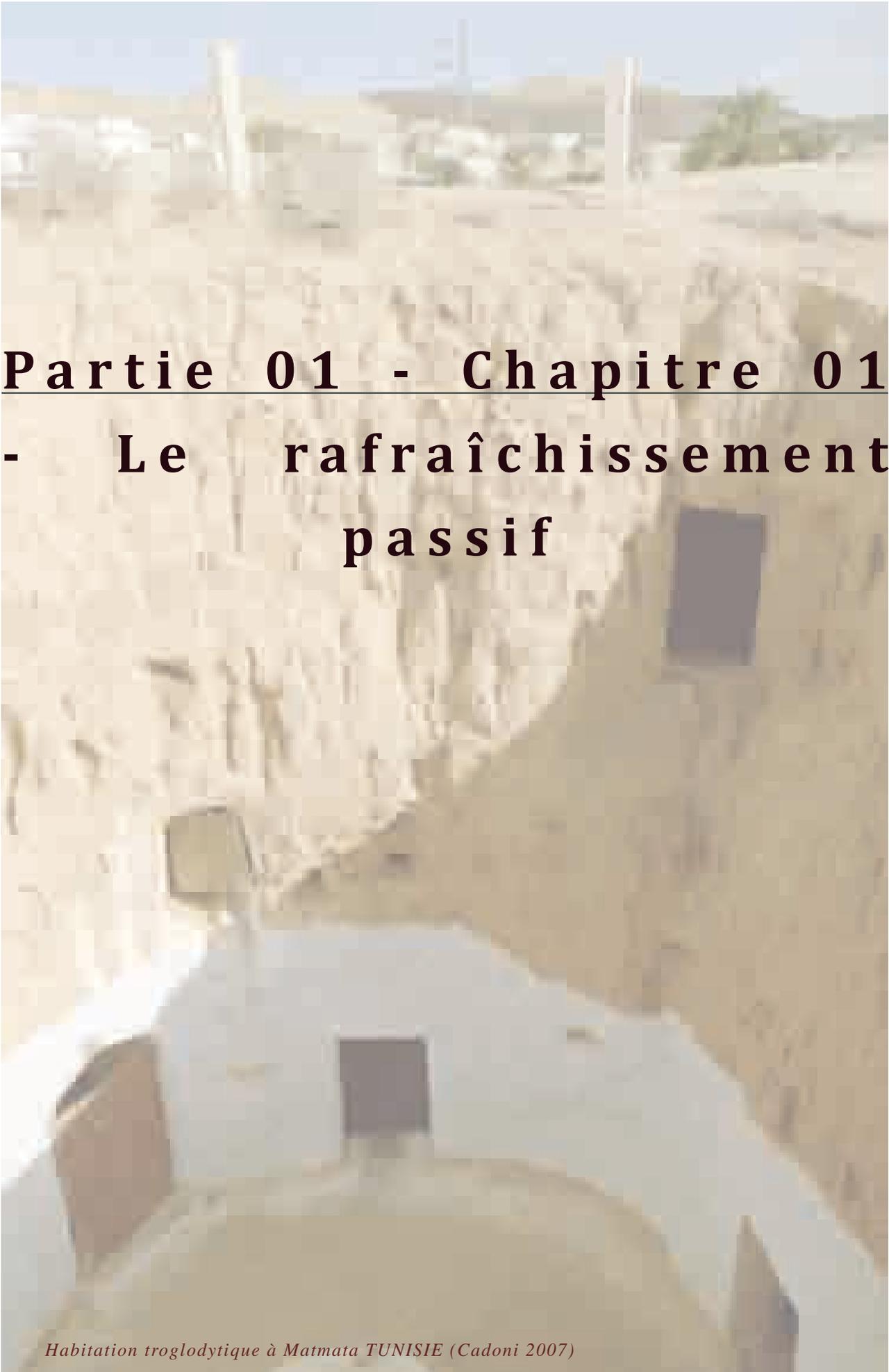
Dans cette première partie de la thèse, nous allons essayer de donner

## Partie 01 - Introduction

des réponses à ces questions. De plus, nous allons analyser ce que sont le rafraîchissement passif, les différentes typologies de méthodes de rafraîchissement naturel et leurs fonctionnements. Dans un autre chapitre nous tenterons d'analyser l'évolution du concept de confort. Cela nous donnera des bases pour comprendre quelles performances sont attendues des systèmes de rafraîchissement mis en place de nos jours.







**Partie 01 - Chapitre 01**  
**- Le rafraîchissement passif**

*Habitation troglodytique à Matmata TUNISIE (Cadoni 2007)*



# 1. Le rafraîchissement passif

## 1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons aborder le sujet des techniques, qui sont au cœur de cette recherche.

Il s'agit pour nous de donner au lecteur une vision synthétique d'ensemble des différentes techniques de rafraîchissement.

On peut définir le rafraîchissement passif comme l'ensemble des techniques qui permettent de réduire le sur-échauffement d'un espace à travers le contrôle thermique et des méthodes naturelles de rafraîchissement.

Les systèmes de rafraîchissement passifs peuvent être classifiés en quatre grandes familles distinctes par rapport aux 'puits thermiques'<sup>1</sup> (SANTAMOURIS, et al., 1996 p. 8), vers lesquels est canalisée la chaleur en excès : géothermiques, par ventilation, par évaporation et radiatifs.

**1 Géothermique** (le puits thermique est le terrain) : réalisé en utilisant la température du terrain de manière directe, les bâtiments sont hypogés, ou de manière indirecte avec des conduits hypogés à eau ou à air.

**2 Par ventilation** (le puits thermique est l'air) : réalisé avec de l'air à température plus basse que celle de l'espace à rafraîchir.

**3 Par évaporation** (le puits thermique est l'eau) : réalisé avec le passage de l'eau à travers un espace, en favorisant l'évaporation qui soustrait de l'énergie à l'espace.

**4 Radiatif** (le puits thermique est le ciel nocturne) : réalisé en canalisant la chaleur accumulée dans les structures vers le ciel nocturne, non nuageux.

Le concepteur devra mettre en place des systèmes aptes à exploiter le potentiel de rafraîchissement des différents puits thermiques.

Pour atteindre son objectif, le concepteur devra réaliser un projet 'bioclimatique'<sup>2</sup> adapté aux caractéristiques du site et aux nécessités des usagers.

La première stratégie pour garantir le confort thermique des usagers devra passer par la réduction des gains thermiques internes et par le contrôle solaire.

Par la suite, il faudra trouver des stratégies aptes à dissiper la chaleur en excès vers les puits thermiques naturels.

<sup>1</sup> Les mots « heat sinks » pourraient être traduites par : dissipateur de chaleur, selon le dictionnaire online LAROUSSE (LAROUSSE, 2009), ou puits thermique, selon le dictionnaire online Lingüee (Lingüee, 2001). Nous préférons utiliser la traduction puits thermique, utilisé aussi par M Grosso (GROSSO, 2008 p. 239), qui nous semble plus adapté pour définir ce concept.

<sup>2</sup> « Se dit d'un habitat dans lequel la climatisation est réalisée en tirant le meilleur parti du rayonnement solaire et de la circulation naturelle de l'air » (LAROUSSE, 2009)

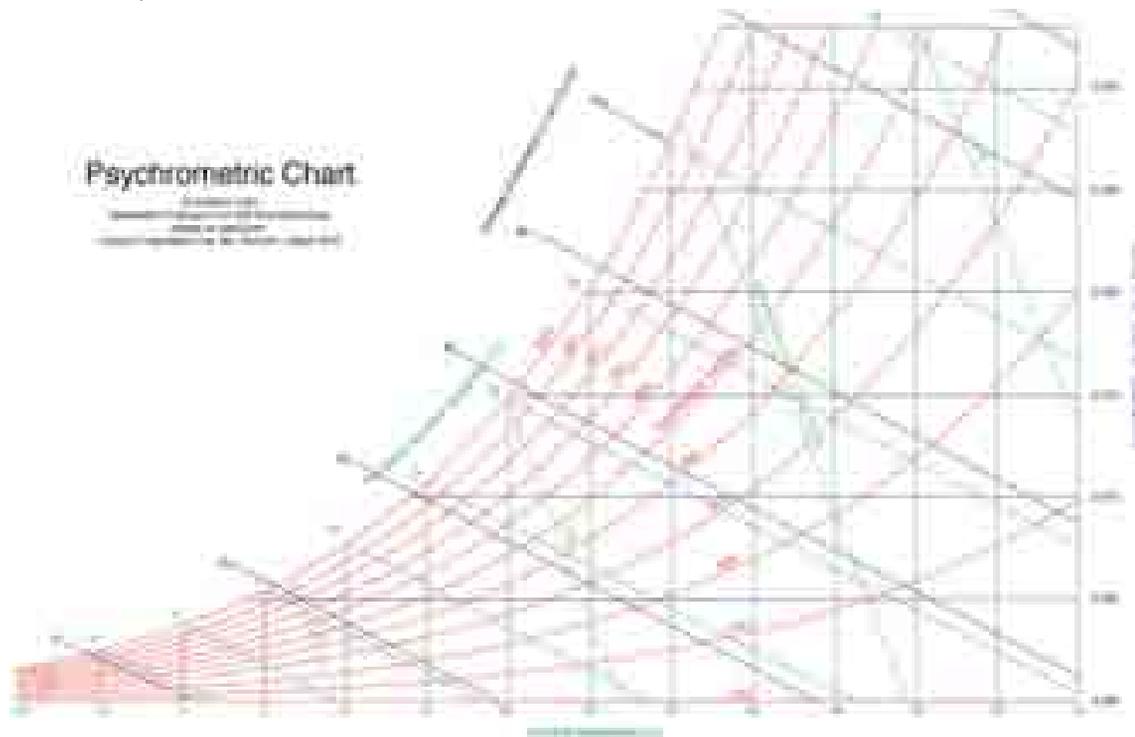
« L'architecture bioclimatique est une discipline de l'architecture, l'art et le savoir-faire de tirer le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement, pour une architecture naturellement la plus confortable pour ses utilisateurs ». (Wikipedia, 2012)

## Partie 01 - Chapitre 01 - Le rafraîchissement passif

Ceci permet de réduire à leur valeur minimale les périodes de l'année pendant lesquelles est ressentie une situation d'inconfort et pendant lesquelles on fera donc appel aux systèmes de climatisation.

Pour décrire les différents systèmes de rafraîchissement et les stratégies de contrôle thermique, nous nous sommes appuyés principalement sur les textes de M. SANTAMOURIS (SANTAMOURIS, et al., 1996), M. GROSSO (GROSSO, 2008) et J COOK (COOK, 1989).

De plus, quand ce sera possible, nous chercherons à comprendre le potentiel de rafraîchissement des différents systèmes de rafraîchissement à travers les graphes psychrométriques<sup>3</sup>.



### 1. Diagramme psychrométrique au niveau de la mer (Wikipedia, 2012)

#### 3 Définitions de diagramme psychrométrique:

« Représentation graphique de l'évolution du mélange de l'air sec et de la vapeur d'eau. Le diagramme de l'air humide sert à visualiser les changements d'état physique de l'air traité et de faire les calculs de puissance de chauffage, de refroidissement, d'humidification, de déshumidification, ... » (XPair, 2012)

« Un diagramme psychrométrique regroupe les principales caractéristiques de l'air humide pour une pression atmosphérique donnée (en général celle au niveau de la mer, c'est-à-dire 1 013 hPa) :

La température de bulbe sec notée  $t_{db}$  est la température donnée par un thermomètre sec, placé dans un courant d'air humide et protégé des rayonnements parasites (venant d'objets froids ou chauds comme le soleil).

La température de bulbe humide notée  $t_{wb}$  est la température de l'air circulant au-dessus d'une grande surface d'eau liquide dans un système calorifugé. C'est par exemple la température indiquée par un thermomètre placé dans un linge humide soumis à courant d'air.

La température de rosée notée  $t_{rp}$  est la température à laquelle un air humide est à la pression de vapeur saturante. À cette température l'air ne peut plus emmagasiner de la vapeur d'eau sans que celle-ci ne se condense.

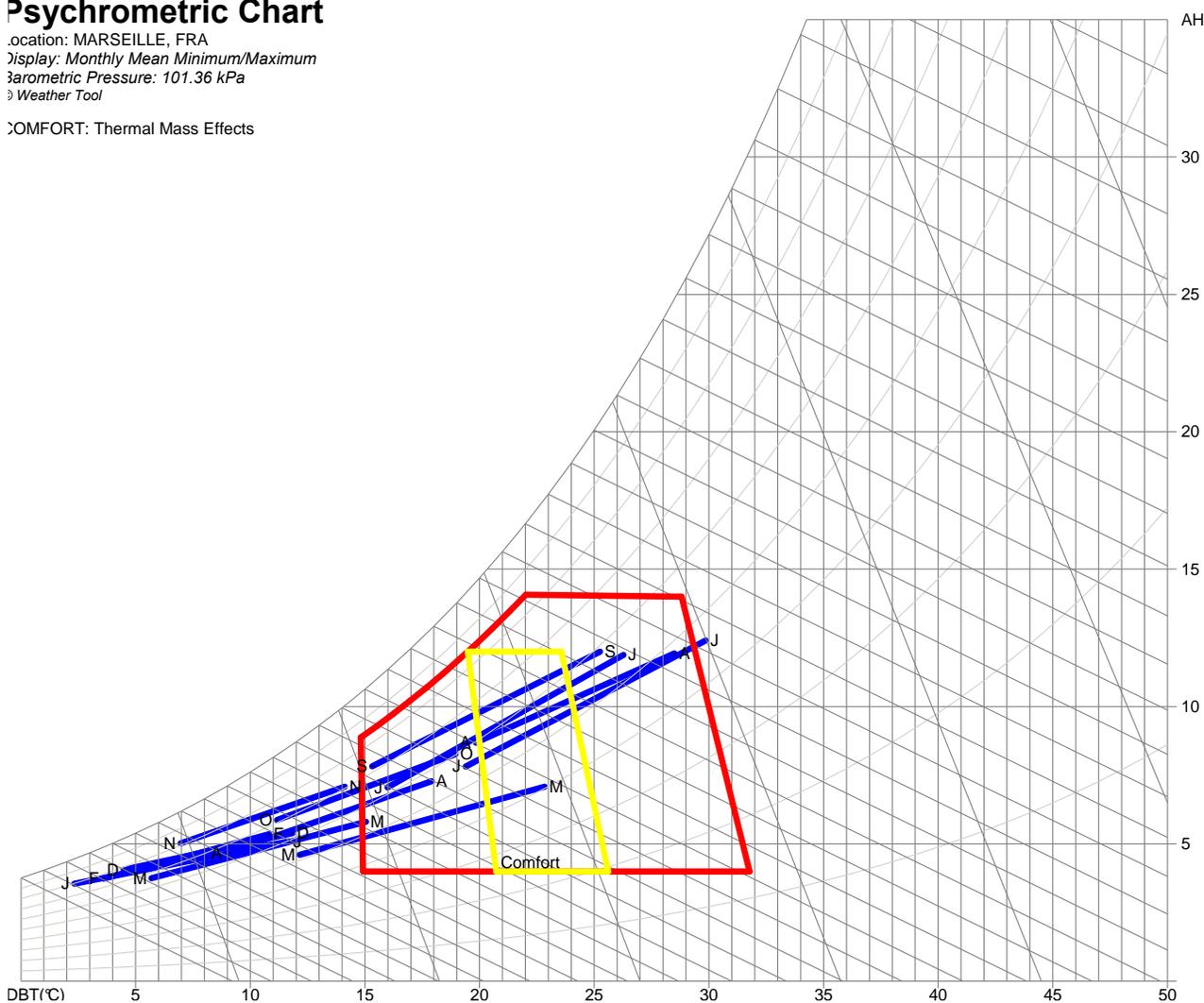
L'humidité relative notée HR est le rapport entre la quantité d'eau présente dans l'air et la quantité maximale d'eau que l'air pourrait contenir à la même température. C'est aussi le rapport entre la pression de vapeur et la pression de vapeur saturante. » (Wikipedia, 2012)

Ces outils nous permettent de mettre en relation le climat du site, la zone de confort des usagers et l'extension de la zone de confort grâce à des techniques de rafraîchissement naturel. L'analyse climatique ainsi faite permet d'avoir une première esquisse du potentiel de rafraîchissement des différents puits thermiques. Pour réaliser ces graphes, tout le long de notre travail, nous avons utilisé le logiciel Ecotect et les fichiers météo fournis par le Département Of Energy US (U.S. Department of Energy, 2011). Ci-dessous nous pouvons voir le graphe de l'analyse climatique de la ville de Marseille. Les barres en bleu représentent les températures et l'humidité moyennes à Marseille, la zone en jaune représente les températures de confort, la zone en rouge représente le potentiel d'extension de la zone de confort en utilisant une technique passive. À l'occasion nous avons demandé au logiciel de calculer le potentiel d'extension de la zone de confort en exploitant la masse thermique.

### Psychrometric Chart

Location: MARSEILLE, FRA  
Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
Barometric Pressure: 101.36 kPa  
Weather Tool

COMFORT: Thermal Mass Effects



2. potentiel d'extension de la zone de confort en exploitant la masse thermique, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)

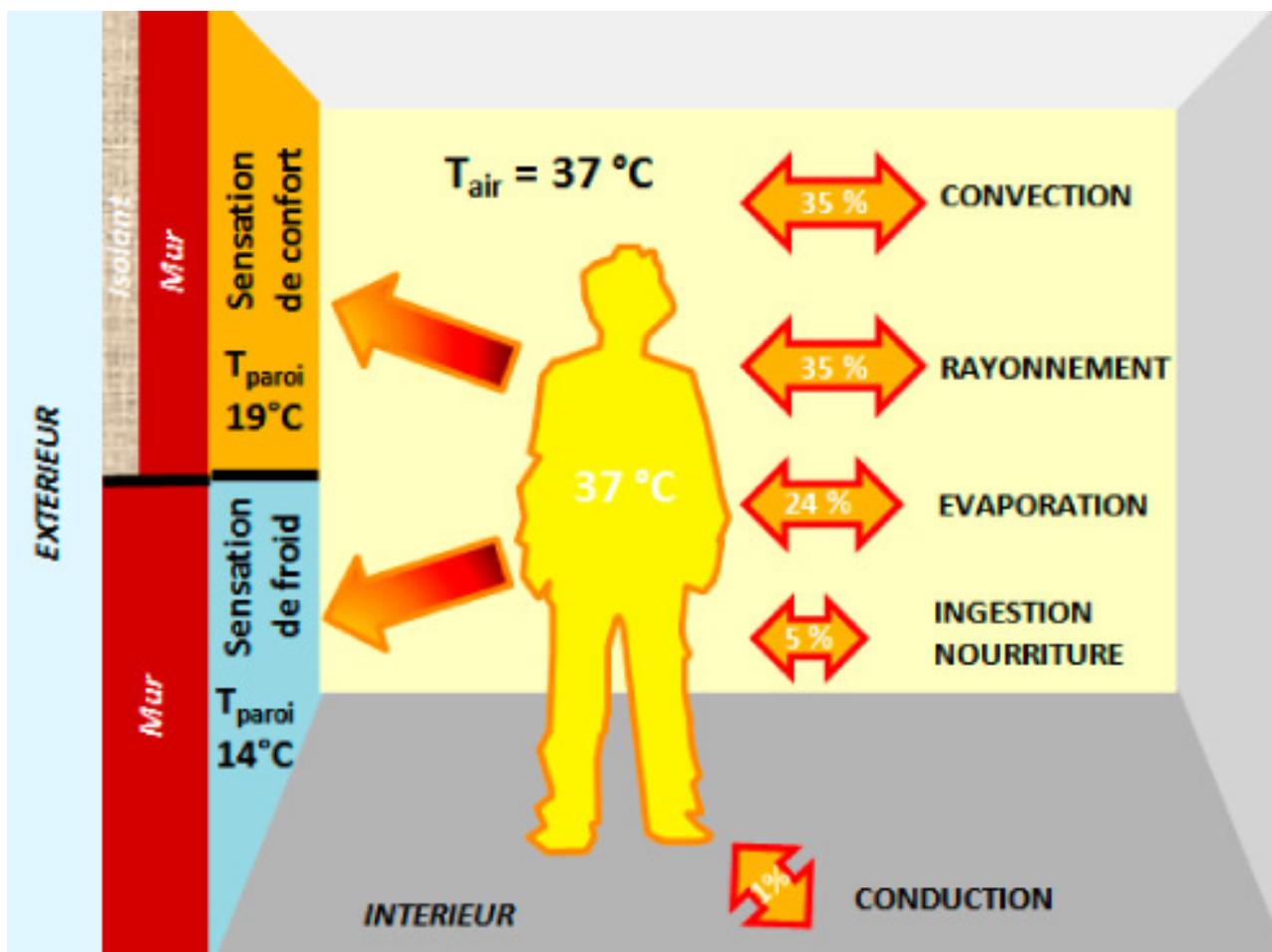
## 1.2 Le contrôle thermique

La première stratégie à adopter, pour réduire au minimum les nécessités de rafraîchissement du bâtiment passe par la réduction des apports thermiques de l'extérieur et de l'intérieur.

### 1.2.1 Les apports internes

Les apports thermiques internes sont déterminés par l'usage du bâtiment. Chaque usager est une source de chaleur qui peut varier selon le type d'activité physique menée.

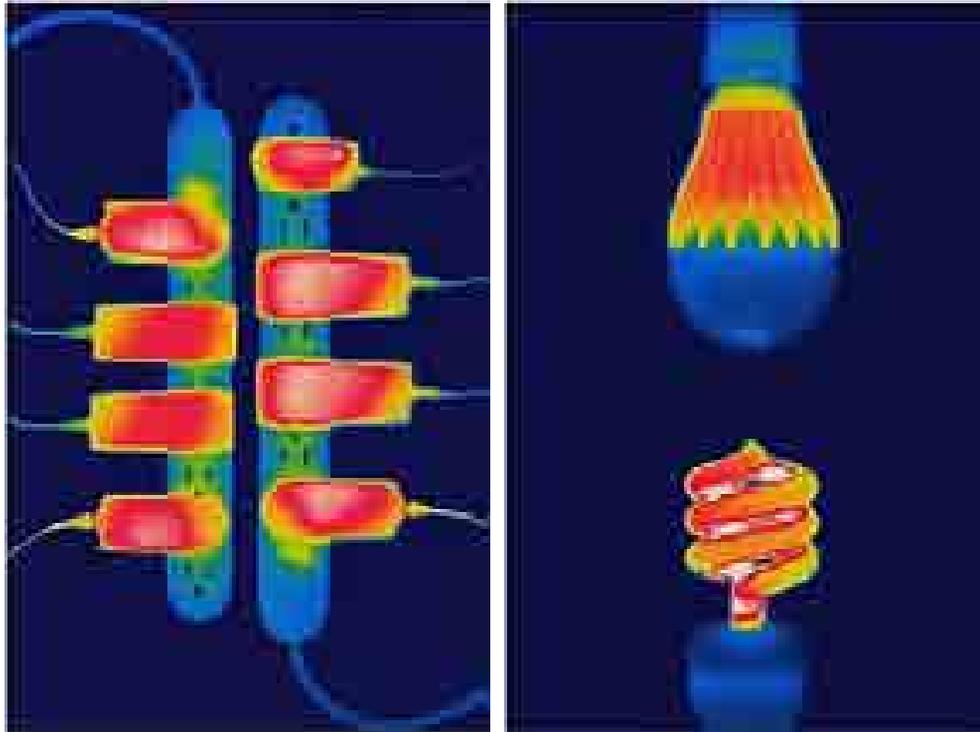
« Le corps humain dégage en continu de la chaleur, environ 80 watts au repos à 1 kW en plein effort. Le flux de chaleur, qui émane de la peau, dépend de l'écart de température avec l'ambiance et vaut typiquement 10 mW/cm » (Multon, 2005).



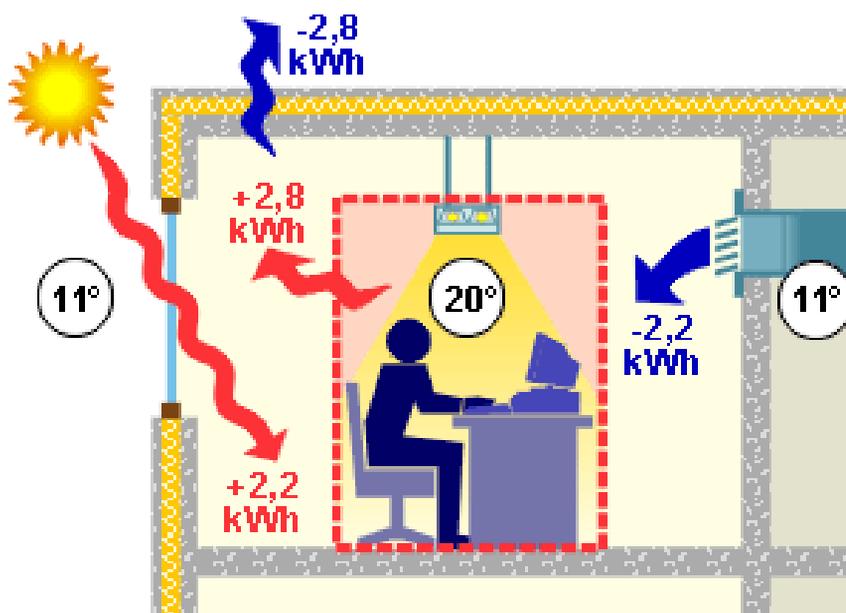
#### 3. Les échanges thermiques du corps humain (bâtir durable, 2008)

Ce pourrait être négligeable pour une pièce avec une ou deux personnes, mais cela devient important s'il faut rafraîchir de grands auditoriums.

Et, il faut aussi considérer les apports des appareils électriques et électroniques.



4. Images d'appareils qui produisent de la chaleur (Turner, 2010)



**Bilan journalier par +11°extérieur**

5. Bilan thermique d'un bureau (DGO4 · Architecture et Climat, 2012)

La réduction des apports internes du bâtiment est fondamentale pour permettre au système de rafraîchissement de garantir le confort thermique des occupants.

Dans les bureaux, le nombre d'ordinateurs, de luminaires, ou de transformateurs, ... peut émettre de grands apports thermiques.

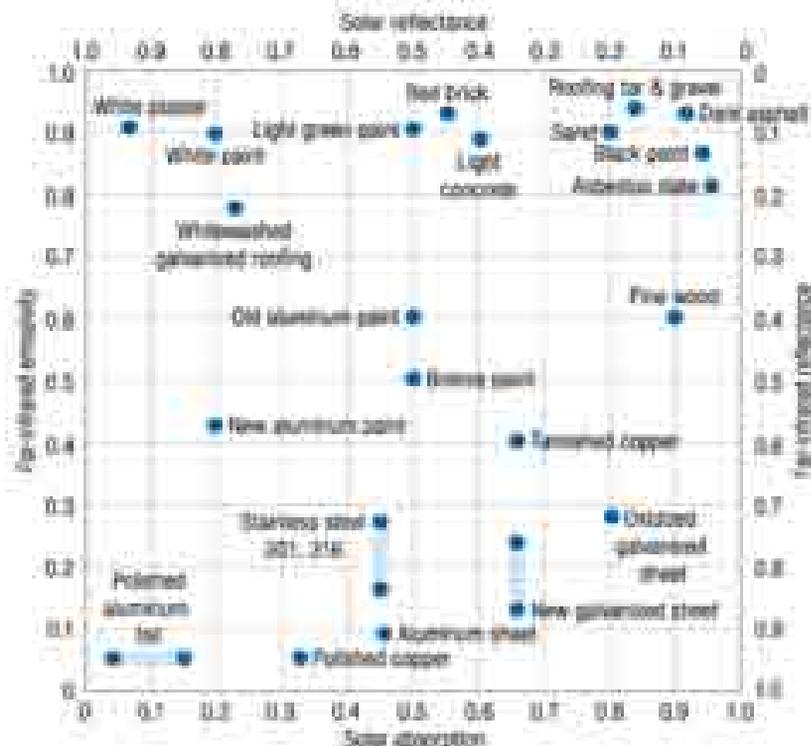
La quantité d'énergie thermique produite par ces appareils dépend de leur efficacité et du type d'appareil.

Il est fondamental de réduire au minimum ces apports, quand c'est possible, et si c'est impossible il faudrait les positionner de manière à réduire au minimum leur impact sur la température des espaces utilisés.

### 1.2.2 Les apports thermiques externes

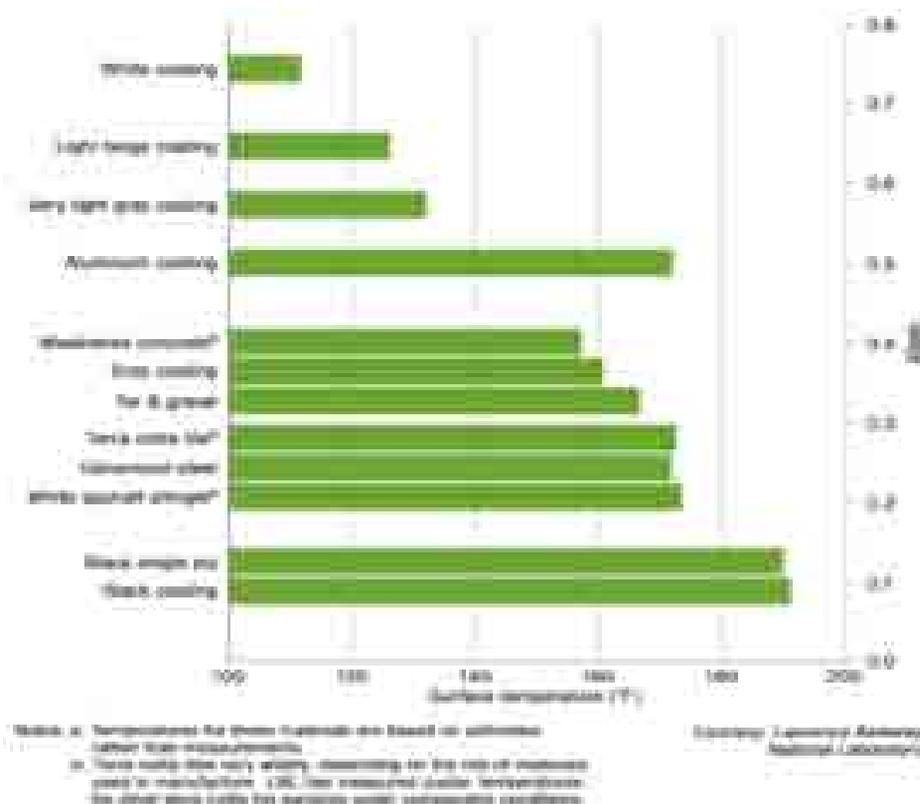
La principale source de chaleur est le soleil, ce qui est généralement positif pendant les mois les plus froids, mais à éviter en été.

Le soleil peut pénétrer dans le bâtiment de manière directe, à travers les surfaces vitrées, et indirecte, quand il chauffe les surfaces opaques qui transmettront la chaleur à l'intérieur.



La quantité d'énergie absorbée par les parois opaques dépend de plusieurs facteurs : la forme, l'incidence du rayonnement sur les surfaces, les matériaux et les couleurs des surfaces ... Une partie de l'énergie absorbée sera transmise à l'intérieur du bâtiment et pourra engendrer des problèmes d'inconfort thermique. La quantité d'énergie transmise à l'intérieur de l'immeuble dépendra de la constitution des parois.

6. Albédo des différents matériaux (E Source Companies, 2011)

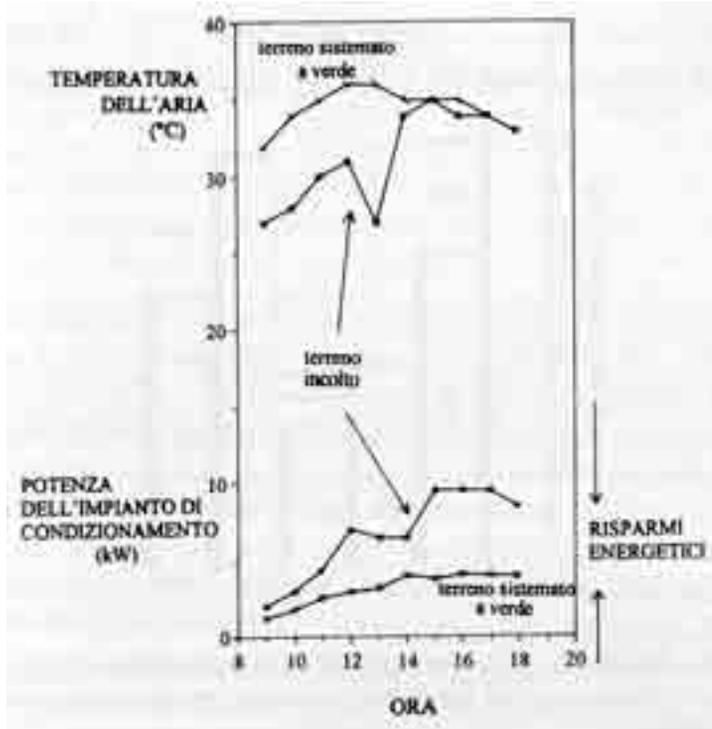


Il semble clairement que plus faible sera la quantité d'énergie absorbée, plus faible sera le risque de surchauffe à l'intérieur du bâtiment. Pour réduire la quantité d'énergie absorbée il est possible, soit d'intervenir sur les matériaux constituant la surface externe du bâtiment, soit de protéger le bâtiment du rayonnement direct du soleil.

7. Albédo des matériaux communément utilisés pour les toitures (E Source Companies, 2011)

### 1.2.3 L'influence de la végétation

La présence de la végétation peut réduire la température de l'air et la température radiante des espaces environnants. Comme il est rapporté

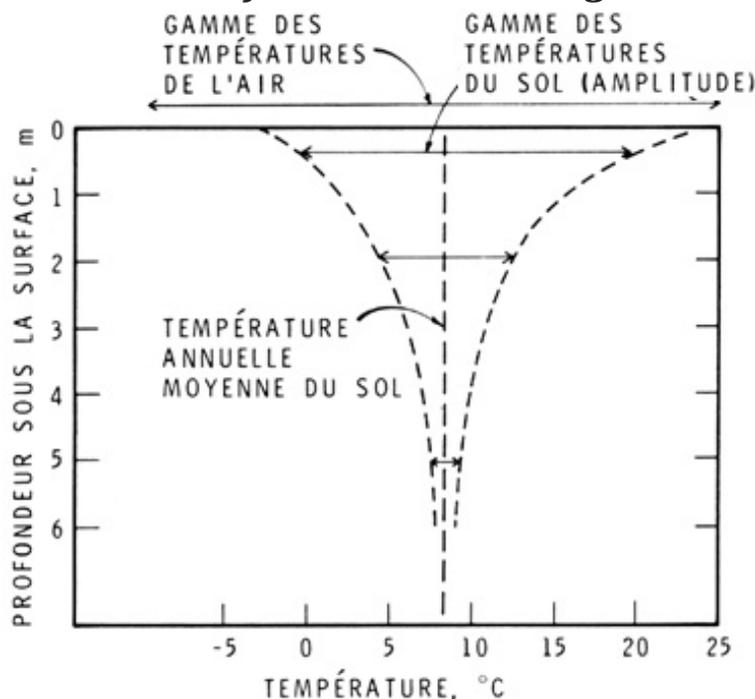


par M. GROSSO, des études expérimentales ont démontré que la température radiante d'une surface exposée à l'ouest, entourée de zones végétalisées, peut varier entre 6 et 20 °C, selon le type de végétaux (GROSSO, 2008).

De plus, la présence de plantes dans la même parcelle d'un bâtiment peut réduire la charge thermique. Grosso présente des études qui ont démontré combien la température de l'air et la charge pour le système de climatisation sont influencés par la présence de végétaux. Les économies d'énergie pendant les jours les plus chauds ont atteint les 50% et une moyenne de 25% (GROSSO, 2008 p. 225).

8. Rapport entre la température de l'air et la puissance du système de rafraîchissement pour un terrain non cultivé et un terrain paysagé (GROSSO, 2008)

### 1.3 Le rafraîchissement géothermique

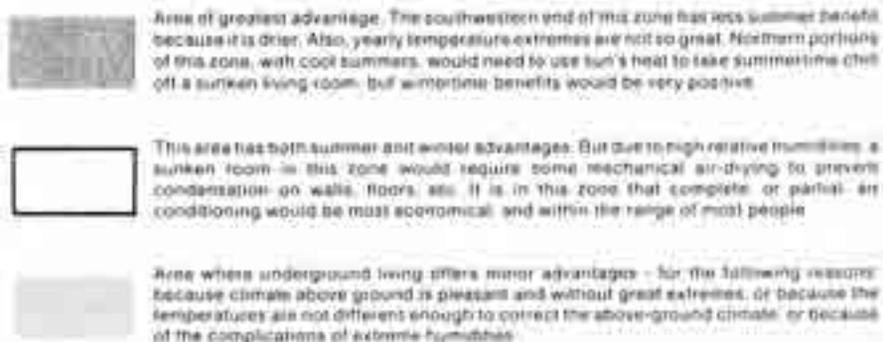


Le rafraîchissement géothermique exploite l'énorme masse thermique de la terre. La température du sol varie beaucoup moins par rapport à la température de l'air. De plus, à peu de profondeur il est possible de considérer la température du sol comme constante.

9. Exemple de la relation entre la profondeur et les températures annuelles du sol (Williams, et al.)

## Partie 01 - Chapitre 01 - Le rafraîchissement passif

La température du sol est influencée par sa conductivité thermique, l'hygrométrie et naturellement par la profondeur.



Dans des régions à climat tempéré la température du sol à environ 2/3 m de profondeur peut être une source de fraîcheur pendant l'été. Dans les régions à climat chaud la température du sol est souvent trop élevée pour être utilisée comme source de frigories (SANTAMOURIS, et al., 1996).

Cela est confirmé par la cartographie des régions où le rafraîchissement géothermique est utilisable, publié par J. COOK (COOK, 1989).

### 10. Cartographie des régions où le rafraîchissement géothermique est plus efficace (COOK, 1989)

J. COOK et M SANTAMOURIS citent aussi plusieurs études menées pour réduire la température du sol et rendre plus performant ce type de système.

Des essais ont été réalisés en protégeant le terrain du soleil ou en l'arrosant. Il s'est révélé que sur-arroser le sol des toitures végétalisées, pour rafraîchir par évaporation, n'apporte pas de bénéfice, au contraire, le risque est d'augmenter la conductivité thermique du terrain ce qui induit une élévation de la température.

Dans ce domaine, B. GIVONI a essayé de coupler des stratégies de protection solaire du sol et d'humidification avec de bons résultats. Dans les régions à climat sec on a réussi à faire baisser la température du sol d'environ 9C° (COOK, 1989).

Le rafraîchissement géothermique peut être employé, soit en réalisant le bâtiment directement au contact de la terre, rafraîchissement géothermique direct : les habitations sont hypogées ou semi-hypogées, soit de manière indirecte, en utilisant des échangeurs de calories entre le sol et l'air introduit dans le bâtiment.

Dans le premier cas la terre est utilisée comme écran de protection contre la chaleur et sa grande masse thermique contribue à garder stable la

température du bâtiment.

Construire un bâtiment hypogé comporte des difficultés, mais cela pourrait être une solution avantageuse dans certaines conditions climatiques. Selon M. SANTAMOURIS, ce type de construction est efficace dans les régions à climat chaud et sec, avec des hivers doux.

Il existe aussi la possibilité de réaliser des systèmes pour exploiter la température stable du sol, sans pour autant enterrer le bâtiment.

Les échangeurs de température entre le sol et le bâtiment peuvent être soit air/sol, soit eau/sol.

Les échangeurs air/sol consistent en des collecteurs enterrés, à travers lesquels on fait passer de l'air progressivement introduit dans l'immeuble.

Les systèmes les plus simples de rafraîchissement géothermique sont les puits provençaux ou puits canadiens. Ces systèmes peuvent avoir la fonction de pré-rafraîchissement et de préchauffage de l'air.

Les collecteurs sont enterrés à une profondeur d'environ 2,5 m. Le diamètre et la longueur des tubes dépendent des caractéristiques du bâtiment à rafraîchir, du climat du site et des caractéristiques du sol.

Il est possible de rafraîchir soit l'air extérieur, soit l'air interne, en réalisant un circuit fermé.

Les échangeurs eau/sol consistent en de petits tuyaux enterrés à travers lesquels on fait passer un liquide, le liquide rafraîchi est, à mesure, utilisé pour réduire la température dans l'immeuble, soit directement avec des planchers radiants, soit en rafraîchissant l'air à travers des systèmes de récupération des frigos.

L'une des grandes difficultés est de calculer la quantité de chaleur absorbable par la terre. Cela dépend de plusieurs facteurs : les conditions météo, l'ensoleillement, le traitement de la surface, le type de terrain... De plus, ces valeurs peuvent varier pendant l'année par rapport à l'humidité du sol.

Selon les études de P. HOLLMULLER, l'utilisation d'un puits canadien pour le préchauffage « *passé nécessairement par un amortissement de l'oscillation météo annuelle, soit par un système dimensionné pour du stockage saisonnier, le rafraîchissement estival peut se contenter d'un amortissement sur 24 heures à quelques jours* » (HOLLMULLER, et al., 2005). Ce qui permettrait de réaliser des installations peu coûteuses et simples. Dans le rapport de recherche cité nous pouvons voir que les échangeurs journaliers peuvent être réalisés avec une « *nappe de tubes superficiels/serrés* », tandis que pour les échangeurs annuels, il est préconisé de réaliser « *une géométrie en tubes profonds/écartés* ».

Pour finir, comme nous l'avons vu dans les expériences menées par M. GROSSO et P. HOLLMULLER, l'inertie thermique de la terre qui entoure l'échangeur n'est pas infinie, comme souvent le prétendent les logiciels de calcul, au contraire,

la terre se 'chauffe' et elle a besoin de temps pour retrouver sa température naturelle.

Ce comportement est difficile à modéliser et rend très compliquée l'évaluation des performances prévues des échangeurs sol/air.

### 1.4 Le rafraîchissement par ventilation

Le rafraîchissement par ventilation est le plus communément utilisé : le vecteur de transmission des frigories est l'air.

Quand l'air passe près d'un corps avec une température plus élevée, ce dernier cède une partie de ses calories, apportant du rafraîchissement.

De plus, le mouvement de l'air augmente l'évaporation du corps humain en améliorant la dissipation des calories en excès.

Nous pouvons, selon la distinction faite par SANTAMOURIS (SANTAMOURIS, et al., 1996), diviser la ventilation naturelle en ventilation de confort et en rafraîchissement naturel convectif.

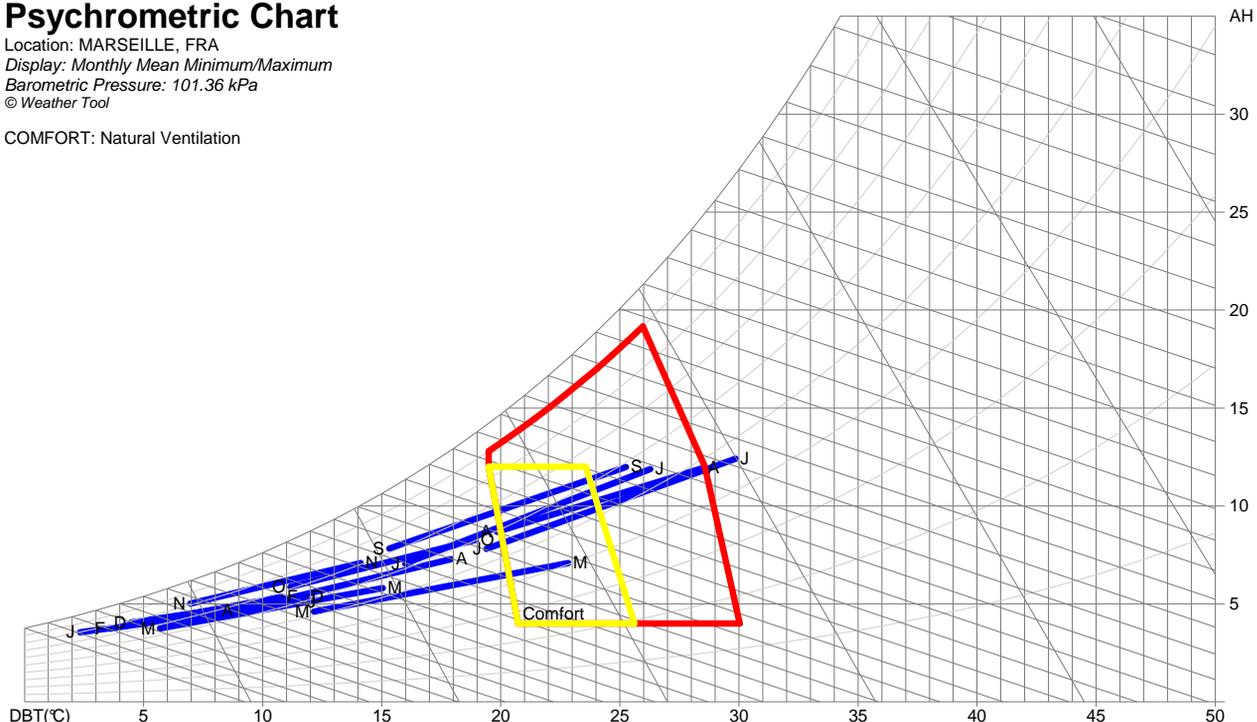
La ventilation de confort est principalement utile dans la journée et permet d'améliorer la sensation de confort des usagers, la vitesse de l'air ne doit pas être excessive pour ne pas les incommoder.

Comme nous pouvons le voir sur le graphe psychrométrique ci-dessous, ce type de rafraîchissement est particulièrement efficace en conditions d'humidité élevée.

#### Psychrometric Chart

Location: MARSEILLE, FRA  
Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
Barometric Pressure: 101.36 kPa  
© Weather Tool

COMFORT: Natural Ventilation



11. le rafraîchissement par ventilation naturelle, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)

Selon les prescriptions de SANTAMOURIS, dans de telles conditions

climatiques, les objectifs de l'architecte devraient être d'obtenir un flux d'air continu. Le flux d'air doit passer à travers les zones occupées, il doit atteindre des vitesses élevées et les matériaux de construction ne doivent pas être pourvus d'une grande inertie.

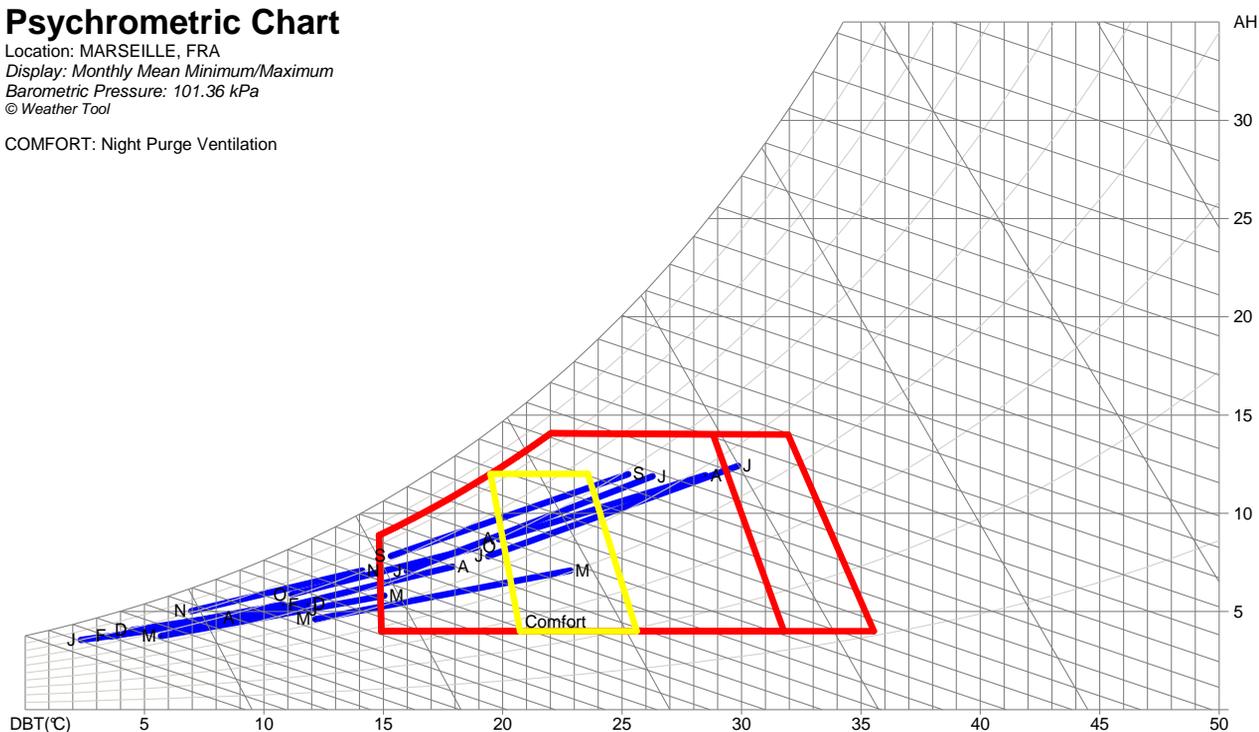
Le rafraîchissement convectif, par ventilation, prévoit d'utiliser de l'air à une température plus basse que la température intérieure du bâtiment, ce qui advient principalement la nuit.

Ce type de rafraîchissement est souvent lié au stockage des frigories à cause de la masse thermique.

### Psychrometric Chart

Location: MARSEILLE, FRA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

COMFORT: Night Purge Ventilation



12. le rafraîchissement par ventilation nocturne et exposition de la masse thermique, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)

Pour cela, nous parlons souvent de ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique.

La masse thermique de l'immeuble 'emmagasine' les frigories qui sont 'rendues' pendant les heures d'occupation.

La masse thermique peut se trouver à l'intérieur du bâtiment, de la structure, ou à l'extérieur. Dans le premier cas, la masse thermique absorbera directement les calories provenant de l'enveloppe ou produites à l'intérieur.

Dans le cas où la masse thermique se trouve à l'extérieur du bâtiment, elle pourrait être employée, soit pour rafraîchir l'air nécessaire à la ventilation, soit pour rafraîchir l'air interne à travers un circuit fermé.

La ventilation nocturne fait très souvent partie des systèmes employés pour rafraîchir les bâtiments car c'est un système des plus simples et économiques à mettre en place. Naturellement cette stratégie de ventilation est efficace dans les climats où l'écart de température entre le jour et le soir est important.

SANTAMOURIS donne aussi les facteurs qui influencent les performances du

rafraîchissement convectif :

- Le ratio de ventilation
- La surface de stockage
- La surface qui entre en contact avec le flux d'air
- La capacité thermique et la conductivité du matériel de stockage (SANTAMOURIS, et al., 1996).

### ***1.5 Le rafraîchissement par évaporation***

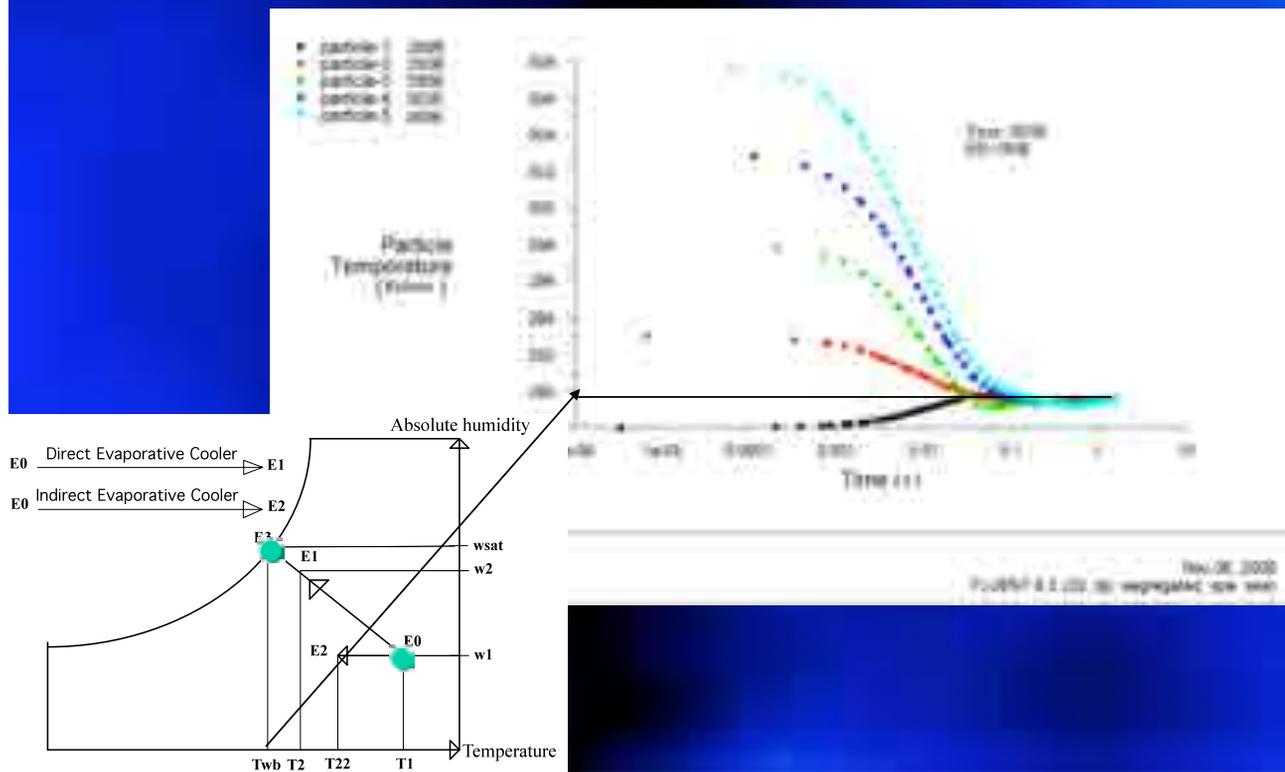
Les stratégies de rafraîchissement par évaporation sont employées par les concepteurs depuis longtemps. Les exemples de bâtiment rafraîchis de cette manière sont nombreux, tout au long de l'histoire de l'architecture, dans les zones à climat chaud et sec.



*13. Un exemple de rafraîchissement par évaporation en Iran (jw2zv, 2011)*

Le phénomène du rafraîchissement est dû au changement d'état de l'eau qui passe de l'état liquide à l'état gazeux. Ce processus conduit à une réduction de la température, comme nous pouvons le voir dans le graphe ci-dessous.

# Water drop temperature as a function of the initial temperature



14. Le comportement de la goutte d'eau par rapport à la température extérieure. (MOLINA, 2009)

Le changement d'état de l'eau a un impact sur l'humidité relative de l'environnement et il est plus efficace et rapide dans les environnements très secs.

Le potentiel de rafraîchissement par évaporation est très élevé, mais il est utilisable seulement dans des conditions de faible humidité relative.

Ces conditions sont souvent liées à des régions à faibles réserves en eau, ce qui rend difficile son utilisation.

Même dans le cas du rafraîchissement par évaporation, nous pouvons parler d'évaporatif direct et d'évaporatif indirect.

Le rafraîchissement évaporatif direct consiste à faire évaporer l'eau directement dans l'espace à rafraîchir.

Usuellement l'eau est brumisée grâce à des gicleurs dans une tour, ou en partie haute d'un espace, les gouttelettes d'eau s'évaporent très rapidement sans atteindre les usagers.

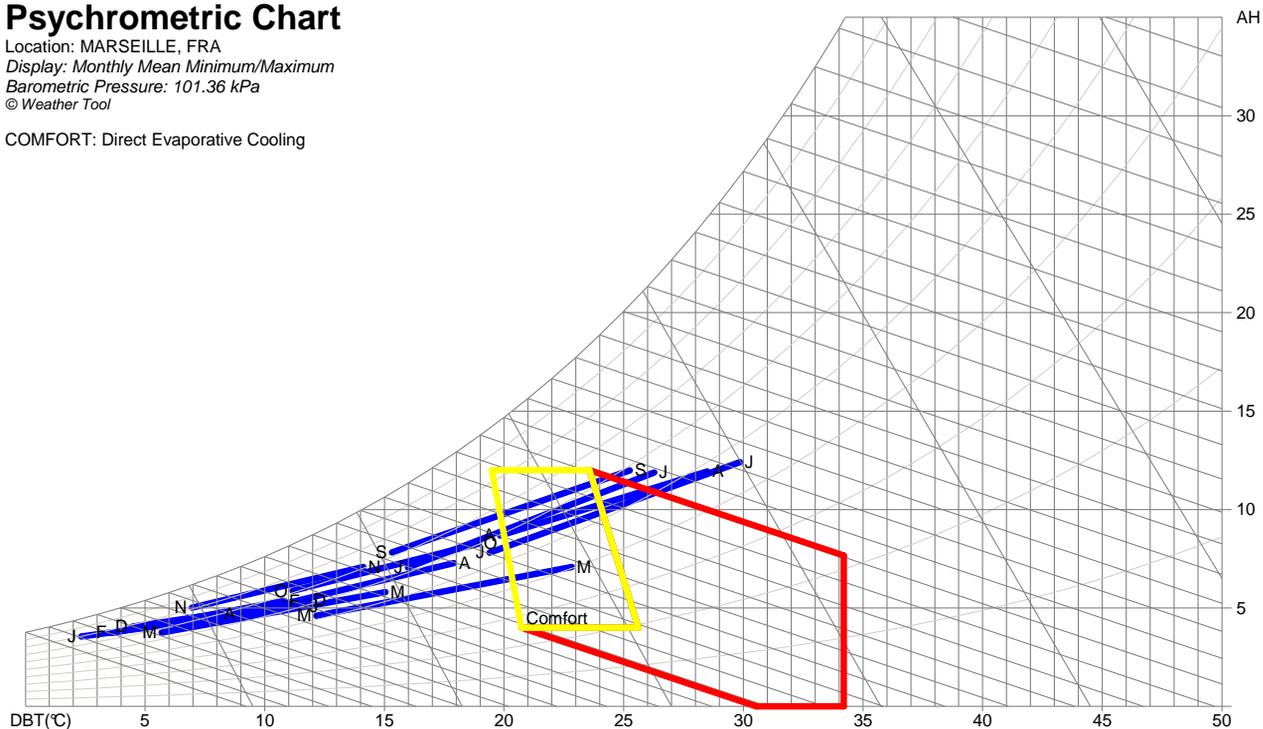
La quantité d'eau qui s'évapore est liée à la dimension des gouttelettes et à la distance du sol.

L'évaporation directe a été employée pour rafraîchir, non seulement des bâtiments, mais aussi des espaces extérieurs.

## Psychrometric Chart

Location: MARSEILLE, FRA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

COMFORT: Direct Evaporative Cooling



15. le rafraîchissement par évaporation directe, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)

Il existe aussi d'autres systèmes aptes à exploiter l'évaporation directe de l'eau. Il est possible d'utiliser des panneaux de cellulose ou d'autres matériaux, mouillés, un flux d'air passe à travers ces surfaces mouillées et se chargea en humidité. L'air frais est par la suite ramené vers les usagers.



L'efficacité de ces systèmes dépend de la quantité d'air qui passe par les surfaces humides et de la surface exposée.

Aujourd'hui plusieurs études sont menées, en particulier sur des panneaux en céramique microporeuse pour trouver des solutions techniques performantes et durables.

Les systèmes par évaporation directe englobent une variation de l'humidité relative de l'espace à rafraîchir, ce qui doit être contrôlé de manière très attentive. De plus, il faut vérifier la qualité de l'eau utilisée pour éviter toute contamination possible par des bactéries comme la légionellose ou autres pathogènes.

16. Photo de la halle centrale gare de Marseille rafraîchie par évaporation (photos, 2011)

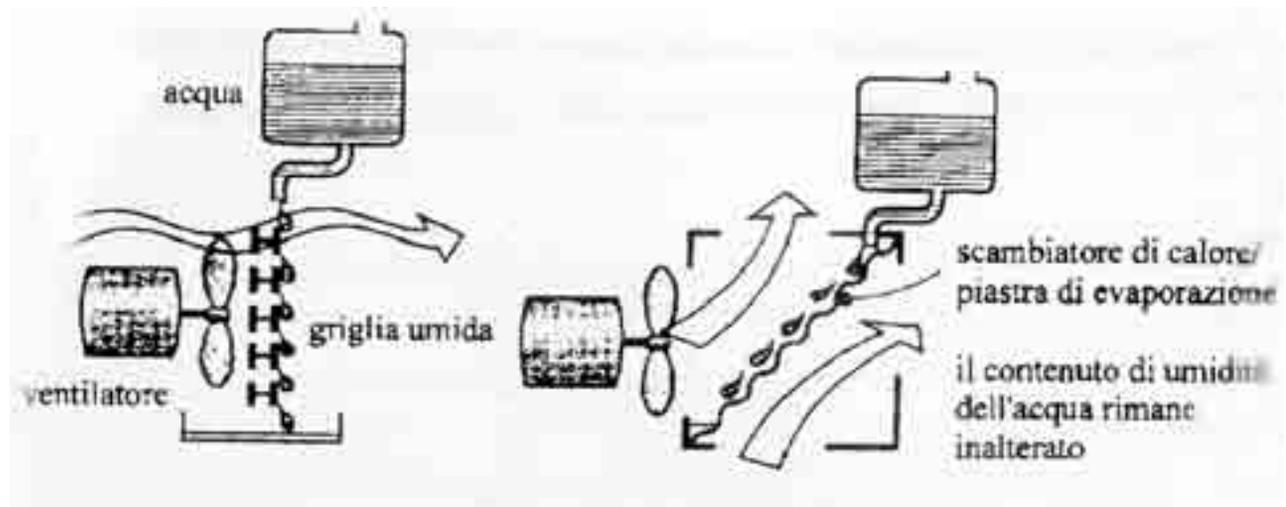
17.



18. Photo des tours évaporatives de l'avenue de l'Europe à Séville (ba, 2011)

Les technologies qui sont présentes sur le marché aujourd'hui, permettent de réaliser des systèmes de rafraîchissement efficaces et fiables, mais il est fondamental que la mise en œuvre soit parfaite.

Le rafraîchissement évaporatif indirect consiste à rafraîchir une surface par évaporation, la toiture par exemple, et à mettre en contact cette surface avec l'espace à rafraîchir.



19. Le rafraîchissement passif direct (à gauche) et indirect (à droite) (GROSSO, 2008)

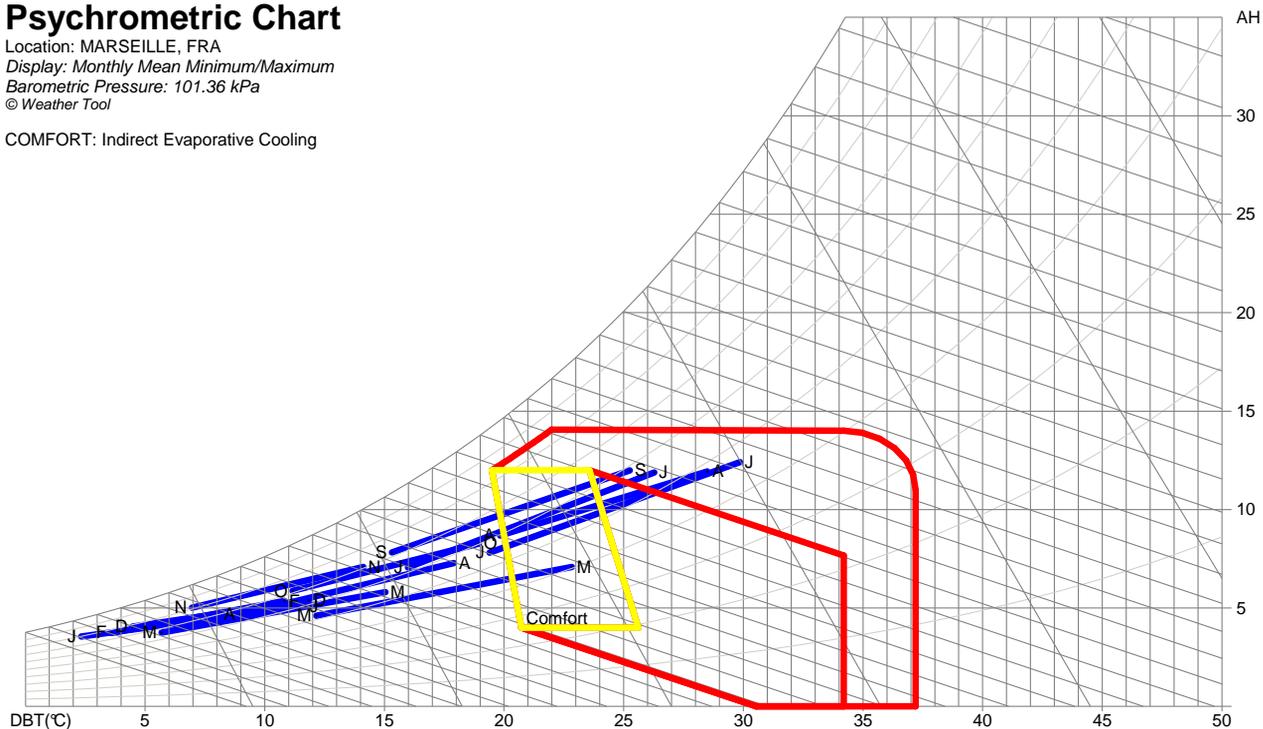
Ce système permet de ne pas influencer l'hygrométrie de l'espace rafraîchi.

Il est aussi possible de rafraîchir une grande masse thermique pendant la nuit en couplant ce système avec le rafraîchissement par ventilation nocturne, et d'exploiter les frigories accumulées pour rafraîchir le bâtiment pendant la journée.

### Psychrometric Chart

Location: MARSEILLE, FRA  
Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
Barometric Pressure: 101.36 kPa  
© Weather Tool

COMFORT: Indirect Evaporative Cooling



20. le rafraîchissement par évaporation indirecte, exemple de Marseille (U.S. Department of Energy, 2011)

## 1.6 Le rafraîchissement radiatif

Le rafraîchissement radiatif se base sur la propriété des corps à transférer par radiation de la chaleur vers des objets de température inférieure. Comme le soleil dans la journée rayonne sur la terre en la réchauffant, de la même manière, la terre pendant la nuit rend une partie de la chaleur accumulée.

La capacité de la terre à rendre une partie de la chaleur emmagasinée dépend des conditions atmosphériques, et l'humidité, les nuages et la poussière atmosphérique réduisent le transfert de chaleur.

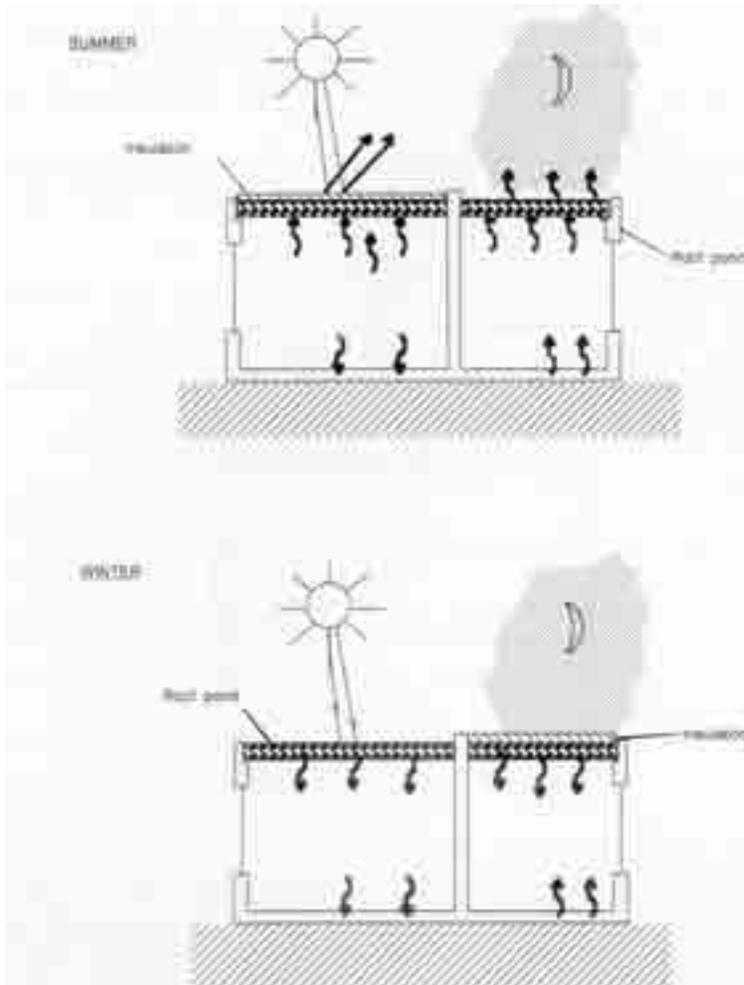
A ce sujet, nous pouvons souligner qu'il est difficile de trouver des logiciels utilisables simplement par les concepteurs qui estiment le potentiel de rafraîchissement radiatif. Nous avons utilisé le logiciel Ecotect pour estimer les potentiels de rafraîchissement des différents systèmes, mais ce logiciel n'évalue pas le rafraîchissement radiatif.

Nous avons rencontré le même problème en ce qui concerne le rafraîchissement géothermique, mais il est vrai que dans ce cas le potentiel de rafraîchissement dépend de la nature du sol.

Pour estimer les potentiels de rafraîchissement par radiation les paramètres principaux sont connus : la nuageosité nocturne et le taux d'humidité relative.

Les surfaces les plus influencées par les radiations thermiques de la voute céleste sont les surfaces horizontales, comme la toiture du bâtiment.

M. SANTAMOURIS classe le rafraîchissement radiatif en deux 'familles' : le rafraîchissement radiatif directe et indirect.



Le rafraîchissement radiatif direct consiste à exposer la toiture du bâtiment à la voûte céleste nocturne. Pour éviter les surchauffes pendant la journée, la toiture devra être protégée par des panneaux isolants mobiles qui seront déplacés pendant la nuit. La toiture aurait fonction de stockage de la fraîcheur qui serait rendue pendant la journée.

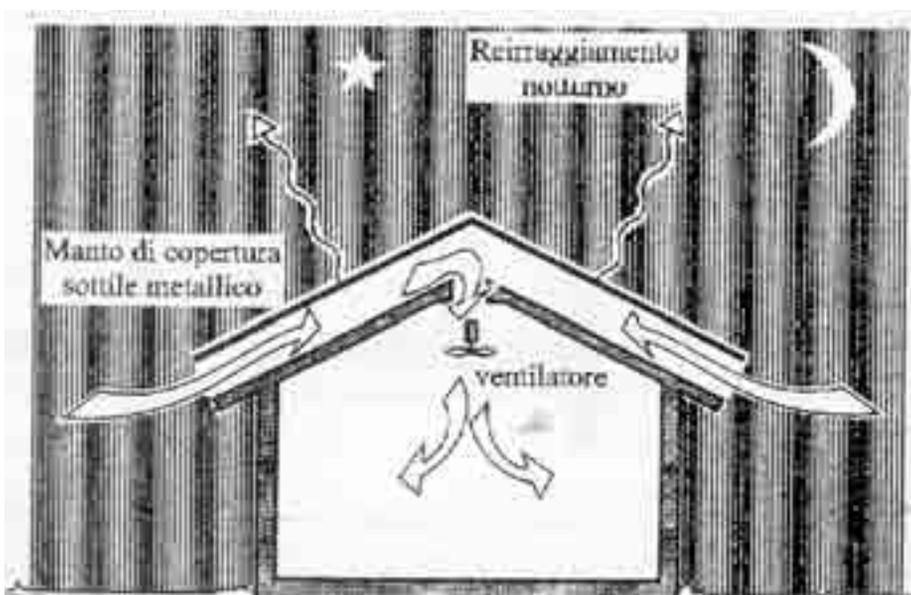
Ce processus pourrait être inversé pendant l'hiver, en exposant la toiture au soleil pendant la journée et inversement en la protégeant pendant la nuit.

Il est facile d'imaginer les difficultés techniques dues à un tel système.

A ce jour, à notre connaissance, il existe seulement peu de bâtiments expérimentaux rafraîchis de cette manière.

21. Le rafraîchissement radiatif direct (SANTAMOURIS, et al., 1996)

Le rafraîchissement radiatif indirect consiste à exposer un liquide à la voûte céleste, qui serait par la suite stocké dans des réservoirs et utilisé pour rafraîchir les espaces occupés pendant la journée.



Ce type de système est techniquement plus simple à réaliser et il existe des bâtiments rafraîchis avec succès de cette manière.

22. Le rafraîchissement radiatif indirect (GROSSO, 2008)





# Partie 01 - Chapitre 02

## - Le rafraîchissement dans l'architecture vernaculaire et dans la nature

Dans le chapitre précédent, nous avons passé en revue les principaux systèmes que le concepteur peut mettre en place pour rafraîchir un bâtiment passivement. Nous avons voulu aussi souligner les causes les plus importantes de surchauffe et les méthodes à mettre en place pour s'en protéger. Ce chapitre est volontairement très synthétique et il se veut être une base pour mieux comprendre les prochains chapitres. Nous avons écrit ce chapitre, qui fait partie de l'état de l'art de notre thèse, en nous appuyant sur des recherches très connues sur le sujet. Le prochain chapitre va nous permettre d'appréhender les systèmes de rafraîchissement dans l'architecture vernaculaire.



## 2. Le rafraîchissement dans l'architecture vernaculaire et dans la nature

Comme on l'a vu dans l'introduction, historiquement, la température de confort d'hiver était beaucoup plus basse qu'aujourd'hui. Le problème majeur était la chaleur estivale. En cas de grand froid, il était possible d'allumer un feu, en complément dans les ménages de l'activité physique était importante, vu l'absence de l'électroménager contemporain. Inversement, la seule défense contre la chaleur était de réduire l'activité physique. C'est pour ce motif que l'architecture vernaculaire, dans les régions à climat chaud, était conçue pour réduire au maximum les périodes d'inconfort estivales.

On trouve des systèmes de rafraîchissement passif dans les différentes cultures constructives traditionnelles, mais aussi dans le monde animal. Ces systèmes sont toujours liés au site et peuvent aller de la simple protection contre la chaleur extérieure jusqu'aux systèmes, très compliqués et ingénieux, de ventilation et d'humidification de l'air<sup>1</sup>.

Pour la rédaction de ce chapitre, qui fait partie de notre état de l'art, nous avons décidé de prendre les définitions des titres utilisés par M. GROSSO dans son ouvrage (GROSSO, 2008).

### 1.1 La termitière

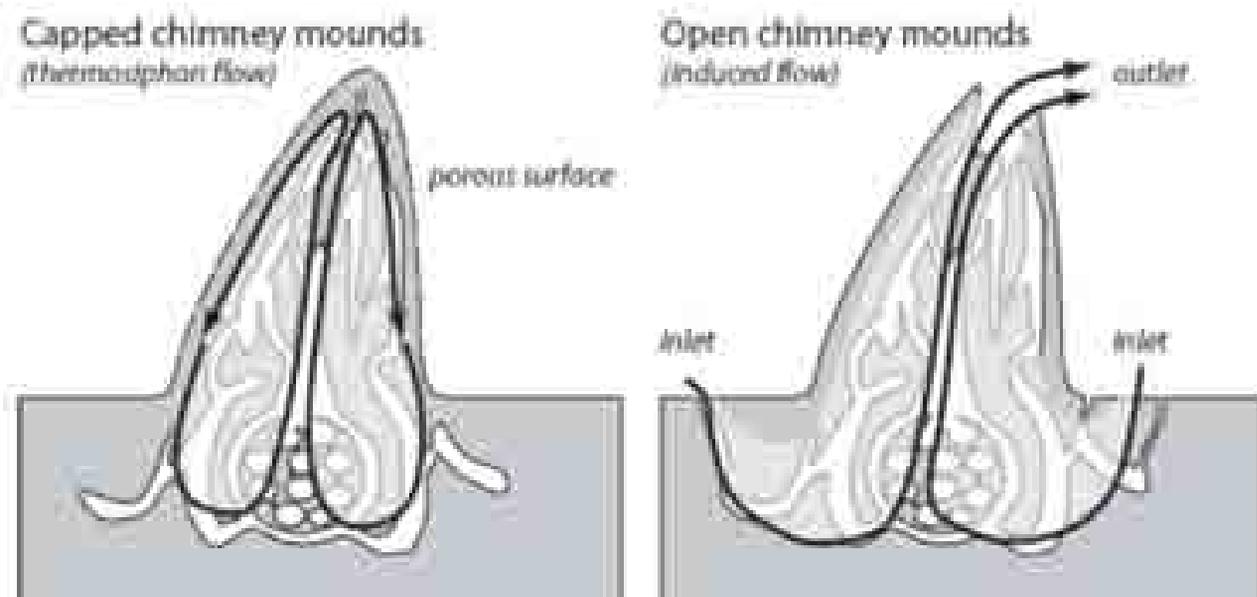


1. *Une termitière à champignon, pour améliorer la protection solaire et une termitière géante (DUMOUSSEAU, 2011)*

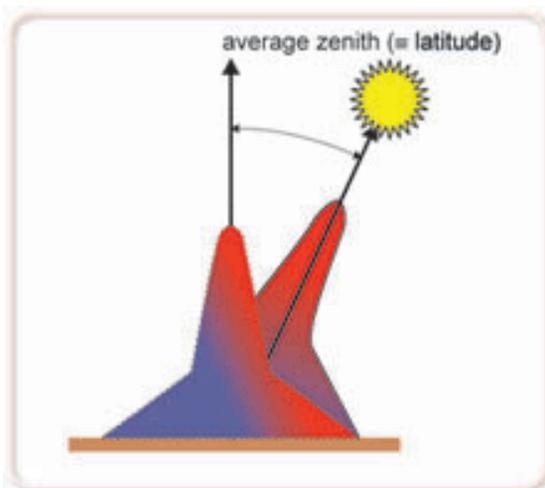
Une termitière est une construction en terre et sable réalisée par les termites ouvrières, qui utilisent une sécrétion pour cimenter le sable. Les termitières sont diffuses dans les zones arides d'Australie et d'Afrique. Les termites se

<sup>1</sup> Pour plus d'informations nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en bibliographie : (SUPIC, 2008) ; (IZARD, 2010) ; (IZARD, 1993) ; (FATHY, 1986) ; (IZARD, et al., 1979) ; (ALEXANDROFF, 1982)

nourrissent d'un champignon qui peut pousser dans le cœur de la termitière seulement à des conditions de température stables, environ 30°C. Pour ce motif les termites ont adopté des techniques pour maintenir la température à un niveau stable.



2. La termitière avec les cheminées de ventilation fermées ou ouvertes (Bezemer, 2009 p. 4)



3. La géométrie de la termitière selon à la latitude (Turner, 2001)

La partie supérieure de la termitière, la plus exposée au rayonnement, est massive et traversée seulement par des conduits pour l'extraction de l'air. Cela garantit une grande masse thermique et réduit la fluctuation de la température. Les parois de la termitière sont très verticales, pour réduire l'incidence des rayons du soleil et souvent la partie terminale des termitières est en forme de champignon, pour protéger les parois verticales du rayonnement (GROSSO, 2008 p. 129).

À l'intérieur de la termitière se trouve un grand nombre de conduits d'aération verticaux qui forment des cheminées de tirage de l'air avec des ouvertures réglables qui permettent, de ventiler la termitière entière. L'ouverture et la fermeture des conduits d'aération selon les conditions climatiques extérieures permettent de rafraîchir la cellule centrale de la termitière. En condition de froid, les conduits sont fermés et les termites peuvent maintenir la température constante augmentant leur métabolisme. La termitière est un exemple de *construction*, où des stratégies de rafraîchissement passif garantissent le maintien d'une température stable.

Des architectes se sont inspirés des systèmes de contrôle thermique des termites et l'un de ces bâtiments directement inspirés par les termitières, est l'Eastgate Center à Harare, Zimbabwe. Nous allons analyser ce bâtiment en détail dans la deuxième partie de cette recherche<sup>2</sup>.

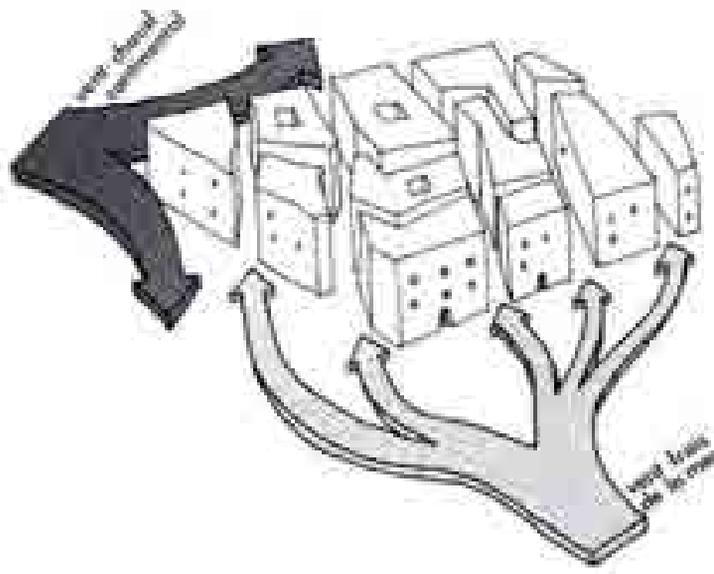
2 Pour plus d'informations nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en



4. *Le bâtiment Eastgate et une termitière en parallèle (Doan, 2007)*

## 1.2 *Les stratégies de rafraîchissement urbaines.*

*L'architecture des villes, le choix de l'emplacement, l'orientation des voies et la forme des croisements, sont souvent influencés par le climat du site.*



5. *Le modèle de géométrie des voies d'une ville en région côtière à climat chaud et aride (IZARD, et al., 1979 p. 104)*

bibliographie : (Ball, 2010) ; (Bezemer, 2009) ; (Turner, 2001) ; (The Biomimicry Institute, 2009) ; (McKeag, 2009) ; (Doan, 2007).

Les vents dominants et l'ensoleillement déterminent souvent les choix des constructeurs, ou des urbanistes ante litteram. La présence des arcades dans les villes à climat pluvieux ou les axes principaux orientés parallèlement ou perpendiculairement aux vents dominants sont un exemple de stratégie pour améliorer le confort des habitants. À ce sujet on citera deux recherches, une sur la ville de Nice en France et une sur la ville de Gafsa en Tunisie.

### 1.2.1 L'exemple de Nice

L'origine du centre historique de la ville de Nice date du V<sup>ème</sup> siècle av. J-C. A cette époque le problème principal pour les habitants, dans les zones à climat méditerranéen, était de garantir leur confort d'été. L'activité physique était majeure, par rapport à nos jours et les villes étaient conçues en conséquence. Des recherches de E. RAUZIER et X. BERGER ont démontré comment la position des immeubles, la hauteur et l'orientation des rues contribue à créer un microclimat estival favorable.



6. Plan de la vieille ville de Nice (RAUZIER, et al., 1991 p. 140)

La zone centrale de la ville a une forme triangulaire et elle est délimitée d'une part par la mer, d'autre part par la colline dénommée 'Le Château' et par le torrent Paillon. Le long de la côte on trouve une double rangée d'immeubles, aptes à casser le Mistral, quand ce vent devient trop violent.

Les voies est-ouest sont plus larges que les voies nord-sud, l'effet cheminée causé par la colline massive (Le Château) et la section des ruelles augmentent la vitesse de l'air par l'effet venturi. De plus, les immeubles très hauts, environ 20-25m, et les débords de toitures permettent une très faible pénétration de la radiation directe du soleil. L'usage courant de laver les rues vers midi, après le marché, rafraîchit par évaporation les rues pendant les heures les plus chaudes de la journée. Les chercheurs ont réalisé des modèles mathématiques, ainsi que des mesures sur place pour démontrer l'effective capacité de rafraîchissement due à la forme urbaine du centre de Nice.

« Mais il y a plus encore : le bien-être déclaré par les habitants résulte d'une

*légère fraîcheur, constante dans la ville, d'une ventilation régulière d'une rue à l'autre de l'éclairage suffisant sans ensoleillement direct... » (BERGER, 1998)*

L'architecture traditionnelle des immeubles du centre ville contribue à exploiter le microclimat qui s'installe dans les ruelles de la ville.



7. *Clairoir pour la ventilation des parties intérieures de l'immeuble (TRIMBUR, 2008)*

Les ouvertures à *clairoir* sur les portes d'entrées, les patios internes et les ouvertures en partie haute de la cage d'escaliers créent un effet cheminée à l'intérieur des immeubles, favorisant un balisage avec l'air frais et améliorant le confort d'été des usagers.



8. *Circulation de l'air par cheminée thermique à Nice (TRIMBUR, 2008)*

Les chercheurs ont démontré que dans la vieille ville les amplitudes journalières sont inférieures de trois degrés par rapport aux amplitudes dans la ville moderne. Cet effet se retrouve partout dès que les voies sont de type *canyon*. Cette recherche démontre comment le savoir faire de l'architecture vernaculaire peut s'appliquer aussi aux formes urbaines et comment les constructeurs dans le passé avaient une connaissance pointue des phénomènes thermiques aptes à améliorer le confort des usagers. (RAUZIER, et al., 1991)

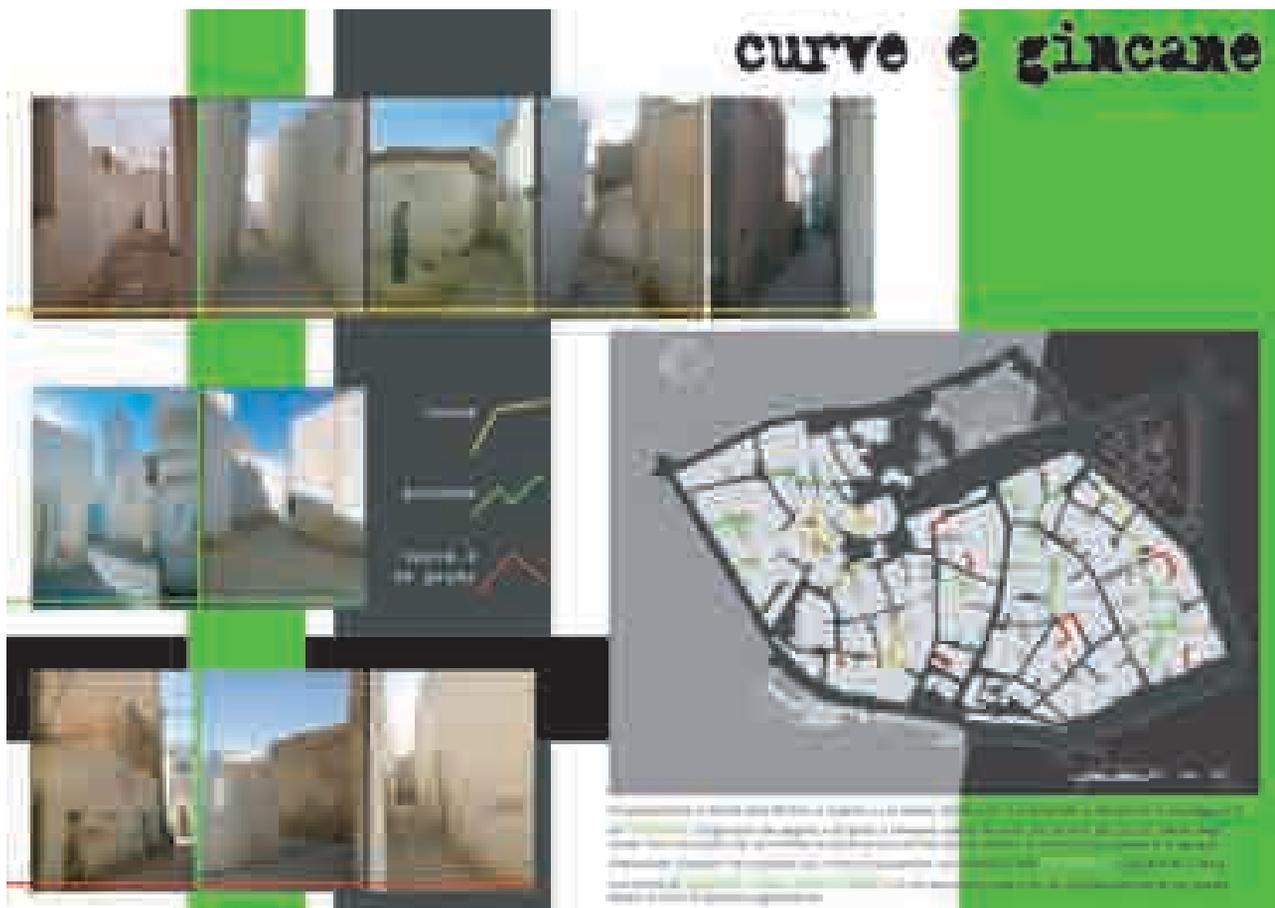
### 1.2.2 L'exemple de Gafsa

La ville de Gafsa est localisée au centre de la Tunisie, au nord du Chott el Jerid. C'est une oasis dans un désert de roches. C'est une ville préromaine, devenue ensuite une ville importante pour l'empire romain, grâce à son oasis et sa position stratégique. La médina a la forme d'une amande, avec l'axe longitudinal nord-sud. Pendant une recherche menée en 2001/2002 on a remarqué que la disposition des rues et la conformation particulière des croisements avaient une morphologie répétitive (Cadoni, et al., 2003). Les rues sur l'axe nord-sud, ne sont pas *continues*, les croisements se présentent décalés.



9. Plan de la ville de Gafsa et morphologie des carrefours (Cadoni, et al., 2003)

Au contraire les rues sur l'axe est-ouest apparaissent plus larges et continues. Suite à des entrevues avec des habitants et des analyses sur le site, il a été fait l'hypothèse que cette disposition permet de réduire la pénétration du vent chaud du sud, qui amène les tempêtes de sable, très fréquentes dans la région.



10. Plan de la ville de Gafsa et morphologie des rues (Cadoni, et al., 2003)

Pour valider cette hypothèse, il a été réalisé un modèle tridimensionnel simplifié de la médina. Toutes les habitations ont été modélisées, le terrain a été considéré comme plat, vu les petites différences de hauteur. Ensuite avec le logiciel 3DSMax il a été fait une simulation dynamique sur le comportement du vent. Il est nécessaire de préciser que 3DSMax n'est pas un logiciel de simulation de fluides, et les résultats ne sont donc pas *probants*. Il apparaît quand même sur les images ci-dessous que la pénétration du vent du sud est réduite par la morphologie des rues et des croisements, tandis que le vent d'ouest, qui vient de la mer et qui est plus frais et humide, peut facilement pénétrer les rues et améliorer le confort.

Cette étude a permis de comprendre mieux la morphologie de la médina de Gafsa. Il est évident que la morphologie des rues et des croisements a la fonction de favoriser le rafraîchissement et de protéger des désagréments apportés par les vents sahariens.



11. Plan de la ville de Gafsa et simulation informatique de pénétration du vent d'ouest (Cadoni, et al., 2003)



12. Plan de la ville de Gafsa et simulation informatique de pénétration du vent de sud (Cadoni, et al., 2003)

Cette recherche confirme que dans l'architecture vernaculaire les problèmes liés au confort thermique en climat chaud étaient abordés et des solutions pour améliorer le confort thermique étaient adoptées à tous les niveaux, de la morphologie de la ville à la disposition de la simple pièce à vivre.

### **1.3 Les systèmes de contrôle solaire**

Dans toutes traditions constructives, dans le passé, comme aujourd'hui la première règle pour limiter l'inconfort thermique en condition de grande

chaleur est de limiter au maximum les apports thermiques, internes et externes.



Le premier apport thermique externe est naturellement la radiation solaire directe. La première préoccupation des constructeurs, en climat chaud, a toujours été donc de limiter l'apport thermique solaire. L'orientation et le choix de l'emplacement, la présence de la végétation et la taille des fenêtres étaient des facteurs fondamentaux de l'architecture vernaculaire. Tous ces facteurs étaient adaptés au site.

*13. Volets « niçois » avec clapet de prise d'air (TRIMBUR, 2008)*



*14. Maisons à Nias sur le lac Toba en Indonésie (LAUBER, 2005 p. 58)*



Dans un climat chaud et aride par exemple, les fenêtres seront de taille réduite. Dans un climat méditerranéen, les fenêtres devront être protégées du rayonnement direct en été, mais devront garantir un bon apport solaire en hiver. Dans des climats chauds et humides, les ouvertures devront capter la moindre brise pour permettre le rafraîchissement, tout en restant protégées du rayonnement direct.

*15. Maisons Dogon au Mali (LAUBER, 2005 p. 8)*

Selon les conditions climatiques, l'objectif pouvait être de limiter l'apport solaire, mais de garantir une ventilation continue, jour et nuit, ou de limiter la ventilation journalière, tout en pouvant exploiter la ventilation nocturne. Dans les climats chauds et humides, la nécessité d'une ventilation continue

impose aux constructeurs de réaliser des grands débords de toit, pour protéger l'espace habité du rayonnement direct. Cela est aussi favorable lors de la position généralement zénithale du soleil.



*16. Moucharabiehs à Carthage en Tunisie (IZARD, et al., 1979 p. 102)*

Dans des climats chauds et arides, la nécessité de réduire le rayonnement direct, mais aussi le rayonnement diffus, a imposé aux constructeurs de réaliser des petites ouvertures, protégées par des écrans qui réduisent l'apport solaire et permettent de ventiler les pièces.

Ces écrans, comme les moucharabiehs, permettent aussi de ventiler les espaces pendant la nuit, tout en garantissant la sécurité de l'habitation<sup>3</sup>.

### 1.3.1 Les Moucharabiehs

Le mot Moucharabieh historiquement désignait des balcons fermés par des structures en caillebotis de bois, aptes à contrôler la radiation solaire, la ventilation et à garantir l'intimité.



De nos jours, toutes les ouvertures fermées avec des caillebotis de bois, au dessin plus or moins géométrique, sont appelées Moucharabieh. Ces dispositifs semblent avoir été importés par les populations turques, qui venaient des régions chaudes et humides où le confort nécessitait de grandes ouvertures. Ces ouvertures vers l'extérieur n'auraient pas été adaptées aux attentes de la culture et de la religion musulmane, l'intimité de la maison et en particulier de la femme (GROSSO, 2008 pp. 137-141).

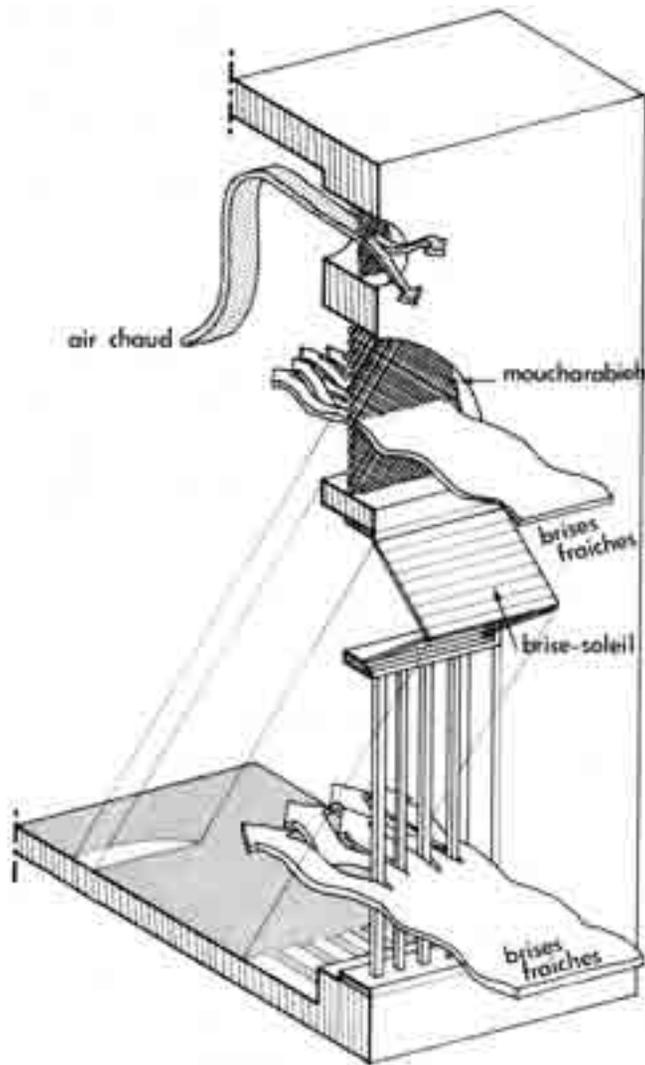
17. *Moucharabieh de la maison Zeinab Khatum, Le Caire (GROSSO, 2008 p. 139)*

Les Moucharabiehs sont des vrais systèmes de rafraîchissement qui résolvent plusieurs problèmes en un seul dispositif.



18. *Moucharabiehs à Carthage en Tunisie (IZARD, et al., 1979 p. 102)*

3 Pour plus d'informations nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en bibliographie : (SUPIC, 2008) ; (IZARD, 2010) ; (IZARD, 1993) ; (FATHY, 1986) ; (IZARD, et al., 1979) ; (GROSSO, 2008) ; (LAUBER, 2005).



Le mot Moucharabieh signifie boire, en effet ces dispositifs étaient placés dans la pièce où les habitants se retrouvaient pour boire au frais. Dans le balcon étaient déposées des jarres remplies d'eau pour réduire la température par effet d'évaporation (IZARD, et al., 1979 pp. 102-104). La distance entre les caillebotis de bois des Moucharabiehs dépend de l'exposition et de la hauteur. Plus la fenêtre est haute, moins les nécessités de contrôle du regard sont nécessaires\*. Ces grillages en bois avaient aussi la fonction de permettre la ventilation nocturne. Le bois pendant la nuit s'humidifiait et pendant la journée l'évaporation de l'eau améliorait les performances des Moucharabiehs. Ceux-ci étaient souvent surmontés par une petite ouverture, qui permettait l'extraction de l'air chaud (FATHY, 1986).

19. Schéma de comportement d'une maison iranienne avec les moucharabiehs (IZARD, et al., 1979 p. 102)

### 1.4 Les systèmes géothermiques : les habitations hypogées et les systèmes de ventilation hypogée.

La première maison de l'homme, dans l'imaginaire commun, est la grotte, car les caractéristiques thermiques dans cette cavité rocheuse sont assez favorables. La grotte constitue un refuge pendant les intempéries et grâce à l'énorme masse thermique les variations de température annuelles sont très faibles. Dans certaines conditions climatiques extrêmes, les habitations troglodytiques ont été réalisées pour pouvoir exploiter la masse thermique du terrain. Cette solution simple permet une utilisation directe des caractéristiques thermiques du terrain. Les motifs qui ont poussé les populations de certaines régions à réaliser des habitations hypogées sont différents et peuvent être climatiques ou sociaux. Dans d'autres cas, qu'on peut définir comme plus complexes, l'air transite dans des cavités souterraines et est par la suite dirigé dans la maison, pour pouvoir rafraîchir l'espace habité.

### 1.4.1 L'habitat troglodytique

Il Existe dans le bassin de la Méditerranée plusieurs exemples d'habitat troglodytique, en Tunisie, Cappadoce, Italie du Sud... Nous pouvons diviser les habitations troglodytiques en deux sous catégories : les habitations hypogées et les habitations semi-hypogées<sup>4</sup>.



20. Photos villes souterraines en Cappadoce (CADONI, 2007)

#### 1.4.1.1 Les habitations hypogées

Ce type d'habitation est caractérisé par le fait d'être complètement réalisé sous le terrain, comme à Matmata en Tunisie ou l'habitation cave en Chine. Les motifs qui ont poussé les différentes populations à réaliser ce type d'habitat peuvent aller de la simple nécessité de se défendre contre des envahisseurs, comme en Cappadoce, à la réponse à des climats extrêmes, avec de grands froids ou de fortes chaleurs. Les habitations en question ont des caractéristiques thermiques similaires à celles d'une grotte, donc les variations de température journalières et annuelles sont très faibles, par rapport aux variations extérieures.



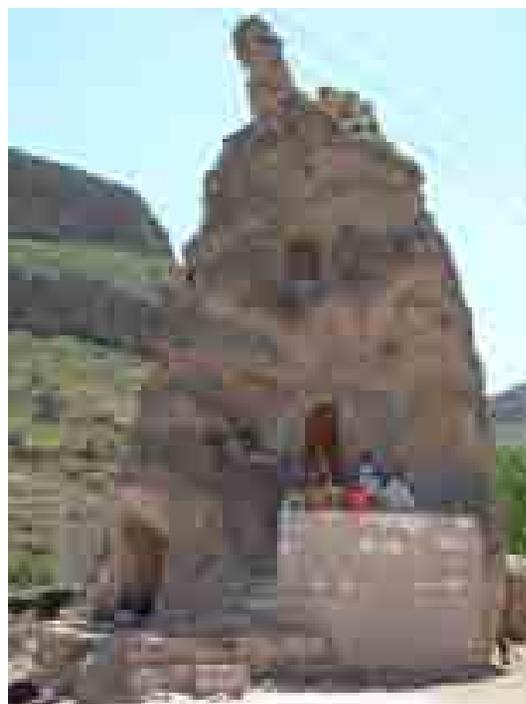
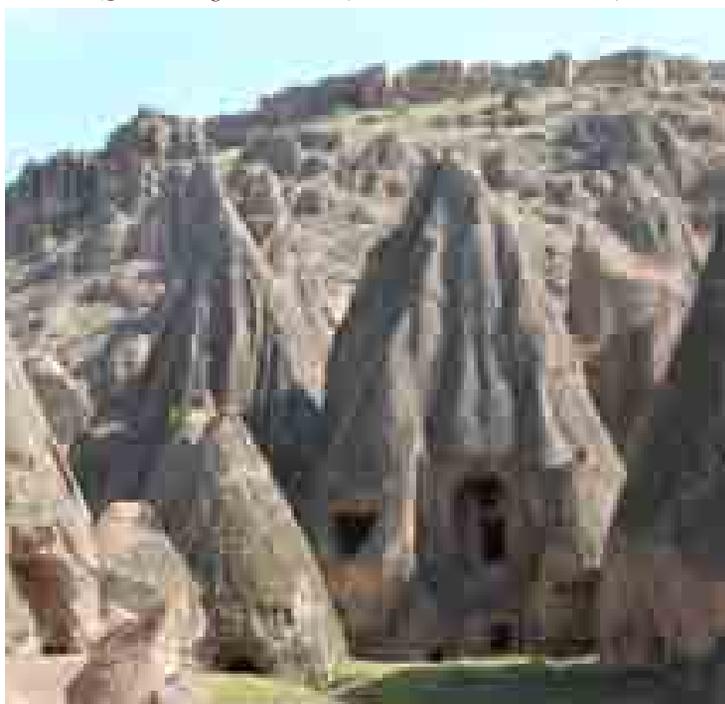
21. Photos Matmata en Tunisie (CADONI, 2007)

4 Pour plus d'informations et d'exemples nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en bibliographie : (SANDOVAL, 2006) ; (BERTHOLON, et al., 2005) ; (AHRENS, 1981) ; (CHABERT, et al., 1980) ; (GROSSO, 2008)

Les habitations du plateau du Loess sont réalisées dans un terrain facile à travailler. Une cour de forme carrée donne accès aux chambres jusqu'à 9 mètres de profondeur, l'accès se fait par des escaliers, les pièces sont disposées autour de la cour. Les habitations ainsi réalisées permettent de créer un habitat qui s'adapte bien aux conditions climatiques et en plus permet d'économiser des espaces pour l'agriculture, les champs étant directement sur les chambres, sans oublier que le coût de construction d'une maison troglodytique « équivaut à la moitié, voire un cinquième de celui des maisons traditionnelles en brique et bois dans la région même » (CHANG, et al., 1988 pp. 10-32).



22. Les habitations troglodytiques du village de Xia Nin (LOUBES, et al., 2003) et le village de Quianlingen Chine (CHANG, et al., 1988)



23. Photos habitat troglodytique en Cappadoce (CADONI, 2007)

Le même type d'habitations, à Matmata, dans le sud de la Tunisie, permet aux populations d'habiter des régions avec des températures extrêmes, jusqu'à 50°C, et pauvres en matières premières pour la construction, arbres ou roches. Il faut aussi citer les habitations et les villes troglodytiques de la Cappadoce. Ces habitations en partie avaient été créées pour des motifs de défense, mais certaines sont encore utilisées aujourd'hui<sup>5</sup> (GROSSO, 2008 p. 160).

#### 1.4.1.2 Les habitations semi-hypogées.



24. Panorama de Sassi de Matera (CADONI, 2007)

Les habitations semi-hypogées sont caractérisées par des parties de l'habitation troglodytique et des parties construites à l'extérieur. Ces types d'habitation exploitent la masse thermique du terrain, tout en réalisant de vrais espaces à l'extérieur pour un confort majeur. En Italie l'exemple plus connu est le Sassi de Matera.

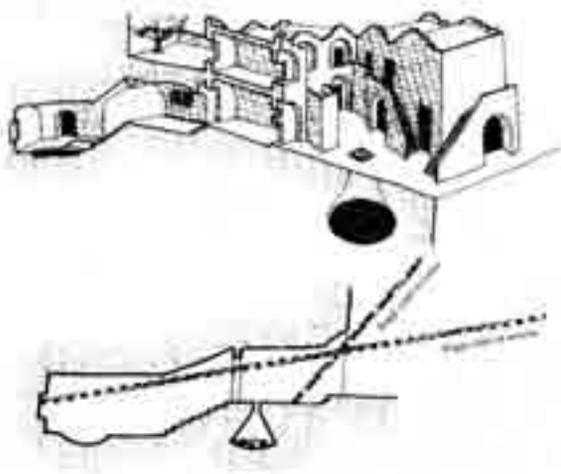
Les Sassi sont en un premier temps réalisées hypogées, puis, avec le même matériel excavé pour la réalisation de nouveaux espaces et citernes hypogées,



25. Les Sassi de Matera (CADONI, 2007)

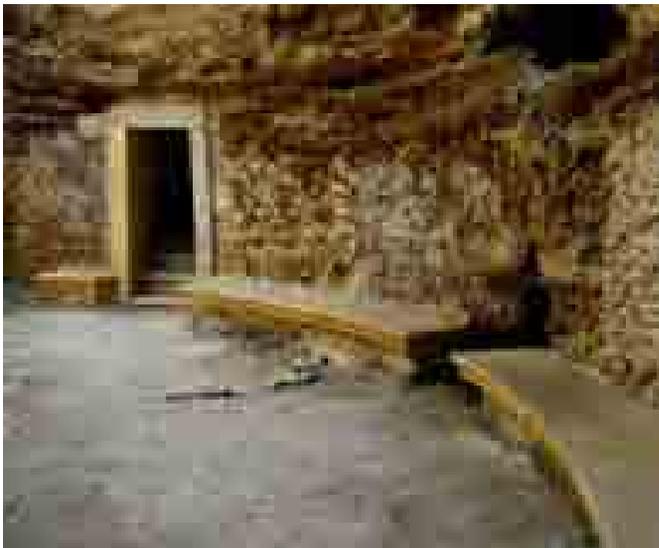
des constructions sont réalisées à l'extérieur. Les excavations des nouveaux espaces sont toujours dirigées vers le bas, selon l'inclinaison hivernale des rayons de soleil, pour permettre au soleil d'illuminer et chauffer, en hiver, les pièces les plus enterrées en profondeur (GROSSO, 2008 p. 165).

5 Pour plus d'informations et d'exemples nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en bibliographie : (LOUBES, et al., 2003) (Al-TEMEEMIA, et al., 2004)



26. *Le comportement bioclimatique des Sassi de Matera (GROSSO, 2008 p. 165) et l'intérieur d'une maison (CADONI, 2007)*

Un autre exemple d'habitation semi-hypogée est *la Camera Dello Scirocco*.



Il ne s'agit pas d'une vraie habitation. A partir de 1400, date à laquelle on peut référer les premiers documents donnant la certitude de l'existence de la camera dello Scirocco, la noblesse de la ville de Palerme en Sicile, pour mieux supporter les fortes températures des jours de sirocco, a fait réaliser des pièces hypogées. La plus connue est la camera dello scirocco de la villa Savagnone ad Altarello di Baida.

27. *Camera dello scirocco di Micciulla à Palerme (VALENTI, 2009)*



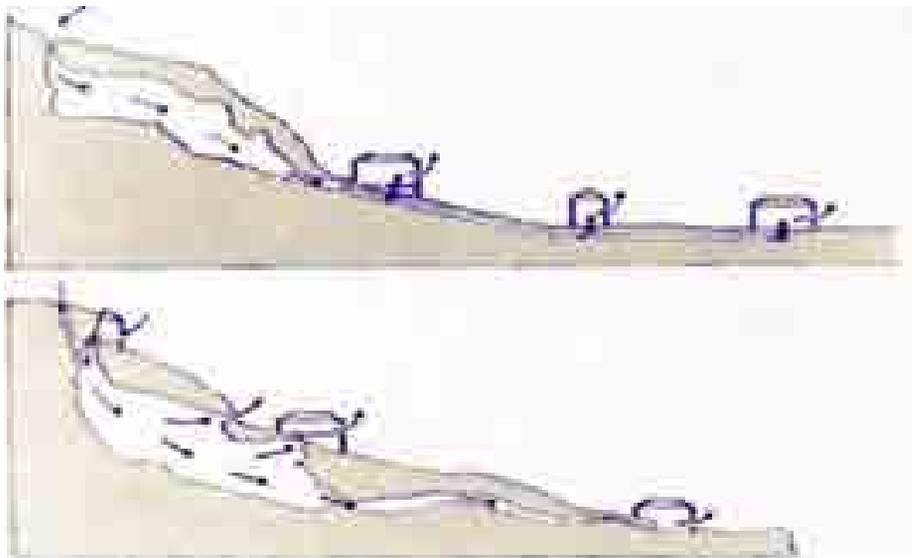
28. *Camera dello scirocco di Micciulla à Palerme (TODARO p. 79)*

On accède à cette pièce en passant par le verger d'agrumes et par un escalier excavé dans le rocher on atteint la zone hypogée. La présence d'une

cascade, alimentée par un *Quanat*, nom du canal pour l'eau d'irrigation d'origine perse, contribue à rafraîchir l'air, grâce à l'effet de l'évaporation. Les températures à l'intérieur des pièces ainsi construites étaient beaucoup plus basses que les températures extérieures et constituaient un refuge, quand les conditions climatiques extérieures étaient trop sévères (TODARO)<sup>6</sup>.

### 1.4.1.3 Les systèmes de ventilation hypogée

Pour rafraîchir l'air, sans pour autant habiter le sous-sol, les constructeurs ont souvent créé des conduits enterrés, aptes à rafraîchir l'air, pour ramener la fraîcheur à l'intérieur des habitations. Ces conduits peuvent être artificiels, comme on le verra plus loin, dans les cas des *Bagdirs* iraniens, ou naturels, comme les *Covoli* de *Vicenza*. Les *Covoli* sont des cavités naturelles du terrain qui se trouvent dans la région de *Vicenza* et plus précisément à *Costoza*. Ces cavités naturelles ont été élargies dans l'histoire par les Romains, qui les utilisaient comme caves.



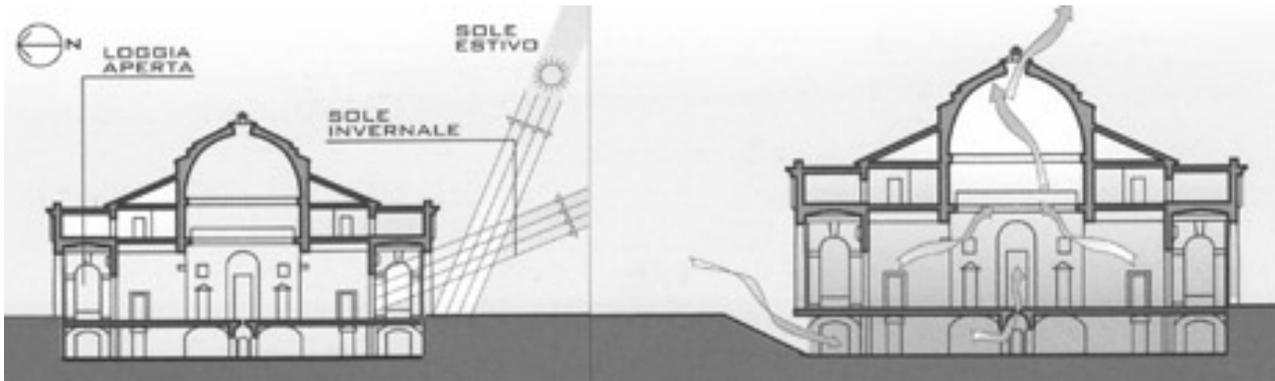
29. Le rafraîchissement des villas de Palladio à travers les *Covoli* (GROSSO, 2008 p. 173)

Les *Covolis* ont eu plusieurs fonctions, dans l'histoire, et ont été utilisés aussi comme refuge par la population, pendant les guerres (CASTELLINI, 1821 p. 102). L'architecte Palladio a utilisé ces cavités comme système de rafraîchissement passif pour les villes qui sont disposées sur le flanc de la colline. L'air froid, par effet de gravitation, descend dans les cavités et rentre dans les villas par des grilles au sol ou dans les caves. L'air froid en rentrant dans la villa se mélange à l'air ambiant qui est plus chaud et est extrait par les fenêtres situées en partie haute des pièces. Ce système permet de garder la température de l'air à l'intérieur des villas au seuil de confort.

Palladio a ensuite appliqué en partie ce principe dans ses villas les plus célèbres, en particulier la *Villa Rotonda*. Dans la *Villa Rotonda* l'air passe par les caves de la villa et est extrait par le sommet de la voûte de la grande pièce centrale (IZARD, 2006 p. 27)<sup>7</sup>.

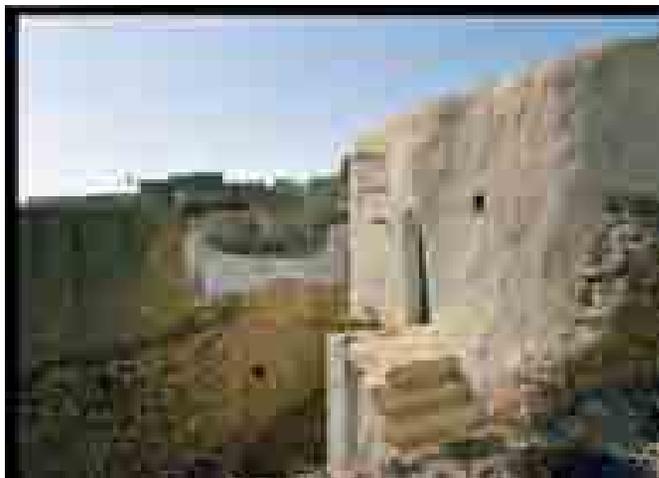
<sup>6</sup> Pour plus d'informations et d'exemples nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en bibliographie : (LAUREANO, et al., 2005) ; (splash company, 2008) ; (GROSSO, 2008)

<sup>7</sup> Pour plus d'informations et d'exemples nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en bibliographie : (BEHLING, 2000) ; (GROSSO, 2008) ; (WIENKE, 2002 p. 53) ; (HOLLMULLER, 2002) ; (HOLLMULLER, et al., 2005) ; (SANTAMOURIS, et al., 1996).



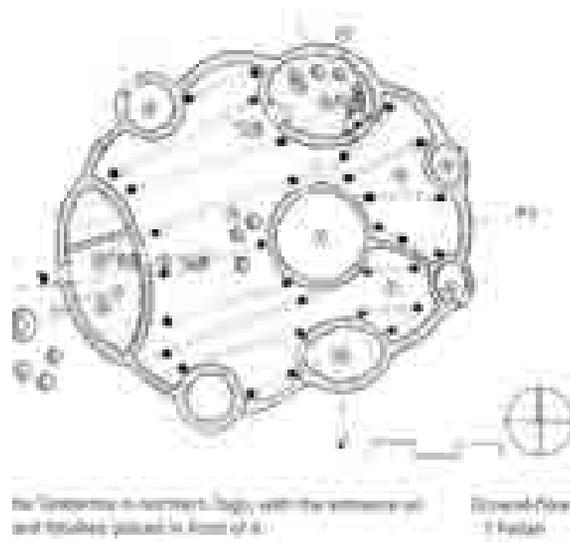
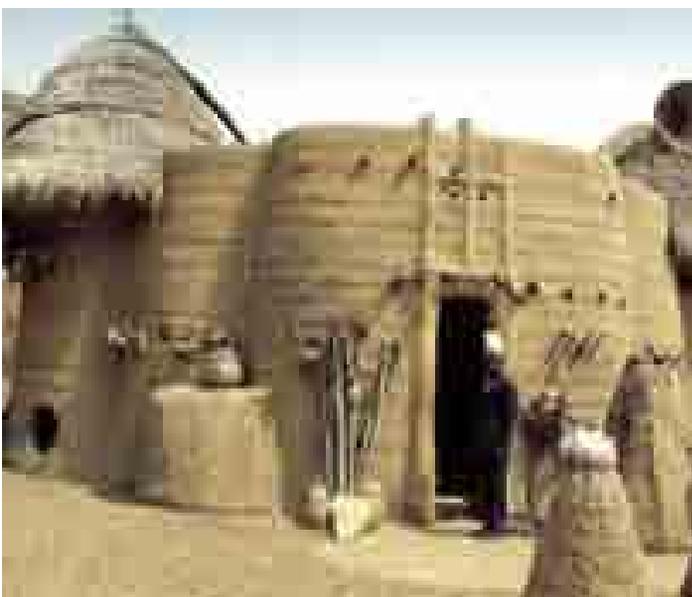
30. Comportement bioclimatique de la Villa Rotonda de Palladio, Vicenza ITALIE (Energitismo Eng, 2012)

## 1.5 Les constructions lourdes



31. Un usager d'une habitation très inerte prépare son lit sur la toiture de la maison, sud-est de la Turquie et maisons traditionnelles du sud de la Tunisie (CADONI, 2007)

Dans des climats chauds et arides se sont souvent développés des types d'habitation qu'on peut définir comme lourds (GROSSO, 2008), avec des murs très épais, garantissant une grande masse thermique, souvent en adobe ou en pisé, pour amortir les grandes amplitudes de températures (LAUBER, 2005).



32. Habitation dite Tanberma au nord du Togo (LAUBER, 2005 p. 71)

Il y a des ouvertures de petite taille pour réduire l'apport solaire thermique. Ce type d'habitations s'est diffusé dans les climats chauds et arides, comme les Pueblos en Mexique, les maisons traditionnelles au Yémen, les médinas dans le nord de l'Afrique, etc. Ce type des constructions présente des caractéristiques communes : la grande masse thermique des parois, les ouvertures petites et protégées du soleil et la grande densité des constructions.



33. Habitation à Djenné, Mali (LAUBER, 2005 p. 74)

Les toitures sont généralement plates et pendant les mois les plus chauds sont souvent utilisées pour dormir. Les habitations ainsi construites s'opposent à un climat aux variations journalières très élevées, où la température dans la journée peut atteindre les 50°C et dans la nuit peut descendre de 25°C. Les matériaux utilisés sont locaux et souvent la terre est utilisée pour la construction, matériau qui est facilement repérable et s'adapte très bien à ce type de climat (GROSSO, 2008 pp. 134-136).



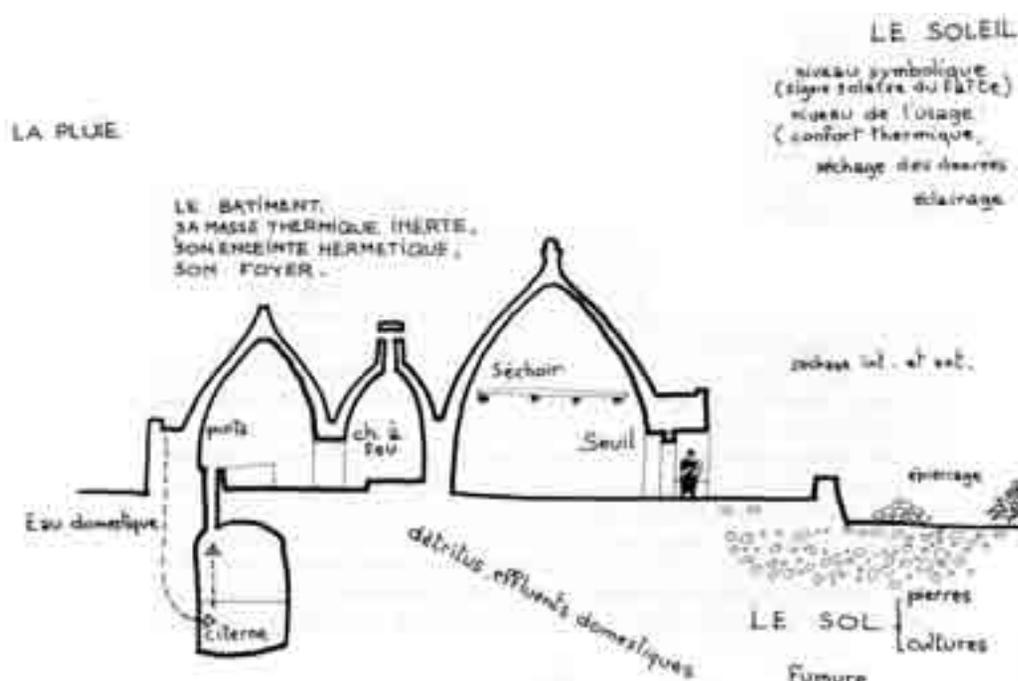
34. Vieille ville de Sanaa, Yemen (CADD, 2009)

Dans cette famille de bâtiments nous pouvons citer des exemples très connus : les pueblos du Mexique, les kasbahs du Maroc, les maisons de Sanaa au Yémen, les habitations Dogon en Afrique, les habitations vernaculaires dans le nord du Togo, les trulli dans le sud de l'Italie, etc. (Centre Georges Pompidou, 1981). Les exemples cités font partie des bâtiments qui exploitent la grande masse thermique pour garantir le confort thermique des usagers.



35. Les Trulli de Alberobello, Italie (CADONI, 2007)

Les trulli, à la différence des autres exemples, exploitent aussi une stratégie de ventilation nocturne, d'humidification de l'air à travers la citerne ouverte sur l'espace de vie et d'extraction de l'air chaud par le conduit de la cheminée (ALEXANDROFF, 1982).



36. Schéma en coupe des Trulli (ALEXANDROFF, 1982 p. 66)

## ***1.6 Les stratégies de contrôle de la ventilation dans l'architecture vernaculaire.***

### **1.6.1 Les constructions légères**



*37. Village de pêcheurs sur le lac Ganvié au Bénin (LAUBER, 2005 p. 52)*

On trouve ce type de construction dans les régions à climat chaud humide. Ces régions sont caractérisées par une grande pluviométrie et une petite amplitude thermique journalière et saisonnière. Les plus grandes causes d'inconfort sont l'humidité de l'air et les températures élevées. Dans ces conditions climatiques, la solution recherchée pour réduire l'inconfort est la ventilation naturelle. Les constructions sont généralement décollées du sol, protégées du soleil par de grands débords de la toiture et en particulier l'inertie thermique n'est pas recherchée (GROSSO, 2008). La ventilation naturelle directe est souvent favorisée par des ouvertures de grande taille et par la forme très variées des toitures, qui sont l'élément dominant. Souvent, quand il y en a, les cloisons laissent passer le vent et entre les différentes pièces des dispositifs adaptés permettent le passage de l'air. Les systèmes mis en place pour capter les vents les plus légers sont assimilables à de vrais systèmes de rafraîchissement passif (LAUBER, 2005).



38. Village des Karo Batak dans les années 80, au nord de Sumatra (LAUBER, 2005 p. 57)

D'autres types de constructions légères sont celles utilisées par les peuples nomades, qui s'adaptent au climat du site. Le tipi est un exemple de construction légère adaptée aux différentes conditions climatiques, mettant en place de vraies stratégies passives pour régler la température.

Le tipi est réalisé avec des branches d'arbre entourées de peaux de buffle traitées avec des huiles, pour les rendre étanches. La partie supérieure peut être ouverte ou fermée pour faire sortir la fumée du feu, l'inclinaison de l'ouverture

peut être modifiée, sous le vent, pour favoriser l'extraction de la fumée. Les systèmes pour mieux s'adapter au climat extérieur concernent la protection contre vent en hiver. Le tipi pendant la saison hivernale est entouré par une barrière de branches, pour réduire l'impact des vents froids et la partie basse est doublée de peau d'animal, afin de garantir un espace sec même par temps de pluie. En été la partie basse du tipi est soulevée, cela favorise la ventilation, en augmentant l'effet cheminée de l'ouverture supérieure (GROSSO, 2008 pp. 131-133).

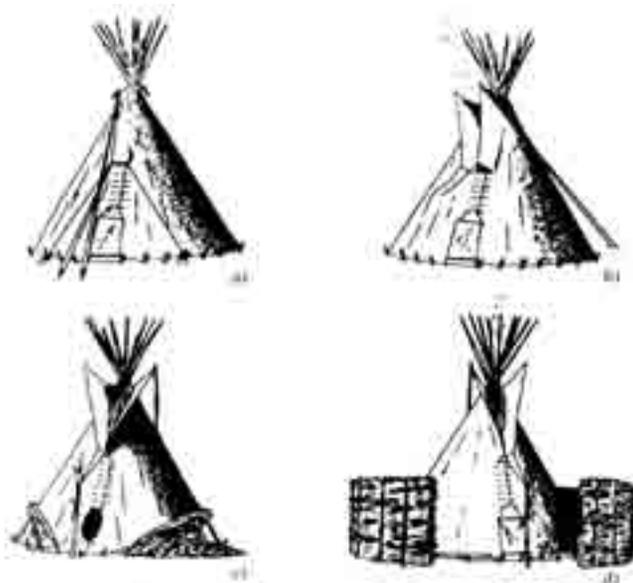
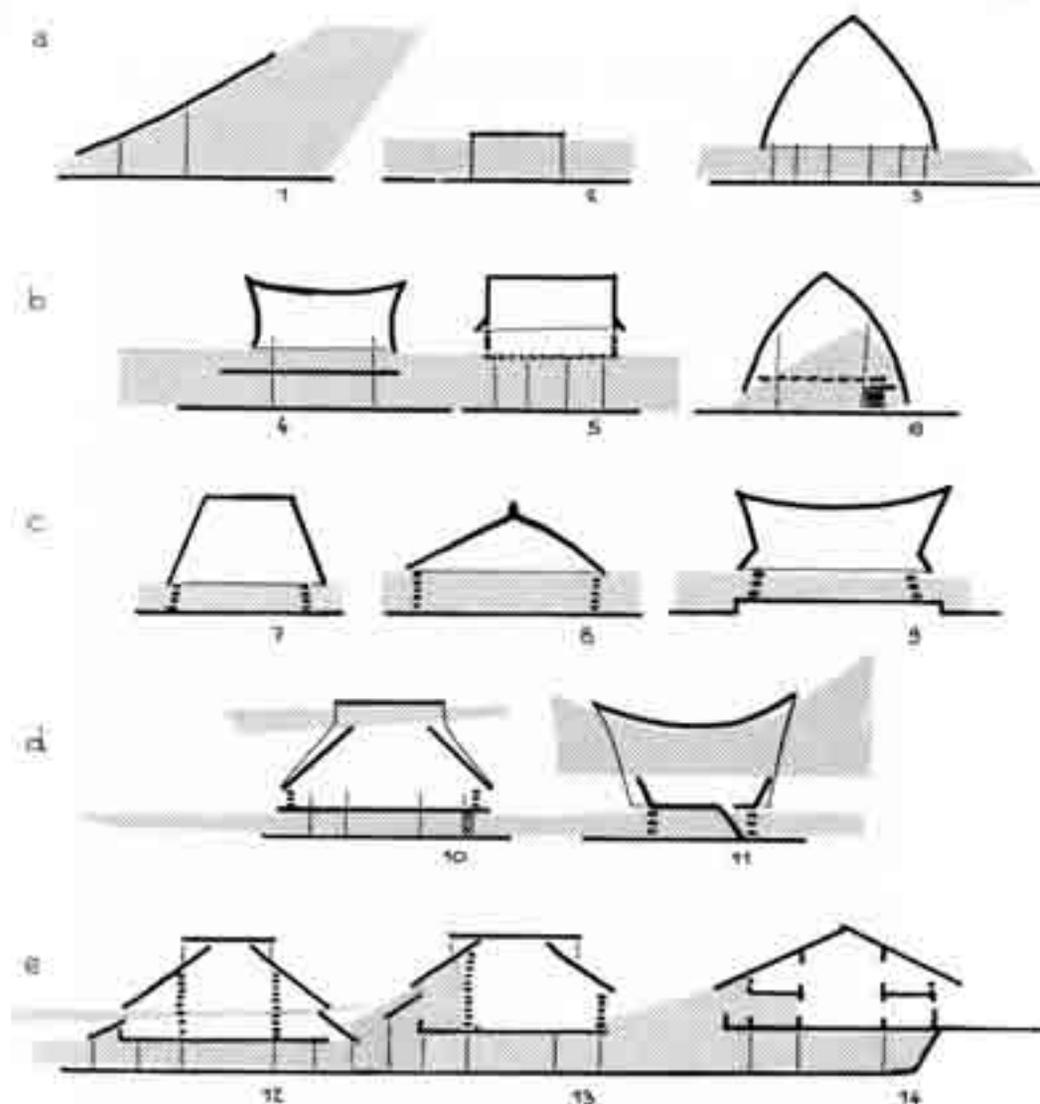


Figura 4.4. - I diversi meccanismi di controllo microclimatico del tipo indiano nord-orientale (\*)

- a) chiuso (periodo freddo)
- b) ventilazione per effetto camino (espulsione fumo)
- c) ventilazione passante
- d) barriera protettiva dai venti freddi

39. Différentes réponses aux changements saisonniers du Tipi (GROSSO, 2008 p. 133)

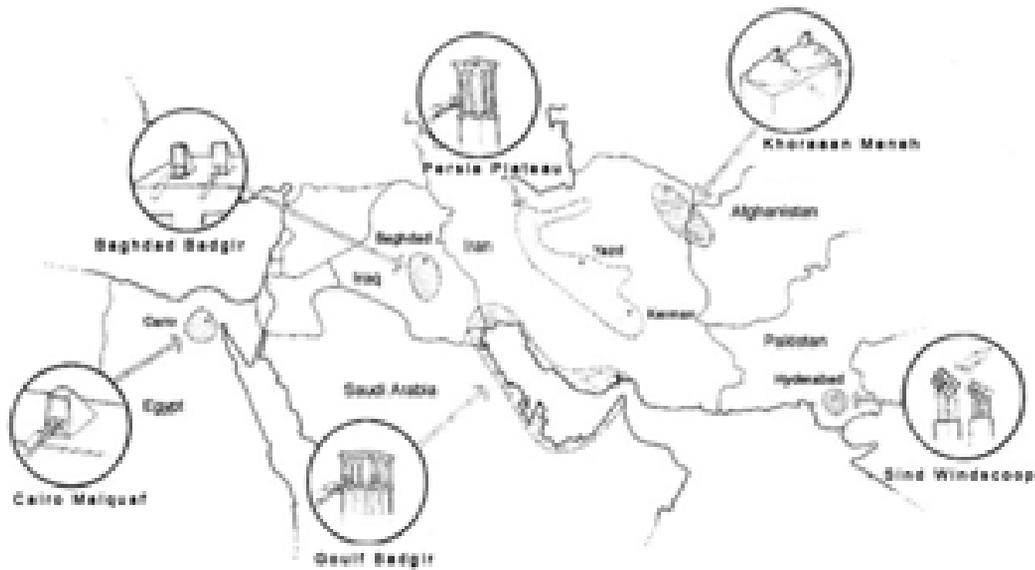


14. Différentes réponses au climat subtropical.  
 a - L'abri est réduit à un toit : 1) Amazonie. — 2) Mélanésie. — 3) Îles Samoa;  
 b - enclosure différenciée du milieu par surélévation : 4) Nouvelle-Guinée. — 5) Dahomey. — 6) Timor;  
 c - enclosure différenciée par cloisons-résilles : 7) Viêt-Nam. — 8) Côte du Sénégal. — 9) Micronésie;  
 d - le vent apprivoisé : 10) Viêt-Nam. — 11) Sumatra;  
 e - encloses à ambiance différenciée : 12 et 13) Chine du Sud, minorité Thai. — 14) Chine du Sud, minorité Zang.

40. Différentes réponses au climat subtropical d'après ALEXANDROFF (ALEXANDROFF, 1982 p. 75)

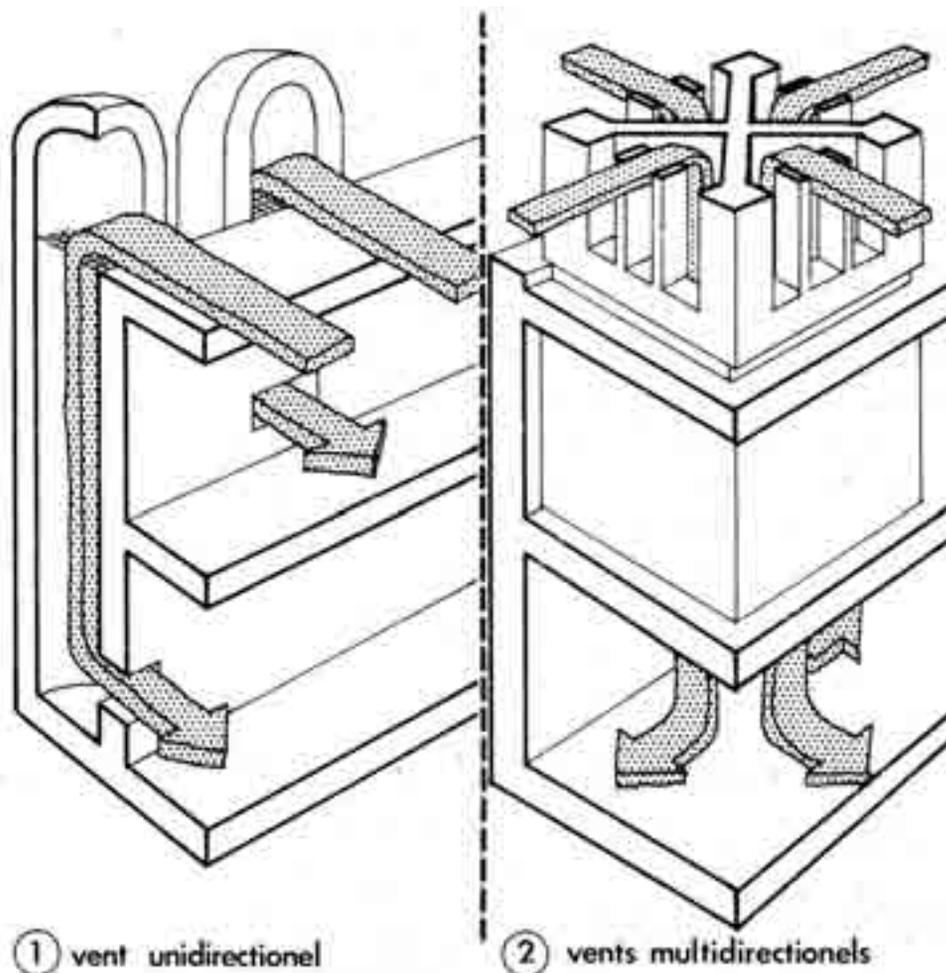
### 1.6.2 Les systèmes pour la captation de l'air

Dans la région du Proche et Moyen Orient se sont développés plusieurs systèmes de captation et d'extraction de l'air : le Bagdir, typique de l'Iran et Iraq, le Malquaf, diffusé en Égypte, le Meneh présent entre Iran et Pakistan. Ces systèmes de ventilation naturelle, connus généralement sous le nom de tours à vent, ont souvent la forme d'un conduit vertical qui peut avoir fonction de capter ou extraire l'air. Le conduit dépasse la couverture donnant l'image d'une tour ou cheminée. Les conduits plus simples sont ouverts dans la direction du vent dominant, pour amener l'air frais.



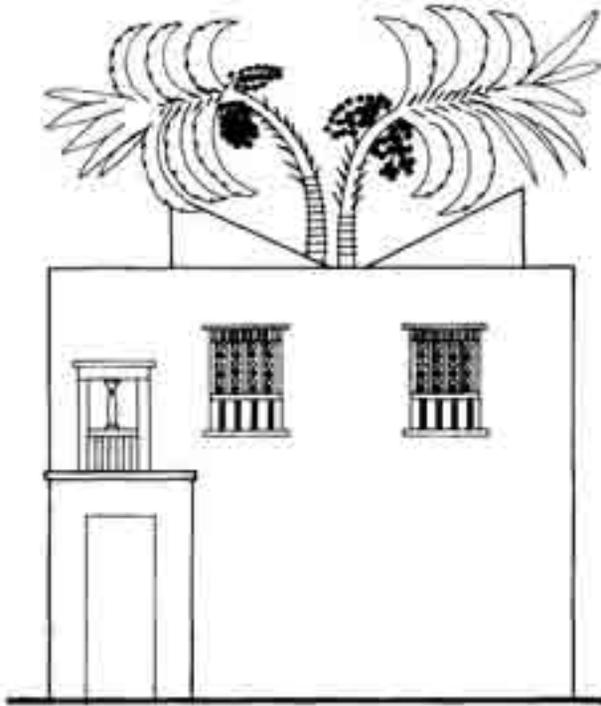
41. Diffusion et typologie des systèmes de captation de l'air (RICHARD, et al., 2006)

Les conduits plus complexes ont une double ouverture et font fonction d'extraction et d'arrivée d'air. Si la masse thermique de la construction est assez grande, les flux d'air peuvent avoir lieu même en l'absence de vent.



42. Différentes formes de capteurs de vent (IZARD, et al., 1979 p. 103)

### 1.6.2.1 Les Malquafs

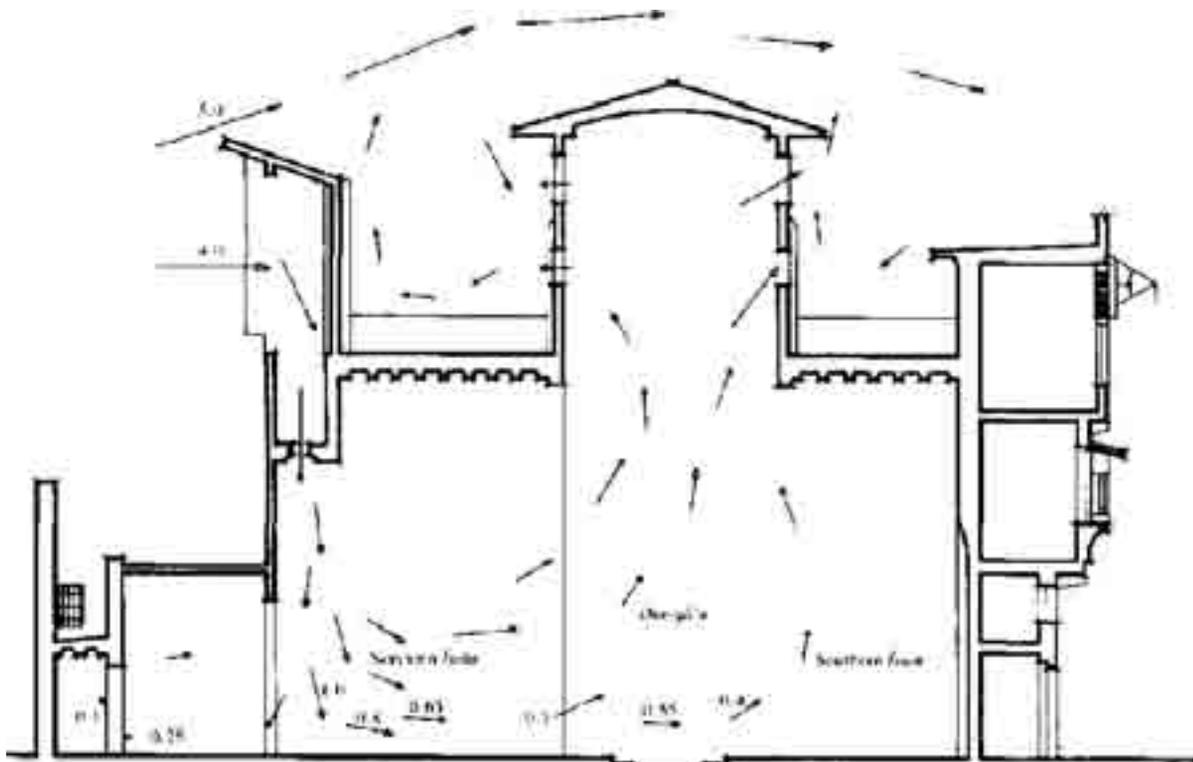


Les malquafs sont des capteurs du vent. Ils sont très utilisés dans les villes densément habitées, où la vitesse du vent est réduite par la densité des constructions. Les malquafs sont orientés vers les vents frais dominants. Le conduit vertical a des ouvertures dans toutes les pièces jusqu'à la cave, la pièce où réside la famille pendant les heures plus chaudes de la journée.

En Égypte les malquafs sont présents depuis l'âge des pharaons. Des hiéroglyphes représentant des malquafs sur une maison ont été retrouvés.

43. Malquaf dans la tombe du pharaon Neb-Amun (FATHY, 1986)

En Égypte les malquafs sont très communs dans les maisons traditionnelles et se présentent sous forme d'ouvertures dans la toiture de la maison avec une pente inclinée d'environ 45°, apte à diriger l'air frais à l'intérieur de la maison (GROSSO, 2008). Les Malquafs égyptiens se trouvent en toiture, ou en couverture des cours. Ils sont orientés souvent vers le nord, pour capter le vent frais et éviter le rayonnement solaire direct (FATHY, 1986).



44. Section de la maison Muhib Ad-Din Ash-Shi Al-Muwaqqi, montrant le malquaf et l'extraction de l'air (FATHY, 1986)

Ces dispositifs sont présents dans les régions du Proche et Moyen Orient. En Iran les malquafs peuvent avoir une hauteur de 15m et ont la fonction principale de rafraîchir la pièce souterraine de la maison.

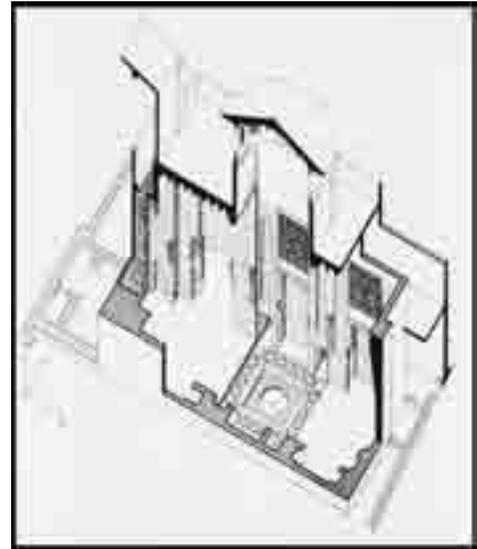
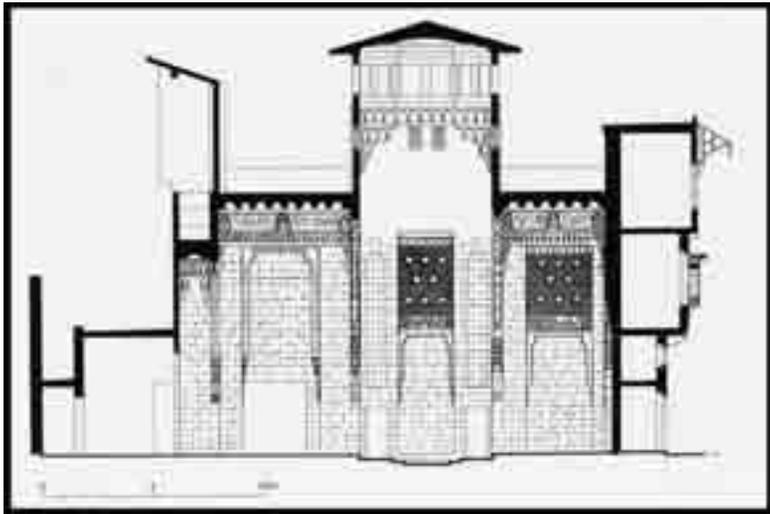


45. Les malquafs de Hyderabad au Pakistan (Pakistan Defence, 2008)

### 1.6.2.2 Éléments d'extraction de l'air.

Pour l'extraction de l'air, un élément positionné dans la partie la plus haute de l'immeuble est utilisé ; l'air sort par l'effet cheminée. Cet élément a diverses formes et dimensions, normalement c'est une lanterne, avec des ouvertures qui permettent l'extraction de l'air chaud. L'ouverture de ce type est souvent utilisée en couplage avec un élément de captation de l'air. La forme du toit peut favoriser l'extraction de l'air. En Iran les lanternes d'extraction sont souvent dans la partie supérieure d'une voûte ou coupole et le vent favorise la dépression et l'extraction de l'air. Les systèmes couplés d'extraction et de captation de l'air ont l'objectif de rafraîchir les pièces principales de l'habitation et souvent les pièces de réception des invités. Un exemple emblématique de ce sujet est la maison al-Din al-Muwaqqi' au Caire, sur laquelle ont été menées plusieurs recherches<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Pour plus d'informations et d'exemples nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en bibliographie : (GROSSO, 2008 p. 152) ; (FATHY, 1986) ; (ALEXANDROFF, 1982)



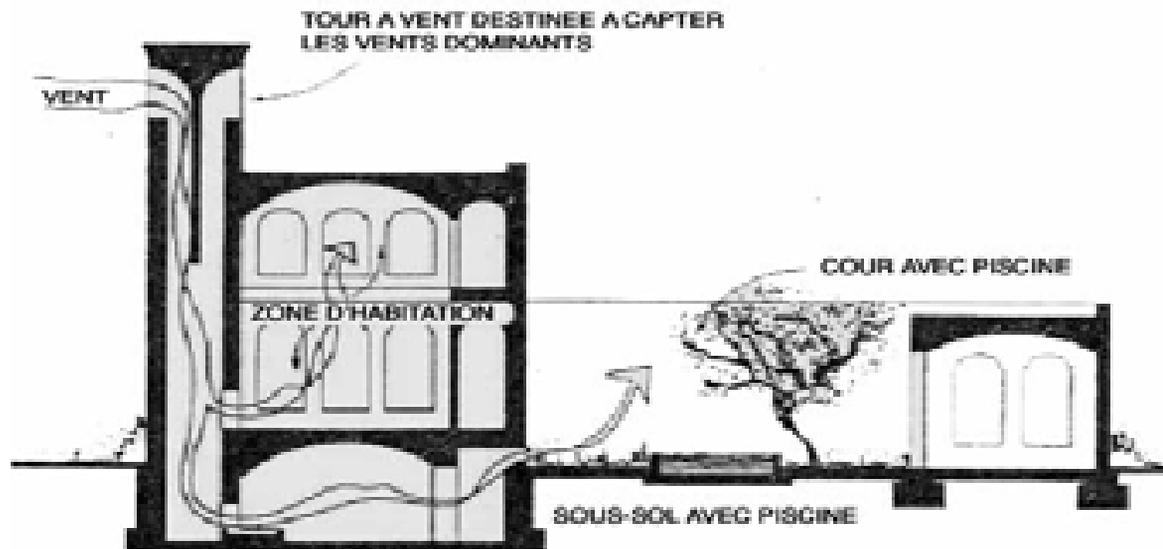
46. Coupe et axonométrie du Qa'a de la maison Muhibb al-Din al-Muwaqqi (MIT Libraries, 2006)



47. Maison Muhibb al-Din al-Muwaqqi (RABBAT, 2008)

### 1.6.2.3 Les Bagdirs

Les bagdirs sont des éléments typiques de l'Iran et ont toujours la double fonction d'extraction et de captation de l'air. Le bagdir se présente comme une tour ouverte sur tous les côtés. À l'intérieur l'air est canalisé dans des conduits qui le transportent dans les pièces de l'habitation.



48. Coupe et fonctionnement d'un bagdir (CRIT, 2006)



49. Différentes typologies de bagdirs (RICHARD, et al., 2006)

La masse thermique de la tour a la fonction de stockage des frigidités pendant la nuit. Pendant la journée l'air à l'intérieur de la tour, plus froid, descend vers la maison, le vent accélérant le mouvement de l'air.

Pendant la nuit le cycle s'inverse, la tour a accumulé des calories, l'air plus chaud à l'intérieur de la tour est extrait par effet cheminée. Les bagdirs, de plus, peuvent avoir des fonctions de rafraîchissement géothermique et évaporatif. L'air introduit dans le Bagdir par l'effet du vent transite par des conduits souterrains, qui ont pour fonction de rafraîchir l'air et ensuite il est introduit dans la maison. Souvent à la sortie des bagdirs il y a une fontaine, qui permet de rafraîchir ultérieurement la température de l'air, par évaporation directe. La même fonction peut être obtenue en mettant des jarres poreuses dans le canal de ventilation (SUPIC, 2008)<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Pour plus d'informations et d'exemples nous invitons le lecteur à consulter les œuvres suivantes citées en bibliographie : (GROSSO, 2008 p. 152) ; (FATHY, 1986) ; (RICHARD, et al., 2006) ; (CRIT, 2006)



50. Typologies de bagdir de Yazd en Iran (VIDET, 2006)



## 1.7 Synthèse

Nous pouvons voir à quel point dans l'architecture vernaculaire le problème du rafraîchissement était abordé. Les solutions adoptées vont de la simple protection solaire à des systèmes très complexes, qui utilisent la géothermie, le rafraîchissement par évaporation, ... Effectivement, comme nous l'avons vu précédemment, le problème le plus important, dans les régions à climat chaud, était de se protéger de la chaleur. Dans un climat plus froid, on pouvait s'habiller davantage et l'activité physique servait pour réchauffer le corps. Les solutions adoptées par les constructeurs du passé sont souvent très astucieuses et nous sommes en situation de nous demander pourquoi nous ne pourrions pas les appliquer simplement à l'architecture contemporaine.

51. Typologies de bagdir de Yazd en Iran (VIDET, 2006)

Certaines solutions sont, avec quelques simples modifications, applicables à l'architecture contemporaine, mais la plus grande partie pourrait difficilement être appliquée sans une transformation et une adaptation aux nécessités de l'usager de nos jours. L'architecte, aujourd'hui, doit appliquer une quantité importante de normes et DTU<sup>10</sup>. De plus, les utilisateurs sont habitués à l'utilisation de systèmes automatiques et électroniques. Il sera difficilement disposé à humidifier un tronc d'arbre ou remplir une outre d'eau pour rafraîchir son espace de vie. Aussi la demande de confort thermique a évolué, on traitera de cet argument plus en profondeur dans le chapitre suivant.

Un autre obstacle est dû au fait que souvent ces systèmes sont en contradiction avec les nécessités de confort d'hiver. Les techniques de ventilation, de tirage de l'air sont difficilement adaptables aux concepts d'étanchéité à l'air, pour limiter les déperditions thermiques hivernales. De plus, aujourd'hui nous ne pouvons pas demander aux usagers d'habiter une construction sans parois, qui serait pourtant très adaptée au climat tropical chaud humide. La grande difficulté pour les architectes contemporains a été d'adapter les systèmes de rafraîchissement passifs aux exigences de confort, sécurité, représentation sociale, ...

D'une part c'est du fait de ces contraintes que les architectes contemporains ont rarement travaillé sur la conception de bâtiments rafraîchis naturellement. Cependant nous nous posons la question de la réinterprétation des enseignements de l'architecture traditionnelle et des possibilités d'application dans l'architecture contemporaine. Il semble qu'aujourd'hui nous entamons la démarche de revenir sur nos pas et de ré-analyser avec un regard différent les enseignements de l'architecture vernaculaire. Mais les technologies contemporaines et le coût de la main d'œuvre sont des freins pour la construction de bâtiments dérivant des exemples de l'architecture vernaculaire.

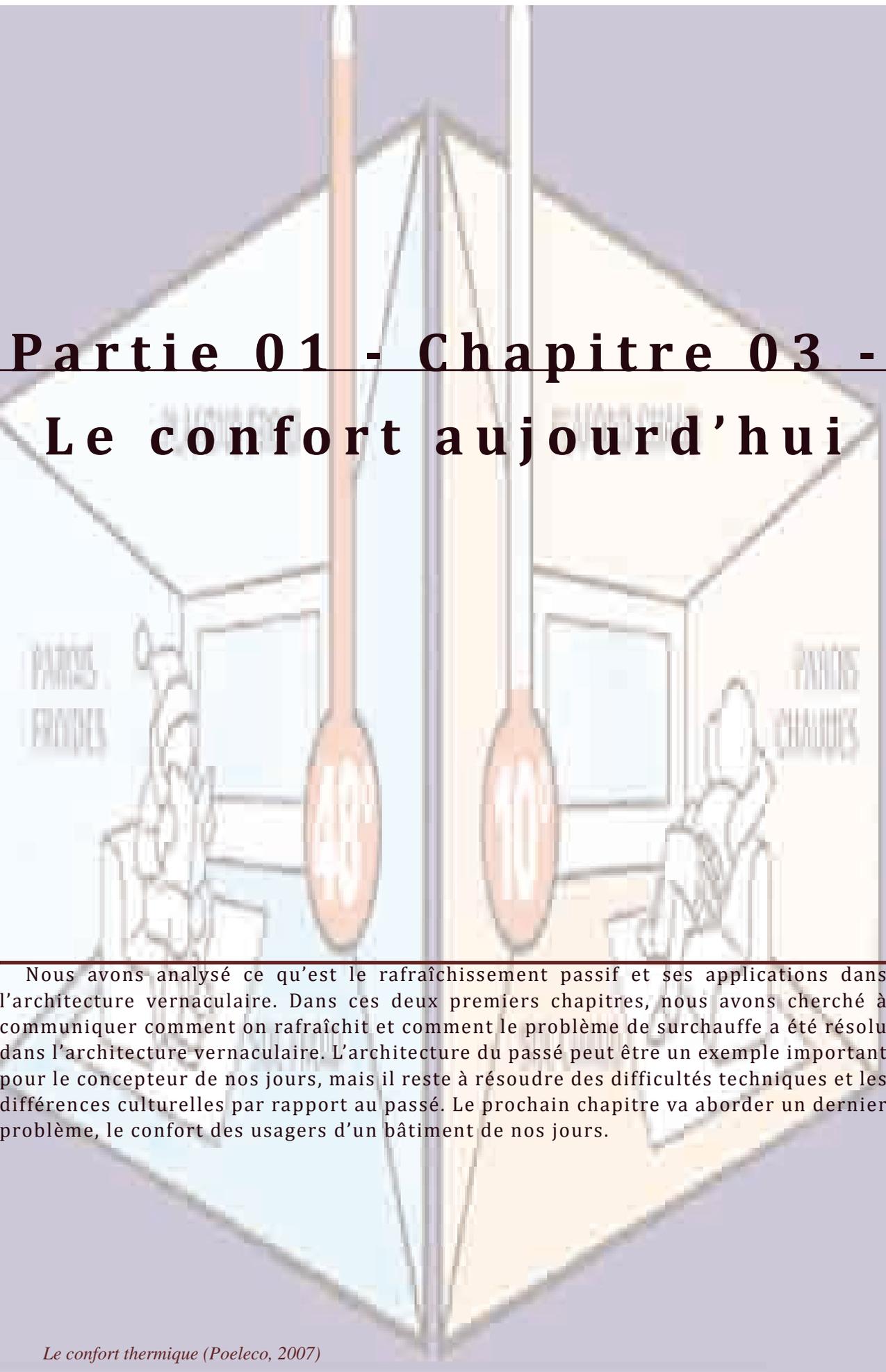
Il est difficile pour un architecte de proposer des systèmes de construction et de rafraîchissement venant de la tradition constructive. Les techniques de construction lourde pour exemple, constructions en terre avec des murs de 50-60cm, sont difficilement applicables. La construction aurait un coût excessif et les temps de réalisation trop longs. Le défi pour les architectes contemporains sera de réussir à interpréter le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture contemporaine, avec les modes de vie moderne des usagers, pour réussir à améliorer le confort et réduire la consommation d'énergie. Ce défi bien sûr comporte un effort supplémentaire pour l'architecte et souvent des coûts de construction supérieurs pour le maître d'œuvre, mais toutefois des dépenses inférieures pour les usagers.

Nous voudrions attirer l'attention sur un détail très important dans l'architecture contemporaine. Dans le passé le maître d'œuvre était presque toujours l'utilisateur de la construction, aujourd'hui les maîtres d'œuvres ne sont presque jamais les usagers, et leur intérêt pour la réduction des dépenses énergétiques est très réduit. Dans la profession d'architecte on entend souvent l'argument : « *la construction doit être le moins coûteuse possible, de toute façon ce sera le locataire qui aura à payer l'électricité* ». Cette remarque est non seulement fautive, car si les dépenses énergétiques sont trop élevées le locataire ne pourra pas payer le loyer, mais aussi le signe de la mauvaise

qualité des constructions qui seront réalisées, cela au détriment des usagers et de l'environnement.

Il faut mettre en évidence une contradiction dans ce chapitre : les systèmes de rafraîchissement passif dans l'architecture vernaculaire sont toujours des systèmes pour le rafraîchissement de logements. Le corpus d'étude de cette recherche comme on le verra plus tard est constitué principalement de bâtiments du tertiaire. Cela est dû à la difficulté de repérer des données sur des habitations contemporaines rafraîchies passivement et naturellement.





# Partie 01 - Chapitre 03 - Le confort aujourd'hui

Nous avons analysé ce qu'est le rafraîchissement passif et ses applications dans l'architecture vernaculaire. Dans ces deux premiers chapitres, nous avons cherché à communiquer comment on rafraîchit et comment le problème de surchauffe a été résolu dans l'architecture vernaculaire. L'architecture du passé peut être un exemple important pour le concepteur de nos jours, mais il reste à résoudre des difficultés techniques et les différences culturelles par rapport au passé. Le prochain chapitre va aborder un dernier problème, le confort des usagers d'un bâtiment de nos jours.



## 3. Les exigences de confort dans l'architecture contemporaine

### 1.1 *Le confort thermique*

Qu'est-ce le confort thermique ? nous pouvons commencer par citer la norme ASHRAE qui définit le confort thermique : « that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment and is assessed by subjective evaluation<sup>1</sup> » (ASHRAE, 2004). Le confort est défini comme une condition mentale qui est influencée par les systèmes de contrôle environnementaux dans un bâtiment, soit : chauffage, ventilation, rafraîchissement ...

Le concept de confort est en grande partie culturel et dépend de paramètres sociaux et psychologiques. Aujourd'hui nous parlons de confort adaptatif, mais c'est seulement depuis les années 70 qu'a été introduit le concept de PMV et de PPD<sup>2</sup> par FANGER (Fanger, 1970). Sa méthode a été reprise et ré-analysée par plusieurs chercheurs, jusqu'à parvenir à la méthode de R. de DEAR, et G. Schiller Brager (de Dear, et al., 2001), qui ont introduit les concepts de confort adaptatif. Leur méthode a été, par la suite, distinguée par la norme ASHRAE, tandis que les recherches plus récentes de F. Nicoli (Nicol, et al., 2002) et (McCartney, et al., 2001) l'ont été par la norme européenne EN 15251. Les méthodes adaptatives ont la caractéristique de mettre en relation les températures opératives, donnant lieu à des zones de confort, avec les températures moyennes extérieures. Cette relation est valable principalement pour les bâtiments ventilés naturellement, avec des ouvertures manœuvrables par les usagers-mêmes. La zone de confort ainsi calculée est plus étendue et peut être exploitée par les concepteurs pour réaliser des bâtiments rafraîchis naturellement, sans l'apport de climatiseurs mécaniques.

### 1.2 *Le confort thermique selon le standard ASHRAE*

Nous allons analyser de manière synthétique la norme ASHRAE, qui est à la base de la plus grande partie des recherches sur le confort.

Aujourd'hui, nous pouvons définir la norme ASHRAE comme le standard pour les États-Unis, tandis que l'Union Européenne a adopté l'EN 15251. Les deux standards ont introduit les concepts du confort adaptatif, mais avec des valeurs légèrement différentes. La norme européenne utilise des standards d'adaptabilité aux climats chauds plus souples par rapport à la norme américaine, et nous pouvons trouver une comparaison intéressante des deux standards dans la recherche de G. DESOGUS (Desogus, 2012), où l'auteur mène une analyse des températures de confort des principales villes des

<sup>1</sup> Traduction propre : « la condition dans laquelle un individu exprime satisfaction par rapport à son environnement »

<sup>2</sup> "predicted mean vote (PMV): an index that predicts the mean value of the votes of a large group of persons on the seven point thermal sensation scale (ASHRAE, 2004 p. 3)." PMV: c'est un index qui prédit la valeur moyenne des notes d'un large groupe de personnes interrogées sur les sept points déterminant la sensation thermique (traduction propre). "predicted percentage of dissatisfied (PPD): an index that establishes a quantitative prediction of the percentage of thermally dissatisfied people determined from PMV (ASHRAE, 2004 p. 3)." PPD: c'est un index qui prédit le pourcentage d'utilisateurs insatisfaits déterminés par le PMV. (traduction propre)

côtes de la Méditerranée.

Nous pouvons voir ci-dessous le tableau des résultats de l'analyse avec les prescriptions des deux standards. La norme ASHRAE prévoit des périodes de surchauffe pour la zone au nord de la côte méditerranéenne, tandis que la norme européenne prévoit des périodes de surchauffe seulement à partir des 37° de latitude.

La recherche de G. DESGUS nous intéresse pour deux motifs : d'une part, l'auteur nous confirme que presque partout le long des côtes de la Méditerranée, il est nécessaire de réduire la température pendant les mois les plus chauds. D'autre part, il ressort que le concepteur en réalisant des bâtiments qui respectent les prescriptions du confort adaptatif, peut réduire énormément les besoins de rafraîchissement mécaniques.

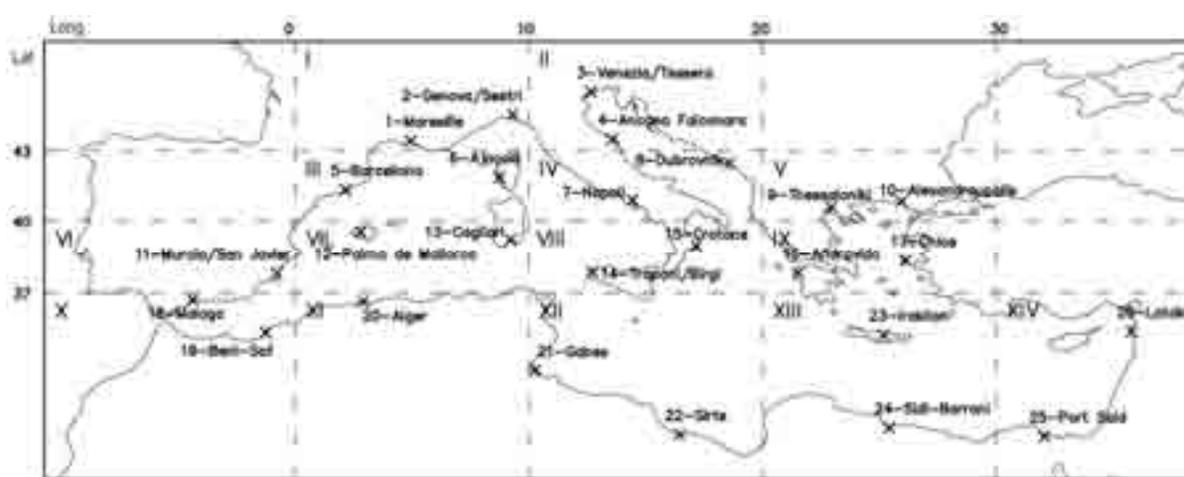


Figure 1. Subdivision of Mediterranean basin in sectors and position of climatic stations.

1. Stations météo analysées et divisions du bassin de la méditerranée par zones (Desogus, 2012)

Table 3. Results summary of overheating, under-heating and humidity excess periods. (According to ASHRAE55).

Sector	Overheating period	Under-heating period	Humidity excess
I-II (lat. > 43°)	Afternoon and evening in July and August.	Most of the day from October to May and in summer nights.	In July and August.
III-V (40° □ lat. < 43°)	Afternoon and evening in July and August.	Most of the day from October to April and in summer nights.	From July to September.
VI-IX (37° □ lat. < 40°)	Afternoon and evening from July to August plus few hours in September.	Most of the day from November to April and in summer nights.	From July to September.
X-XIV (lat. < 37°)	Afternoon and evening from July to September plus few hours in October.	Most of the day from December to March. No under-heating in summer nights in hottest localities.	From June to September.

Table 4. Results summary of overheating, under-heating and humidity excess periods. (According to EN 15251).

Sector	Overheating period	Under-heating period	Humidity excess
I-II (lat. > 43°)	Not present	Most of the day from October to May and in summer nights.	In July and August.
III-V (40° □ lat. < 43°)	Not present	Most of the day from October to April and in summer nights.	From July to September.
VI-IX (37° □ lat. < 40°)	Afternoon hours in August.	Most of the day from November to April and in summer nights.	From June to September.
X-XIV (lat. < 37°)	Afternoon and evening in July and August.	Most of the day from November to April. Possible under-heating in summer nights.	From June to September.

2. Tableau synthétique des résultats de la recherche de G. DESGUS (Desogus, 2012)

R. McDowall, en basant son étude sur la norme ASHRAE, définit les sept variables qui influencent l'état de confort de l'utilisateur :

“Personal : 1. *Activity level* et 2. *Clothing*

Individual characteristics : 3. *Expectation*

Environmental conditions and architectural effects : 4. *Air temperature* ;

5. *Radiant temperature* ; 6. *Humidity* ; 7. *Air speed*<sup>3</sup>” (McDowall, 2007 p. 33)

L'auteur par la suite définit chaque paramètre. Nous allons reporter synthétiquement ses définitions.

Les zones de confort sont évaluées avec la méthode PMV-PPD, un pourcentage des usagers sera satisfait par les conditions environnementales (environ 80%) moins 10% d'insatisfaits. La zone repérée entre ces températures, l'humidité, la vitesse de l'air... est considérée comme la zone de confort.

1 *Type d'activité physique* :

Le corps humain doit maintenir une température standard, mais si le métabolisme s'accélère (activité physique lourde) le corps produit de la chaleur et pour maintenir l'équilibre il doit dissiper cette chaleur. Le niveau d'activité physique se mesure en 'met'. Ci-dessous nous reportons le tableau des niveaux de l'activité physique relevée sur la norme ASHRAE. Il est évident que plus l'activité physique sera importante, plus indispensables seront les nécessités de rafraîchissement.

---

3 Traduction propre : « Personnels : 1 Type d'activité physique ; 2 type de vêtements.

Caractéristiques individuelles : 3 attentes personnelles.

Conditions environnementales : 4 Température de l'air ; 5 Température radiante ; 6 Humidité relative ; 7 Vitesse de l'air.»

(This is a normative appendix and is part of this standard.)

## NORMATIVE APPENDIX A—ACTIVITY LEVELS

### Metabolic Rates for Typical Tasks

Activity	Met Units	Metabolic Rate	
		W/m <sup>2</sup>	(Btu/h·ft <sup>2</sup> )
<b>Resting</b>			
Sleeping	0.7	40	(13)
Reclining	0.8	45	(15)
Seated, quiet	1.0	60	(18)
Standing, relaxed	1.2	70	(22)
<b>Walking (on level surface)</b>			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	(37)
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	(48)
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	(70)
<b>Office Activities</b>			
Seated, reading, or writing	1.0	60	(18)
Typing	1.1	65	(20)
Filing, seated	1.2	70	(22)
Filing, standing	1.4	80	(26)
Walking about	1.7	100	(31)
Lifting/packing	2.1	120	(39)
<b>Driving/Flying</b>			
Automobile	1.0-2.0	60-115	(18-37)
Aircraft, routine	1.2	70	(22)
Aircraft, instrument landing	1.8	105	(33)
Aircraft, combat	2.4	140	(44)
Heavy vehicle	3.2	185	(59)
<b>Miscellaneous Occupational Activities</b>			
Cooking	1.6-2.0	95-115	(29-37)
House cleaning	2.0-3.4	115-200	(37-63)
Seated, heavy limb movement	2.2	130	(41)
Machine work			
sawing (table saw)	1.8	105	(33)
light (electrical industry)	2.0-2.4	115-140	(37-44)
heavy	4.0	235	(74)
Handling 50 kg (100 lb) bags	4.0	235	(74)
Pick and shovel work	4.0-4.8	235-280	(74-88)
<b>Miscellaneous Leisure Activities</b>			
Dancing, social	2.4-4.4	140-255	(44-81)
Calisthenics/exercise	3.0-4.0	175-235	(55-74)
Tennis, single	3.6-4.0	210-270	(66-74)
Basketball	5.0-7.6	290-440	(92-140)
Wrestling, competitive	7.0-8.7	410-505	(129-160)

## 2 Type de vêtements :

Les vêtements influencent la manière dont on perçoit la température extérieure. Plus l'isolation thermique sera substantielle, mieux nous pourrions supporter des basses températures et moins notre corps sera en capacité d'éliminer la chaleur en excès à travers les systèmes d'autorégulation de la température. Dans ce cas aussi, il existe une unité de mesure qui définit le niveau d'isolation des vêtements : le 'clo'. Ci-dessous nous reportons le tableau des valeurs typiques en clo des vêtements présent dans la norme ASHRAE.

**TABLE B1**  
**Clothing Insulation Values for Typical Ensembles<sup>a</sup>**

Clothing Description	Garments Included <sup>b</sup>	<i>I<sub>cl</sub></i> (clo)
<b>Trousers</b>	1) Trousers, short-sleeve shirt	0.57
	2) Trousers, long-sleeve shirt	0.61
	3) #2 plus suit jacket	0.96
	4) #2 plus suit jacket, vest, T-shirt	1.14
	5) #2 plus long-sleeve sweater, T-shirt	1.01
	6) #5 plus suit jacket, long underwear bottoms	1.30
<b>Skirts/Dresses</b>	7) Knee-length skirt, short-sleeve shirt (sandals)	0.54
	8) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, full slip	0.67
	9) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, long-sleeve sweater	1.10
	10) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, suit jacket	1.04
	11) Ankle-length skirt, long-sleeve shirt, suit jacket	1.10
<b>Shorts</b>	12) Walking shorts, short-sleeve shirt	0.36
<b>Overalls/Coveralls</b>	13) Long-sleeve coveralls, T-shirt	0.72
	14) Overalls, long-sleeve shirt, T-shirt	0.89
	15) Insulated coveralls, long-sleeve thermal underwear tops and bottoms	1.37
<b>Athletic</b>	16) Sweat pants, long-sleeve sweatshirt	0.74
<b>Sleepwear</b>	17) Long-sleeve pajama tops, long pajama trousers, short 3/4 length robe (slippers, no socks)	0.96

a Data are from Chapter 8 in the 2001 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

b All clothing ensembles, except where otherwise indicated in parentheses, include shoes, socks, and briefs or panties. All skirt/dress clothing ensembles include pantyhose and no additional socks.

### 4. Clo des vêtements typiques (ASHRAE, 2004 p. 18)

## 3 Les attentes personnelles :

La capacité/volonté d'un utilisateur des lieux à s'adapter à une condition déterminée de confort dépend aussi des attentes qu'il a par rapport à l'endroit où il se trouve. Cette attente sera différente s'il se trouve dans un hôtel de luxe ou dans un logement social en mauvais état. De plus, les usagers perçoivent la possibilité de modifier les conditions environnementales d'un espace et cela influence leur capacité d'adaptation comme, par exemple, la présence d'un thermostat.

## 4 Température de l'air :

Nous nous référons bien sûr à la température de l'air de l'espace utilisé par l'utilisateur.

### 5 Température radiante :

C'est la température transmise par radiation d'un corps chaud à un corps plus froid. La température des murs, des plafonds et des sols influence l'état de confort. Les variations de la température de ces corps modifient la perception de la température par l'utilisateur.

### 6 Humidité relative :

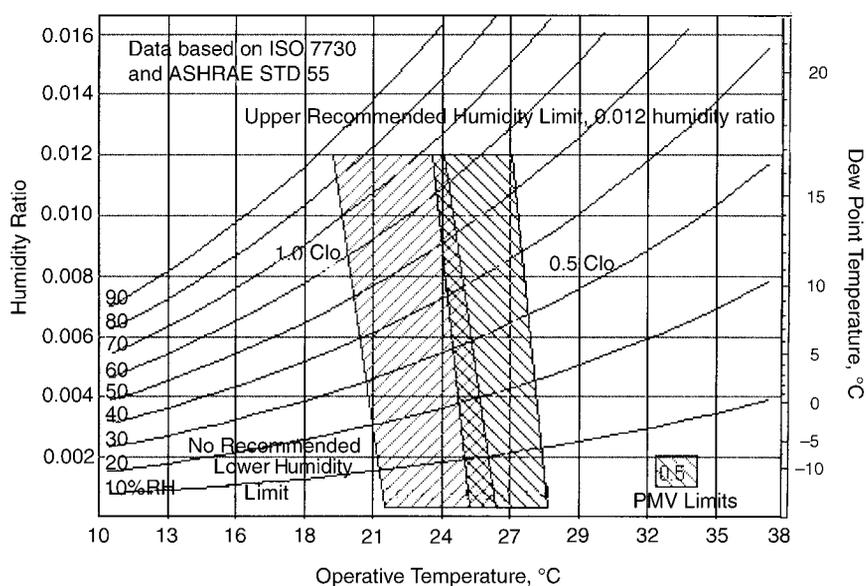
L'humidité relative influence l'état de confort de l'utilisateur et la possibilité pour son corps d'échanger la température avec l'extérieur. Une humidité relative trop basse, comme une humidité relative trop élevée sont sources d'inconfort et de risques pour la santé.

### 7 Vitesse de l'air :

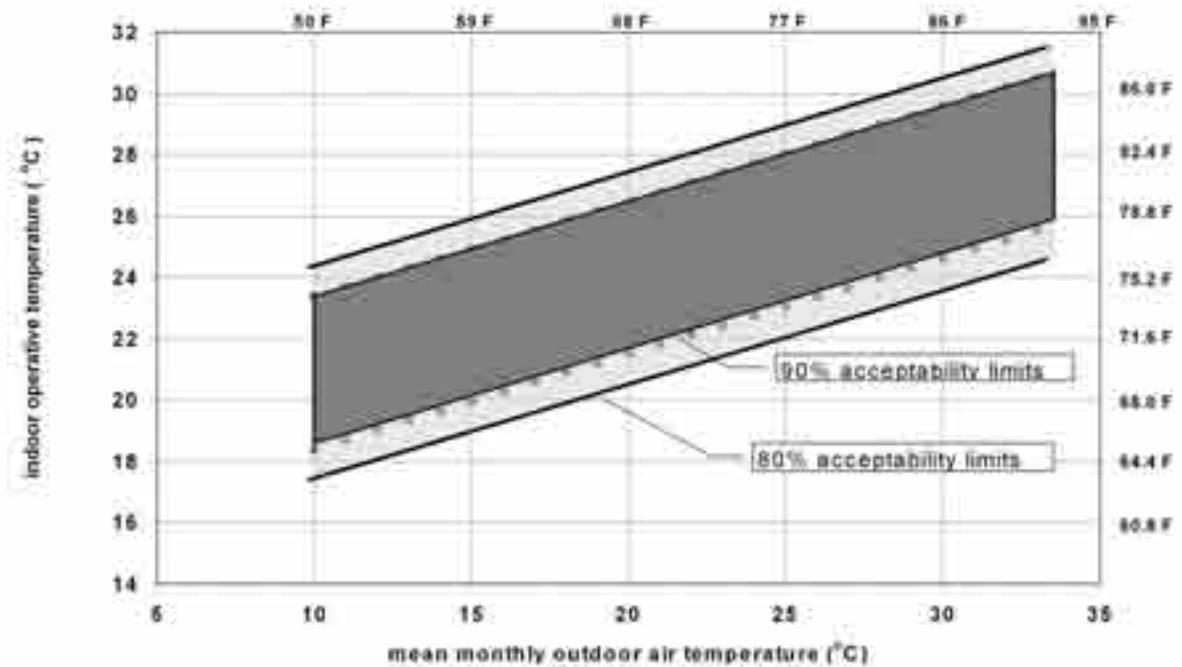
La vitesse de l'air influence la perception de la température. Une vitesse de l'air supérieure à 0.20 m/s pourrait engendrer des conditions d'inconfort. Une vitesse de l'air supérieure peut être utilisée pour rafraîchir. La norme ASHRAE n'établit pas de vitesse minimum, mais une vitesse maximale. En conditions de forte chaleur, la vitesse de l'air ne doit pas dépasser les 0.8 m/s. En conditions de température normale, la vitesse de l'air doit être inférieure à 0.25 m/s (McDowall, 2007 pp. 33-37).

La norme ASHRAE définit les zones de confort pour les espaces ventilés naturellement et pour les espaces climatisés. R. McDowal considère qu'il existe trois types d'espaces climatisés « Class A – high comfort, Class B – normal comfort, Class C – relaxed standard of comfort (McDowall, 2007 p. 37) ». Nous avons déjà souligné qu'un facteur de la perception du confort est soumis aux attentes des usagers et à la possibilité de modifier les conditions climatiques. La norme ASHRAE introduit les principes de la méthode adaptative pour définir la zone de confort des usagers des bâtiments ventilés naturellement, avec des fenêtres accessibles.

Nous montrons ci-dessous les graphes des zones de confort, dans des bâtiments ventilés naturellement et dans des bâtiments climatisés.



5. Acceptable range of operative temperature and humidity (ASHRAE, 2004 p. 5)



**Figure 5.3** Acceptable operative temperature ranges for naturally conditioned spaces.

6. *Acceptable range of operative temperature and humidity (ASHRAE, 2004 p. 10)*

Ils nous font comprendre que l'acceptation des situations d'inconfort de la part des usagers est bien différente dans les deux cas.

Le document 'ASHRAE Standards, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy' (ASHRAE, 2004) définit par la suite les prescriptions pour réaliser un projet 'conforme'.

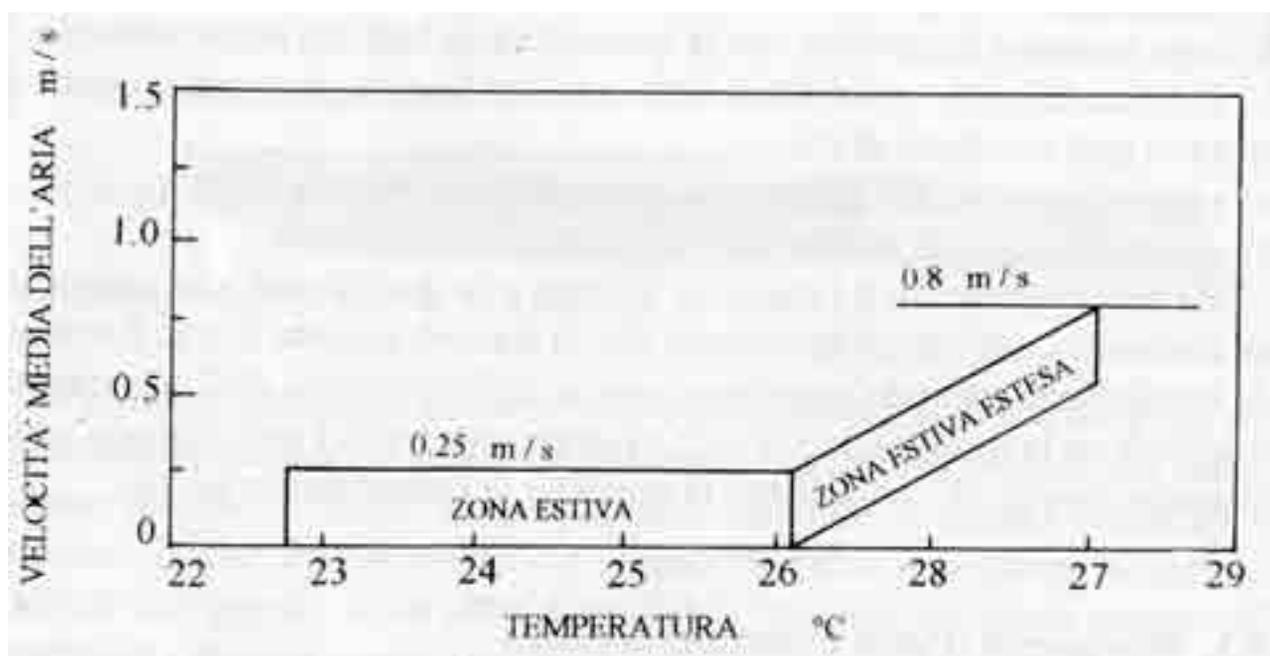
### 1.2.1 Principales cause d'inconfort

R. McDowall, dans son ouvrage (McDowall, 2007) met en évidence les principales sources d'inconfort. Nous allons les citer, car nous pensons qu'elles sont à la base des erreurs à éviter pour le concepteur qui voudrait réaliser un bâtiment rafraîchi passivement.

#### 1.2.1.1 Vitesse de l'air trop élevé

Une vitesse de l'air élevée peut améliorer le rafraîchissement, mais ne doit pas dépasser les 0,8 m/s. Bien entendu, dans des conditions de basse température, une vitesse élevée de l'air provoquerait de l'inconfort pour les usagers. De la même manière, une vitesse supérieure à 0,8 m/s est désagréablement ressentie.

Ci-dessous les limites de température et de vitesse de l'air permettant de rester dans la zone de confort.



7. Zone de confort estivale en fonction de la vitesse de l'air (GROSSO, 2008 p. 110)

#### 1.2.1.2 Courants d'air<sup>4</sup>

L'inconfort provoqué par les courants d'air est souvent peu pris en compte par les concepteurs. Cette sensation dépend de la température de l'air, de la vitesse et des turbulences. Il est évident qu'il est difficile en phase de projet de prévoir tous les mouvements de l'air, mais il faut tout de même tenir compte de ce paramètre. Les usagers sont plus sensibles aux courants d'air froids qu'aux courants d'air chauds. Le même appareil peut être déclaré gênant en été quand il rafraîchit, tandis qu'en hiver il sera accepté quand il réchauffe l'air.

#### 1.2.1.3 Différences verticales des températures

Souvent, dans les immeubles chauffés ou qui présentent une isolation thermique des dalles insuffisante, la différence entre les températures verticales est grande. L'air chaud est moins dense et monte. Ce phénomène peut devenir inconfortable s'il y a une différence supérieure à 5°C entre la température au sol et celle à la tête des usagers.

#### 1.2.1.4 Température du sol

Une température du sol trop basse ou au contraire trop élevée peut être gênante. Selon R. McDowall la température du sol doit être comprise entre 18.8°C et 28.8°C, pour des usagers qui sont chaussés et ne s'assoient pas par terre (McDowall, 2007 p. 40). Ces températures sont supérieures aux prévisions habituelles des concepteurs.

Il faut aussi savoir que la température du sol peut être utilisée pour ajouter du confort par rapport à la température de l'air (sol radiant).

4 Draft selon la définition de la norme ASHRAE (ASHRAE, 2004 p. 7)

### 1.2.1.5 Fluctuations de la température

Les fluctuations de la température de l'air dans une ambiance peuvent être mal ressenties par les usagers. Ces gênes peuvent se produire dans des espaces équipés d'un thermostat peu sensible et d'un chauffage de type on/off.

### 1.2.1.6 Répartition de la température radiante

Les usagers peuvent accepter des températures radiantées différentes par rapport à la température de l'air, mais la différence de température entre ces surfaces ne doit pas être excessive. Cela est particulièrement vrai pour les plafonds. Il est assez classique de trouver des cas de plafonds en toitures mal isolées, qui apportent des sensations d'inconfort.

## 1.3 *Autres définitions de confort*

La Norme ASHRAE est utilisée comme base de plusieurs recherches qui apportent des informations supplémentaires.

Comme nous l'avons vu, depuis l'introduction des concepts de 'l'adaptative confort' et la prise en considération des facteurs culturels pour établir les zones de confort des usagers, il devient de plus en plus plausible d'apporter des précisions sur les caractéristiques des usagers, leur capacité à s'adapter, leur façon de s'habiller, leur âge ... La norme ASHRAE définit un 'standard' et ne donne pas d'informations sur la capacité d'accoutumance par rapport à l'âge des usagers et aux cultures locales. Nous allons citer des études qui nous permettront de voir que le confort des usagers peut évoluer entre différentes zones géographiques.

C. BOUDEN et N. GHRAB ont mené des recherches sur la perception du confort en Tunisie (Bouden, et al., 2005). Ils ont questionné des usagers de bâtiments ventilés naturellement et ils ont vérifié le rapport entre les températures de confort et les températures extérieures. Les bâtiments analysés par les auteurs étaient principalement des habitations et des bureaux non climatisés. Les résultats des études montrent une capacité de la population de la région à s'adapter au climat et la forte corrélation entre la température de confort et la température extérieure.

D'autres études proposent des zones de confort 'adaptées' à une région déterminée. Nous pourrions en mentionner plusieurs, mais nous voulons n'en citer que deux qui nous ont beaucoup intéressés. Premièrement, une étude menée en Angleterre sur le confort adaptatif des usagers de bâtiments de bureaux (Barlowa, et al., 2007). Et deuxièmement une étude menée en Chine sur l'analyse comparative du confort thermique dans des zones rurales et urbaines (Hana, et al., 2009).

### 1.3.1 Le confort dans les bâtiments de bureaux au Royaume-Uni

La recherche menée par S. BARLOW et D. FIALA porte sur les possibilités de réhabilitation écologique des bâtiments de bureaux au Royaume-Uni. L'étude

commence par nous communiquer des données intéressantes. Les systèmes de climatisation dans les bâtiments de bureaux au Royaume-Uni, sont à la source de seulement 5% d'émissions de CO<sub>2</sub>, en raison du peu de bâtiments rafraîchis passivement. Les bâtiments, où les systèmes de climatisation sont présents, sont à la source de 31% d'émissions de CO<sub>2</sub>, ce qui est énorme (Barlowa, et al., 2007). La recherche est basée sur une étude d'analyse d'un bâtiment existant construit dans les années 50 et réhabilité en 2001. Le bâtiment est rafraîchi par ventilation traversant et ventilation nocturne. Les usagers ont été questionnés à plusieurs reprises pendant l'année pour évaluer leurs conditions de confort et les origines de leur inconfort.

Les résultats des enquêtes et des mesures de température et d'humidité ont été comparés aux standards du confort adaptatif de la littérature sur le sujet.

Les usagers ont été interviewés au sujet des dispositifs leur permettant d'améliorer leur confort. Les résultats sont intéressants et confirment qu'un bâtiment conçu pour permettre aux usagers de modifier les conditions environnementales, améliore la sensation de bien-être.

Quand les usagers ont été questionnés sur les opportunités d'ajuster l'état de confort à leurs besoins 74% d'entre eux ont répondu qu'il s'agissait de la liberté d'ouvrir les fenêtres, 69% de la possibilité de contrôler l'éclairage naturel. Les usagers voudraient pouvoir contrôler l'éclairage par zones (56%) et ne sont pas favorables à des dispositifs qui éteignent automatiquement la lumière (59%) et enfin 55% des utilisateurs des lieux désireraient pouvoir augmenter la ventilation naturelle.

Les occupants perçoivent comme confortable le chauffage/climatisation par plancher radiant, ce qui permet de réduire la consommation électrique et de laisser la possibilité d'ouvrir les fenêtres. Un autre résultat des études qui nous a intéressés est la perception du confort thermique. Les usagers sont plus sensibles aux surchauffes par rapport aux prévisions faites selon la méthode des PMV (predicted mean vote). Les auteurs essaient d'expliquer les raisons de cette différence. Ils citent une enquête similaire sur des bureaux à Londres où il en était ressorti des valeurs similaires, mais l'explication la plus plausible est que la radiation solaire pendant les jours de malaise était particulièrement forte et les usagers qui travaillaient près des fenêtres, ont été gênés par la radiation solaire directe ou indirecte qui, de plus, pourrait avoir modifié la température radiante.

Ce qui résulte de cette recherche ce sont des prescriptions intéressantes. D'une part, les auteurs conseillent de prendre en considération, pour la réhabilitation des bâtiments, les aspects du confort adaptatif, les définissant comme « some of the best low energy opportunities », s'ils sont couplés avec des apports passifs, comme l'amélioration de l'isolation thermique, de la protection solaire ...

D'autre part, les auteurs focalisent leur attention sur les capacités des concepteurs (architectes ou ingénieurs) à comprendre les aspects humains, pour mieux harmoniser la conception du bâtiment avec les nécessités du confort adaptatif, et exploiter au mieux ces opportunités. «They will also need to understand how these environmental systems can be controlled by small

groups of people, how this form of adaptation will interact with individual desires in a practical way and how this will feed into the overall perception of occupants' comfort levels as a large group<sup>5</sup>» (Barlowa, et al., 2007). Ce qui nous a particulièrement intéressés, dans cette recherche, c'est le rôle actif des concepteurs pour améliorer les capacités d'adaptation des usagers à l'environnement. Un bâtiment ainsi conçu permettrait de réduire le niveau de prestations des systèmes de contrôle environnemental nécessaires à garantir le confort. Cela se traduirait par une réduction des besoins en chauffage et en climatisation.

### **1.1.1 Analyse comparative du confort thermique dans des résidences rurales et urbaines en Chine**

Dans la première partie de notre recherche, nous nous sommes interrogés sur l'apport de l'architecture vernaculaire dans la conception des bâtiments rafraîchis passivement. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, nous avons analysé les constructions vernaculaires qui apportaient une solution pour les usagers à l'inconfort en été. Au cours de cette analyse nous avons formulé des hypothèses sur la perception du confort, différente dans le passé et de nos jours (GROSSO, 2008 p. 18).

Naturellement il est difficile de trouver des données scientifiques qui établissent un cadre des différents niveaux d'inconfort consenti par les usagers du passé et par nos contemporains, afin de mieux comprendre à quel point les architectures vernaculaires peuvent inspirer les concepteurs d'aujourd'hui. Nous avons trouvé une étude qui pourrait confirmer, en partie, nos hypothèses.

En Chine, dans une région du vers le sud du pays, a été menée une étude comparative entre la perception du confort en ville et dans les zones rurales. Malheureusement, cette recherche a été menée seulement en hiver, et il n'a pas été possible d'avoir des données pour l'été. L'étude en question (Hana, et al., 2009) a porté sur la capacité d'adaptation aux températures des habitants de la ville de Hunan et dans un village à 150 km de la ville, aux mêmes conditions climatiques. Nous avons été intéressés pour deux raisons : D'une part, la Chine nous semble un lieu idéal pour comparer les besoins des usagers des bâtiments issus de l'architecture vernaculaire ou contemporaine, vu l'industrialisation rapide du pays et le développement d'un style de vie à l'occidentale dans les villes, tout en présentant une population rurale qui continue à vivre suivant la tradition vernaculaire. D'autre part, les demeures, dans la zone rurale qui a été analysée, sont en grande partie construites en terre, ce qui en fait des exemples d'architecture 'vernaculaire' encore utilisée.

Les résultats de l'étude confirment les hypothèses que nous avons précédemment trouvées dans l'ouvrage de M. Grosso, et que nous avons adoptées.

La température opérative à laquelle les usagers urbains ont déclaré avoir une neutralité de confort est de 14.0°C et pour les ruraux elle est de 11.5°C

5 Traduction propre : « Ils ont besoin de comprendre comment ces systèmes environnementaux peuvent être contrôlés par un petit groupe de personnes, comment cette forme d'adaptation va interagir avec les désirs individuels d'une façon pratique et comment cela va se traduire dans la perception globale des niveaux de confort des occupants qui constituent un groupe important »

.A la même température opérative on constate un pourcentage inférieur des usagers qui déclarent acceptable leur état de confort en ville, par rapport aux usagers ruraux.

Ces résultats pourraient paraître évidents, mais confirment que la capacité d'adaptation des usagers en zone rurale est bien supérieure à la capacité ou aux attentes des usagers en ville. Les auteurs expliquent ces résultats par une aptitude importante à s'adapter au climat, venant de leur histoire, et par une attente moindre de performances de la part des usagers ruraux. A notre avis, ils oublient peut-être la différence entre le travail physique fourni par les usagers ruraux et celui fourni par les citadins.

Les auteurs font une comparaison intéressante entre les températures opératives donnant lieu à un PMV de 0 dans la ville de Hunan et les villes d'Illam (Ouest de l'Iran) et Bari (Sud de l'Italie). Les résultats nous confirment une liaison très forte entre la température moyenne opérative et la température opérative donnant lieu à un PMV de 0. Dans la ville de Hunan elle est de 14°C avec une température moyenne opérative de 12°C. Dans la ville de Ilam nous trouvons respectivement les valeurs de 20.8°C et de 21.9°C, et dans la ville de Bari 20.7°C et 28.0°C. Ces valeurs confirment la forte aptitude des usagers à s'adapter au climat, mais on remarque aussi que les valeurs des CLO (niveau d'isolation par les vêtements) sont bien entendu différentes. Les CLO moyennes des usagers de Hunan sont de 2.0, à Ilam elles sont de 1.5 et à Bari de 0.88 (Hana, et al., 2009). Ces dernières valeurs expliquent mieux les différences entre les températures opératives, mais elles sont aussi le signe d'une volonté des usagers de s'adapter à un climat déterminé. Bien sûr, les valeurs de CLO sont aussi liées à des facteurs culturels et à des courants de mode du moment, mais ils restent néanmoins liés au climat du site. De plus, nous ne devons pas oublier que les analyses ont été réalisées dans des habitations, lieux moins liés aux 'contraintes sociales' et que ces valeurs seraient sûrement différentes dans des bâtiments de bureaux.

### **1.4 Synthèse**

Dans ce dernier chapitre du premier volume de la thèse, nous avons analysé le concept de confort thermique et de manière très synthétique son évolution, jusqu'à donner une vision générale de la norme ASHRAE 55. Les principes du confort adaptatif ont retenu notre attention et nous considérons que le concepteur d'un bâtiment rafraîchi passivement devrait les avoir toujours présents à l'esprit.

Nous avons cité les principales causes d'inconfort décrites par R. McDowall.

Plus loin, nous nous sommes concentrés sur deux aspects qui nous intéressaient particulièrement et pour ce faire, nous avons cité deux études sur le confort thermique.

La première enquête de S. BARLOW et D. FIALA sur des bâtiments de bureaux au Royaume-Uni nous a particulièrement intéressés, car les auteurs voulaient comprendre comment un concepteur doit œuvrer pour réaliser un bâtiment qui garantisse le confort thermique des usagers, sans utiliser de climatisation

mécanique. Il en ressort la capacité des usagers à s'adapter à des conditions thermiques moins favorables, si les paramètres du confort adaptatif sont bien étudiés. Il revient à la sensibilité du concepteur de trouver des manières d'harmoniser les dispositifs composant un bâtiment aux besoins et aux attentes des futurs occupants. Comme suggèrent les chercheurs, il faudrait développer les études sociales des concepteurs de bâtiment, afin qu'ils puissent répondre aux exigences des usagers. Si un bâtiment est conçu de manière à exploiter les capacités d'adaptation des usagers, les prestations thermiques demandées seront beaucoup moins élevées.

Grâce à la seconde étude que nous avons citée, l'analyse comparative du confort thermique dans des résidences rurales et urbaines en Chine, nous avons trouvé confirmation des hypothèses émises dans le chapitre sur l'architecture vernaculaire. De plus, cette recherche nous a permis d'approfondir notre interprétation de l'architecture vernaculaire, comme source d'inspiration pour les architectes contemporains.

Nous sommes toujours convaincus que l'architecture contemporaine devrait s'inspirer des connaissances et des concepts venant de l'architecture vernaculaire, mais la reproduction à l'identique de ces modèles, construits pour répondre à des attentes bien différentes de celles des usagers contemporains, demeure impossible. De plus, les systèmes de rafraîchissement de l'architecture traditionnelle demandaient souvent l'intervention continue des usagers, ce qui ne correspond pas du tout aux façons de concevoir l'habitat à nos jours.

Selon plusieurs analystes, le concept du confort est en cours d'évolution vers des standards similaires dans le monde entier, les usagers « *perçoivent comme acceptables les températures de 21-22°C en hiver et 26-27°C en été et il est très improbable qu'on puisse revenir en arrière* » (GROSSO, 2008 p. 18).

Nous pensons que les usagers devraient modifier leur perception de confort et s'adapter davantage aux conditions climatiques pour réduire l'impact que notre société a sur la planète, mais nous avons décidé de ne pas tenir en considération nos convictions dans ce travail de recherche, car elles demeurent trop '*militantes*'.

De plus, nous voudrions comprendre si les systèmes de rafraîchissement passif pourraient garantir le confort également pour les usagers qui ne partagent pas ces convictions.





# Partie 01 - Conclusions

La première partie de ce travail de recherche peut être définie comme l'état de l'art. Nous avons présenté le rafraîchissement passif, le rafraîchissement dans l'architecture vernaculaire et le confort des usagers contemporains. Ces premiers chapitres ont été présentés de manière classique, nous nous sommes basés sur des recherches déjà existantes, pour rédiger ces chapitres. Dans la deuxième partie, nous allons entrer dans le cœur de la recherche et nous présenterons la méthode que nous avons mise en place pour évaluer les bâtiments rafraîchis passivement.



## Conclusions de la première partie

Cette première partie nous a permis de comprendre ce qu'est le rafraîchissement passif, d'analyser comment l'architecture vernaculaire dans les climats chauds a répondu à cette problématique et quelles sont les exigences de confort des usagers contemporains. Nous pouvons définir ce chapitre comme l'état de l'art de notre recherche, état de l'art qui nous a déjà donné les premières réponses au questionnement du début.

Nous avons étudié ce qu'est le rafraîchissement passif, quels sont les différents puits thermiques (SANTAMOURIS, et al., 1996 pp. 8-11) et comment il est possible de les exploiter pour réduire la température pendant les heures d'utilisation d'un bâtiment.

Le rafraîchissement passif ou hybride peut théoriquement faire baisser considérablement la température de l'air dans un espace utilisé, mais il ne pourra jamais atteindre les prestations des climatiseurs mécaniques, très consommateurs d'énergie, mais qui peuvent, si bien dimensionnés, rafraîchir un espace dans n'importe quelle condition climatique. De plus, les apports internes des bâtiments contemporains sont considérables : pour ce motif un bon projet de bâtiment rafraîchi passivement doit commencer par une réduction des apports internes.

Nous nous sommes interrogés sur les motifs qui ont poussé les 'architectes' du passé à réaliser des demeures rafraîchies passivement.

Comme nous avons pu le voir, l'architecture vernaculaire pourrait être une grande source d'inspiration, mais avec une grande attention à deux facteurs fondamentaux. Tout d'abord, aujourd'hui, nous ne pouvons pas envisager de réaliser des bâtiments à grande échelle avec les techniques de l'architecture vernaculaire. Bien sûr, il y a toujours des constructeurs qui réalisent des maisons en pisé ou en adobe, mais ils pourront difficilement en faire des techniques de construction courantes. De plus, ces techniques sont basées sur un grand emploi de main d'œuvre et aujourd'hui, en Europe, la main d'œuvre a une incidence trop importante sur le coût de la construction.

Le deuxième motif est que la capacité d'adaptation des usagers, de nos jours, est différente de celle des usagers du passé. Comme nous avons pu le voir, les attentes des usagers, autrefois, étaient bien différentes des attentes contemporaines.

Cela est particulièrement vrai en ce qui concerne la capacité d'adaptation au froid. Nous n'avons pas trouvé, dans la littérature, de données claires sur la capacité d'adaptation à la chaleur dans le passé, mais il est plausible que les usagers aient, alors, des attentes de prestations moins élevées ainsi que pour le confort d'été. D'ailleurs, ils pouvaient seulement réduire leur activité physique, une fois dépassée la température de confort, jusqu'à l'obligation de s'arrêter complètement. C'était un problème important et, comme nous l'avons vu, les concepteurs du passé ont tenté plusieurs stratégies, pour réduire l'importance du problème.

Nous avons constaté que les concepts du confort adaptatif peuvent

permettre aux usagers de ressentir un état de confort avec des températures internes élevées. Mais nous avons aussi vu que l'architecte doit développer des études de société pour comprendre au mieux la façon dont l'utilisateur va utiliser un dispositif déterminé, si les agencements peuvent être manœuvrés par des groupes d'utilisateurs, ou si c'est à l'utilisateur seul de contrôler les conditions environnementales d'un espace déterminé.

Les difficultés pour le concepteur, de créer un bâtiment adapté aux usagers et permettant d'exploiter au maximum leur capacité à s'adapter aux températures environnementales, sont importantes, mais pas impossibles à surmonter. De plus, le concepteur doit tenir compte du fait que la durée de vie d'un bâtiment est supérieure au temps d'utilisation d'un usager donné.

Le concepteur, qui *'architecture'* (RECHTIN, et al., 2009) des solutions à ces problématiques, doit essayer de prendre en considération toutes ces variables, et avoir bien présent à l'esprit le concept du confort adaptatif pour satisfaire toutes les parties en cause.

Cela pourrait donner de meilleures chances majeures de réussite, car les prestations exigées par les usagers seraient moindres. Pourtant, nous avons vu qu'en réalité les usagers des bureaux sont plus sensibles à la chaleur, par rapport aux prescriptions des normes sur le confort adaptatif (Barlowa, et al., 2007), c'est pourquoi ces données devraient être prises en compte par les concepteurs de ce type de bâtiment.







**Partie 2 - l'évaluation des  
bâtiments et les règles**

**Introduction**

*Photographie du Queens building de l'université de Leicester (D.G.Boyce)*



# Introduction

Dans la première partie de ce travail de recherche, on a pu comprendre ce qu'est le rafraîchissement passif, le confort de nos jours et les réponses de l'architecture vernaculaire dans les régions à climat chaud. Cette première partie nous permet de nous poser, avec un peu plus d'informations, la question principale de notre travail : est-ce qu'on peut se passer de la climatisation mécanique ?

Comme on l'a vu, diverses raisons poussent les architectes à concevoir les constructions de manière différente, le mythe d'un confort *artificiel* est en crise.

On s'aperçoit, par contre, que la conception bioclimatique est plus difficile et coûteuse, pour le maître d'œuvre et pour le maître d'ouvrage. Les maîtres d'ouvrages et les maîtres d'œuvre sont dans la situation de devoir faire un effort supplémentaire pour réaliser un bâtiment rafraîchi passivement. Les coûts de construction et d'étude d'un bâtiment conçu pour être le moins énergivore possible sont importants. De plus, la conception bioclimatique ne peut pas simplement se limiter au bâtiment, le comportement des usagers modifie radicalement le comportement bioclimatique du bâtiment. Souvent on s'aperçoit qu'usage, systèmes de contrôle et de fonctionnement sont en contradiction avec les systèmes de rafraîchissement mis en place par l'architecte.

De plus, les techniques utilisées par les architectes pour le rafraîchissement passif sont souvent expérimentales et le savoir-faire des entreprises, souvent non spécialisé, peut être un autre point de mauvais fonctionnement des systèmes de rafraîchissement. À ce sujet, les techniques pour améliorer le confort dans des climats froids sont plus courantes et développées, la recherche existe depuis plus longtemps et les techniques de construction sont devenues plus courantes et acceptées. Les maîtres d'ouvrage qui décident de réaliser un bâtiment rafraîchi passivement s'exposent à des risques d'échec, ce qui pourrait compromettre de grands investissements.

Souvent ces problèmes sont dus à de simples erreurs de communications ou à des manques de maintenance, qui auraient dû faire l'objet d'une meilleure explication. Un autre problème naît du fait que souvent il y a une grande distance entre le constructeur et l'utilisateur final, qui n'a pas pris part aux choix des architectes et des maîtres d'œuvre et qui se retrouve dans l'incapacité de faire fonctionner correctement le *système bâtiment*. Toutes ces causes de dysfonctionnement donnent une mauvaise image des systèmes passifs de rafraîchissement. Un climatiseur, si l'électricité est fournie régulièrement, marche toujours, qu'il soit installé à Dakar, ou à New York. Un système de rafraîchissement passif doit être bien étudié et bien utilisé, pour garantir l'état de confort des usagers.

Notre objectif est de vérifier si le rafraîchissement passif est vraiment une des voies possibles et si on peut vraiment se passer de la climatisation mécanique pour garantir le confort des usagers, tout en réalisant un carnet de *règles* aptes à aider l'architecte et le maître d'ouvrage à éviter des incohérences courantes.

Pour atteindre cet objectif nous avons cherché à mettre en place une méthode apte à évaluer le bâtiment comme un ensemble, ayant l'objectif de garantir le confort thermique des usagers. Notre approche systémique nous a permis d'évaluer le bâtiment et ses dispositifs architecturaux et de les interpréter comme s'ils étaient une *machine/organisme* apte à garantir le confort thermique des usagers. Notre évaluation ne s'est pas limitée à une simple analyse cartésienne, mais a pris en considération les composantes d'usage et de fonctionnement des systèmes de rafraîchissement.

L'évaluation de la *qualité* est naturellement quelque chose de difficile. Notre évaluation est basée sur les caractéristiques du bâtiment, permettant de garantir le confort thermique des usagers, et en particulier dans la période la plus chaude de l'année.

Pour créer des *règles* aptes à donner des informations sur la réalisation des systèmes de rafraîchissement passif 14 bâtiments rafraîchis passivement ont été analysés. Les incohérences les plus communes causant le mauvais fonctionnement des systèmes de rafraîchissement et les idées innovatrices en réalisant le succès ont été mises en avant.

Pendant cette recherche nous nous sommes aperçu de la difficulté de présenter les données récoltées dans notre *base de données critique*, pour résoudre ce problème on a rédigé des fiches des bâtiments, avec l'aide des photos et de la possibilité de faire une synthèse du résultat obtenu avec la base des données, nous avons pu présenter les bâtiments analysés. Les fiches ont permis aussi d'élargir la réflexion. Les architectes ont donné des réponses diverses sur l'intégration des systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture. Les fiches ont donné la possibilité de réaliser une analyse architecturale, pour comprendre la posture des architectes par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement. La prégnance des systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture Il a été analysé et les deux écoles ont été mises en confrontation : d'une part les architectes qui visent à rendre visibles les systèmes de rafraîchissement passif en les utilisant par fois de façon *pédagogique* et d'autre part des architectes qui visent à les intégrer en poursuivant un style architectural *moderne et séduisant*, tout en réalisant des bâtiments peu énergivores.

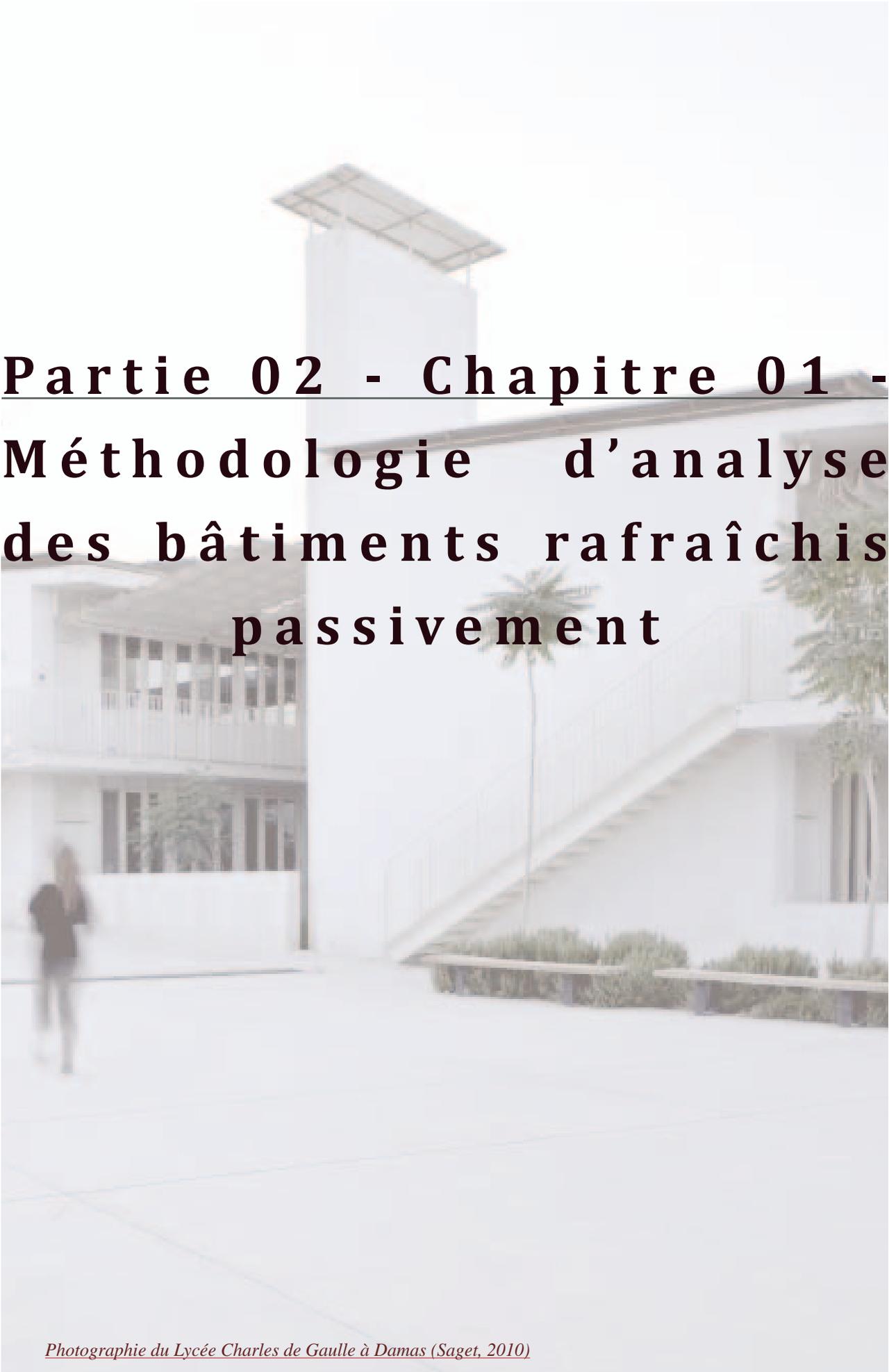
Grâce aux deux instruments que nous avons énoncés, la base de données critique et les fiches, nous avons pu réaliser un carnet de règles. Cela a été récolté en deux fiches : la fiche des règles et la fiche des incohérences à éviter.

Par la suite nous avons voulu donner un dernier instrument au concepteur. Nous avons remarqué que certaines règles devraient être toujours appliquées, et que d'autres pouvaient être en interrelation. Le concepteur doit avoir la capacité d'architecturer des solutions avec ces différentes règles et les caractéristiques du bâtiment à réaliser.

Nous avons récolté ces résultats dans une grande planche qui permettra au concepteur de mieux comprendre les différentes interrelations entre les règles.







**Partie 02 - Chapitre 01 -  
Méthodologie d'analyse  
des bâtiments rafraîchis  
passivement**

*Photographie du Lycée Charles de Gaulle à Damas (Saget, 2010)*



# 1. L'analyse du corpus d'étude

## 1.1 *Présentation de la problématique*

Les architectes des dernières années, pour différents motifs, ont rarement travaillé sur le rafraîchissement passif. D'une part, la possibilité de réduire l'activité physique des personnes à l'intérieur des familles et d'autre part la facilité d'installation et le coût très faible d'un climatiseur, ont énormément diminué l'attention des constructeurs et des usagers sur ce problème.

Les architectes contemporains qui ont souhaité résoudre le problème de surchauffe des bâtiments de manière passive ont dû essayer d'adapter des techniques et des systèmes anciens aux nécessités d'aujourd'hui et aux demandes de performance très élevées.

Le nombre des bâtiments, en particulier de nos jours, rafraîchis passivement est très réduit. Par exemple, selon les estimations du groupe de recherche PHDC (PHDC, 2009 p. 47), il existe au monde environ cinquante bâtiments, construits ces quinze dernières années, qui sont climatisés avec des systèmes de rafraîchissement par évaporation directe.

La difficulté à laquelle on se trouve confronté lorsqu'on procède à l'analyse de bâtiments rafraîchis passivement réside dans le fait de trouver une méthode fiable capable d'évaluer des édifices localisés dans des différentes régions du monde, avec des conditions climatiques et des usages différents.

A ce sujet, il faut citer la recherche menée par le groupe de recherche PHDC<sup>1</sup> sur les bâtiments rafraîchis par évaporation directe. Pour surmonter cette difficulté, la méthode adoptée a été de réaliser des enquêtes et des analyses post occupation (SCHIANO PHAN, et al., 22-24 October 2008). Leur travail, qui a donné lieu à un livre très intéressant dont nous parlerons plus loin, est basé sur les analyses post occupation et des études ponctuelles de bâtiments.

L'objectif des chercheurs était de promouvoir le rafraîchissement par évaporation. Pour cela, ils ont réalisé un manuel de projet et analysé un certain nombre de bâtiments, mais ils n'ont pas vu la nécessité de comparer ce bâtiment, ni d'étudier la corrélation entre le système de rafraîchissement et l'architecture.

La méthode que nous avons adoptée a donc dû rendre comparables des bâtiments, avec des fonctions différentes, construits dans différents lieux dans le monde. Au cours de notre travail nous avons essayé de comprendre les difficultés que pourrait rencontrer un architecte pour concevoir un bâtiment rafraîchi passivement et les contraintes qu'imposent ces systèmes.

Un obstacle a été la difficulté d'accéder à des informations scientifiques relatives aux bâtiments, cela nous a imposé de réduire le choix des bâtiments à analyser aux seuls dont on a pu obtenir suffisamment d'informations, la disponibilité des documents graphiques et des informations a déterminé le

1 (Passive and Hybrid Draught Cooling) - <http://www.phdc.eu>

choix des bâtiments à étudier.

Les plus grandes difficultés ont été la rareté des exemples et l'extrême pénurie d'études menées sur ces exemples. Ces complications nous ont convaincu une fois de plus de la nécessité de cette recherche.

Dans ce chapitre nous présenterons la méthodologie que nous avons utilisée pour étudier les bâtiments et les instruments qui nous ont permis de les évaluer et de les comparer. De plus, nous chercherons à expliquer, à travers la présentation des recherches sur lesquelles nous nous sommes appuyés, comment nous avons essayé de comprendre le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement passifs ou hybrides et l'harmonie entre le système bâtiment et les usagers. Ces derniers ont été, depuis le début de notre travail, au centre de nos analyses. Nous pensons que le dispositif le plus performant possible ne pourra jamais fonctionner s'il est 'mal utilisé'. Ces affirmations semblent être banales, mais le contraire est souvent vrai.

### **1.1 Méthode adoptée pour l'analyse des bâtiments.**

#### **1.1.1 La recherche à la base de la méthode**

##### **1.1.1.1 Définition de l'architecture et architecturer**

Prenant comme référence la recherche de Stéphane HANROT (HANROT, 2002) sur l'épistémologie du mot 'architecture' et sur ses liaisons avec la recherche, on essaie de définir notre relation à l'architecture et par conséquent notre approche méthodologique dans cette recherche.

S. HANROT cite et analyse plusieurs définitions du mot 'architecture' tout le long de l'histoire, de VITRUVÉ à E RECHTING. Ces définitions sont parfois très précises et parfois très ouvertes vers plusieurs domaines. Nous allons repousser son analyse, qui commence par la définition de Vitruve pour en venir aux définitions de E. RECHTING et M. W. MAIER, qui travaillent sur l'architecture des systèmes complexes, et ils l'appliquent aux sciences de l'aéronautique.

Nous épousons l'idée d'interpréter l'objet bâti comme un système complexe et l'architecte comme celui qui doit 'satisfaire' la demande des usagers.

Chez Vitruve « *l'architecture est une science qui doit être accompagnée d'une grande diversité d'études et des connaissances, par le moyen desquelles elle juge de tous les autres arts qui lui appartiennent. Cette science s'acquiert par la pratique et par la théorie : la pratique consiste dans une application continuelle à l'exécution des dessins... la théorie explique et démontre la convenance des proportions...* » (VITRUVÉ, 1986 p. 19). Cette définition de l'architecture nous donne une première entrée au métier de l'architecte. C'est celui qui maîtrise plusieurs sciences car il doit être capable de s'y confronter et de les coordonner.

L'architecte ne doit, bien entendu, pas être médecin, ingénieur, astronome, musicien, etc., mais il doit pouvoir coordonner tous ces aspects, car son art touchera à toutes ces sciences, pratiques et théoriques. Le mot 'architecture'

a eu plusieurs interprétations dans l'histoire, selon la période historique il avait des acceptions plus théoriques ou plus pratiques, presque toujours liées au concept d'ordonner et de prévoir un ordre, dans les formes, lumière, proportions, ...

De nos jours ce concept peut être élargi à plusieurs champs d'action, qui dépassent le domaine de la construction de bâtiments et s'élargissent aux domaines de la recherche, informatique, systémique, ...

### 1.1.1.2 Architecturer un système complexe

E RECHTIN nous livre une définition de l'architecte comme d'un coordonnateur de plusieurs sciences, qui ne vise pas forcément à l'optimisation du problème, mais à la solution intuitive. Cette approche est presque un mélange de sciences *exactes* et des sciences *appliquées*.

«We begin with a short look at the long and honorable history of civil architects and their architectures. It is a history being repeated in decades instead of centuries in new fields of communications, aerospace, computers, information sciences, and related engineering disciplines. As was the case with civil and naval architects before them, the new architects emerged when engineering problems became too complex to be solved by analysis alone. In today's parlance, single-variable optimization and multivariable trade-offs, while necessary, were not sufficient. When the problems included technology, economics, policy, politics, and psychology, striving for energy. A different, more intuitive, approach was needed if satisfactory solution were to be found within a reasonable time and cost. The historical, and still valid, approach was architecting – that combination of arts and science that specifies the functions to be performed and describes the system to be built.»<sup>2</sup> (RECHTIN, 1991 p. 6)

Dans les derniers 50 ans, la recherche scientifique cartésienne a toujours cherché à se séparer des autres approches *appliquées*, souvent perçues comme non scientifiques et rationnelles. La recherche *pure* était interprétée comme calculable et optimisée, très loin de l'approche *artistique* liée à des critères non rationnels. Les différences entre ingénierie et architecture sont liées à une approche opposée, d'une part on parle de modèles quantitatifs d'autre part de qualitatifs, d'une part on cherche à *optimiser*, d'autre part on cherche à *satisfaire*. Selon E. RECHTING et M. W. MAIER architecturer est un mélange entre l'approche artistique et scientifique : « *A great architect must*

---

2 « Nous commençons avec une courte revue de la longue et honorable histoire des architectes civils et de leurs architectures. C'est une histoire qui s'est répétée pendant des décennies plutôt que des siècles dans le nouveau champ des communications, de l'aérospatial, des ordinateurs, des sciences de l'information et des disciplines ayant à voir avec l'ingénierie. Comme ce fut le cas avec les architectes civils et navals avant eux, les nouveaux architectes émergent quand les problèmes d'ingénierie deviennent trop complexes pour être résolus par la seule analyse. En termes contemporains, l'optimisation monocritère et les analyses multicritères, bien que nécessaires, n'étaient pas suffisantes. Quand les problèmes incluent de la technologie, de l'économie, de la tactique, de la politique et de la psychologie, recherche des solutions, plus ou moins optimale, devint une perte de temps et d'énergie. Une approche différente, plus intuitive, fut requise si des solutions satisfaisantes pouvaient être trouvées dans un temps et à un prix raisonnable. L'approche historique, et encore valide, était 'd'architecturer'- cette combinaison des arts et de la science qui spécifie les fonctions devant être accomplies et décrit le système devant être construit » traduction Stéphane HANROT (HANROT, 2002 p. 36)

*be as skilled as an engineer and as creative as an artist or the work will be incomplete* <sup>3</sup>» (RECHTIN, et al., 2009 p. 27).

Les auteurs nous rappellent comment la solution à un problème est déterminée par la connaissance de ce qu'on pourrait obtenir, cela signifie que l'architecte d'un système complexe doit connaître les possibles *directions* générales que doit prendre le système. Quand celui-ci est trop complexe il est difficile et onéreux d'*optimiser*, il faudrait mieux chercher à *satisfaire*.

La méthodologie illustrée dans le livre *The Art Of Systems Architecting* démontre comment dans l'analyse des systèmes complexes les deux approches cartésiennes et artistiques, devraient se rencontrer. Les changements de la planète dans les dernières années et en particulier la globalisation, la prolifération d'internet, ... ont modifié le point de vue sur la recherche. Aujourd'hui le fonctionnement d'un système complexe dépend, non seulement de ses performances, mais aussi du niveau d'acceptation des *communautés d'utilisateurs* qui en sont influencés. Architecturer un système complexe est une discipline en rapide évolution. Architecturer un système signifie aussi comprendre que la réalité perçue a souvent une valeur *supérieure* à la réalité *réelle*, « *it's not the facts, it's the perceptions that count* »<sup>4</sup> (RECHTIN, et al., 2009 p. 109). Ce concept est souvent oublié, ou met en crise une analyse de type cartésienne, pour mieux expliquer cette définition, que nous interprétons comme très importante pour notre travail, les auteurs analysent et présentent des exemples : « *It makes little difference what facts nuclear engineers present about the safety of nuclear power plants, their neighbors' perception is that someday their local plant will blow up* »<sup>5</sup> (RECHTIN, et al., 2009 p. 133). Le même principe peut-être appliqué à l'architecture, souvent ce ne sont pas les solutions les plus techniquement efficaces qui donnent satisfaction aux usagers.

Cette œuvre veut être un pont entre deux mondes, d'une part les sciences exactes et d'autre part les arts. Les auteurs définissent les systèmes complexes comme des dispositifs composés de différentes parties, reliés par l'objectif d'obtenir un résultat qu'elles ne pourraient pas atteindre si elles n'étaient pas reliées. Ce concept est très important dans notre recherche, nous interprétons le bâtiment comme un système complexe et ses dispositifs ont des objectifs : loger, garantir le confort acoustique, thermique,... Pour architecturer un bâtiment il faut avoir la connaissance de l'ensemble des dispositifs, en prenant toujours en considération le fait que les interactions entre ces dispositifs permettent ou empêchent le système bâtiment d'*accomplir* ses tâches.

Alors que VITRUVÉ définit l'architecte comme un coordinateur des différents *arts* auxquels il fait appel, M. W. MAIER et E. RECHTIN ont comme référence les systèmes complexes, en particulier les systèmes de l'ingénierie aéronautique et travaillent sur les méthodes pour les architecturer.

---

3 « Un bon architecte devrait être aussi compétent qu'un ingénieur et aussi créatif qu'un artiste, autrement le travail ne sera pas complet » Traduction propre

4 « Ce qui est important ce ne sont pas les événements, mais leurs perceptions » Traduction propre

5 « Il y a une grande différence entre les énoncés des ingénieurs nucléaires sur la sécurité des centrales et la perception des voisins qui pensent qu'un jour ou l'autre la centrale va exploser. » Traduction propre

A ce titre, nous pensons que le bâtiment est aussi un système complexe et que les considérations de M. W. MAIER et E. RECHTIN, qu'ils ont développé pour l'aéronautique, s'y adaptent parfaitement. Pour pouvoir réfléchir et analyser le fonctionnement d'un bâtiment on doit se référer toujours au système bâtiment, avec ses différentes composantes d'usage, sociales et d'ingénierie. C'est pour ce motif que notre analyse se base sur une approche systémique.

Jean-Louis LE MOIGNE<sup>6</sup> nous propose une méthodologie de recherche, intéressante et appropriée à résoudre notre problématique, dans l'ouvrage « La théorie du système général ».

### 1.1.1.3 Théorie du système général Jean-Louis LE MOIGNE

J.L. LE MOIGNE a réalisé une méthodologie de recherche systémique. Dans ses écrits on retrouve à nouveau la comparaison entre les sciences *exactes* et la méthodologie cartésienne d'une part et les sciences *appliquées d'autre part*.

J.L. LE MOIGNE développe une nouvelle méthodologie de recherche et se pose en contraste avec l'approche cartésienne. Tout d'abord, on doit se demander ce qu'est un système. La définition la plus commune c'est de « *définir un système comme un ensemble ... un ensemble d'éléments en interaction.* » (LE MOIGNE, 2006 p. 19). Selon l'auteur, cette définition n'est pas satisfaisante, il veut l'élargir en passant d'une « *modélisation analytico-organique à une modélisation systémo-fonctionnelle* », et en passant de la question : « *de quoi c'est fait ? À la question qu'est-ce que ça fait* » (LE MOIGNE, 2006 p. 20).

L'auteur base son discours sur le contraste avec la méthode cartésienne et sur ses faiblesses, dues à la nécessité de décomposer un problème pour le résoudre, sans se poser la question de l'interaction des différents dispositifs qui permettent au système d'atteindre des objectifs. Pour modéliser un système, J.L. LE MOIGNE définit « *Les quatre préceptes du nouveau discours de la méthode.*

*Le précepte de pertinence : Convenir que tout objet que nous considérons se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur. Ne jamais s'interdire de mettre en doute cette définition si, nos intentions se modifiant, la perception que nous avons de cet objet se modifie.*

*Le précepte du globalisme : Considérer toujours l'objet à connaître par notre intelligence comme une partie immergée et activée au sein d'un plus grand tout. Le percevoir d'abord globalement, dans sa relation fonctionnelle avec son environnement sans se soucier outre mesure d'établir une image fidèle de sa structure interne, dont l'existence et l'unicité ne seront jamais tenues pour acquises.*

*Le précepte téléologique : Interpréter l'objet non pas par lui-même, mais par son comportement, sans chercher à expliquer a priori ce comportement par quelque loi impliquée dans une éventuelle structure. Comprendre en revanche ce comportement et les ressources qu'il mobilise par rapport aux projets que, librement, le modélisateur attribue à l'objet. Tenir l'identification*

<sup>6</sup> [LEMOIGNE06]Jean-Louis LE MOIGNE, "la théorie du système général théorie de la modélisation", 133

*de ces hypothétiques projets pour un acte rationnel de l'intelligence et convenir que leur démonstration sera bien rarement possible.*

*Le précepte de l'agrégativité : Convenir que toute représentation est partisane, non pas par oubli du modélisateur, mais délibérément. Chercher en conséquence quelques recettes susceptibles de guider la sélection d'agrégats tenus pour pertinents et exclure l'illusoire objectivité d'un recensement exhaustif des éléments à considérer. » (LE MOIGNE, 2006 p. 43). La méthode énoncée pour modéliser un système complexe est liée à la fonction du système même. Il est évident que les deux écoles de pensées, celle de M. W. MAIER et E. RECHTIN et de J.L. LE MOIGNE, sont très proches. Dans les deux cas, on retrouve le rappel à l'intelligence de l'architecte ou du modélisateur, nécessaire pour comprendre le système et pour trouver les solutions.*

Les deux recherches ont un point de départ commun : la recherche ne peut pas seulement se baser sur l'approche théorique, niant les connaissances venant de la pratique, mais au contraire il est fondamental que les deux approches se rencontrent et donnent des nouvelles possibilités de compréhension des phénomènes complexes. L'étude des systèmes ne peut pas être dénouée de la fonction qui est accomplie par le système même.

L'analyse par la fonction et non par la décomposition physique est un concept qui nous a aidés dans notre travail. Comme nous l'avons déjà énoncé, une des plus grandes difficultés que nous avons rencontrée c'est que les différents cas étudiés ont des formes, des systèmes constructifs, des usages, ... différents. Pour pouvoir analyser et comparer ces bâtiments, nous ne pouvons pas nous baser sur une analyse physique, mais nous devons analyser leurs comportements de manière systémique. De plus, l'analyse des bâtiments ainsi réalisée nous paraît appropriée et adaptée pour atteindre notre objectif.

Nous souhaitons étudier les systèmes bâtiments dans leur écosystème et comprendre comment ils fonctionnent, interagissent avec l'utilisateur et peuvent permettre de garantir le confort thermique. De plus, nous voulons comprendre comment les différentes parties des bâtiments interagissent entre elles et peuvent permettre le fonctionnement de l'ensemble.

Un bâtiment recevra des inputs de l'environnement extérieur et des usagers à l'intérieur, la réponse à ces sollicitations dépendra du fonctionnement de l'ensemble du système.

Pour mieux expliquer son approche, J.L. LE MOIGNE, prend un exemple qui nous semble très pertinent : « ... Peut-on seulement concevoir qu'un ingénieur martien voulant interpréter le fonctionnement d'une calculatrice terrienne puisse parvenir à un résultat quelconque s'il se refusait, par principe, à disséquer les composants électroniques de base qui effectuent les opérations de l'algèbre propositionnelle ? La modélisation d'un système par la description des chroniques de ses comportements (sa trajectoire dans son espace d'état) suggère précisément de relever ce défi : oui, on peut concevoir que pour interpréter le fonctionnement d'un objet que l'on représente par un système, ou en construiser des modèles fonctionnels qui ne doivent rien à la dissection de tel composant électronique ou de tel organe ! Non seulement on le

*peut, mais peut-être le doit-on, si l'on souhaite établir une représentation durablement intelligible : l'exemple de la calculatrice terrienne de Jacques Monod est d'ailleurs révélateur : lorsqu'il écrivait Le hasard et la nécessité en 1968-1970, l'électronique qu'il disséquait était sans doute à base de transistors ; dix ans plus tard, la même calculatrice terrienne assurant les mêmes fonctions (les opérations de l'algèbre propositionnelle) sera à base de microprocesseurs ultra-intégrés : la comparaison des deux dissections révélerait des objets absolument différents, alors que la représentation de leur fonctionnement conduit sans difficulté à l'hypothèse de leur unité : ces deux « boîtes noires » sont des calculatrices terriennes ayant des comportements téléonomiques très comparables : pour le martien de Jacques Monod, cette interprétation n'est-elle pas beaucoup plus utile, et correcte, que celle que lui auraient suggérée les deux dissections ? Autrement dit, nous ne disposons pas que du bistouri pour modéliser un système : il n'est pas nécessaire de disséquer son matériel (hardware) pour comprendre son logiciel (software), et l'interprétation par le logiciel (les « programmes ») est au moins aussi pertinente que l'interprétation par le matériel (les « structures »). Pourquoi se l'interdirait-on par principe « » (LE MOIGNE, 2006 p. 166).*

La méthode exposée par J.L. LE MOIGNE pour modéliser un phénomène, nous semble la plus adaptée pour atteindre notre objectif : analyser les systèmes bâtiment, à travers l'étude des différents dispositifs dont ils sont composés. J.L. LE MOIGNE décrit l'intérêt d'analyser la calculatrice comme un système avec des inputs et des outputs, de la même manière nous voudrions analyser le bâtiment, comme un ensemble engrenages, de dispositifs, qui ont des rôles précis et permettent le fonctionnement du système.

Pour pouvoir étudier les systèmes de rafraîchissement passif nous avons dû étudier et modéliser les bâtiments rafraîchis passivement, nous nous sommes vite aperçus qu'un regard cartésien n'aurait pas suffi pour *comprendre*. Dans certains cas les données étaient contradictoires. Par exemple, dans des bâtiments où la température de confort théorique aurait dû être atteinte, les systèmes ne fonctionnaient pas et étaient refusés par les usagers eux-mêmes ou inversement dans d'autres bâtiments les usagers déclaraient être à l'aise, même si les températures étaient plus élevées que prévu. Un autre problème rencontré était, comme précédemment souligné, que les bâtiments rafraîchis passivement sont rares et sont dispersés partout dans le monde, là où le climat, la culture et l'architecture sont complètement différents. Pour pouvoir analyser et étudier les bâtiments nous avons dû nous baser sur le fonctionnement de l'ensemble de chaque bâtiment.

Les bâtiments ont été étudiés en tant que systèmes ayant comme objectif de garantir le confort thermique des usagers. Chaque bâtiment a été étudié en tenant compte de toutes les variables locales, sociales et climatiques. La fonction de garantir le confort thermique des usagers n'a pas été la seule étudiée, mais elle a été le centre d'attention. Les bâtiments analysés ont des fonctions, des matières, des systèmes de rafraîchissement différents, mais, comme pour les deux calculatrices citées par J.L. LE MOIGNE, ont un objectif, garantir le confort thermique des usagers, permettant l'exploitation des fonctions pour lesquelles ils ont été construits.

Pour pouvoir mieux comprendre les systèmes bâtiments il a été nécessaire

de démembrer les bâtiments en partie. Evidemment, on n'a pas appliqué une division cartésienne, mais on a préféré démembrer les bâtiments en dispositifs<sup>7</sup> architecturaux. Un dispositif c'est une partie d'un tout, un engrenage, qui permet le fonctionnement d'un système. Comme pour J.L. LE MOIGNE, dans son exemple de la calculatrice, pour nous aussi, il n'était pas intéressant de sectionner les différentes parties dont est composé un bâtiment : nous nous sommes plutôt intéressés à comprendre quel rôle joue chaque dispositif architectural à l'intérieur du système pour permettre au bâtiment d'atteindre ses objectifs.

Nous nous sommes appuyés sur la recherche de S. HANROT, qui développe, dans « *Modélisation de la connaissance architecturale pour un outil de CAO intelligent* » (HANROT, 1989), une méthodologie pour démembrer les bâtiments par dispositifs architecturaux.

### 1.1.1.4 Les niveaux de définition et l'évaluation des dispositifs architecturaux

S. HANROT travaille sur la modélisation de l'architecture, et pour analyser le bâtiment de façon exhaustive il a créé une méthodologie, basée sur les niveaux de définition. Comme la lecture d'un plan à différentes échelles nous donne des détails différents, de la plus grande échelle à la plus petite, du dessin général, donc, au détail constructif, chaque dispositif est analysé par sa fonction en rapport au système. Comme on peut le voir, notre dissection n'est pas physique, mais elle reste physico-fonctionnelle. Nous arrivons, bien sûr, à analyser la matière elle-même, mais dans ses fonctions et interactions avec le système bâtiment.

Les niveaux de définition à travers lesquels les bâtiments ont été analysés vont d'une échelle territoriale au détail constructif. Ce sont : le territoire, les ensembles, les entités, les divisions, les éléments, les constituants. Le choix des différents niveaux de définition se réfère à la recherche de S. HANROT (HANROT, 1989 p. 174). Un *niveau de définition* a été rajouté, par rapport à ceux cités : les systèmes pour améliorer le confort des usagers. Le niveau de définition a été inséré entre les entités et les divisions, respectant la règle selon laquelle les niveaux de définition ont un ordre en *cascade* (le premier niveau englobe le deuxième qui englobe le troisième, et ainsi de suite).

Notre objectif est d'évaluer les systèmes de rafraîchissement dans l'architecture contemporaine, pour pouvoir analyser et évaluer leur efficacité

<sup>7</sup> Dispositif : (Vocabulaire LAROUSSE) Ensemble de pièces constituant un mécanisme, un appareil, une machine quelconque.

(Vocabulaire <http://www.cnrtl.fr/definition/dispositifs>) 1. Techn. et cour. Manière dont sont disposées, en vue d'un but précis, les pièces d'un appareil, les parties d'une machine; p. méton., mécanisme, appareil. Dispositif de mesure; dispositif automatique, expérimental, ingénieux; le dispositif permet de. Véhicule (...) muni d'un dispositif d'éclairage (Chapelain, Techn. automob., 1956, p. 313). Laboratoires (...) comportant des dispositifs de protection du personnel contre les radiations (Goldschmidt, Avent. atom., 1962, p. 209) :

Montherlant, Les Célibataires, 1934, p. 741.

– P. ext. Ensemble d'éléments agencés en vue d'un but précis :

2. Je l'ai connu [Apollinaire] en uniforme bleu pâle, le crâne rasé, la tempe marquée d'une cicatrice (...) Un dispositif de bandes et de cuir lui faisait une manière de turban ou petit casque. Cocteau, La Difficulté d'être, 1947, p. 153.

pour comprendre s'il pourrait y avoir une alternative à la climatisation.

En paraphrasant S. HANROT, nous pouvons dire que nous avons employé une approche de type architectural : les architectes « *progressent dans le projet en partant du général vers le particulier plutôt que l'inverse. Cependant ils font bien souvent des incursions à des niveaux de définition pour vérifier la faisabilité d'un parti, puis remontent à des considérations plus générales.* » (HANROT, 1989 p. 94)

Au contraire, comme un 'point de vue' essentiellement 'bioclimatique' imposerait une approche différente, nous analyserons les différents dispositifs et comportements en les regroupant de manière transversale par rapport aux niveaux de définitions précédemment définis.

L'échelle ne serait pas verticale, du général au particulier, mais elle dépendrait des 'fonctions' des différents dispositifs dans le système. Nous devrions diviser les dispositifs selon leur contribution au rafraîchissement du bâtiment.

Une approche n'exclut pas l'autre, aussi nous avons décidé tout de même de réaliser un document utile au concepteur et nous favoriserons une entrée de type architectural. Il demeurera intéressant en phase d'interprétation des résultats de croiser les différents points de vue.

Après avoir défini l'approche systémique comme méthode d'analyse, ainsi que la méthodologie que nous voudrions appliquer pour diviser le bâtiment, il reste à savoir comment évaluer l'architecture.

Une évaluation cartésienne serait *simple* : le bâtiment atteint ou pas la température de confort ? Nous avons déjà vu que cette approche ne permet pas d'évaluer tous les paramètres sociaux, de comportement et d'usage, qui justifient la réussite ou la faillite d'un projet. Une approche possible a été présentée par l'architecte Brian FORD avec Rosa SCHIANO-PHAN dans l'article "Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using downdraught cooling: Case studies in the US" (SCHIANO PHAN, et al., 22-24 October 2008).

L'approche des chercheurs est de réaliser des questionnaires, les proposer aux utilisateurs quotidiens des bâtiments et par la suite évaluer, par rapport aux réponses reçues l'efficacité du système de rafraîchissement. Leur travail a été transcrit dans un ouvrage : « The Architecture and Engineering of Downdraught Cooling : A Design Source Book » (FORD, et al., 2010). L'avantage de la méthode est que l'avis des vrais usagers est, en fin de compte, le plus important. Le problème est que la profondeur du regard d'un usager n'est pas le même que celui d'un *expert* ou de l'architecte qui a conçu le bâtiment. C'est là que se pose la question de l'interprétation des réponses et de l'analyse des problèmes.

Une autre différence, par rapport à notre recherche, est que leurs études se sont basées seulement sur des bâtiments rafraîchis par évaporation directe. Ce système de rafraîchissement est l'un parmi d'autres. Ce que nous voulions évaluer ce sont les systèmes de rafraîchissement, sans pour autant nous focaliser sur un seul système. Les questionnaires utilisés par B. FORD et SCHIANO-PHAN sont bien sûr adaptés au rafraîchissement par évaporation

et il faudrait les modifier pour les adapter aux autres systèmes. Les questions à poser devraient être différentes selon les divers systèmes et cela pourrait poser des problèmes de comparaison des bâtiments.

De plus, notre travail voudrait creuser un aspect qui n'a pas été analysé en profondeur dans cet ouvrage, c'est-à-dire l'impact des systèmes de rafraîchissement passifs sur l'architecture et la posture des architectes sur l'intégration des systèmes de rafraîchissement.

Le problème relatif à l'évaluation de la qualité architecturale a trouvé une réponse possible, dans une autre recherche de S. HANROT et en particulier l'article consacré « *Évaluation relative de la qualité architecturale : une approche par le point de vue des acteurs* » (HANROT, 2005).

Dans l'article suscité S. HANROT développe une méthode d'évaluation de l'architecture à partir des points de vue des acteurs. « *L'hypothèse que nous formons est la suivante : l'évaluation de la qualité architecturale ne peut être que relative, relative aux points de vue des acteurs (architectes et autres) qui se prononcent, forment une critique et en débattent...*

*Notre approche se place délibérément dans le champ de l'architecture, c'est-à-dire qu'elle renseigne le savoir de l'architecte sur les objets qui l'intéressent avant tout : les objets bâtis.* » (HANROT, 2005)

Nous partageons ces hypothèses de départ et nous avons essayé d'évaluer les dispositifs des bâtiments que nous avons étudiés en considérant toujours leur fonctionnement à l'intérieur de « *l'objet bâti* », que nous appelons le système bâtiment.

L'approche de S. HANROT sur l'évaluation de la qualité architecturale se marie parfaitement avec notre recherche. Notre objectif était d'étudier les bâtiments en tant que systèmes ayant comme objectif de garantir le confort thermique des usagers. C'est le point de vue à partir duquel on a analysé, démembré et évalué les bâtiments de notre base de données.

La décomposition *verticale* des bâtiments a donné lieu à une matrice de données quantitatives et qualitatives qu'on appellera *base de données critique*. La base de données critique est le cœur de notre recherche. C'est à l'intérieur de celle-ci qu'apparaît l'analyse détaillée de chaque dispositif architectural. Chaque dispositif est étudié et évalué par rapport à sa capacité à interagir avec l'ensemble et améliorer la faculté du bâtiment à atteindre son objectif.

Une échelle de valeurs numériques de 1 à 6 a été fixée. Les notes ainsi composées permettent d'apprécier qualitativement le bâtiment : 1=critique, 2=pénalisant, 3=neutre, 4=actif, 5=performant, 6=optimisé. Ces notes apprécient le comportement bioclimatique du bâtiment. Une note neutre (3) correspond à un dispositif architectural bien étudié et en harmonie avec le système bâtiment. Une note inférieure montre que le dispositif n'est pas en harmonie avec le bâtiment. Cela peut comporter des problèmes de fonctionnement du système bâtiment, jusqu'à arriver à un *point critique*<sup>8</sup> à

8 Point critique : en physique : Où se produit un changement dans l'état d'un corps. Masse critique. Volume critique.

partir duquel le système bâtiment ne pourra plus garantir le confort thermique des usagers. Une note supérieure à 3 signifie que le dispositif en question contribue efficacement au fonctionnement du système bâtiment et améliore le confort thermique des usagers.

Les notes seront attribuées suivant la méthodologie systémique précédemment énoncée. C'est-à-dire que chaque dispositif sera évalué selon sa contribution au fonctionnement du système bâtiment. Un dispositif identique, ou presque, pourra recevoir une note négative dans un bâtiment ou positive dans un autre. Un bâtiment avec une grande masse thermique aura une note positive, si ce dispositif s'adapte au climat, si la masse thermique est bien protégée du soleil, si elle est exploitée pour améliorer le confort des usagers, ... Au contraire, le dispositif masse thermique pourrait être très négatif pour le fonctionnement du système si elle est mal exposée et n'est pas adaptée au climat.

Nous évaluerons la compensation entre les dispositifs, leur contribution sera estimée par rapport à un système spécifique, qui agit dans son écosystème (environnement physique et social).

Nous allons prendre un nouvel exemple pour mieux faire comprendre ce point. Si nous considérons deux moteurs de puissance différente, les deux moteurs auront des engrenages différents, optimisés pour leur puissance. Si nous mettons les engrenages du moteur le plus puissant dans l'autre, il en résultera que le petit moteur n'arrivera pas à 'tirer' les engrenages trop 'longs', de la même manière que si nous mettons les engrenages trop 'courts' dans le moteur plus puissant, il ne pourra pas exploiter sa puissance, atteignant toujours un niveau trop élevé.

### **1.2 Choix des bâtiments**

Le premier point à résoudre a été le choix des bâtiments à analyser. Il a été nécessaire d'établir des paramètres pour pouvoir sélectionner les bâtiments à choisir. Les bâtiments à analyser doivent répondre aux conditions suivantes :

- (1) Le but de l'architecte ou du constructeur doit être de réaliser un bâtiment apte à garantir le confort thermique des usagers en exécutant une construction peu énergivore.
- (2) Construire sans utiliser de système de climatisation mécanique (AC), mais en réalisant un bâtiment-système qui par son fonctionnement actif puisse réduire les surchauffes.
- (3) La possibilité d'accéder à des données scientifiques au sujet du bâtiment étudié. De plus, ces données doivent venir de plusieurs sources, non impliquées dans le processus de réalisation du bâtiment.

Ces différents points sont une base qu'on s'est donnée pour pouvoir choisir les bâtiments à analyser. La rareté des bâtiments rafraîchis passivement a impliqué de grandes difficultés pour trouver des bâtiments qui respectaient

---

Point critique : limite entre l'état liquide et l'état gazeux.

Dans notre cas : Stade auquel un seul facteur comporte le non-fonctionnement du système bâtiment.

les différents points. En particulier l'accès à des données ou des publications scientifiques a été très compliqué, surtout en ce qui concerne les bâtiments d'habitation. Dans ce type de bâtiments l'accès aux données est plus compliqué et il existe moins de publications, par rapport à ceux du tertiaire. Cela est dû à de nombreux paramètres, non ultimes, au fait que les bâtiments du tertiaire sont souvent des projets représentatifs des entreprises, *attractifs* pour les revues spécialisées et souvent réalisés par des architectes appartenant au *star-system*.

Notre corpus d'étude est composé de 12 bâtiments de bureaux, un bâtiment de logements et 1 projet. Nous présenterons plus loin les bâtiments analysés de manière approfondie mais il nous faut expliquer pourquoi parmi les bâtiments étudiés, apparaissent deux '*intrus*'. Nous voulions insérer dans notre corpus d'étude un bâtiment d'habitation, car, selon nous, les systèmes de rafraîchissement passifs pourraient mieux s'adapter



aux bâtiments résidentiels. Malheureusement, la pénurie de ce type d'exemples nous a obligés à évaluer principalement des bâtiments de bureaux, cependant nous voulions tester notre méthodologie, aussi, sur un bâtiment résidentiel. De plus, le motif principal pour lequel nous avons mis en place cette méthodologie d'évaluation, était de comparer des bâtiments avec des fonctions différentes, localisés à différents endroits dans le monde. Cela nous a poussés à retenir au moins un bâtiment résidentiel, parmi les bâtiments étudiés.

### 1. Les verandas du Bedok Court à Singapore (Bay, et al., 2006)



En ce qui regarde le deuxième '*intrus*', le projet de réhabilitation d'un bâtiment résidentiel à Pattada en Sardaigne, sa présence s'explique par la volonté de '*tester*' notre méthodologie d'évaluation sur un bâtiment en phase de projet, pour vérifier l'éventuelle utilité de notre travail pour les concepteurs, en phase de projet de bâtiment. Le résultat a été discordant : d'une part, nous avons pu faire ressortir les difficultés du projet qui pourraient empêcher le système bâtiment de fonctionner, d'autre part, plusieurs dispositifs n'ont pas pu être réellement évalués, car pas encore réalisés.

### 2. Le projet d'habitation à Pattada (CADONI 2009)

Nous avons tout de même préféré conserver le projet parmi les bâtiments analysés car les faiblesses de notre méthodologie, dans l'analyse d'un projet en cours, pourraient être source d'inspiration, pour développer la recherche dans ce domaine et adapter toute la méthodologie à l'évaluation des projets.

On peut pourtant imaginer que les systèmes de rafraîchissement passifs auraient la faculté de bien s'adapter aux bâtiments d'habitation, mais malheureusement on n'a pas eu la possibilité d'accéder à un échantillon

significatif pour confirmer cette hypothèse, cette partie de la recherche pourrait être développée dans le futur.

Au contraire, les bâtiments tertiaires sont souvent un lieu d'expérimentation et les maîtres d'ouvrage sont souvent poussés par des raisonnements qui vont au-delà de la simple prise de conscience écologique, à investir des sommes importantes pour réaliser des bâtiments exemplaires, qui donnent plus d'éclat (ou de vision) à leur entreprise. Cela représente naturellement une source importante de données que les revues du secteur fournissent pouvant être exploitées dans la recherche.

Nous devons apporter une précision au sujet du second critère précédemment énoncé. Nous avons étudié des bâtiments rafraîchis de manière hybride car dans certaines conditions climatiques il est impossible de rafraîchir un bâtiment simplement par le rafraîchissement passif. Dans ces cas, l'utilisation des climatiseurs ne doit pas être un tabou, au contraire, les architectes doivent avoir en objectif le confort des usagers. Si pour l'obtenir il est obligatoire d'utiliser un système mécanique, cela devrait être fait. Nous pensons que l'utilisation d'un système mécanique de climatisation doit être un appoint et doit faire partie de la stratégie d'ensemble du rafraîchissement du bâtiment.

### **1.3 La base de données**

La *base de données critique* est une matrice de données concernant les bâtiments qui ont été analysés aux différents niveaux de définition. La matrice rassemble les données quantitatives et qualitatives. Comme nous l'avons vu, les bâtiments ont été divisés en dispositifs, chaque dispositif a été analysé, décrit et évalué selon la méthode précédemment énoncée. Un espace a été aussi dédié à une évaluation critique du dispositif, car la simple notation ne nous donnait pas assez d'informations et nous avons souhaité expliquer le motif qui a mené à chaque évaluation. Ces textes seront par la suite une base pour la réalisation des *fiches* des bâtiments.

Pour mieux expliquer notre méthodologie d'analyse, nous allons analyser un bâtiment en exemple, le CII Institute of Quality, Bangalore Inde. Cet exercice nous permettra d'expliquer de manière concrète et synthétique les différentes étapes de notre analyse. Nous montrerons ci-dessous l'instrument que nous avons construit, par la suite nous analyserons en détail les différents dispositifs. De plus, les bases de données des quatorze bâtiments analysés seront en annexe à la thèse.

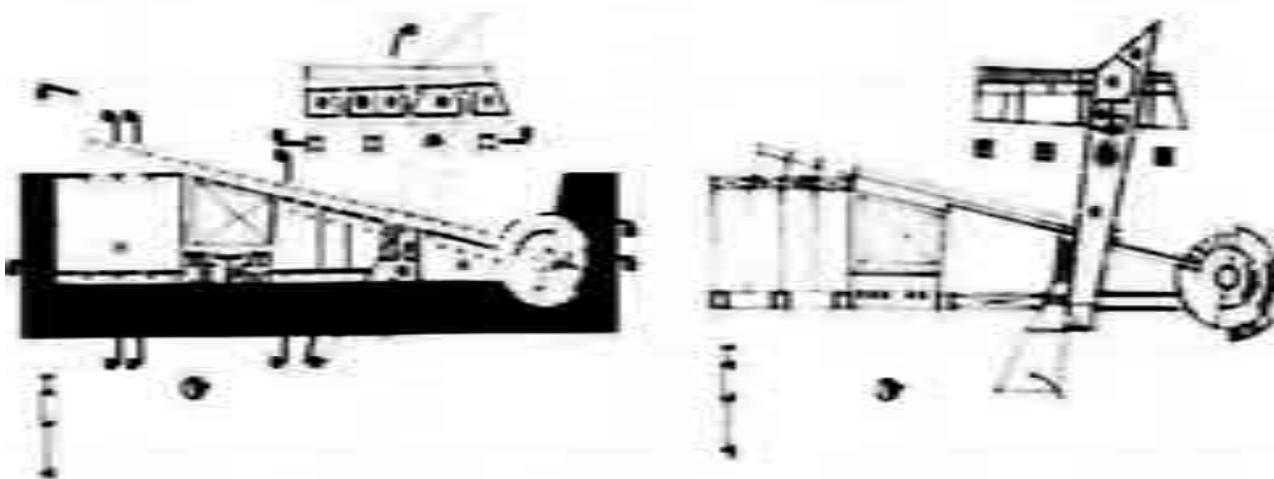
#### **1.1.1 Le CII Institute of Quality.**

Le bâtiment se trouve à Bangalore, au sud de l'Inde. La ville est située sur le plateau du Deccan à environ 900m NGF dans une zone de plaines.

Le CII Institute of Quality accueille un centre d'excellence des entreprises, l'ensemble est composé de trois barres, deux d'entre elles suivent les courbes de niveau et la troisième coupe les autres de manière transversale, formant un pont entre les deux barres plus basses.



3. Image du CII Institute of Quality, Bangalore Inde. (Aga Khan Trust for Culture)



4. Plan du CII Institute of Quality, Bangalore Inde. (Aga Khan Trust for Culture )

Les bureaux, la bibliothèque, l'auditorium et les breck rooms sont rafraîchis passivement avec des tours évaporatives.

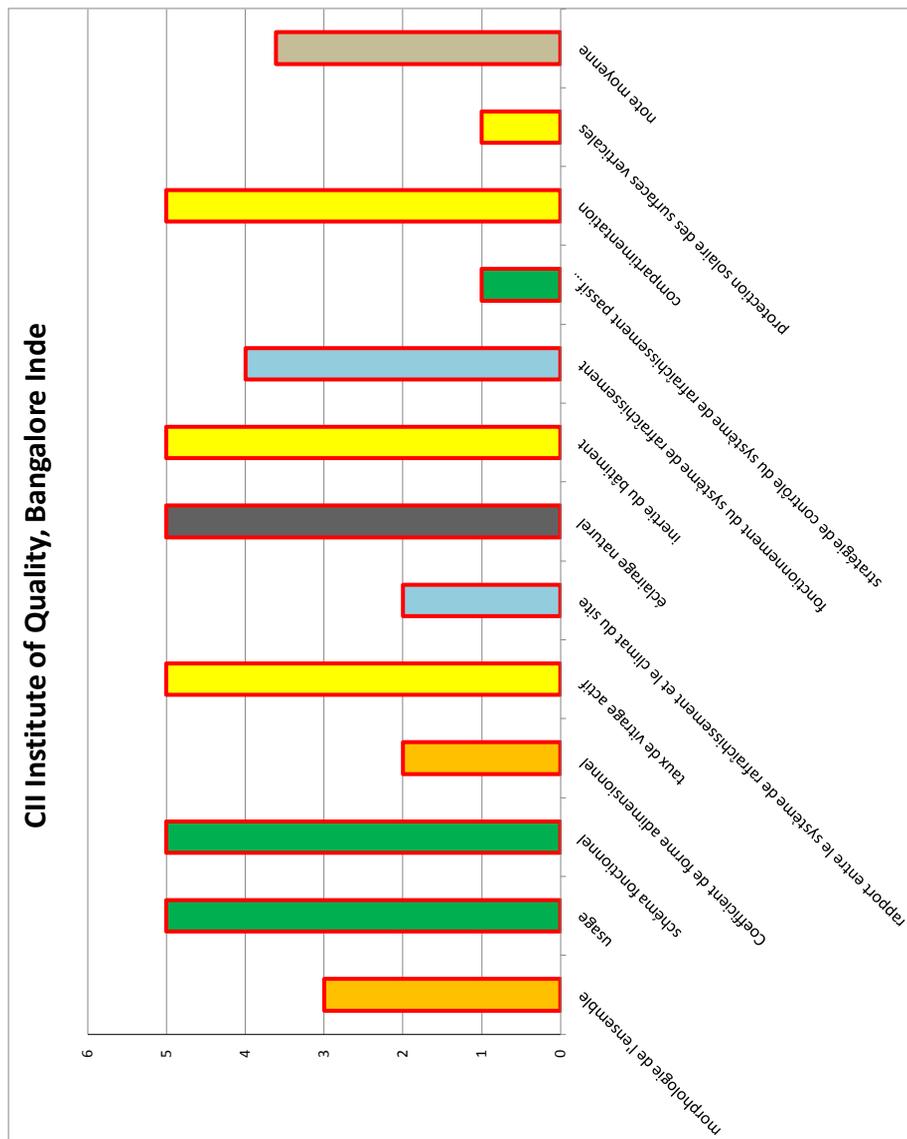
Dans les pages suivantes, nous pourrons voir la base de données du CII Institute of Quality.

# CII Institute of Quality, Bangalore Inde

Le bâtiment se trouve à Bangalore, sud de l'Inde. La ville est située sur le plateau du Deccan à environ 900m NGF. Le bâtiment accueille un centre d'excellence des entreprises. Le bâtiment est rafraîchi passivement avec des tours évaporatives qui réduisent la température de l'air.



Graphes des notes des dispositifs critiques du bâtiment



## Famille de dispositifs

- Morphologie
- Comportement bioclimatique
- Usage
- Système de rafraîchissement
- Eclairage

1. Aga Khan Trust for Culture - CII Institute of Quality, architect. [Online] MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture. [Cited: 04 10, 2010.] [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=9721](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=9721).  
 2. Phuge, Ar. Roopaa Sabnis. Indian Institue. Insteindia. [Online] 2008. [Cited: 04 16, 2010.] <http://www.insteindia.in/pdf/2008/Inaugural/Indian%20Instite.pdf>.

<b><u>CII Institute of Quality, Bangalore Inde</u></b>		<b><u>Données</u></b>	<b><u>évaluation</u></b> <b>1,2,3,4,5,6</b>	<b><u>Avis critique / explication</u></b>
<b><u>Niveaux de définition</u></b>				
<b><u>territoire</u></b>				
Latitude - Longitude		Bangalore, Karnataka, Inde. latitude 12.975795, longitude 77.476401		
Morphologie du site		Le bâtiment se trouve à Bangalore (environ six millions d'habitants), au sud de l'Inde et capitale de l'État du Karnataka. La ville est située sur le plateau du Deccan et plus précisément au centre du plateau de Mysore à environ 900 m NGF dans une zone plane, sauf une colline qui traverse la ville. Le point le plus haut est à 962 m NGF. La ville est considérée comme la nouvelle Silicon Valley. Le gouvernement a installé plusieurs instituts de recherche liés aux nouvelles technologies. L'expansion très rapide de la ville et l'économie basée sur la recherche et les nouvelles technologies comportent une demande toujours plus élevée en électricité.		
Climat du site		Le climat du site est de type tropical de savane, caractérisé par une période très sèche et par une période des moussons avec des précipitations qui dépassent les 180 mm mensuels. Les températures moyennes sont assez élevées et descendent rarement en dessous de 18°C. Pendant le mois d'avril les températures moyennes maximales sont très près des 33 °C. Les précipitations se concentrent entre les mois de mai et octobre.		
distance de la mer		environ 300 km		
DJU hiver		28,42		
DJU été		1301,13		
<b><u>ensembles</u></b>				
implantation		Le bâtiment se situe sur une parcelle aménagée de 16 000 m, une construction contemporaine intégrée dans le paysage. Le projet est étudié pour être le plus possible "éco-friendly". Le bâtiment se trouve dans la banlieue Ouest de la ville. Il est difficile de définir l'implantation du bâtiment, car le projet est très fragmenté. On peut dire que le bâtiment est orienté nord-sud, sauf la barre pour des bureaux qui est orientée est-ouest. Le bâtiment est implanté sur une zone en légère pente et il exploite la pente du terrain pour s'appuyer le long des courbes de niveau	<b>3</b>	L'implantation du bâtiment n'est pas très favorable. L'architecte s'appuie à la pente du terrain et exploite la masse thermique en encastrant une partie du bâtiment dans le terrain, mais cela comporte que la plus grande partie des façades soient exposées à l'ouest. Cette orientation est la moins favorable pour les apports solaires.

<b>CII Institute of Quality, Bangalore Inde</b>		
<b><u>Niveaux de définition</u></b>	<b><u>Données</u></b>	<b><u>évaluation</u> 1,2,3,4,5,6</b>
orientation	Le bâtiment est orienté de manière non optimale, mais il suit les courbes de niveau du terrain. Les façades sont influencées par le soleil du soir et par le soleil du matin. Cela comporte des surchauffes. Les casquettes prévues devant les façades protègent efficacement le bâtiment pendant la journée, mais pas le soir.	<b>1</b>
morphologie de l'ensemble	L'ensemble est composé par trois barres, deux le long les courbes de niveau et une qui coupe de manière transversale, formant un pont entre les deux barres plus basses. Le bâtiment est de type semi-compact.	<b>3</b>
volume de l'ensemble	9.600 m3	
surface de l'ensemble	2.500 m <sup>2</sup>	
hauteur de l'ensemble	Varié, le bâtiment est composé de différentes parties. Les tours peuvent atteindre les 10 m	
usage	Le bâtiment accueille un centre d'excellence des entreprises. Lieux de rencontre et conférence au sujet de la qualité. Il présente des bureaux et des petites salles de conférence, ainsi qu'un auditorium de 200 places.	<b>5</b>
schéma fonctionnel	Le bâtiment à une disposition longitudinale : au RDC sont disposés l'auditorium, la bibliothèque et les lieux publics, au premier étage on trouve les bureaux. Le schéma fonctionnel est une conséquence de l'intégration du bâtiment dans le site.	<b>5</b>
<b><u>entités</u></b>		
morphologie du bâtiment	Semi-compacte. Le bâtiment est constitué d'un seul corps, mais il s'articule en plusieurs parties exposant des surfaces importantes vers l'extérieur	<b>2</b>
volume du bâtiment	8.800 m3	
surface du bâtiment	2.500 m <sup>2</sup>	
Coefficient de forme adimensionnel	8,46	<b>2</b>
		<b><u>Avis critique / explication</u></b>
		La plus grande partie des façades sont exposées à l'ouest. Cette orientation est la moins favorable pour les protections solaires.
		La surface exposée au soleil est importante à cause de la fragmentation du bâtiment, et de l'orientation des barres.
		Le bâtiment a une fonction qui nécessitait l'expressément de concevoir un bâtiment "bioclimatique ". Le bâtiment a aussi une fonction pédagogique envers les visiteurs qui, de plus, constituent un public sensible, capable d'apprécier le fonctionnement du centre.
		Les espaces paysagés entre les deux barres construites sont assimilables à un patio. Cette zone est une petite oasis de rencontre entre les usagers du centre.
		La surface exposée au soleil est importante à cause de la fragmentation du bâtiment qui permet une meilleure pénétration de la lumière solaire.
		Le coefficient de forme n'est pas favorable.

<b>CII Institute of Quality, Bangalore Inde</b>	
<u>Niveaux de définition</u>	<u>Données</u>
rapport S vitrées/S opaques	0,08
taux de vitrage actif	0,12
gestion de l'eau	L'eau pluviale est récoltée par des réservoirs dans le terrain. Le bâtiment est indépendant pour l'approvisionnement en eau grâce à des puits. Les eaux usées sont récoltées dans des fosses septiques et traitées pour être réabsorbées par le terrain.
<u>systèmes pour améliorer le confort des usagers</u>	
rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site	Le diagramme psychométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique, évaporation directe) devrait garantir le confort des usagers. Par contre pendant la plus grande partie de l'année le rafraîchissement évaporatif ne sera pas utilisable, car l'humidité relative est trop élevée. dans ces conditions seulement la ventilation naturelle pourrait garantir le confort. Le système évaporatif est efficace seulement pendant les mois les plus secs, où les températures de l'air peuvent être très élevées.
rafraîchissement	Le bâtiment est rafraîchi passivement avec des tours évaporatives qui réduisent la température de l'air. Les différentes pièces sont rafraîchies par des tours évaporatives. La nuit le flux d'air est inversé et le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne.
éclairage naturel	Le bâtiment est conçu pour améliorer au maximum la pénétration de la lumière naturelle.
	<b>évaluation</b> <b>1,2,3,4,5,6</b>
	<b>5</b>
	<b>5</b>
	<b>6</b>
	<b>2</b>
	<b>2</b>
	<b>5</b>
	<b>Avis critique / explication</b>
	Le rapport surface vitrée / surface opaque est équilibré.
	Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré.
	La gestion des eaux grises et des eaux pluviales récoltées dans des bassins sur la parcelle est efficace.
	Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site, par contre on pourrait se demander si, dans des conditions climatiques de ce type, il n'aurait pas été plus intéressant d'exploiter d'autres systèmes. En effet le problème principal est que l'humidité relative de l'air est assez élevée et le système évaporatif direct n'est pas toujours efficace.
	Le bâtiment est rafraîchi par des tours évaporatives. Les différents espaces profitent de ce rafraîchissement par évaporation, couplé à la ventilation naturelle nocturne, qui s'adapte à l'usage du bâtiment. Le système choisi risque d'être sous-dimensionné pendant une bonne partie de l'année.
	Le bâtiment est conçu pour améliorer la pénétration de la lumière naturelle. Cela comporte un confort très élevé pour les usagers et une réduction des apports thermiques internes, ainsi, naturellement, que des réductions de consommation électrique.

<b><u>CII Institute of Quality, Bangalore Inde</u></b>	
<b><u>Niveaux de définition</u></b>	<b><u>Données</u></b>
ventilation	Pendant la saison des moussons et la nuit, le flux d'air est inversé et le confort thermique est garanti par la ventilation naturelle.
inertie du bâtiment	Le bâtiment exploite l'inertie du terrain pour ce qui regarde l'auditorium et la bibliothèque, qui sont semi-enterrés.
fonctionnement du système de rafraîchissement	L'air rafraîchi est "stocké" dans un plénum et ensuite introduit dans les pièces. L'auditorium, contenant 200 personnes, est rafraîchi par une tour évaporative, l'air est extrait par des ouvertures dans la partie haute à l'ouest. Les 3 break-rooms sont rafraîchies par 3 tours évaporatives. La librairie est rafraîchie de la même manière que l'auditorium. Une seule tour évaporative garantit le rafraîchissement, l'air "stocké" est introduit par des ouvertures en parties basses du mur à est et extraite par des ouvertures à l'ouest. La librairie est assez profonde, environ 9 m, une seule tour n'est pas toujours suffisante pour garantir le rafraîchissement de la pièce. Cela dépend du nombre de PC et d'utilisateurs. Les bureaux sont rafraîchis par une seule tour évaporative. L'air est introduit directement dans la zone de vie, à l'extrême ouest de la pièce. La position de la tour comporte une mauvaise distribution de l'air frais. De plus les bureaux, en partie par leur conception et en partie par l'usage, sont plus sujets aux surchauffes. Cette condition peut être cause de inconfort. Pendant la saison des moussons et la nuit, le flux d'air est inversé et le confort thermique est garanti par la ventilation naturelle.
	<b>évaluation</b> <b>1,2,3,4,5,6</b>
	<b>3</b>
	<b>5</b>
	<b>4</b>
	<b><u>Avis critique / explication</u></b>
	La fonction inversée des cheminées pour la ventilation directe aurait du être aidée par la réalisation d'ouvertures entre la pièce et la cheminée en partie haute, pour éliminer l'air chaud.
	Le bâtiment exploite la masse thermique du terrain pour accumuler de la fraîcheur pendant les heures de ventilation nocturne. Les cheminées entre les deux bâtiments sont séparées des bâtiments à rafraîchir, la liaison se fait par un conduit enterré. Cette astuce sert à augmenter la masse thermique et à améliorer le stockage de fraîcheur.
	Le système de rafraîchissement est assez bien étudié et devrait garantir le confort des usagers.

## CII Institute of Quality, Bangalore Inde

<u>Niveaux de définition</u>	<u>Données</u>	<u>évaluation</u> 1,2,3,4,5,6	<u>Avis critique / explication</u>
stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif (automatique/humaine)	Le projet prévoyait d'automatiser ou semi automatiser le système de rafraîchissement passif. À cause d'un manque de budget le système est aujourd'hui manuel. Dans chaque zone les utilisateurs ont à activer ou éteindre les brumisateur d'eau. Ce mode de fonctionnement peut comporter des problèmes. Les utilisateurs souvent activent le système de rafraîchissement quand la température de confort est déjà atteinte. Les tours évaporatives arrivent difficilement à réduire la température d'inconfort dans des temps réduits. il faudrait prévoir une automatisation qui permette aux tours de s'activer avant d'atteindre la température d'inconfort et de maintenir une température optimale.	<b>1</b>	Le problème dû au fonctionnement manuel du système de rafraîchissement peut compromettre le fonctionnement du système
efficacité du système de rafraîchissement	Le système est efficace et le climat est favorable à l'utilisation de cette stratégie, mais quelques erreurs de conception et le mode de fonctionnement peuvent compromettre le fonctionnement de l'ensemble.	<b>3</b>	Les problèmes sont dûs au mode de fonctionnement. Dans le cadre de la bibliothèque et des bureaux, les problèmes viennent de la conception générale du système.
<u>divisions</u>			
cloisonnement vertical vers extérieur			
cloisonnement horizontal vers extérieur	Une bonne partie des toitures sont végétalisées	<b>4</b>	Les toitures végétalisées permettent une bonne protection des apports solaires des toitures.
cloisonnement vertical intérieur			
cloisonnement horizontal intérieur			
cheminées verticales	Plusieurs cheminées de différente hauteur sont utilisées pour rafraîchir des zones différentes.	<b>4</b>	
patios	Le bâtiment est fragmenté, un patio est présent entre la bibliothèque et l'auditorium. L'espace paysage entre les break-rooms et l'auditorium est aussi assimilable à un patio. Les espaces verts ont naturellement une fonction importante pour le rafraîchissement du bâtiment.	<b>3</b>	
compartimentation	pas présent. Les locaux rafraîchis sont en openspace	<b>5</b>	
locaux openspace	Chaque local fermé est rafraîchi par une tour évaporative	<b>5</b>	

<b><u>CII Institute of Quality, Bangalore Inde</u></b>		
<b><u>Niveaux de définition</u></b>	<b><u>Données</u></b>	<b><u>évaluation</u></b> 1,2,3,4,5,6
<b><u>éléments</u></b>		
surfaces vitrées		
surfaces opaques		
protection solaire des surfaces verticales	Présence des casquettes, mais pas très efficace étant exposées à l'ouest.	1
protection solaire des surfaces horizontales	Toitures végétalisées	4
type de toiture	plate, végétalisée en partie	4
position des éléments inertes		
ouvrants pour la ventilation nocturne	présents	5
<b><u>constituants</u></b>		
matériaux inertes	Toitures végétalisées	4
type de vitrage		
matériaux isolants		
<b><u>note moyenne</u></b>		<b>3,61</b>
		Le bâtiment aurait pu beaucoup mieux fonctionner mais les erreurs ont été relevées sur le système de contrôle et sur les protections solaires de la façade ouest. Le premier problème est dû à des décisions du client. Le problème dû aux mauvaises protections solaires est plus délicat et difficile à résoudre, peut être qu'il sera possible de le résoudre seulement par de la végétation.

5. La base de données critique du bâtiment CII Institute of Quality, Bangalore Inde.

### 1.3.1 Les niveaux de définition

Le CII Institute of Quality a été démembré en dispositifs, suivant la méthode utilisée par S. HANROT. Les dispositifs sont regroupés par niveaux de définition, selon le schéma que nous pouvons voir ci-dessous.

La base des données est une matrice ainsi composée :

- Territoire : Latitude, Longitude, Climat, etc.
  - L Ensembles : Implantation, Orientation, Morphologie de l'ensemble, etc.
  - L Entités : Morphologie du bâtiment, Coefficient de forme adimensionnel, Surface du bâtiment, etc.
    - L Systèmes pour améliorer le confort des usagers : Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site, Rafraîchissement, Eclairage naturel, etc.
    - L Divisions : Cloisonnement vertical vers l'extérieur, Cloisonnement horizontal vers l'extérieur, Patios, etc.
    - L Éléments : Surfaces vitrées, Surfaces opaques, Protection solaire, etc.
    - L Constituants : Matériaux inertes, Type de vitrage, Matériaux isolants, etc.
    - L Note Moyenne de tous les dispositifs confondus

Les niveaux de définition ont une logique de la plus grande échelle au détail, selon un principe de décomposition par parties en cascade. Nous commençons par l'analyse de la localisation du bâtiment, le macro ou le micro climat, la distance à la mer et nous arrivons à la définition des matériaux, au type de vitrage, etc.

Ci-dessus nous pouvons voir les évaluations d'environ 60 dispositifs, par lesquels nous avons décrit l'Institute of Quality. Ce bâtiment abrite un centre de recherche, situé à Bangalore en Inde. Il est rafraîchi par évaporation directe et ventilation nocturne et exploite les caractéristiques du site pour améliorer le confort thermique des usagers.

Nous pouvons immédiatement remarquer deux détails :

Le grand nombre de dispositifs en lesquels le bâtiment a été décomposé.

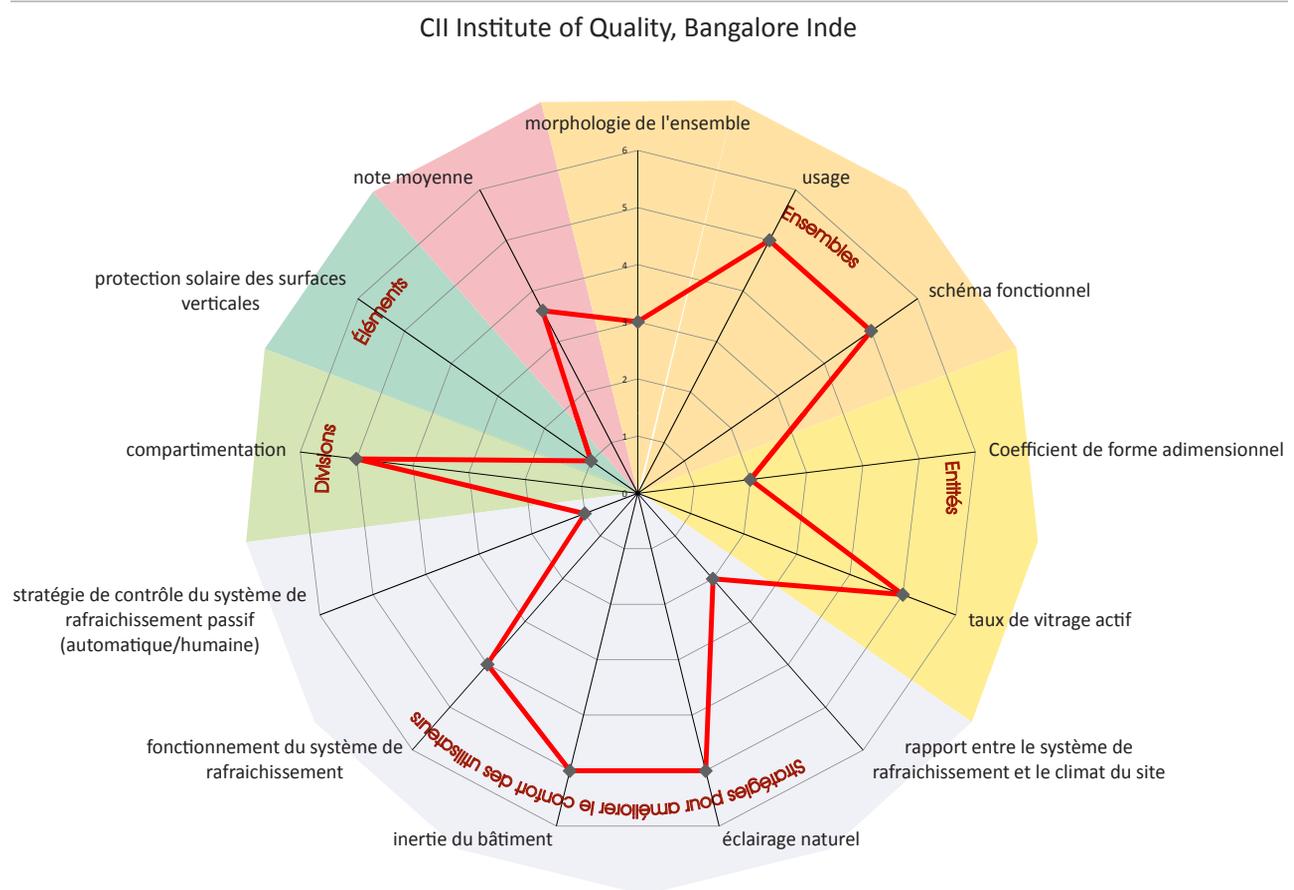
Certains dispositifs ont une influence majeure par rapport à d'autres sur le fonctionnement du système bâtiment.

Le grand nombre de dispositifs constitue une limite pour une lecture de l'ensemble du bâtiment. De plus, l'un des objectifs de notre recherche est de pouvoir comparer des bâtiments différents. La comparaison des bâtiments peut

nous donner des clefs de lecture différentes permettant de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement. Souvent, elle nous fait mieux apprécier les détails qui permettent ou empêchent le système bâtiment de fonctionner. Étant donné qu'il y a environ soixante dispositifs architecturaux ainsi analysés, cette masse de données est trop large pour pouvoir comparer deux bâtiments. De plus, nous avons pu voir que certains dispositifs étaient très importants et pouvaient être la cause d'un mauvais fonctionnement du système bâtiment. Pour résoudre ce problème, des dispositifs que nous pouvons définir comme *critiques* ont été choisis.

### 1.3.2 Les dispositifs critiques

Les dispositifs critiques sont ceux qui, mal conçus ou réalisés, peuvent compromettre le fonctionnement bioclimatique du bâtiment. Nous avons déjà trouvé le mot '*point critique*', ces dispositifs sont liés à ce concept. Ils sont au nombre de 12, et permettent de comparer les bâtiments facilement. Avec les douze dispositifs critiques et la note moyenne des soixante dispositifs étudiés précédemment, nous avons pu réaliser un graphique radar.



#### 6. Graphe radar du CII Institute of Quality, Bangalore Inde<sup>9</sup>

Nous pouvons dire qu'un dispositif *critique* qui aura une note de 1 pourrait être la cause de défaillance de tout le système bâtiment.

<sup>9</sup> Nous rappelons l'échelle de valeurs qui a été présentée à page XXX : 1=critique, 2=pénalisant, 3=neutre, 4=actif, 5=performant, 6=optimisé.

Nous avons ordonné les dispositifs sur le graphe, suivant une logique 'd'architecte', c'est-à-dire suivant les différents niveaux de définition :

- la morphologie de l'ensemble
  - ↳ l'usage
    - ↳ le schéma fonctionnel
      - ↳ le coefficient de forme adimensionnel
        - ↳ le taux de vitrage actif
          - ↳ le rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site
            - ↳ l'éclairage naturel
              - ↳ l'inertie du bâtiment
                - ↳ le fonctionnement du système de rafraîchissement
                  - ↳ la stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif (automatique/humain)
                    - ↳ la compartimentation
                      - ↳ la protection solaire des surfaces verticales

Les dispositifs critiques ont été choisis sur la base de leur capacité à empêcher l'ensemble du bâtiment de fonctionner, quand ils ont été mal conçus.

A travers les dispositifs critiques, nous obtenons une vision assez complète du système bâtiment : sont mis en évidence des dispositifs définissant la forme de l'ensemble et du bâtiment, des dispositifs définissant la conception bioclimatique, des dispositifs définissant l'usage, des dispositifs définissant le système de rafraîchissement passif et, pour finir, l'éclairage naturel qui a été isolé car ce dispositif est souvent en contraste avec les autres, mais il s'agit d'un très bon indicateur de la qualité de la conception du bâtiment et du confort des usagers.

Nous analyserons en détail les dispositifs critiques du CII Institute of Quality, avec les descriptions qui apparaissent dans la base de données.

### 1.3.2.1 **Morphologie de l'ensemble**

La morphologie de l'ensemble définit la forme et la disposition des bâtiments, ce dispositif nous donne un aperçu sur l'emprise des bâtiments dans le territoire. Cela peut être positif ou négatif, par rapport aux externalités présentes sur le territoire, comme la capacité de se protéger du soleil en été et d'accumuler le rayonnement en hiver. Ce dispositif nous donne un aperçu du ou des bâtiments à l'échelle de la parcelle dans le territoire.

### 1.3.2.1.1 L'évaluation du CII Institute of Quality.

L'ensemble du CII Institute of Quality est composé par trois barres, deux le long des courbes de niveau et une qui coupe de manière transversale les deux premières plus basses, formant un pont entre les deux. Le bâtiment est de type semi-compact. La note perçue par ce bâtiment est de 3, car d'une part le bâtiment exploite la pente naturelle du terrain et la masse thermique, étant légèrement semi-enterré, d'autre part les deux barres principales sont exposées à l'ouest, ce qui rend très difficile la protection solaire des façades. Selon notre analyse le choix de l'architecte est justifiable et pourrait faire partie de la stratégie d'ensemble du système bâtiment, reste à résoudre le problème dû à l'orientation. De plus, la fragmentation du bâtiment en différentes parties peut soulever des problèmes dus aux grandes surfaces exposées aux intempéries.

### 1.3.2.2 Usage

L'usage définit le type d'utilisation qui est faite du bâtiment. Il s'agit naturellement de l'un des paramètres fondamentaux, qui donne un premier aperçu des prestations demandées, de l'attitude des usagers, de la participation au fonctionnement du système bâtiment. Une école, une habitation ou un bureau administratif auront des nécessités différentes et cela se traduit dans les choix des architectes en réponse aux demandes des usagers.

### 1.1.1.0.1 L'évaluation du CII Institute of Quality.

Le CII Institute of Quality accueille un centre d'excellence des entreprises, lieux de rencontres et de conférences au sujet de la qualité et de l'environnement. Les entreprises qui présentent leurs produits dans ce centre sont souvent liées à l'éco-marché. Nous pouvons dire que les usagers du CII sont sensibles aux problématiques environnementales.

Étant un lieu de représentation pour les entreprises du secteur, la conception bioclimatique devait faire partie du cahier des charges pour l'architecte. Le bâtiment a aussi une fonction pédagogique envers les visiteurs qui, de plus, sont un public sensible, capable d'apprécier le fonctionnement de ce centre. Le concepteur a fait des choix architecturaux, aptes à rendre visibles les systèmes de rafraîchissement.

Les locaux rafraîchis sont des bureaux ainsi qu'un auditorium de deux cent places et la bibliothèque.

La note perçue par le CII Institute of Quality est de 5.

La note est assez élevée, car les usagers sont au courant des caractéristiques du bâtiment et essayent de bien s'adapter au fonctionnement des différents dispositifs. De plus, non seulement les usagers sédentaires sont en condition de reconnaître les caractéristiques du bâtiment, mais les usagers temporaires, qui découvrent ces lieux pour une conférence ou une rencontre, sont mis en condition pour comprendre le fonctionnement du bâtiment. Les seuls défauts que nous pouvons remarquer sont causés par des incongruités entre usage et stratégie de contrôle, mais de ce point nous parlerons plus loin, et par des charges thermiques importantes dues à ce type d'usage.

### 1.3.2.3 Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel définit l'organigramme du bâtiment. Il peut être en harmonie avec les systèmes de rafraîchissement ou être en contraste, cela dépend des choix des architectes et des maîtres d'ouvrage.

Souvent les ouvertures, cloisons, portes, couloirs et systèmes de déplacement vertical sont pensés dans l'ensemble du bâtiment, mais parfois la volonté de faire des modifications ou de rajouter des clôtures met en crise le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement.

#### 1.1.1.0.2 L'évaluation du CII Institute of Quality.

Le CII Institute of Quality a une disposition longitudinale, ainsi au RDC sont disposés l'auditorium la bibliothèque et les lieux publics, au premier étage on trouve les bureaux. Le schéma fonctionnel est une conséquence de l'intégration du bâtiment dans le site. Les espaces paysagés entre les deux barres construites sont assimilables à un patio. Cette zone est une petite oasis de rencontres entre les usagers du centre.

La note perçue par ce bâtiment est de 5.

L'idée de l'architecte était de créer des espaces verdoyants, proches des espaces à usage public. Le patio peut être un lieu de détente et de rencontre. La présence de deux patios, en partie couverts et végétalisés permet de favoriser les flux d'air et s'intègre dans le fonctionnement du système bâtiment.

### 1.3.2.4 Coefficient de forme adimensionnel

Le coefficient de forme définit le rapport entre la surface extérieure et le volume d'un bâtiment  $m^2/m^3$ . Pour pouvoir comparer les différents bâtiments avec des volumes différents, nous avons utilisé le coefficient de forme adimensionnel, suivant la méthode utilisée par J.-P. TRAISNEL (TRAISNEL, 1986 pp. 52-74), le coefficient de forme est calculé en faisant intervenir les paramètres suivants

$\sum S$  est la somme des surfaces extérieures de l'immeuble exprimée en  $m^2$ ,  $V$  est le volume de l'immeuble exprimé en  $m^3$  et  $R$  est le coefficient de taille donné par le côté du cube de volume identique exprimé en m. Cette équation

peut être écrite de la manière suivante :  $CFa = \frac{\sum S \cdot R}{V}$

Le coefficient de forme est l'un des principaux indicateurs de l'architecture bioclimatique. Il nous donne le rapport entre la surface exposée aux agents atmosphériques et le volume intérieur d'un bâtiment. Plus le coefficient est bas, moins de surface est exposée à l'extérieur par rapport au volume. Cela signifie qu'il y a moins d'échanges d'énergie entre l'intérieur et extérieur

#### 1.1.1.0.3 L'évaluation du CII Institute of Quality.

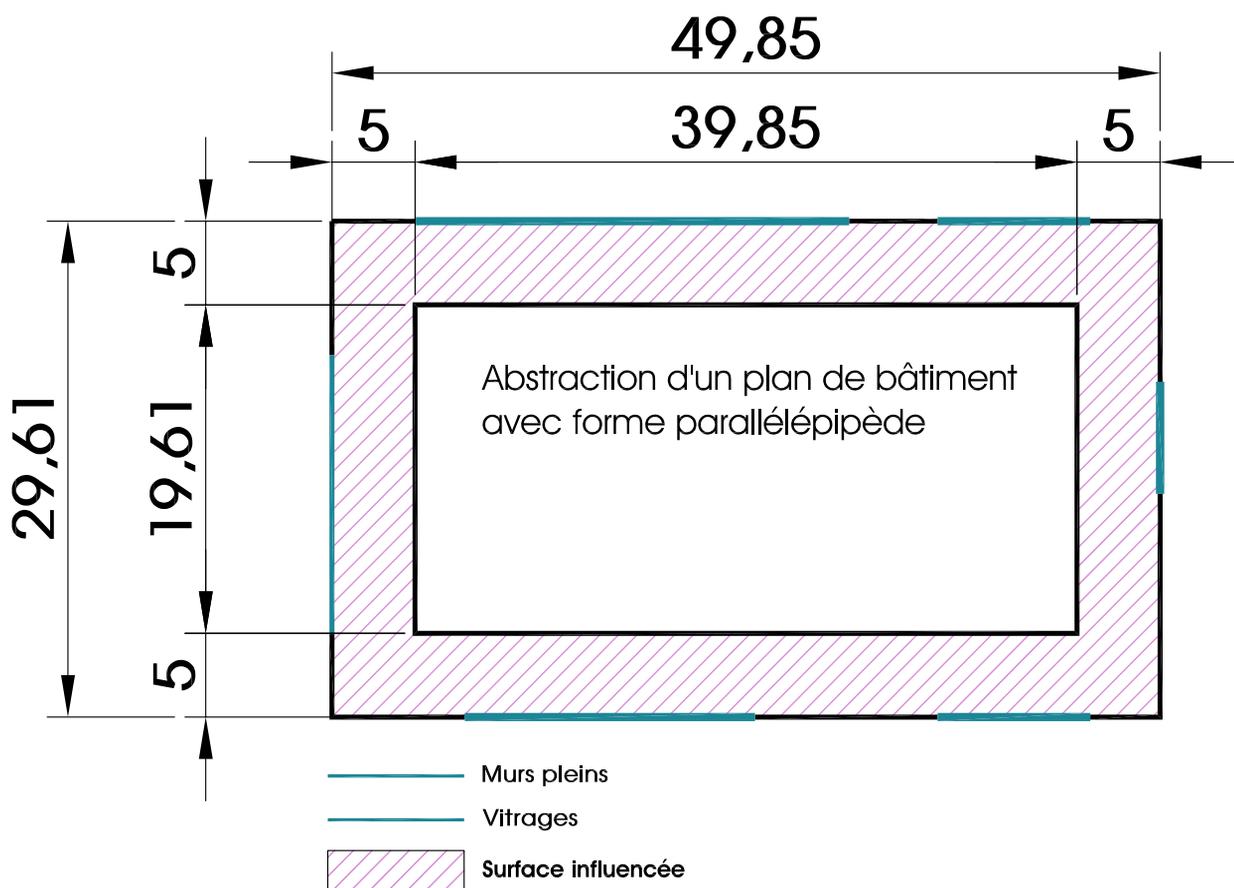
La note perçue par le CII Institute of Quality est : 2.

Le coefficient de forme adimensionnel n'est pas favorable. Le bâtiment n'est pas compact, même si le fait qu'il soit semi-enterré réduit la valeur du coefficient de forme en faveur du fonctionnement du système bâtiment. Nous estimons que certaines surfaces exposées aux intempéries sont difficiles à protéger et cela aurait pu être évité en partie.

### 1.3.2.5 Taux de vitrage actif

Le taux de vitrage actif définit le rapport entre la surface vitrée et la surface utile périphérique du bâtiment  $m^2/m^2$ . Le taux de vitrage actif est un indicateur créé pour mettre en relation la surface vitrée des bâtiments avec les surfaces utiles proches. La surface vitrée du bâtiment est donc divisée par la surface utile qui est 'sous influence'.

Nous avons créé ce procédé à partir du dispositif plus connu du taux de vitrages<sup>10</sup>. En étudiant les différents bâtiments nous avons remarqué que ce n'était pas 'satisfaisant'. Lorsque les bâtiments présentaient de grands plateaux libres, comme pour le bâtiment iGuzzini, le taux de vitrage ne donnait pas les résultats souhaités. Nous pensons que les usagers les plus proches des baies vitrées seront en inconfort et qu'ils demanderont la mise en marche de la climatisation.



### 7. Représentation du taux de vitrage actif, abstraction d'un plan parallélépipède

<sup>10</sup> Le taux de vitrage est une méthode permettant de mettre en relation la surface vitrée avec la surface habitable. Il est important de savoir que la norme RT 2012 impose un taux de vitrage minimum de 17% de baies vitrées par rapport à la surface habitable (Leysens, 2010), mais d'autres études déclarent que dépasser un taux de vitrage de 20 à 25% de la surface habitable peut rendre difficile la maîtrise des apports de chaleur solaire par les baies, générant un inconfort en été (Region Bourgogne).

La surface influencée est définie par une bande de 5 mètres de profondeur tout le long du périmètre du bâtiment. Cet indicateur nous permet d'évaluer le taux de parois vitrées. La surface utile influencée par les parois vitrées est visible sur l'image ci-dessous, le parallélogramme représente les parois extérieures de l'éventuel bâtiment et la partie hachurée représente la bande de 5 m que nous avons définie comme 'sous influence' des parois vitrées.

Les surfaces vitrées ont un mauvais comportement climatique par rapport aux surfaces opaques. Le premier paramètre qui entre en jeu c'est la transmission de la radiation solaire directe et diffuse, le deuxième c'est le fait que les parois vitrées sont de faible épaisseur, d'où une transmission rapide des fluctuations de la température extérieure. La radiation solaire directe peut être facilement compensée par des écrans, mais la radiation diffuse et la transmission des variations de températures extérieures sont difficilement maîtrisables.

Nous avons démarré l'analyse de ce dispositif à partir du bâtiment iGuzzini, faisant partie de notre corpus d'étude. Tout d'abord nous avons essayé de calculer la température radiante interne des parois vitrées ayant une  $U^{11}$  standard de  $2\text{W.m}^2/\text{K}$ . Cela aurait dû nous donner une première approximation de l'inconfort suite à l'effet de parois fines, mais ces valeurs auraient été difficiles à calculer pour chaque bâtiment du corpus et chaque type de climat. Par la suite, nous avons vérifié la pénétration du soleil le 21 mars pour des hauteurs de planchers de 3 m environ, des parois exposées au sud à la latitude de  $33^\circ$ , celle du bâtiment iGuzzini, qui se trouve à Reccanati en Italie. Ce jour-là, à 12h, la hauteur du soleil était d'environ  $57^\circ$ , pour une hauteur de plancher de 3 m, la pénétration du soleil dans la pièce sera aux alentours de 5 m.

Par la suite nous avons essayé d'observer, sur des lieux de travail, le comportement des parois vitrées et nous avons remarqué qu'une distance d'environ 5 m des parois vitrées était plausible pour définir une limite à la sensation de chaleur.

Pour ces raisons, nous avons décidé de rendre standard ce dispositif, tout en lui reconnaissant des limites importantes. Cependant, nous sommes convaincus que ce dispositif donne de meilleures indications que le simple taux de vitrages.

#### 1.1.1.0.4 L'évaluation du CII Institute of Quality.

La note perçue par le CII Institute of Quality est : 5.

Les surfaces vitrées et les surfaces proches sont en équilibre. De plus, les surfaces vitrées garantissent une bonne pénétration de la lumière du jour, tout en étant de dimensions réduites. L'équilibre trouvé par l'architecte favorise la pénétration de la lumière, sans exposer de grandes surfaces au soleil.

#### 1.3.2.6 **Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site**

Le rapport entre système de rafraîchissement et le climat du site nous permet d'évaluer la pertinence du système de rafraîchissement utilisé. Grâce

au logiciel ECOTECT de Autodesk<sup>12</sup> et à la fonction Weather Tool nous avons pu analyser le climat du site et réaliser un diagramme psychrométrique et l'analyse du design passif des bâtiments analysés. Le diagramme psychrométrique, réalisé par B. GIVONI (GIVONI, 1994), nous donne une vision efficace des potentiels de rafraîchissement dans un climat déterminé. L'analyse du design passif, faite avec le logiciel Weather Tool, souligne les potentiels d'heures de confort, avant et après l'application du potentiel de rafraîchissement du système choisi.

Ces analyses sont bien sûr très sommaires, car elles ne prennent pas en considération le design du bâtiment, cependant elles nous permettent d'évaluer les potentiels des systèmes choisis, par rapport au climat du site. De plus, la méthode que nous avons employée pour vérifier le rapport entre le climat du site et les systèmes de rafraîchissement est simple et rapide d'utilisation, car il suffit d'avoir le fichier météo du lieu d'implantation du bâtiment.

Nous avons décidé de présenter sur les diagrammes les champs des températures moyennes mensuelles. Il aurait été plus correct de faire apparaître les nuages de points de température, mais le graphe aurait été illisible à cause du nombre de données présentes.

Ce logiciel nous a permis de faire une analyse qualitative des heures de confort permises par les différents systèmes de rafraîchissement. Grâce à ces deux graphes, nous avons une 'image' représentative du climat du site et du potentiel de rafraîchissement du système choisi par l'architecte. Il est à remarquer que nous avons choisi de réaliser ces analyses sur les 24h, pour avoir une image d'ensemble comparable du potentiel de rafraîchissement. D'ailleurs, ce même logiciel, utilisé comme instrument d'aide à la conception, pourrait être exploité de manière plus approfondie et minutieuse. Notre objectif était d'évaluer le potentiel de rafraîchissement des systèmes choisis par l'architecte et d'apprécier leur pertinence dans un climat déterminé.

Nous avons utilisé les données climatiques fournies par 'US Department of Energy' (U.S. Department of Energy, 2011).

### *1.1.1.0.5 L'évaluation du CII Institute of Quality.*

La note perçue par le CII Institute of Quality est : 2. Le climat de Bangalore est de type tropical de savane, caractérisé par une période très sèche et par une période de moussons avec des précipitations qui dépassent les 180 mm mensuels.

Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique, évaporative directe) devrait garantir le confort des usagers. Par contre, pendant la plus grande partie de l'année le rafraîchissement évaporatif ne sera pas utilisable, car l'humidité relative est trop élevée. Dans ces conditions seule la ventilation naturelle pourrait garantir le confort.

---

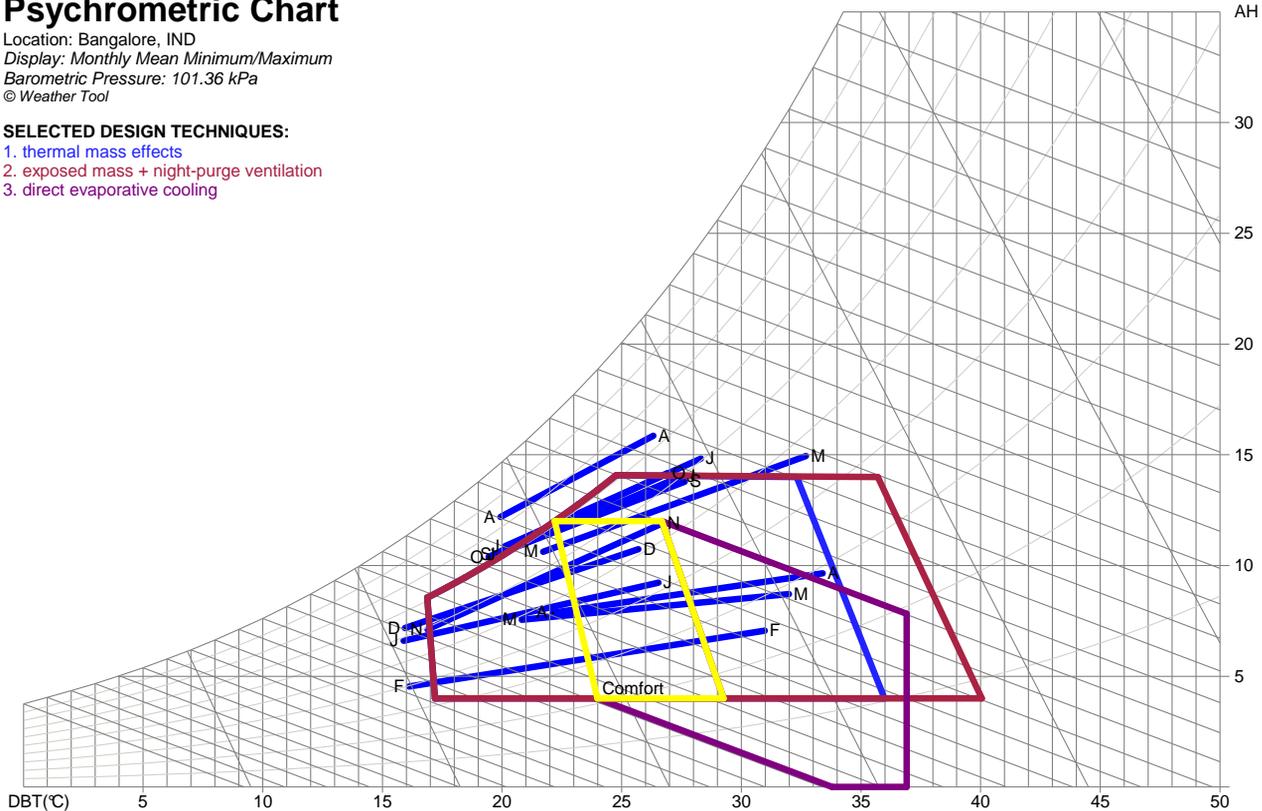
12 <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=12602821>

### Psychrometric Chart

Location: Bangalore, IND  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. direct evaporative cooling



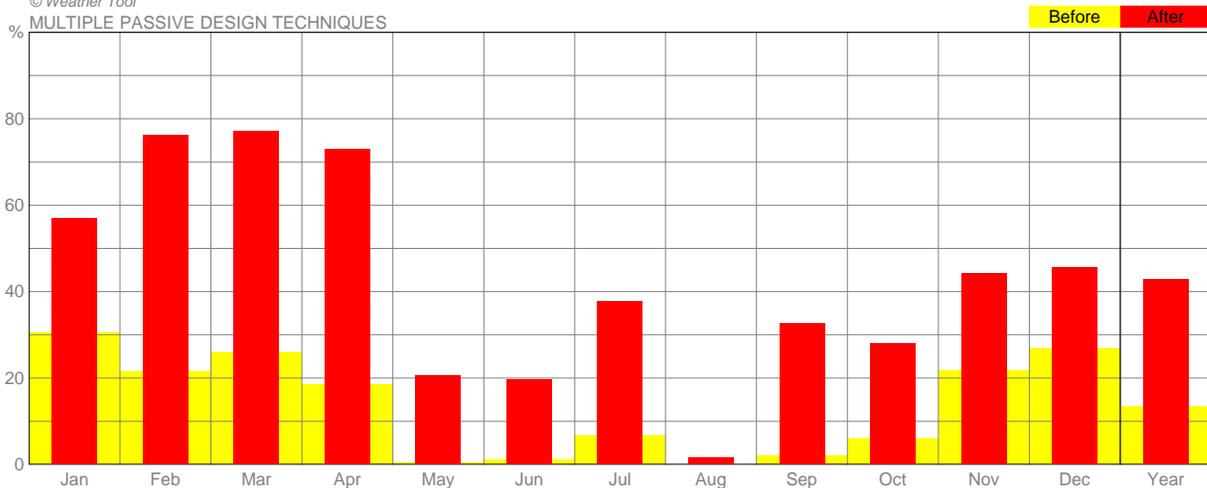
8. Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement par évaporation directe et par ventilation nocturne, avec exposition de la masse thermique.

### Comfort Percentages

NAME: Bangalore  
 LOCATION: IND  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 13.0°, 77.6°  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. direct evaporative cooling



9. Analyse du potentiel de confort à Bangalore utilisant le rafraîchissement par évaporation directe et par ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique.

Le rafraîchissement par ventilation nocturne, avec exposition de la masse thermique est plus efficace, en vertu de l'altitude de Bangalore, environ 1000 mètres NGF. Le système évaporatif est efficace seulement pendant les trois mois les plus secs, où les températures de l'air peuvent être très élevées.

La note est basse, à cause de l'hypothèse suivante : si l'architecte avait choisi des systèmes de rafraîchissement différents, comme l'évaporatif indirect, ou une meilleure ventilation traversante pendant les périodes de

grande humidité, il aurait probablement obtenu de meilleurs résultats.

### 1.3.2.7 **Éclairage naturel**

L'éclairage naturel définit la possibilité pour la lumière du jour de pénétrer dans le bâtiment. La capacité de la lumière naturelle à éclairer, sans pour autant éblouir les usagers, permet un meilleur fonctionnement du bâtiment et un bon confort.

Ce dispositif semble être en contraste avec le taux de vitrage actif. Cela n'est pas exact, l'idéal est dans l'équilibre entre ces deux paramètres. Un bâtiment peu éclairé obligera les usagers à utiliser la lumière artificielle, qui consomme de l'énergie et risque qu'influencer le comportement thermique des bâtiments.

#### *1.1.1.0.6 L'évaluation du CII Institute of Quality.*

La note perçue par le CII Institute of Quality est : 5. Comme on l'a vu pour le dispositif précédent, les surfaces vitrées ne sont pas très importantes, mais le bâtiment est conçu pour améliorer au maximum la pénétration de la lumière naturelle.

Cela procure un confort visuel très élevé pour les usagers et une réduction des apports thermiques internes, ainsi que, naturellement, des réductions de consommation électrique.

### 1.3.2.8 **Inertie du bâtiment**

Inertie du bâtiment définit la prédisposition à garder stable la température à l'intérieur. Il s'agit d'un indicateur qui nous aide à comprendre la capacité du bâtiment à répondre aux sollicitations climatiques extérieures en stockant de la chaleur et de la fraîcheur. Normalement un bâtiment de grande inertie évite que les variations de température à l'extérieur se transmettent directement à l'intérieur. Cela est bien sûr positif, sauf dans certains cas extrêmes, où, selon le type de climat et de bâtiment, il serait mieux d'avoir une inertie basse, pour éviter le stockage excessif de la chaleur. Comme, par exemple, dans un climat extrêmement chaud et humide où les variations de température journalières seraient négligeables, mais où d'éventuelles brises pourraient soulager les usagers. Comme on l'a dit, voilà un cas extrême, mais possible.

Nous avons introduit ce dispositif parmi les dispositifs critiques après un long débat. D'une part, il est vrai que très rarement la masse thermique pourrait être discriminante dans le fonctionnement du bâtiment, sauf dans les climats tropicaux, mais, d'autre part, nous avons toujours évalué les dispositifs selon leur corrélation avec le système bâtiment. La masse thermique d'un bâtiment, mal exposée ou mal protégée, pourrait augmenter les défaillances causées par d'autres dispositifs, causant l'échec du système bâtiment. Nous avons considéré la corrélation entre les différents dispositifs, quand nous avons décidé de la note à attribuer.

#### *1.1.1.0.7 L'évaluation du CII Institute of Quality.*

La note attribuée au CII Institute of Quality est : 5.

L'architecte a exploité l'inertie thermique du terrain, le bâtiment est positionné contre le flanc de la colline, l'air frais des tours évaporatives passe par un espace entre le terrain et la pièce à rafraîchir. De plus, le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne. Pendant la nuit les parois de la zone de 'stockage' de fraîcheur se refroidissent et pendant la journée l'air qui passe par cet espace, récupère la fraîcheur.

### 1.3.2.9 **Fonctionnement du système de rafraîchissement**

Le système de rafraîchissement peut être défini par le degré de complexité de fonctionnement du système. C'est ce qui détermine son harmonie avec l'usage du bâtiment.

Un système de rafraîchissement doit une bonne partie de son succès ou de sa défaillance à cette prévision, et dans sa partie active et sa partie fixe, il doit être en harmonie avec l'usage, sinon le risque est d'être rendu inutilisable. Si l'entretien est trop compliqué ou fréquent, s'il n'est pas en harmonie avec les autres paramètres du système bâtiment, souvent, la solution adoptée par les usagers est de ne pas utiliser le système de rafraîchissement passif.

#### 1.1.1.0.8 *L'évaluation du CII Institute of Quality.*

La note perçue par le CII Institute of Quality est : 4.

L'air rafraîchi est «stocké» dans un plénum et ensuite introduit dans les pièces, par des ouvertures en partie basse du mur. La librairie et l'auditorium sont traités de la même manière. Ce dernier peut contenir 200 personnes est rafraîchi par une tour évaporative et l'air est extrait par des ouvertures dans la partie haute à l'ouest. Les trois break-rooms ils le sont, quant à eux, par trois tours évaporatives. Une seule tour évaporative garantit le rafraîchissement de l'espace de bureaux.

Ce mode de fonctionnement est assez efficace, l'air passe par le plénum pré-rafraîchi pendant la nuit, cela augmente l'efficacité du système.

### 1.3.2.10 **Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif (automatique/humaine)**

La stratégie de contrôle d'un dispositif de rafraîchissement est liée au type d'usage du bâtiment. Il apparaît clairement que si le système bâtiment n'est pas bien utilisé, il ne pourra pas bien fonctionner. Cela est vrai pour tous les systèmes des bâtiments : si on n'allume pas le chauffage en hiver on risque d'avoir froid, mais concernant les systèmes de rafraîchissement il est encore plus important puisque cela peut augmenter le risque de surchauffes.

Dans certains bâtiments le soir, il faut manipuler les grilles d'aération pour activer la ventilation nocturne, si les usagers ne sont pas prêts ou pas au courant du fonctionnement, le système de rafraîchissement sera bloqué.

A ce sujet, il est intéressant de se référer à l'article paru dans le New York Times du 13 février 1997 au sujet du fonctionnement du bâtiment Estgate Center à Harare, au Zimbabwe. « *Ove Arup's graphs show that the building has generally fluctuated between 73 and 77 degrees, with the exception of*

*the annual hot spell just before the summer rains in October (the seasons are reversed in the Southern Hemisphere) and of three days in November, when a janitor switched off the fans at night.*<sup>13</sup> » (DONALD, et al., 1997). Dans ce cas, un technicien de surface, croyant que les ventilateurs étaient en marche par erreur pendant la nuit, les éteignit. Le résultat fut que tout le système bâtiment ne garantit plus le confort thermique des usagers.

Cette anecdote nous fait comprendre qu'il suffit d'une incohérence dans la procédure de contrôle du système de rafraîchissement pour que tout le système bâtiment fonctionne mal.

Les systèmes de rafraîchissement peuvent très facilement être sujets aux dysfonctionnements à cause d'une mauvaise stratégie de contrôle ou d'un mauvais comportement des usagers. Normalement il faut prévoir toujours une période de rodage, afin que la stratégie de contrôle du système soit effectivement efficace.

### 1.1.1.0.9 L'évaluation du CII Institute of Quality.

La note reçue par le CII Institute of Quality est : 1.

Nous allons analyser les motifs principaux de cette défaillance. C'est le talon d'Achille de tout le système.

En phase de projet, une centrale automatique de contrôle avait été prévue, mais à cause des coûts de ce type de technologie il a été décidé de passer à l'usage manuel. Ce type de contrôle s'adapte mal à l'usage des bureaux et de la salle de conférence et au climat du site. Les usagers mettent en fonction le système de brumiseurs quand ils ont déjà chaud, alors que le système passif n'arrive pas à compenser et éliminer les surchauffes trop élevées. Il faudrait faire démarrer les brumiseurs bien avant que la température d'inconfort soit atteinte.

Ce dispositif critique, dans le cas du CII Institute of Quality est cause de défaillance de tout le système bâtiment.

### 1.3.2.11 **Compartmentation**

La compartimentation définit les divisions internes et donc les obstacles qui empêchent l'air de traverser le bâtiment.

La compartimentation d'un bâtiment en plusieurs espaces peut engendrer des problèmes de fonctionnement du système de rafraîchissement, sauf si des conduits sont prévus pour le passage de l'air frais.

Ce paramètre veut être une appréciation de la manière dont l'architecte a résolu et harmonisé la nécessité de rafraîchir avec l'exigence des usagers de partager l'espace en zones, empêchant le mouvement de l'air. Souvent une cloison, rajoutée ou non prévue en phase d'analyse, peut modifier le

---

13 « Les graphes du bureau d'étude Ove ARUP montrent que la température généralement peut fluctuer entre 22.8°C et 25°C, à l'exception de trois semaines durant l'annuelle canicule juste avant l'été en octobre (les saisons sont renversées dans l'hémisphère sud) et pendant trois jours en novembre, quand un ouvrier a arrêté la VMC pendant la nuit par erreur ». Traduction propre.

comportement thermo-aéraulique du bâtiment.

### 1.1.1.0.10 *L'évaluation du CII Institute of Quality.*

La note perçue par le CII Institute of Quality est : 5.

Les espaces rafraîchis sont tous en open-space et ont été étudiés pour mieux diffuser l'air frais venant des tours.

### 1.3.2.12 **Protection solaire des surfaces verticales**

Il est question ici des protections solaires et leur efficacité. Il sera difficile de rafraîchir passivement un bâtiment si les apports thermiques internes et externes sont trop importants.

Les apports internes dépendent de l'usage, de la qualité des appareils électroniques, du type de sources lumineuses artificielles, etc.

Les apports externes sont déterminés en très grande partie par le soleil et la radiation directe et indirecte. Cet indicateur sert à comprendre quels types de protections solaires ont été choisis par l'architecte et quel est leur degré d'efficacité.

### 1.1.1.0.11 *L'évaluation du CII Institute of Quality.*

La note perçue par le CII Institute of Quality est : 1.

Une autre cause de surchauffe est due au mauvais choix des protections solaires. Le bâtiment est *mal* exposé, cause de la configuration du terrain, la façade principale est exposée à l'ouest, et protégée par des casquettes.

Celles-ci offrent une protection efficace quand le soleil est en position haute, mais l'après-midi les radiations directes du soleil touchent les grandes baies vitrées et causent des surchauffes trop importantes pour être compensées par des systèmes de rafraîchissement passifs.

### 1.3.2.13 **Note moyenne**

La note moyenne de tous les 60 indicateurs confondus nous donne un aperçu sur l'ensemble du bâtiment. Cela est important, car même si les indicateurs critiques sont positifs, mais la conception générale du bâtiment est négative, le bâtiment pourrait ne pas garantir le confort thermique des usagers.

### 1.1.1.0.12 *L'évaluation du CII Institute of Quality.*

La note perçue par le CII Institute of Quality est : 3,61.

La note moyenne est positive, car l'ensemble des dispositifs sont assez bien étudiés et devraient garantir le confort des usagers, en même temps deux dispositifs critiques ont une note de 1 seulement, La stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif (automatique/humaine) et La protection solaire des surfaces verticales, car les deux dispositifs ne fonctionnent pas bien et empêchent le système bâtiment de bien fonctionner.

Ces évaluations nous montrent que l'on ne peut pas se contenter, pour comprendre le fonctionnement réel d'un bâtiment, de la note moyenne de tous les dispositifs confondus, car il suffit que des dispositifs critiques aient une note très faible pour empêcher le fonctionnement de tout le système bâtiment. Quand l'un de ces dispositifs a la note de 1, la 'compensation' devient impossible, car la façon dont ils sont notés prend toujours en considération les interrelations qui s'exercent entre eux.

### 1.3.3 Interprétation du graphe radar

Les dispositifs critiques ainsi construits nous permettent de réaliser un graphe radar, qui donne une idée synthétique du comportement du bâtiment et aussi de comparer des bâtiments différents. Les indicateurs critiques ont été choisis d'une part pour nous donner une idée du comportement du bâtiment et d'autre part pour signaler des faiblesses qui pourraient engendrer un mauvais fonctionnement de tout le système bâtiment.

Etant donné ces considérations, nous ne pouvons pas nous baser sur la simple surface retenue par notre graphe, mais nous devons d'abord analyser les extrêmes. Un indicateur critique qui a une note de 1 point, peut, à lui seul, engendrer le mauvais fonctionnement de tout le système bâtiment, même si les autres onze indicateurs ont des notes très élevées.

#### 1.3.3.1 La comparaison entre le CII Institute of Quality et le iGuzzini Headquarter

Après avoir examiné le graphe radar du CII Institute of Quality, nous allons analyser le graphe radar d'un autre bâtiment, les bureaux de la direction de la société iGuzzini à Recanati, en Italie. Nous allons également essayer de comparer les deux bâtiments, pour mieux comprendre ce que peut nous apporter cette démarche.

##### 1.3.3.1.1 Le bâtiment de direction de iGuzzini

Le bâtiment pour les bureaux de direction de l'entreprise iGuzzini se situe à Recanati en Italie.

Les stratégies de rafraîchissement utilisées sont les suivantes : une protection efficace des surchauffes et un système de ventilation naturelle contrôlée (VNC) nocturne.

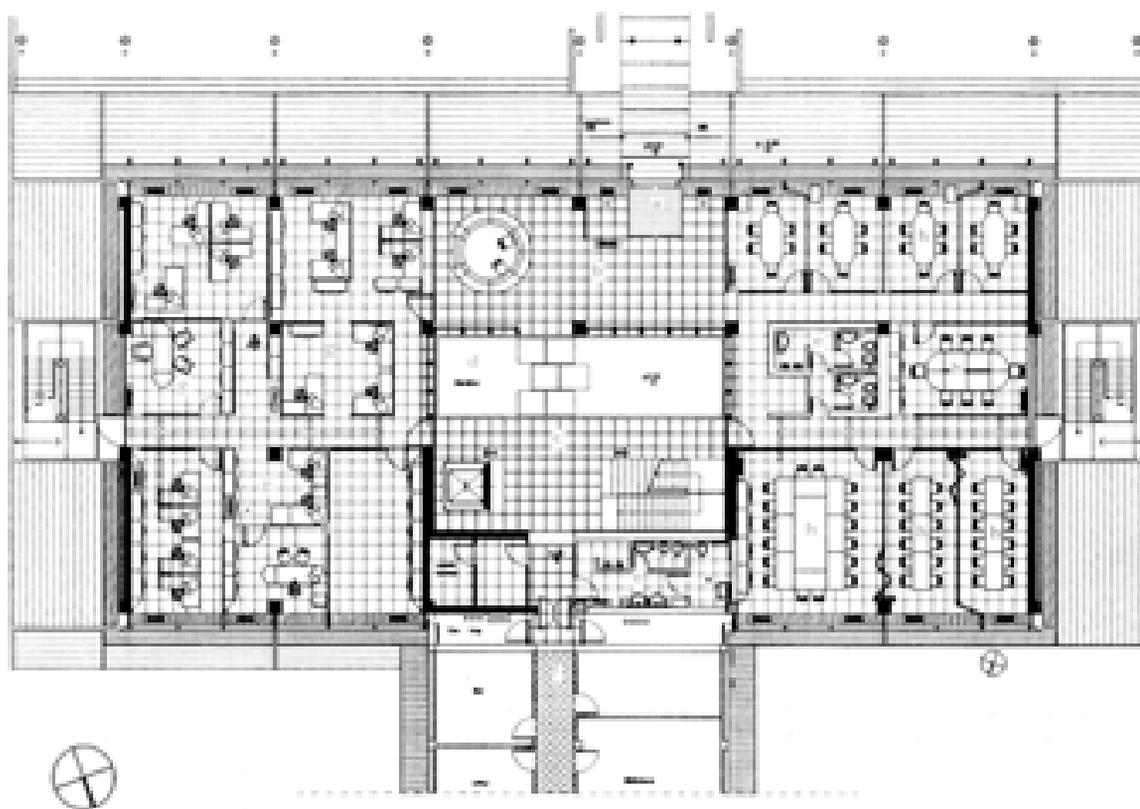
Dans la partie centrale du bâtiment, on trouve un atrium jardin. L'atrium jardin est ouvert sur trois côtés vers les bureaux et il est couvert par des lucarnes ouvrantes et protégées du soleil.

Les ouvertures sont reliées à un système de contrôle de la température interne et externe qui ouvre et referme les fenêtres selon différents programmes.



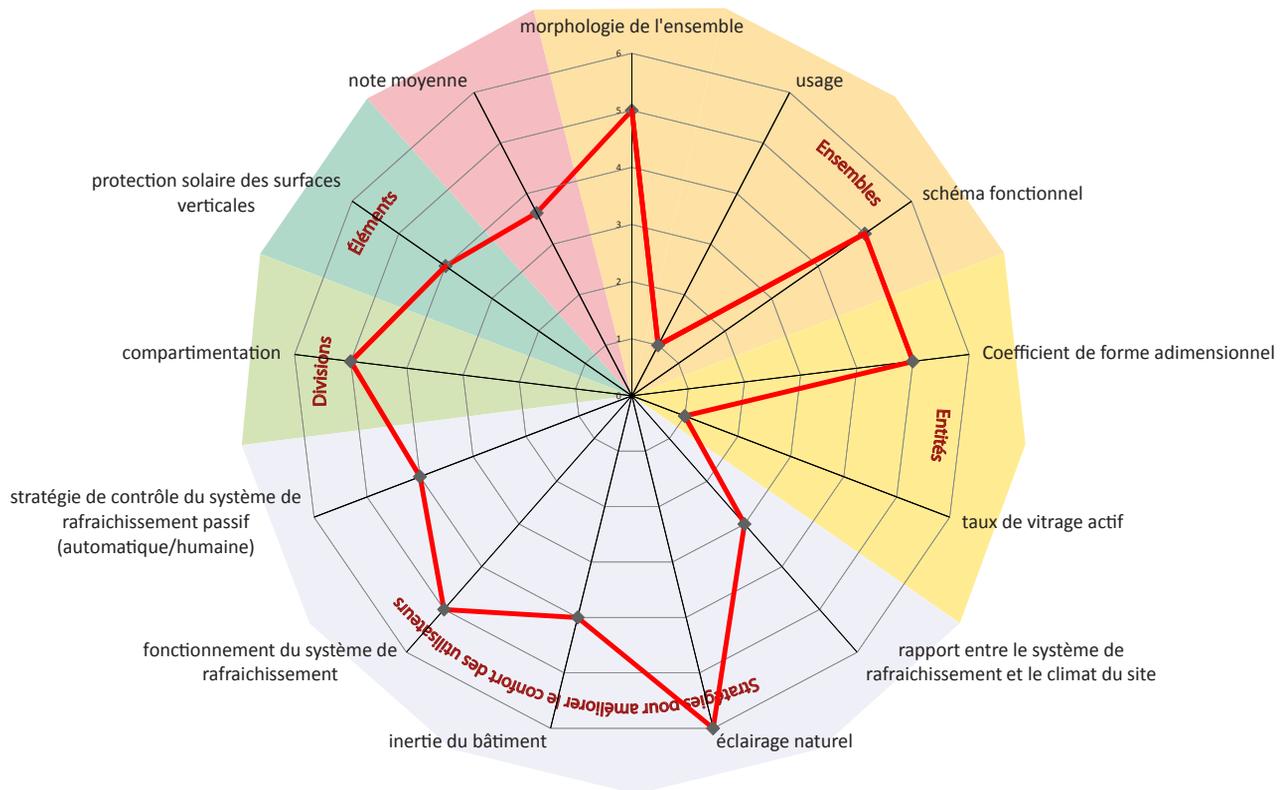
10. Image du bâtiment de direction de iGuzzini (CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität Siegen Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique, 9)

ground floor plan



11. Plan du bâtiment de direction de iGuzzini (EULEB , 2006)

Bâtiment pour les bureaux iGuzzini à Recanati



## 12. Graphe radar du bâtiment iGuzzini

L'image donnée par ce graphique est facilement interprétable. Le bâtiment est bien conçu et réalisé, mais deux indicateurs critiques révèlent des faiblesses qui peuvent nuire au fonctionnement bioclimatique du bâtiment. Les indicateurs critiques sont l'usage et le taux de vitrage actif.

1) L'usage : La fonction, un bureau de direction et commercial, comporte des contraintes culturelles qui sont en contradiction avec les stratégies bioclimatiques adoptées par l'architecte. Pendant la phase de conception du bâtiment, la température maximale considérée de confort était de 26°C, mais à cause de l'utilisation de vêtements comme des vestes et chemises à manches longues, typiques dans un bureau directionnel, la température de 26° n'a pas permis l'état de confort. Le dernier étage du bâtiment iGuzzini est composé par des petits bureaux, qui ne sont pas climatisés par VNC (ventilation naturelle contrôlée), mais mécaniquement. Tout cela nous fait comprendre comment ce type d'usage est en contradiction avec les choix de l'architecte. D'autre part, la question qui se pose est aussi culturelle. La demande en apports thermiques, dans les bureaux de direction d'un producteur de luminaires italiens de design, est très élevée. Les dirigeants ne pourraient pas accepter que les clients soient en état d'inconfort thermique. L'architecte aurait peut-être dû prévoir des systèmes de rafraîchissement capables de maintenir les espaces à des températures plus basses. D'ailleurs, c'est l'un des problèmes typiques que nous ayons rencontrés. Souvent les concepteurs font des prévisions trop optimistes par rapport à la capacité d'adaptation des usagers.

2) Le taux de vitrage actif de ce bâtiment est très défavorable. Les deux façades principales sont vitrées et, comme on l'a vu, les parois vitrées ont une incidence négative sur le comportement bioclimatique du bâtiment. Dans ce cas, les protections solaires ont été étudiées pour éviter toute radiation solaire directe pendant les mois estivaux, mais l'effet de *parois fines*, qu'on a décrit précédemment, et l'apport thermique de la radiation solaire diffuse ne sont pas résolus. Cela conduit à une charge thermique supplémentaire qui aurait pu être évitée, due aux choix architecturaux, comme la préférence donnée à la mise en valeur d'autres points fondamentaux pour ce type de bâtiment.



13. Plan représentant le taux de vitrage actif du bâtiment de direction de iGuzzini

Par exemple, dans les bâtiments commerciaux, l'importance des parois vitrés, synonymes de transparence de l'entreprise, un design très poussé et contemporain, traduit la volonté d'une société de pointe de mettre en valeur les luminaires de design qu'elle fabrique. Pour ce faire le bâtiment est constitué d'espaces représentatifs très suggestifs. C'est le cas de l'atrium qui a été introduit dans la phase de conception du bâtiment. Cela est confirmé par une entrevue réalisée avec Elisabeth FRANCIS vice-présidente de l'agence d'architecture MC A, qui nous a confirmé que l'objectif de l'architecte était de créer «*una bellissima architettura*», en intégrant bien entendu dès la première phase de la conception les notions de la construction bioclimatique afin de créer un bâtiment peu énergivore.

Concernant les autres indicateurs, le bâtiment iGuzzini est bien conçu et bien réalisé. La morphologie de l'ensemble est compacte (note 5). Le schéma fonctionnel est efficace avec la présence du patio central qui rassemble toutes les circulations verticales ce que lui permet de fonctionner comme une cheminée verticale pour le tirage de l'air (note 5). Le coefficient de forme adimensionnel nous indique que le bâtiment a une volumétrie très compacte (note 5). Le rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site est bon (note 3), la VNC avec exposition de la masse thermique est une méthode de rafraîchissement appropriée, même si les prestations du système bâtiment n'arrivent pas à garantir le confort thermique des usagers. L'éclairage naturel

est très bien résolu par la présence du patio central qui permet à la lumière de pénétrer en profondeur dans le bâtiment (note 6). L'inertie du bâtiment aurait pu être plus importante, mais à cause des grandes parois vitrées l'architecte a dû limiter cette inertie et la concentrer dans les dalles entre les étages (note 4). Cela dit les dalles en béton exposées au flux d'air et l'absence de faux plafond garantissent une bonne masse thermique. Le fonctionnement du système de rafraîchissement est adapté à l'usage du bâtiment (note 5). Le contrôle est assuré par une centrale météorologique, qui gère l'ouverture et la fermeture des fenêtres (note 4). Pour affiner le fonctionnement du système de contrôle il a fallu presque deux ans, ceci confirme le fait que souvent une période de *rodage* est nécessaire. La compartimentation est optimale pour un système de ventilation par VNC, le seul défaut de ce type de solution est l'absence de vie privée pour les usagers et l'insuffisance d'insonorisation (note 5). Les plateaux libres garantissent la meilleure circulation de l'air. La protection solaire est très bien étudiée et des expériences ont été menées pour optimiser la position et l'inclinaison des brise-soleil (note 4), bien sûr, des protections solaires fixes, dans certaines conditions, peuvent être un peu trop rigides, par rapport aux besoins des usagers.

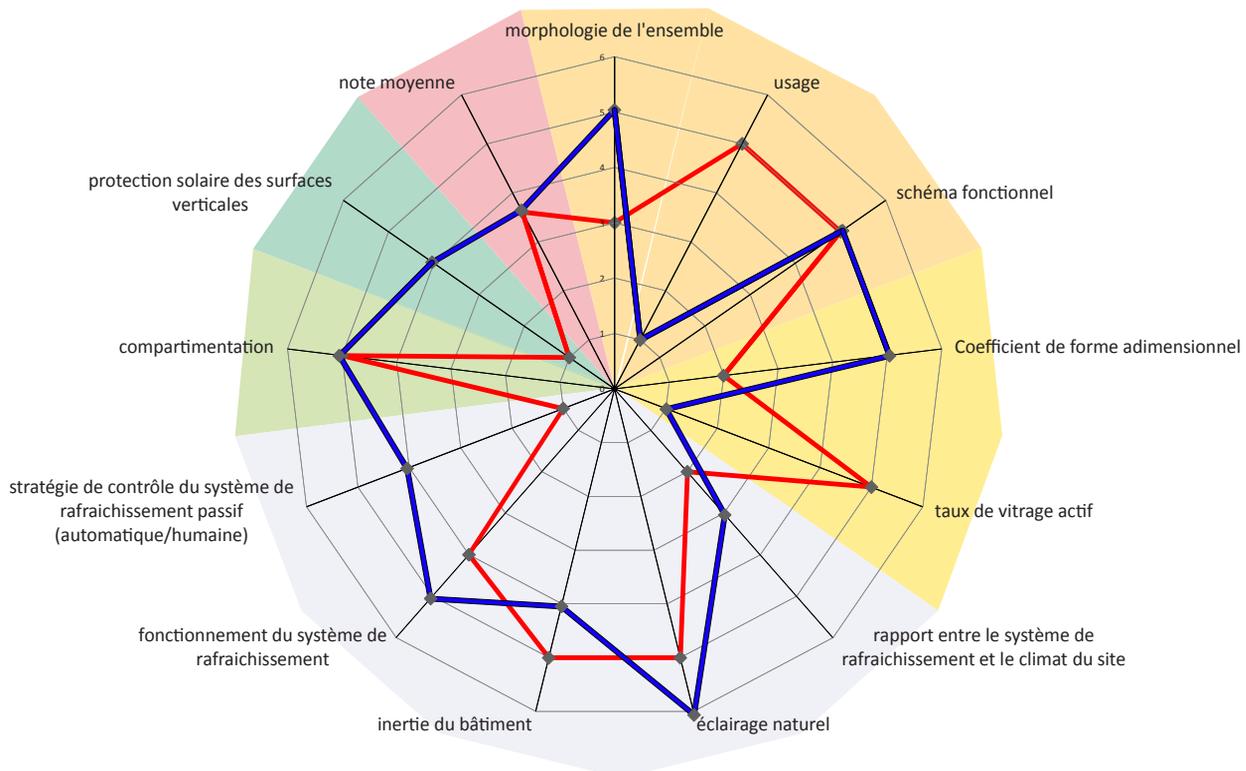
La note moyenne est le dernier indicateur qui nous donne la moyenne des soixante indicateurs confondus. Dans le cadre du bâtiment iGuzzini la note moyenne est de 3,62.

Ce bâtiment a été analysé par le groupe de recherche «EULEB<sup>14</sup>», qui constate : *«Après une première période d'essai du bâtiment fonctionnant en ce mode de contrôle, l'inconfort des usagers suggérait de changer la température à laquelle les fenêtres s'ouvrent... L'échec de cette deuxième modalité de contrôle a aussi provoqué l'ajustement manuel des panneaux, pour permettre aux occupants de modifier les conditions intérieures locales. Les mesures de suivi énergétique ont considéré toute la période pendant laquelle le changement des modes a été effectué... Le système de ventilation hybride n'a pas été suffisant pour établir les conditions de confort thermique d'hiver et d'été. Pour cette raison pendant l'année, à l'exception du printemps et de l'automne, le bâtiment a fonctionné en mode mécanique.»* (EULEB, 2006). Ce qui confirme notre évaluation : le bâtiment est globalement bien conçu, mais des aspects critiques risquent de mettre en difficulté le comportement bioclimatique du système.

La *base des données critique* ainsi conçue nous permet d'analyser et d'évaluer des bâtiments construits dans différents endroits du monde et aussi de les comparer. La possibilité de confronter deux bâtiments peut fournir des informations intéressantes sur le fonctionnement, les raisons de réussite ou les problèmes du système bâtiment. Les graphes radars présentés ci-dessous permettent de faire la comparaison entre le bâtiment iGuzzini à Recanati et le CII Institute of Quality à Bangalore.

CII Institute of Quality, Bangalore Inde

Bâtiment pour les bureaux iGuzzini à Recanati



#### 14. Comparaison des graphes radar de deux bâtiments : CII Institute of Quality et iGuzzini

Le graphe nous montre que les deux bâtiments ont une note moyenne très proche, mais les deux bâtiments ont des comportements différents. Dans les deux cas, il existe des dispositifs critiques, qui compromettent le fonctionnement du système bâtiment. Ils présentent chacun un problème de surchauffe causé par la radiation solaire, d'une part les protections solaires ne sont pas efficaces, d'autre part les grandes surfaces vitrées provoquent des accumulations de chaleur. Une autre difficulté est liée à des dispositifs qui évaluent le comportement des usagers. Dans le bâtiment iGuzzini, la demande de prestations et le comportement des usagers peuvent mettre en *difficulté* le système de rafraîchissement. Dans le CII Institute of Quality, la stratégie de contrôle est gérée par les usagers, l'ennui est que les usagers déclenchent le rafraîchissement par évaporation trop tard pour pouvoir se rafraîchir.

Ces considérations nous permettent de mieux analyser le fonctionnement des systèmes bâtiments. L'attention du concepteur aux modes d'utilisation des bâtiments doit être beaucoup plus soutenue. Les problèmes que nous avons soulignés auraient pu être évités. Pour expliquer notre démarche, nous avons voulu présenter des *édifices problématiques*. Il existe des bâtiments où les graphes sont beaucoup plus linéaires et même si la note moyenne est similaire, les systèmes bâtiment fonctionnent bien et garantissent le confort des usagers.

Même si les deux bâtiments ont une localisation géographique, des usages et des morphologies différentes, la méthode employée permet de les évaluer et de les comparer. A partir des résultats de cette analyse, nous avons pu extraire des raisons de non-réussite des systèmes de rafraîchissement passifs.

À travers notre analyse nous voudrions aussi comprendre quel impact ont les systèmes de rafraîchissement sur l'architecture et plus précisément quelle est la posture de l'architecte par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement dans l'architecture. Pour atteindre cet objectif, nous avons mis en place un autre instrument : les *fiches* des bâtiments.

Nous verrons dans les prochains paragraphes comment sont composées les fiches des bâtiments et comment elles peuvent nous aider dans notre recherche.

### 1.4 Création des fiches

#### 1.4.1 Objectif de la base de données et des fiches

L'objectif des *fiches* est de communiquer les résultats de la recherche et d'approfondir la critique architecturale tout en cherchant à comprendre la posture des différents architectes face à l'intégration des systèmes de rafraîchissement passif. Aujourd'hui le débat à ce sujet est très vif. Selon l'architecte Mario CUCINELLA, « *on est dans une phase de transition architecturale. La problématique de la durabilité ... les nouvelles demandes de la part des clients... nous obligent à revoir notre approche des projets. Souvent les architectes continuent à réaliser des architectures et ils attachent par-dessus des systèmes aptes à réduire la consommation énergétique. Il faudrait au contraire interpréter l'architecture comme un ensemble et réaliser les projets avec l'apport actif des différents acteurs, ingénieurs, thermiciens, etc.*<sup>15</sup> ».

L'architecte CUCINELLA est le promoteur d'une approche *intégrative* des systèmes d'ingénierie dans l'architecture, cela est assez visible dans ses architectures bioclimatiques.

A ce dernier s'oppose au point de vue de l'ingénieur George BAIRD, qui dans l'ouvrage "The Architectural Expression of Environmental Control Systems" affirme : « *The overall aim of this book is to inspire more architects, building services engineers and building scientist to take a creative approach to the design expression of environmental control systems...*<sup>16</sup> » (BAIRD, 2001 p. 1). Toujours dans le même ouvrage on peut lire « *... Engineers, in the main, have failed to understand and contribute in a constructive manner to the visual and aesthetic qualities of engineering services in buildings ...*<sup>17</sup> » (BAIRD, 2001 p. 3).

Et pour finir, il faut citer Louis KAHN, qui affirmait : « *I do not like ducts, I do not like pipes. I hate them really thoroughly, but because I hate them so thoroughly, I feel that they have to be given their place. If I just hated them and took no care, I think they would invade the building and destroy it. I want*

15 Bologne SAIE octobre 2009. Traduction propre.

16 « L'objectif principal de ce livre est d'inspirer les architectes, les ingénieurs des services des bâtiments et les physiciens de la construction à avoir une approche créative pour la conception et l'expression des systèmes de contrôle environnementale... » Traduction propre.

17 « Les Ingénieurs, très souvent, ont échoué dans leurs compréhensions et apports constructifs sur les qualités visuelles et esthétiques des services d'ingénierie dans le bâtiment ... » Traduction propre.

*to correct any notion may you have that I'm in love with that kind of thing»* (Kahn, 1984 p. 26)<sup>18</sup>.

Nous réalisons à quel point les trois approches sont différentes et opposées. Nous pourrions citer énormément d'architectes, chercheurs, critiques de l'architecture ... qui ont toujours des avis différents à ce sujet. Nous ne voulons pas partager ou soutenir l'une ou l'autre attitude. Notre intérêt est plutôt de comprendre comment les architectes, qui ont déjà affronté ce problème, l'ont résolu.

Notre objectif est de mettre en évidence l'impact des différents systèmes de rafraîchissement sur l'architecture et la posture des différents architectes sur leur intégration. Pour définir la posture et l'impact des systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture on s'est appuyé sur deux recherches. D'une part, George BAIRD dans l'ouvrage *The Architectural Expression of Environmental Control Systems*, définit le degré de prégnance des systèmes techniques dans l'architecture. D'autre part, la recherche de Yasmine MANSOURI, qui travaille sur les systèmes de ventilation naturelle et définit une grille d'analyse morphologique des systèmes de ventilation.

Nous voulons faire remarquer que le choix du type de système de rafraîchissement passif peut influencer, non seulement la composition architecturale, mais aussi la possibilité, ou non, d'intégrer les systèmes techniques dans l'architecture.

Nous montrons ci-dessous la fiche complète du CII Institute of Quality et par la suite nous allons expliquer point par point la manière dont nous l'avons composée.

---

18 « Je n'aime pas les conduits, je n'aime pas les cheminées. Je les déteste profondément, mais comme je les hais si fortement, je pense qu'il faut leur donner leur place. Je pense qu'autrement eux envahiront le bâtiment et le détruiront. Je voudrais corriger chaque idée que vous pouvez avoir sur le fait que j'aime ce type d'objets... » Traduction propre.

# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

CII Institute of Quality, Bangalore Inde

## Contenu de la fiche

Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type

État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

## Synthèse

Le bâtiment se trouve à Bangalore, sud de l'Inde et capitale de l'État du Karnataka. La ville est située sur le plateau du Deccan à environ 900m NGF dans une zone de plaines. La ville est considérée comme la nouvelle Silicon Valley. Le gouvernement a installé plusieurs instituts de recherche liés aux nouvelles technologies. L'expansion très rapide de la ville et l'économie basée sur la recherche et les nouvelles technologies se traduisent par une demande toujours plus élevée d'électricité.

Le bâtiment se situe sur une parcelle aménagée de 16 000 m<sup>2</sup>. C'est une construction contemporaine intégrée dans le paysage. Le projet est étudié pour être le plus ecofriendly possible. L'ensemble est composé par trois barres, deux qui suivent les courbes de niveau et une qui coupe les autres de manière transversale, formant un pont entre les deux barres plus basses. Le bâtiment accueille un centre d'excellence des entreprises. Le bâtiment est rafraîchi passivement avec des tours évaporatives qui réduisent la température de l'air. Les différentes pièces sont rafraîchies par des tours évaporatives. La nuit le flux d'air est inversé et le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne.

Latitude N 12.975795, Longitude 77.47640



01 (1)

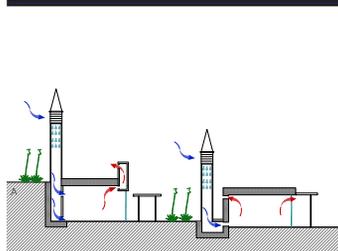
## Données climatiques de la zone

Le climat du site est de type tropical de savane, caractérisé par une période très sèche et par une période des moussons avec des précipitations. Les températures moyennes sont assez élevées et descendent rarement en dessous de 18°C. Les précipitations se concentrent entre les mois de mai à octobre. DJU hiver = 28 DJU été = 1301

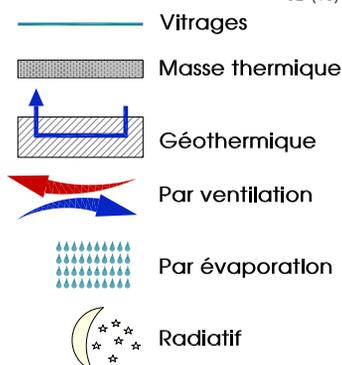
## Groupe analytique

|   |  |                                    |   |  |
|---|--|------------------------------------|---|--|
| Semi compacte<br>(Morphologie)                      | Tertiaire<br>(Typologie)                 | centre de recherche<br>(Usage)     | 2001<br>(Datation)                      | Apparents - niveau 5<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement)       |
| 2.500 - 8.800<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 80m p; 17m l; 4m h<br>(Dimensions) | Evaporatif dir. et ventilation nocturne | Evaporatif dir. et ventilation nocturne<br>(Stratégie de rafraîchissement) |

## Logo synthétique



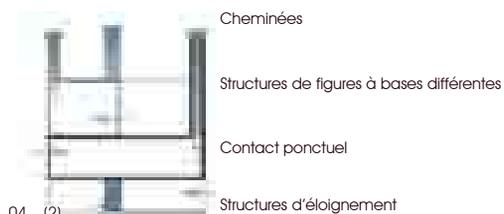
02 (10)



03 (3)

## Formes du type

Logo typo/topologique



04 (2)



05 (3)

Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

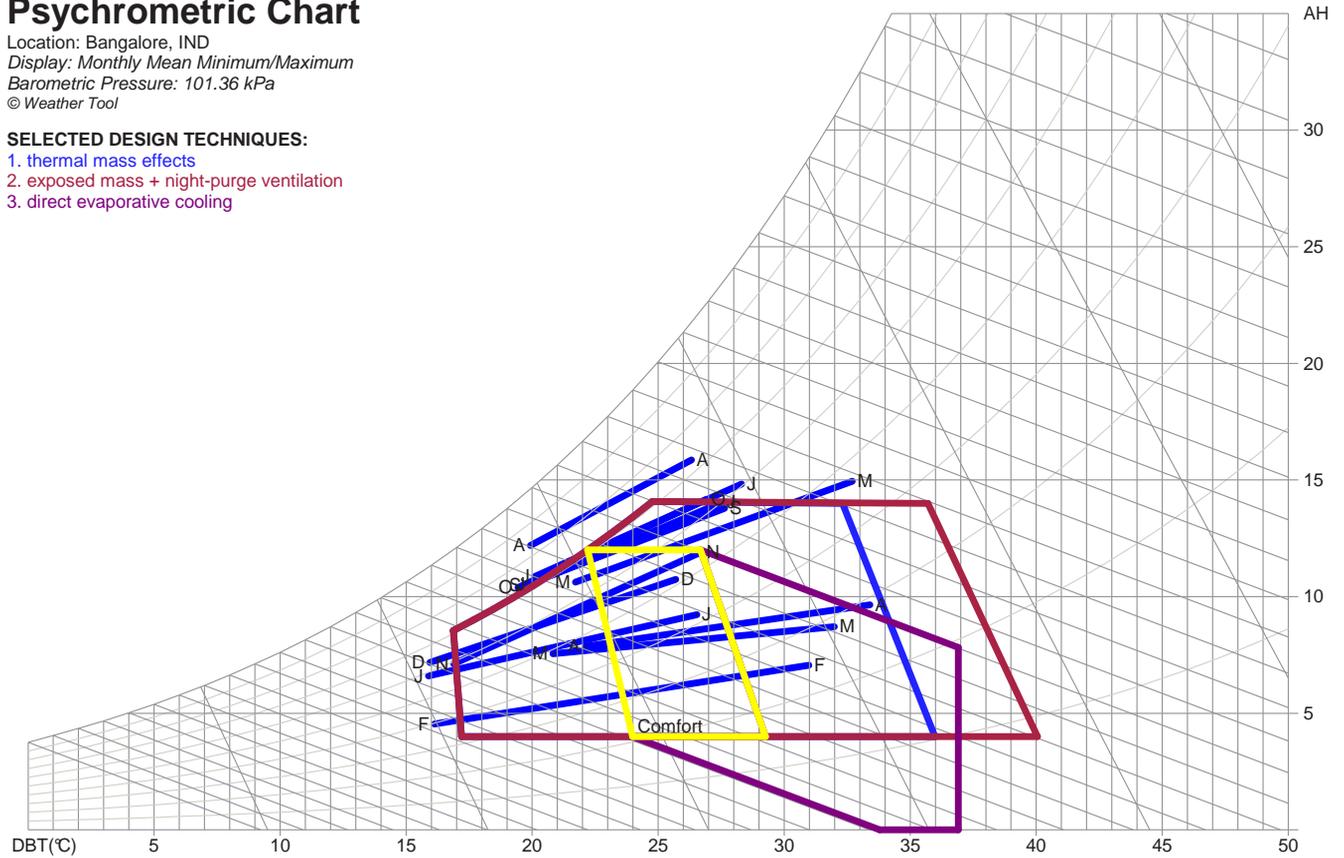
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: Bangalore, IND  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

1. thermal mass effects
2. exposed mass + night-purge ventilation
3. direct evaporative cooling



Le climat de Bangalore est de type tropical de savane, caractérisé par une période très sèche et par une période des moussons avec des précipitations qui dépassent les 180mm mensuels.

Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique, évaporatif direct) devrait garantir le confort des usagers. Par contre pendant une partie de l'année le rafraîchissement évaporatif ne sera pas utilisable, car l'humidité relative est trop élevée. Dans ces conditions seulement la ventilation naturelle pourrait garantir le confort. Le rafraîchissement par ventilation nocturne, avec exposition de la masse thermique, est plus efficace, en vertu de l'altitude de Bangalore, environ 1000 mètres NGF. Le système évaporatif est efficace seulement pendant les trois mois les plus secs, ou les températures de l'air peuvent être très élevées.

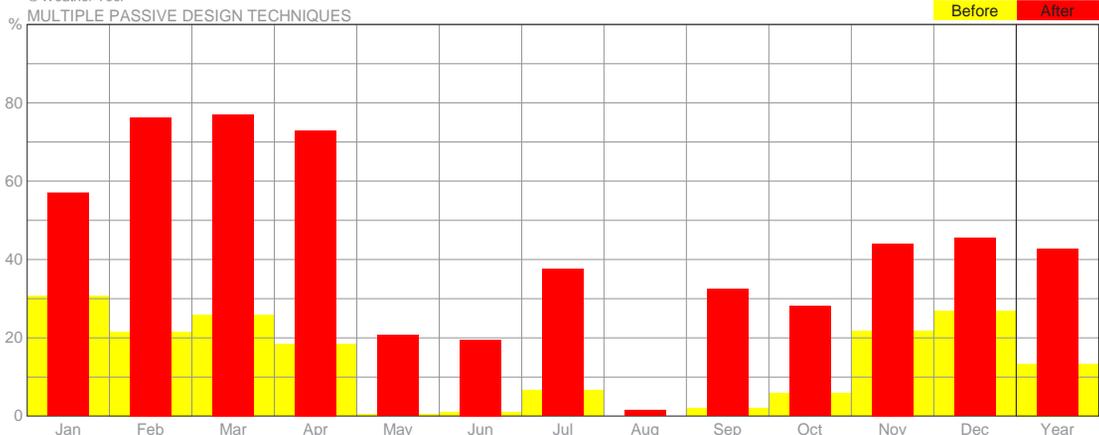
La note est basse, car on pourrait émettre l'hypothèse que, si l'architecte avait visé sur des systèmes de rafraîchissement différents, il aurait probablement obtenu des résultats meilleurs. Pour mieux exploiter la ventilation naturelle il aurait du réaliser des ouvertures entre la pièce et la cheminée en partie haute, pour éliminer l'air chaud.

### Comfort Percentages

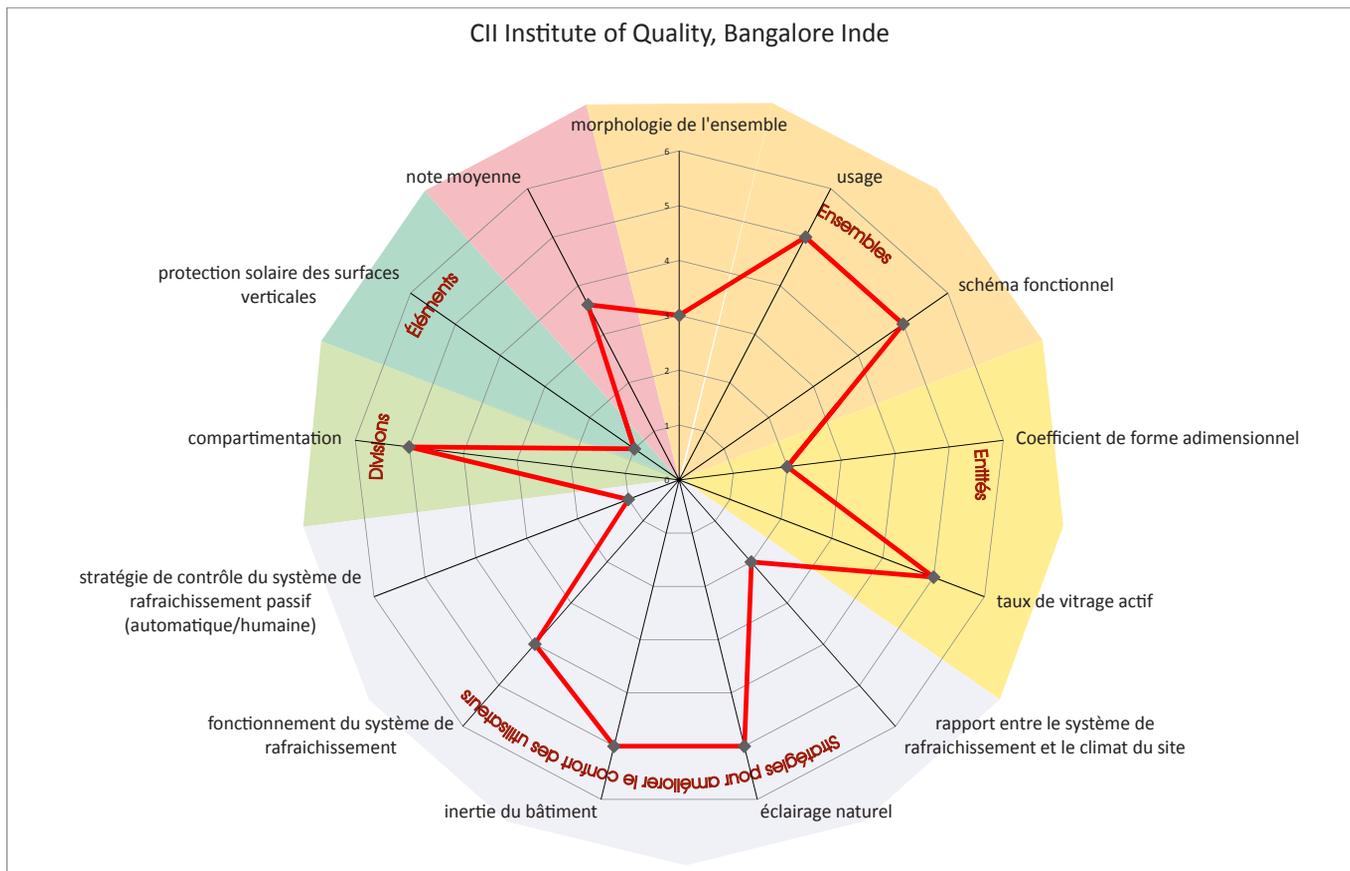
NAME: Bangalore  
 LOCATION: IND  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 13.0°; 77.6°  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

1. thermal mass effects
2. exposed mass + night-purge ventilation
3. direct evaporative cooling



## Graphe synthétique des dispositifs critiques



07 (10)

Deux dispositifs critiques ont une note de 1 et cela est dû au fait que la stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif est défaillante et les protections solaires ne sont pas suffisantes. Aux deux dispositifs critiques avec une note de 1 il faut rajouter encore un dispositif avec une note de 2, c'est-à-dire le rapport entre le rafraîchissement passif et le climat du site.

La stratégie de contrôle du bâtiment est le talon d'Achille de tout le système. En phase de projet avait été prévue une centrale automatique de contrôle, mais à cause des coûts de ce type de technologie il a été décidé de passer à l'usage manuel. Ce type de contrôle s'adapte mal à l'usage bureaux et salle de conférence et au climat du site. Les usagers mettent en fonction le système de brumiseurs quand ils ont déjà chaud, mais le système passif n'arrive pas à compenser et éliminer les surchauffes trop élevées. Il faudrait faire démarrer les brumiseurs bien avant que la température d'inconfort ne soit atteinte. Une autre cause des surchauffes est due aux mauvaises protections solaires. Le bâtiment est mal exposé, à cause de la conformation du terrain, la façade principale est exposée à l'ouest, et elle est protégée par des casquettes, efficacement en milieu de journée, mais le soir la radiation directe du soleil touche directement les grandes baies vitrées. La radiation directe cause des surchauffes trop élevées pour être compensées par des systèmes de rafraîchissement passifs.

De plus, les systèmes choisis ne s'adaptent pas parfaitement au climat du site, pour rafraîchir pendant les mois les plus chauds, il aurait fallu exploiter la ventilation naturelle. Les cheminées auraient pu être très utiles pour éliminer l'air chaud et favoriser la ventilation naturelle, mais l'architecte aurait dû prévoir des passages d'air en partie haute entre la cheminée et la pièce, pour extraire l'air chaud.

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se situe sur une parcelle aménagée de 16 000 m<sup>2</sup>. C'est une construction contemporaine intégrée dans le paysage. Le projet est étudié pour être le plus possible 'ecofriendly', dans la banlieue OUEST de la ville.

Il est difficile d'en définir l'implantation, car le projet est très fragmenté. Nous pouvons dire que le bâtiment est orienté nord-sud, sauf la barre pour des bureaux qui est orientée est-ouest, implanté dans une parcelle en légère pente il exploite la déclivité du terrain pour s'appuyer le long des courbes de niveau. L'architecte exploite la masse thermique en encastrant une partie du bâtiment dans le terrain, cela nécessite que la plus grande partie des façades soient exposées à l'ouest. Cette orientation est la moins favorable pour les apports solaires.

### Usage

Le bâtiment accueille un centre d'excellence des entreprises. C'est le lieu de rencontre et de conférence au sujet de la qualité et de l'environnement. Les entreprises qui présentent leurs produits dans ce centre sont souvent liées à l'éco-économie. Ils ont rafraîchis des bureaux ainsi qu'un auditorium de 200 places. Le bâtiment accueille une fonction clairement liée à l'écologie. Étant un lieu de représentation pour les entreprises du secteur il est clair que la conception bioclimatique faisait expressément partie du cahier des charges pour l'architecte. Le bâtiment a aussi une fonction pédagogique envers les visiteurs. De plus, les visiteurs du centre sont un public sensible capable d'apprécier le fonctionnement bioclimatique du bâtiment.

### Schéma fonctionnel

Le bâtiment a une disposition longitudinale, au RDC sont disposés l'auditorium la bibliothèque et les lieux publics. Au premier étage on trouve les bureaux. Le schéma fonctionnel est une conséquence de l'intégration du bâtiment dans le site. Les espaces paysagés entre les deux barres construites sont assimilables à un patio. Cette zone est une petite oasis de rencontre entre les usagers du centre

Ensembles

### Morphologie du bâtiment

L'ensemble est composé par trois barres, deux qui suivent les courbes de niveau et une qui coupe les autres de manière transversale, formant un pont entre les deux barres plus basses.

Surface: 2.500 m<sup>2</sup>

Volume: 8.800 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 8,46

taux de vitrage actif : 0.12 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0.08 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Le bâtiment est de forme semi-compacte et le coefficient de forme n'est pas excellent.

Le rapport surface vitrée / surface opaque est optimal. Le bâtiment est peu vitré, mais la lumière du jour a une bonne pénétration.

Entités



08 (5)



09 (3)



10 (3)



### Éclairage naturel

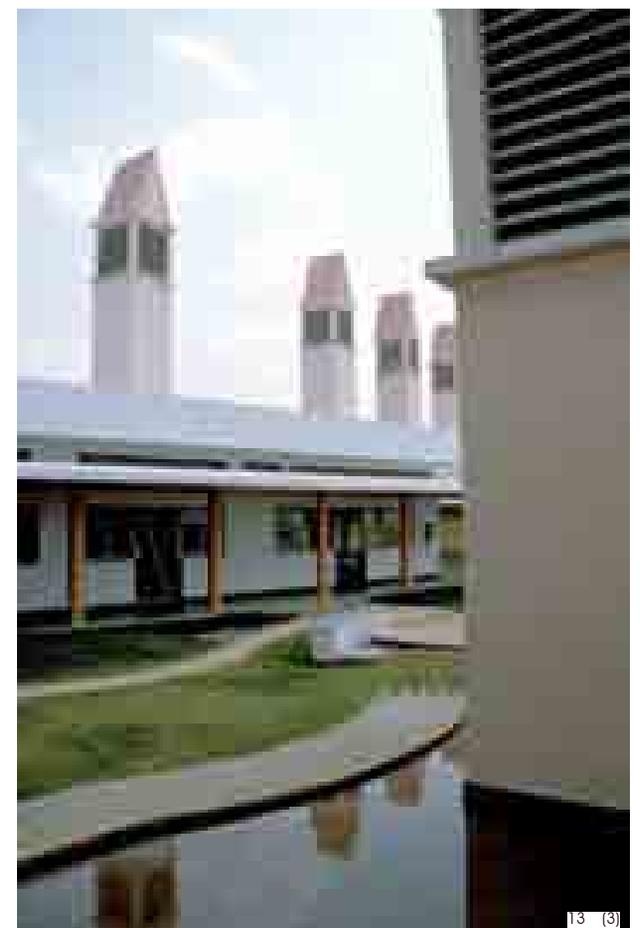
Le bâtiment est conçu pour améliorer au maximum la pénétration de la lumière naturelle. Cela comporte un confort très élevé pour les usagers et une réduction des apports thermiques internes, ainsi, naturellement, que des réductions de consommation électrique.



### Système de rafraîchissement

Le bâtiment est rafraîchi passivement avec des tours évaporatives qui réduisent la température de l'air. La nuit le flux d'air est inversé et le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne.

Le rafraîchissement par évaporation couplé à la ventilation naturelle nocturne s'adapte à l'usage du bâtiment, mais les systèmes choisis risquent d'être sous-dimensionnés pendant une bonne partie de l'année. L'architecte aurait dû étudier des stratégies pour améliorer la ventilation naturelle traversante. Cela est naturellement prévu, mais la position et la conformation des cheminées ne sont pas optimales pour extraire l'air chaud des pièces.



### Fonctionnement du système de rafraîchissement

L'air rafraîchi est «stocké» dans un plénum et ensuite introduit dans les pièces. L'auditorium, contenant 200 personnes, est rafraîchi par une tour évaporative, l'air est extrait par des ouvertures dans la partie haute à l'ouest. Les 3 break-rooms sont rafraîchis par 3 tours évaporatives et la librairie de la même manière que l'auditorium. Une seule tour évaporative garantit le rafraîchissement, l'air «stocké» est introduit par des ouvertures en partie basse du mur à l'est et extraite par des ouvertures à l'ouest. Les bureaux sont rafraîchis par une seule tour évaporative. La position de la tour cause une mauvaise distribution de l'air frais. De plus, les bureaux, en partie par leur conception et en partie par l'usage, sont plus sujets aux surchauffes. Cette condition peut être cause de d'inconfort. Pendant la saison des moussons et la nuit, le flux d'air est inversé et le confort thermique est garanti par la ventilation naturelle.

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Le projet prévoyait d'automatiser ou semi-automatiser le système de rafraîchissement passif. Pour des raisons budgétaires le système est aujourd'hui manuel. Dans chaque zone les utilisateurs doivent activer ou éteindre les brumisateurs d'eau. Ce mode de fonctionnement peut comporter des problèmes. Les utilisateurs souvent activent le système de rafraîchissement quand la température de d'inconfort est déjà atteinte. Les tours évaporatives arrivent difficilement à réduire la température de d'inconfort dans des temps réduits. Il faudrait prévoir une automatisation qui permette aux tours de s'activer à temps et de maintenir une température optimale. Le problème dû au fonctionnement manuel du système de rafraîchissement peut compromettre tout le système

## Analyse systémique

### Inertie du bâtiment

L'architecte a exploité l'inertie thermique du terrain, le bâtiment est positionné contre le flanc de la colline, l'air frais des tours évaporatives passe par un espace entre le terrain et la pièce à rafraîchir. De plus, le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne. Pendant la nuit les parois de la zone de 'stockage' de fraîcheur se refroidissent et pendant la journée l'air qui passe par cet espace récupère la fraîcheur. Les cheminées entre les deux bâtiments sont séparées des bâtiments à rafraîchir, la liaison se fait par un conduit enterré. Cette astuce sert à augmenter la masse thermique et améliorer le stockage de la fraîcheur.



### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Le cloisonnement vertical est de type standard. La plus grande partie des matériaux utilisés vient des filières locales ou est recyclée.



### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Une bonne partie des toitures est végétalisée. Cela garantit une bonne masse thermique. Les toitures végétalisées permettent une bonne protection des apports solaires des toitures. Toutes les plantations de la toiture et de la parcelle sont réalisées avec des plantes locales, adaptées au climat.



### Compartimentation

Les parties du bâtiment rafraîchies passivement ne sont pas compartimentées. Les locaux open-espace permettent un bon passage de l'air et facilitent le rafraîchissement.





### Protection solaire

Une autre cause des surchauffes est due aux mauvaises protections solaires. Le bâtiment est mal exposé, à cause de la conformation du terrain, la façade principale est exposée à l'ouest, et elle est protégée par des casquettes, efficacement en milieu de journée, mais le soir la radiation directe du soleil touche directement les grandes baies vitrées. La radiation directe cause des surchauffes trop élevées pour être compensées par des systèmes de rafraîchissement passifs.

Comme on l'a vu, les surfaces horizontales sont végétalisées, cela est assimilable à une bonne protection solaire.

### Surfaces vitrées

Les surfaces vitrées sont bien étudiées, le rapport entre surfaces opaques et surfaces vitrées est favorable, sans renoncer à une bonne pénétration de la lumière du jour.

Cela apporte un confort très élevé pour les usagers et une réduction des apports thermiques internes, ainsi, naturellement, que des réductions de consommation électrique.

Taux de vitrage actif :  $0.12 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0.08 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Les parties vitrées ont des doubles vitrages.



### Surfaces opaques

Le cloisonnement vertical est de type standard. Les matériaux utilisés en grande partie viennent des filières locales ou sont recyclés. Les parties vitrées ont des doubles vitrages. Les toitures végétalisées permettent une bonne protection des apports solaires. Les choix de l'architecte visent à améliorer le confort thermique des usagers. En particulier les toitures végétalisées garantissent des très bonnes prestations thermiques, donnent un apport à la masse thermique et en même temps constituent un écran contre l'ensoleillement.

### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Les tours, ainsi que des prises d'air présentes favorisent la ventilation nocturne. Elles fonctionnent selon le même principe que les bagdirs iraniens. Pendant la journée le flux d'air se dirige vers l'intérieur, dans notre cas grâce à l'eau brumisée en partie haute de la tour. Pendant la nuit le processus s'inverse et les tours ont fonction de cheminées d'extraction d'air. Cela permet une bonne ventilation nocturne, qui comme on l'a vu est très efficace à Bangalore. Nous n'avons pas de données au sujet des flux d'air, mais il paraît évident que cette fonction de tirage de l'air chaud et rafraîchissement nocturne, ainsi que le rafraîchissement par ventilation pendant les mois les plus humides, aurait été beaucoup plus efficace si les cheminées avaient eu une liaison avec la pièce en partie haute et non seulement près du sol.



## État actuel et condition d'utilisation

La post occupancy évaluation menée par le groupe PHDC nous montre que :

Les employés qui travaillent dans le centre sont satisfaits par l'architecture et les températures en hiver, mais les températures en été dépassent le seuil de confort.

Un autre problème rencontré est dû aux variations de température pendant la journée.

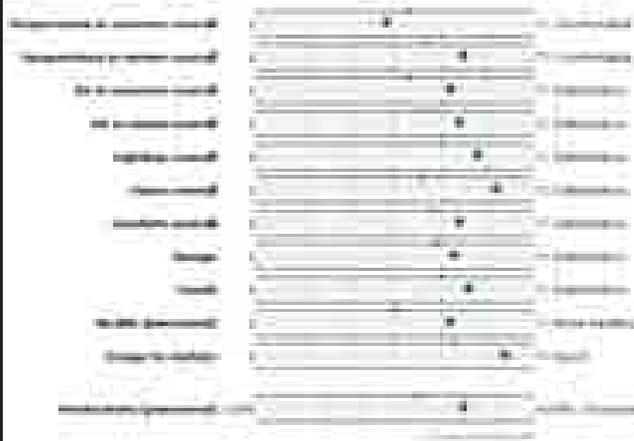
Ces avis des usagers confirment en partie notre analyse.

Les problèmes de ce projet sont dus, d'une part au système de contrôle du rafraîchissement. Un système automatique permettrait d'anticiper la mise en route des bruisseurs, afin de mieux rafraîchir les espaces.

D'autre part, les problèmes des protections solaires causent des surchauffes, l'après-midi, qui ne sont pas contrastées par le système de rafraîchissement. Les murs sont déjà chauds, à cause des apports thermiques de toute la journée et la chaleur du soleil est immédiatement perçue par les usagers.

Des écrans solaires et un système de contrôle automatique pourraient résoudre facilement une partie des problèmes de ce projet.

Nous pouvons remarquer que les usagers du bâtiment considèrent optimal le niveau des nuisances sonores, cela est néanmoins étrange dans un bureau open-space.



21 (8)

## Analyse architecturale

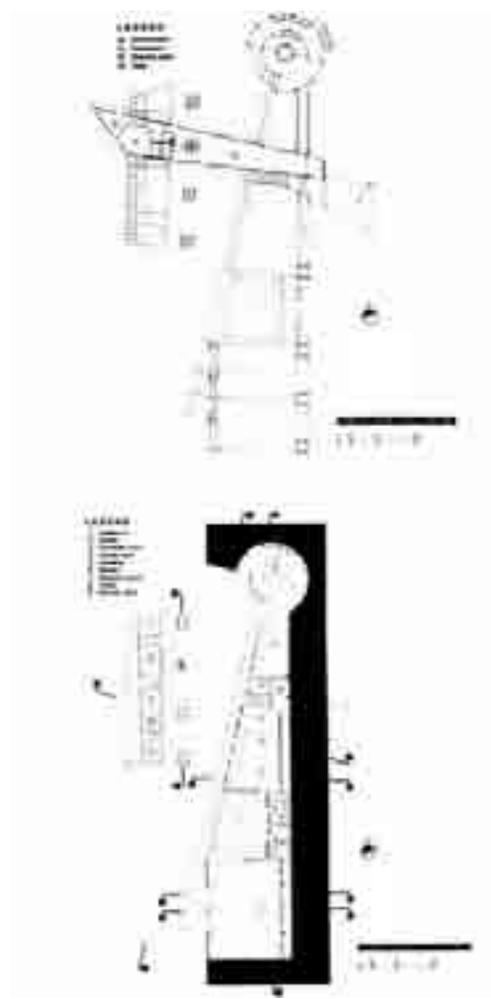
Le bâtiment se présente avec une 'veste' architecturale contemporaine et des éléments de rappel à la culture traditionnelle indienne.

L'architecte a cherché à marier les deux architectures, traditionnelle et contemporaine, la réinterprétation des éléments symboliques de l'architecture et de la religion caractérise la forme architecturale définitive du bâtiment.

Les systèmes de rafraîchissement sont clairement reconnaissables et mis en valeur. L'architecte a choisi d'utiliser les systèmes de rafraîchissement comme éléments architecturaux. Les tours de rafraîchissement posées dans le patio central ont nettement une fonction esthétique et font partie de l'aménagement du patio.

Le niveau de prégnance des systèmes de rafraîchissement pour ce bâtiment est de 5.

La position des tours n'est pas optimale par rapport aux nécessités de rafraîchissement, elles sauraient été plus efficaces si elles avaient été plus hautes, mais pour garder des proportions agréables dans le patio paysagé l'architecte a décidé de conserver leurs tailles réduites et de les positionner un peu en retrait par rapport au bâtiment. Ces choix nous montrent que la posture de l'architecte était claire, son objectif était de rendre visibles les tours évaporatives.



22 (3)

## Aspects positifs et leçons à retenir



Le projet dans son ensemble est bien conçu et réalisé. L'architecte a réussi à rafraîchir le bâtiment sans utiliser la climatisation, même si nous avons pu remarquer des défaillances. Le climat de Bangalore est assez sévère, comme nous l'avons vu sur le diagramme psychrométrique avec une alternance de saisons sèches et de saisons de moussons. Les conditions climatiques rendent difficile le rafraîchissement passif. Le projet peut-être considéré comme un succès, car les problèmes principaux pourraient être résolus très facilement. Une fois résolus les problèmes de protection solaire et de système de contrôle, nous pensons, que le bâtiment peut garantir le confort des usagers toute l'année.

Aspects les plus importants :

Les tours de rafraîchissement exploitent la masse thermique du sol, cela est très utile, en particulier si les tours ont une fonction de ventilation nocturne.

La masse thermique des tours permet d'exploiter au mieux la fonction de rafraîchissement nocturne. Comme dans les Bagdir, la masse thermique des tours pendant la journée accumule la chaleur qui pendant la nuit favorise l'effet cheminée et permet d'inverser le flux d'air.

Les toitures végétalisées constituent une protection solaire, de plus l'arrosage des plantes pendant la saison sèche favorise le rafraîchissement. Les toitures végétalisées ont aussi une fonction de stockage, de la fraîcheur.

Les espaces aménagés et le patio paysagé riches en végétation créent un microclimat, qui permet le rafraîchissement passif.



## Aspects négatifs et leçons à retenir

Le système bâtiment ne garantit pas complètement le confort thermique des usagers à cause d'erreurs, qui auraient pu être facilement évitées.

Les maîtres d'ouvrage ont préféré éliminer du programme la centrale de contrôle automatique des systèmes de rafraîchissement. Cela a été une erreur très grave et pour économiser quelques milliers d'euros, tout le bâtiment risque de ne pas fonctionner. Comme nous l'avons vu l'usage du bâtiment et le système de contrôle employé n'est pas compatible, en particulier dans un lieu, comme Bangalore, où les conditions climatiques sont assez sévères.

L'autre erreur commise par l'architecte, concerne les mauvaises protections solaires sur les façades ouest, qui permettent des surchauffes non équilibrées par le système de rafraîchissement.

Aspects les plus importants :

Le système de contrôle manuel s'adapte mal à un usage de bureaux. Il aurait été nécessaire d'installer une centrale de contrôle, qui aurait permis de faire démarrer les systèmes de rafraîchissement par évaporation avant que la température de confort ne soit dépassée.

La centrale automatique aurait pu résoudre également les fluctuations de la température journalière. Les ouvrants nocturnes, sans une centrale automatisée, restent ouverts toute la nuit, à l'arrivée des employés la température peut être basse et pendant la journée elle monte trop rapidement. Une bonne gestion de la ventilation nocturne et de la brumisation aurait réduit ces problèmes.

Les protections solaires des façades ouest sont nécessaires.



## Bibliographie

---

- Aga Khan Trust for Culture CII Institute of Quality [Online] // archnet. - MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture . - 04 10, 2010. - [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=9721](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=9721).
- CII INSTITUTE OF QUALITY About the Building [Online] // CII INSTITUTE OF QUALITY. - CII,- IQ All Rights Reserved, 2007. - 04 10, 2010. - [http://www.cii-iq.in/aboutiq07\\_building.html](http://www.cii-iq.in/aboutiq07_building.html).
- CII Institute of Quality Annual Report [Online] // CII Institute of Quality. - CII Institute of Quality, 2008. - 04 15, 2010. - [http://www.cii-iq.in/pdfs/iq/Annual\\_Report\\_2008.pdf](http://www.cii-iq.in/pdfs/iq/Annual_Report_2008.pdf).
- Er. Avantika Praveen K Verma Sustainable Development through Green Design in India [Online] // NBM Media / ed. NBMCW. - NBM Media, 08 2010. - 04 10, 2010. - <http://www.nbmcw.com/articles/green-construction/17831-sustainable-development-through-green-design-in-india.html>.
- FORD Brian [et al.] The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book [Book]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.
- Google Google Maps [Online] // Google. - Google, 2011. - 04 10, 2011. - <http://maps.google.fr/maps?q=12.975795,+77.47640&ie=UTF8&hl=fr&t=h&z=16>.
- GROSSO Mario Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato [Book] / ed. Editore Maggioli. - San Marino : Maggioli Editore, 2008. - p. 648 . - ISBN 978-88-387-3963-3.
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis and co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [Online] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 04 15, 2011. - <http://www.bing.com/maps>.
- MNRE and IREDA Examples [Online] // Green Buildings / ed. IREDA MNRE and. - MNRE and IREDA, 2010. - 04 15, 2010. - <http://ncict.net/Examples/Examples.aspx>.
- MOLINA Félix José Luis phdc.eu/uploads/media/PHDC\_BOLOGNA\_AICIA\_Climatic\_Applicability\_and\_components\_performance.pdf [Online] // phdc.eu. - 11 12, 2009. - 03 23, 2010. - [http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC\\_BOLOGNA\\_AICIA\\_Climatic\\_Applicability\\_and\\_components\\_performance.pdf](http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC_BOLOGNA_AICIA_Climatic_Applicability_and_components_performance.pdf).
- PHDC Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC Draught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 10 29, 2009. - Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.
- Pinge Ar. Roopa Sabnis indian insite [Online] // insiteindia. - insiteindia, 2008. - 04 16, 2010. - <http://www.insiteindia.in/pdf/2008/inaugural/Indian%20insite.pdf>.
- Schiano-Phan Rosa and Ford Brian Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling: Case studies in the US [Conference] // PLEA 2008 – 25° Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / ed. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.
- U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [Online] // EnergyPlus. - 03 11, 2011. - 01 25, 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
- Wikipedia Bangalore [Online] // Wikipedia. - Wikipedia, 04 18, 2011. - 04 25, 2011. - <http://en.wikipedia.org/wiki/Bangalore#Geography>.
- Wikipedia Bangalore [Online] // Wikipedia. - Wikipedia, 02 27, 2011. - 04 20, 2011. - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Bangalore>.

## Sources des illustrations

---

1. MNRE and IREDA. Examples. Green Buildings. [Online] 2010. [Cited: 04 15, 2010.] <http://ncict.net/Examples/Examples.aspx>.
2. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis and co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
3. Aga Khan Trust for Culture . CII Institute of Quality. archnet. [Online] MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture . [Cited: 04 10, 2010.] [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=9721](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=9721).
4. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [Online] 03 11, 2011. [Cited: 01 25, 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
5. Google. Google Maps. Google. [Online] Google, 2011. [Cited: 04 10, 2011.] <http://maps.google.fr/maps?q=12.975795,+77.47640&ie=UTF8&hl=fr&t=h&z=16>.
6. PHDC. Cooling Without Air-Conditioning. 01\_02-PHDC\_Downdraught Cooling a Primer P47. [CD-ROM]. Bologna, Italie : s.n., 10 29, 2009. Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. P10006183248.
7. Pinge, Ar. Roopa Sabnis. indian insite. insiteindia. [Online] 2008. [Cited: 04 16, 2010.] <http://www.insiteindia.in/pdf/2008/inaugural/Indian%20insite.pdf>.
8. FORD, Brian, et al. The Architecture and Engineering of Downdraught Cooling; A Design Source Book. UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. p. 199. ISBN 978-0956579003.
9. CII INSTITUTE OF QUALITY. About the Building. CII INSTITUTE OF QUALITY. [Online] CII, - IQ All Rights Reserved, 2007. [Cited: 04 10, 2010.] [http://www.cii-iq.in/aboutiq07\\_building.html](http://www.cii-iq.in/aboutiq07_building.html).
10. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.

### 1.4.2 Méthode pour analyser la prégnance des systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture.

La posture des différents architectes par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement dans l'architecture peut influencer non seulement la performance technique des systèmes, mais aussi la perception des usagers. Pour expliciter les différentes approches, nous nous appuyons sur une méthode déjà existante.

Dans l'ouvrage *The Architectural Expression of Environmental Control Systems* (BRAID, 2001), se trouve une classification des bâtiments par rapport à la volonté du concepteur de manifester la présence des systèmes de contrôle environnemental. « ... *buildings as having four main systems : structure, envelope, mechanical, interior. He also postulates five levels of combination: remote touching, connected, meshed, unified. More importantly, from the viewpoint of the present book, he asserts that 'building system integration can also be used as a means of visual expression' (added emphases) and he identifies five levels of visible integration (Rush, 1986: 382):*

*Level 1: Not visible, no change. The system or subsystem in question is not in view to the building user, and therefore modifications of its physical form are esthetically irrelevant.*

*Level 2: Visible, no change. The system is exposed to public view but not altered or improved in any way from what the purely functional application requires.*

*Level 3: Visible, surface change. The system is visible to the building's occupants and has had only surface alterations made to it, with its other physical aspects remaining unchanged.*

*Level 4: Visible, with size or shape change. The system is visible to the user of the building and has been given a size and/or shape other than what is simplest and most economical. The surface treatment and position may remain unchanged.*

*Level 5: Visible, with location or orientation change. The system is exposed to the view of the occupants of the building, but its position has been altered from what is functionally optimal. The shape or surface, however, may remain unchanged.<sup>19</sup>* (BRAID, 2001 p. 12).

19 « ... définis les bâtiments comme ayant quatre systèmes principaux : structure, enveloppe, mécanique, intérieur. Il postule également cinq niveaux de combinaison : toucher à distance, connecté, maillés, unifié. Plus important encore, du point de vue de ce livre, il affirme que «l'intégration du système de construction peut également être utilisé comme un moyen d'expression visuelle» (à souligner) et il identifie cinq niveaux d'intégration visible (Rush, 1986: 382):

Level 1 : Non visible, pas de changement. Le système ou sous-système en question n'est pas visible par l'utilisateur du bâtiment, et par conséquent des modifications de sa forme physique sont esthétiquement sans importance.

Level 2 : Visible, pas de changement. Le système est exposé à la vue des usagers, mais il n'y a pas de modifications ou d'améliorations par rapport aux nécessités fonctionnelles requises par l'application.

Level 3 : Visible, modification de la surface. Le système est visible par les occupants de l'immeuble et a subi des simples altérations de la surface, avec ses autres aspects physiques inchangés.

Level 4 : Visible, avec la taille ou le changement de forme. Le système est visible par l'utilisateur de l'immeuble et a une taille et/ou une forme autre par rapport à ce qui est plus simple et plus économique. Le traitement de surface et la

L'échelle est donnée par la volonté du concepteur de manifester la présence des systèmes de rafraîchissement. La note 1, la plus basse, sera attribuée aux bâtiments dont le concepteur fait des efforts supplémentaires pour dissimuler les systèmes de rafraîchissement passifs. La note 2 sera attribuée aux bâtiments dont le concepteur permet de percevoir les systèmes, par les usagers, mais où il n'a pas fait d'effort supplémentaire ni pour les cacher, ni pour les mettre en évidence. La note 3 sera attribuée aux bâtiments dont le concepteur met en évidence les systèmes de rafraîchissement avec de simples modifications de la peau extérieure. La note 4 sera attribuée aux bâtiments, dont le concepteur met en évidence les systèmes de rafraîchissement, qui deviennent langage architectural et ont modifié forme et taille, par rapport à ce qui serait optimal. Dans ce cas, le concepteur a fait des efforts non négligeables pour rendre visibles les systèmes de rafraîchissement. La note 5 sera attribuée aux bâtiments dont le concepteur met en évidence les systèmes de rafraîchissement, pour qui le fonctionnement des systèmes n'est plus la priorité, mais qui les utilise prioritairement en tant qu'objets architecturaux. La forme, la taille et la position des systèmes de rafraîchissement auraient dû ou pu être différentes, mais le concepteur, pour des raisons esthétiques, préfère les modifier.

Etant donné que cette méthode d'évaluation permet d'établir une classification de l'intégration des dispositifs bioclimatiques et leurs impacts sur l'architecture, nous pouvons nous en inspirer afin de comprendre la prégnance des systèmes de rafraîchissement passifs et évaluer la posture des architectes par rapport à l'intégration de ces systèmes dans l'architecture.

Pour mieux expliquer cette méthode nous allons utiliser à nouveau les exemples du CII Institute of Quality et de l'iGuzzini Headquarter.

### 1.4.2.1 Exemples d'analyse de la prégnance des systèmes de rafraîchissement passifs.

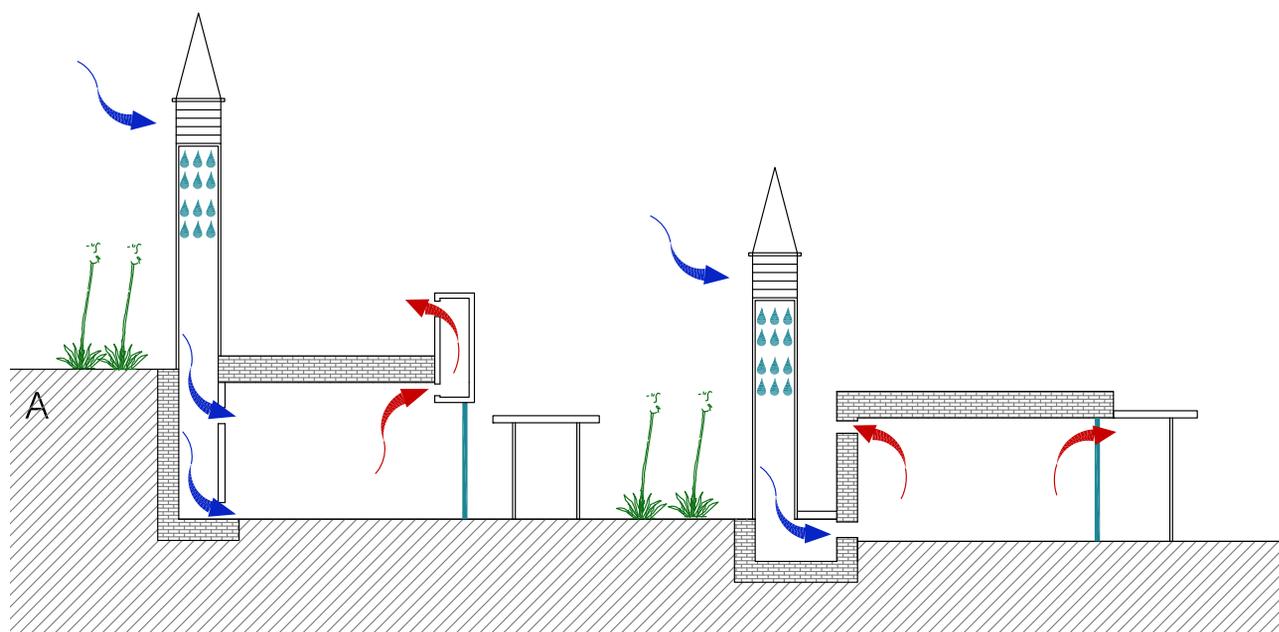
#### 1.1.1.0.13 L'analyse du CII Institute of Quality.

Le CII Institute of Quality est rafraîchi par évaporation directe et ventilation nocturne. Ci-dessous voici des images, ainsi qu'un schéma en coupe du bâtiment.

---

position peuvent rester inchangés.

Level 5 : Visible, avec changement d'orientation et ou localisation. Le système est exposé à la vue des occupants de l'immeuble, mais sa position a été modifiée par rapport à ce qui est optimal. La forme ou la surface, cependant, peuvent rester inchangées.» Traduction propre.



16. Schéma en coupe du CII Institute of Quality

La coupe du CII Institute of Quality est facilement interprétable : le bâtiment est composé de deux corps, le rafraîchissement par évaporation est garanti par des tours évaporatives. La tour du N°1 est positionnée sur la toiture du bâtiment et exploite l'espace contre la terre, pour une meilleure diffusion de l'air frais.

La tour N°2 est positionnée à une certaine distance du bâtiment au milieu du *patio*. Il est évident que la tour N°2 est à cet emplacement, non seulement pour des motifs techniques, mais aussi pour des nécessités esthétiques. Si la tour avait été positionnée sur la toiture, elle aurait pu être légèrement plus efficace. La différence de hauteur majeure aurait permis aux gouttelettes d'eau de mieux s'évaporer. De plus, l'entrée de l'air frais en partie basse de la pièce n'est pas optimale pour optimiser le rafraîchissement.

Par rapport à l'échelle de valeurs que nous avons présentée précédemment, les choix de l'architecte reconduisent, évidemment, au niveau 5.

Notre analyse est confirmée par les photos de l'immeuble. Il est clair que la position des tours dans le patio est déterminée par une volonté d'aménager le paysage et de signaler le système de rafraîchissement utilisé.

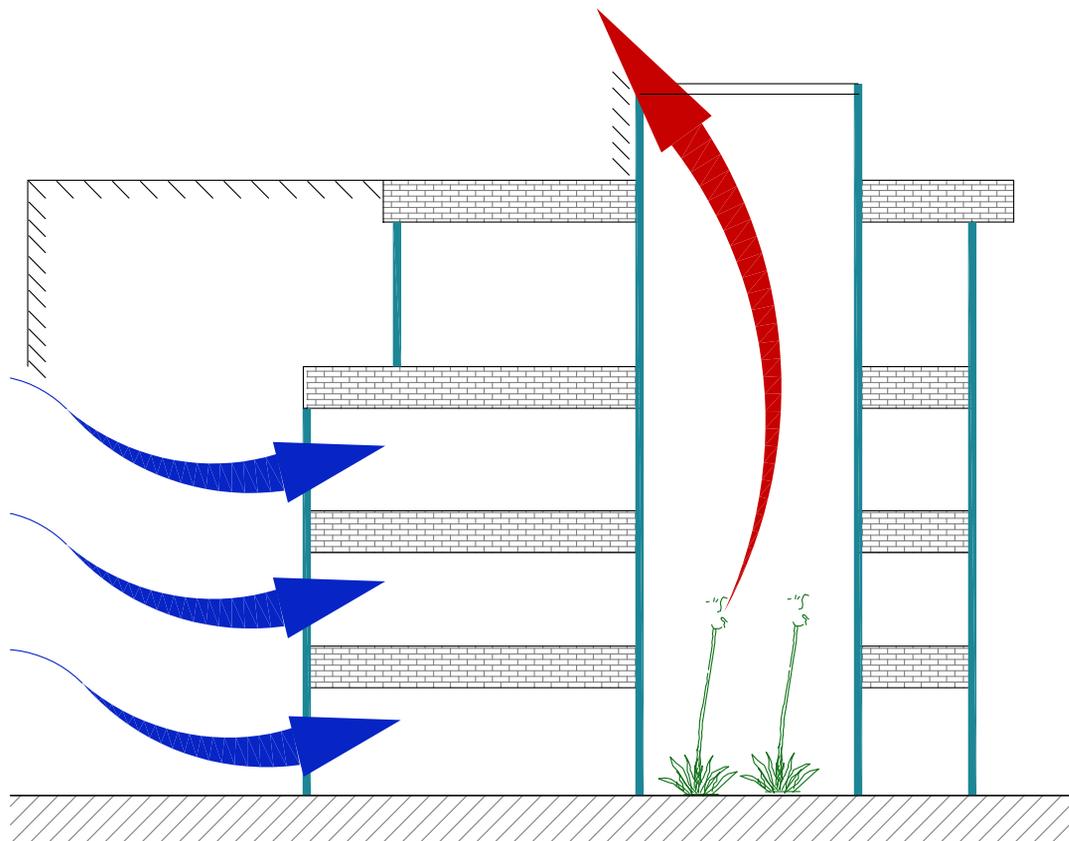
Il est intéressant de remarquer aussi le type de *toiture* des tours. Le dessin de ce dispositif dépasse largement les nécessités fonctionnelles de *couvrir*, mais a une fonction esthétique et symbolique. Pour mieux le comprendre, nous allons faire le même type d'analyse sur un autre bâtiment, les bureaux de direction de la société iGuzzini à Recanati.



1. Images du CII Institute of Quality (Aga Khan Trust for Culture )

1.1.1.0.14 L'analyse des bureaux de direction de la société iGuzzini.

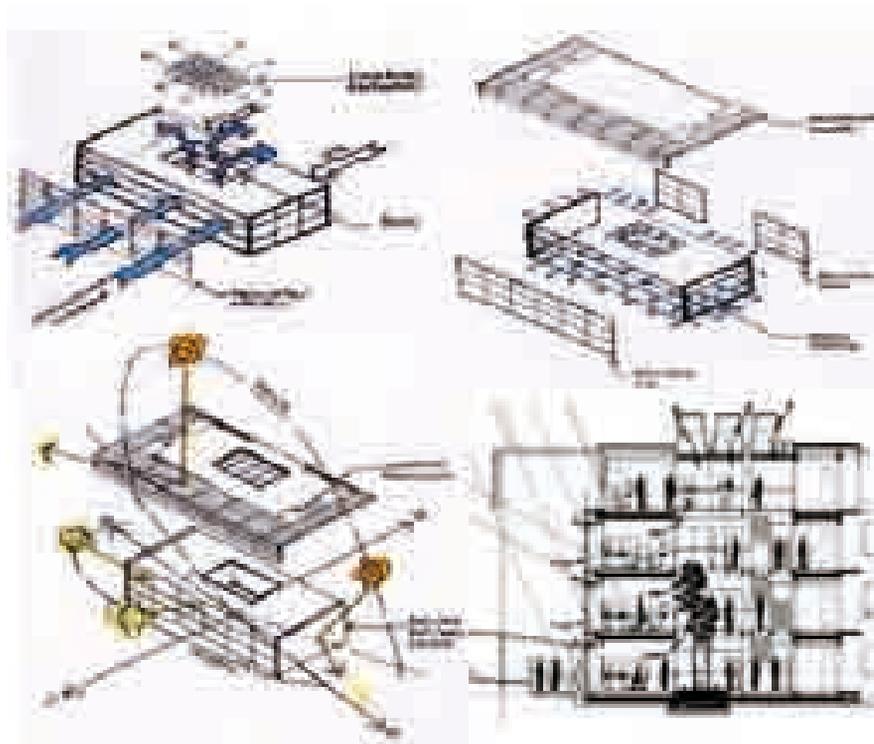
Ci-dessous des images, ainsi qu'un schéma en coupe du bâtiment iGuzzini.



17. Schéma en coupe du bâtiment iGuzzini



18. Images du bâtiment iGuzzini (EULEB , 2006)



19. Images du bâtiment iGuzzini (EULEB , 2006); (kiriocomunicazione, 2010)

Ce qui ressort de la coupe et des photos du bâtiment iGuzzini c'est la volonté de l'architecte Cucinella d'intégrer les systèmes de rafraîchissement dans l'architecture.

Le niveau de prégnance des systèmes de rafraîchissement sera de 1. Le système de rafraîchissement se base sur la ventilation directe et la ventilation nocturne. L'air entre par la façade principale et il est extrait à travers le patio central. Les systèmes de rafraîchissement choisis par l'architecte sont parfaitement intégrés dans l'architecture et en observant le bâtiment on ne pense pas que c'est un bâtiment *écologique*. De plus, le patio devient un jardin intérieur, les ouvertures en façade sont parfaitement intégrées, dans un effort de *dissimulation* des systèmes de rafraîchissement.

Comme on a pu le constater, le bâtiment a une expression architecturale contemporaine. Les stratégies de rafraîchissement ne sont pas immédiatement

reconnaissables et explicites dans la composition architecturale. L'objectif de l'architecte est de créer une belle architecture, naturellement en intégrant dès la première phase de la conception les notions de la conception bioclimatique afin de créer un bâtiment peu énergivore. Celui-ci se présente comme une architecture contemporaine ayant comme objectif principal la représentation des caractéristiques de l'entreprise qu'elle accueille.

A travers ces deux exemples, nous avons analysé la posture des architectes par rapport au degré de prégnance des systèmes de rafraîchissement passifs. Nous avons vu des approches différentes permettant d'aborder le projet et des écoles de pensée opposées. Cependant, cette classification ne nous permet pas de nous interroger sur l'influence que peuvent avoir les systèmes de rafraîchissement passifs sur l'architecture. Un architecte qui choisit de rafraîchir un bâtiment de manière passive, serait-il obligé de réaliser un bâtiment d'une certaine typologie par rapport à la typo/topologie du système de rafraîchissement ? Autrement dit, y aurait-il une typologie de bâtiments rafraîchis passivement ?

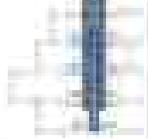
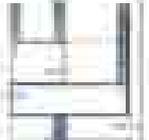
### 1.4.3 La typologie des bâtiments rafraîchis passivement

Dans le travail de recherche de Y. MANSOURI, *Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés Proposition d'une méthodologie de conception* (MANSOURI, et al., 2003), on trouve des analyses qui lient la typo/topologie des systèmes de ventilation à la typologie des bâtiments rafraîchis. Ci-dessous on peut voir la « Grille d'analyse morphologique des systèmes de ventilation ».

Y. MANSOURI procède à une analyse similaire à la nôtre, qui étudie des bâtiments existants pour évaluer le fonctionnement des systèmes de ventilation naturelle, l'objectif et la méthode d'analyse diffèrent légèrement, mais certains aspects sont en commun dans notre démarche. De plus, nous utiliserons la méthode mise en place pour « évaluer les répercussions de l'adoption d'une stratégie de » rafraîchissement naturel « sur l'architecture » (MANSOURI, et al., 2003 p. 47).

Cette recherche se concentre sur les systèmes de ventilation naturelle alors que nous voudrions considérer tous les systèmes de rafraîchissement passifs. La méthodologie et la grille d'analyse réalisées restent pour tous les systèmes qui utilisent l'air comme vecteur de propagation des frigos.

Nous avons utilisé cette grille d'analyse qui a été adaptée et élargie aux systèmes de rafraîchissement passifs qui n'utilisent pas uniquement l'air comme vecteur de propagation des frigos. En particulier, nous nous référons aux systèmes qui ont un liquide comme vecteur de transport des frigos. Dans ces cas, les contraintes architecturales et dimensionnelles sont réduites et l'architecte peut concevoir plus librement la typologie du bâtiment. Le type de contact pourra être surfacique ou ponctuel et la typologie distributive sera libre. Pour optimiser le déplacement des frigos, dans ce type de bâtiment, il est nécessaire d'utiliser des pompes. Les systèmes de rafraîchissement ne seront pas complètement passifs, mais nous les considérons de toute manière comme des bâtiments rafraîchis passivement.

| Analyse topologique |  |  |  |                  |
|---------------------|--|--|--|------------------|
| Analyse typologique | Les structures de figures à bases identiques                                       | Les structures de figures à base similaires  | Les structures de figures à bases différentes                                      |                  |
| Espace transition   |   |   |  | Contact métrique |
| Ornements           |   |  |  |                  |
| Conduits            |   |   |  | Contact ponctuel |
| Cheminées           |  |  |  |                  |
|                     | Structures linéaires   | Structures d'équipement  | Structures de circulation  |                  |

1. Grille d'analyse morphologique des systèmes de ventilation (MANSOURI, et al., 2003 p. 92)

A ce sujet, nous décidés d'analyser aussi des bâtiments hybrides, où le rafraîchissement passif reste le système principal adopté pour améliorer le confort d'été des usagers, mais, quand le rafraîchissement passif ne permet pas de garantir le confort, le rafraîchissement mécanique est utilisé en appoint.

Pour compléter la grille d'analyse, nous avons aussi rajouté des bâtiments utilisant des conduits de rafraîchissement enterrés, qui ont les mêmes contraintes que les bâtiments utilisant des cheminées. Les caractéristiques principales seront un contact ponctuel et des structures de figures à bases différentes.

Il est nécessaire de comprendre la typologie des bâtiments rafraîchis passivement, par rapport au type de système de rafraîchissement utilisé par l'architecte. Ces informations apparaîtront sur les fiches des bâtiments de la première page.

Nous voudrions que les fiches des bâtiments soient un instrument de communication et de compression des analyses précédentes. Le lecteur des fiches devrait être mis en condition de comprendre comment fonctionne le bâtiment, la posture de l'architecte et la prégnance des systèmes de rafraîchissement sur l'architecture.

Comprendre que certains systèmes de rafraîchissement imposent des choix architecturaux, typologiques et morphologiques, fait partie de cette démarche. Nous utiliserons la grille analytique modifiée pour renvoyer au lecteur une image/logo facilement lisible qui donne immédiatement une idée des rapports entre typologie, morphologie du bâtiment et système de rafraîchissement passif

utilisé. Sur les fiches, apparaîtra un logo typo/topologique, venant de la grille d'analyse. Cette dernière analyse nous permet de faire ressortir les contraintes architecturales importantes liées aux systèmes de ventilation naturelle.

La manière dont les fiches seront composées est fondamentale pour permettre au lecteur de comprendre les différents bâtiments et pour communiquer les résultats de notre recherche.

| Analyse topologique        |  |   |   |  |
|----------------------------|--|---|---|--|
| Analyse typologique        | Les structures de figures à bases identiques | Les structures de figures à base similaires | Les structures de figures à bases différentes |  |
| Espace de transition       |  |   |   | Contact<br>substitutif                     |
| Quadrants                  |  |   |   |  |
| Conduits                   |  |   |   | Contact<br>productif                       |
| Chemins                    |  |   |   |  |
| Vecteur de figures liquide |  |   |   | Contact<br>productif<br>Contact<br>surface |
|                            | Structures<br>lignes                         | Structures d'alignement                     | Structures de<br>chevauchement                |  |

1. Grille d'analyse morphologique des systèmes de rafraîchissement

### 1.4.4 Contenu des fiches

La mise en forme des fiches est une conséquence logique, dès l'analyse réalisée sur les différents bâtiments et leurs dispositifs architecturaux.

Les fiches seront ainsi composées : une première page de synthèse où le lecteur trouve une présentation synthétique du bâtiment, le contenu de la fiche, la localisation géographique du bâtiment, la localisation climatique, le groupe analytique, et un logo synthétique qui permette de comprendre le fonctionnement du bâtiment. Le logo est un schéma en coupe, synthétique, du bâtiment. En première page apparaîtront, suivant la méthodologie expliquée précédemment, la note sur la prégnance des systèmes de rafraîchissement par rapport à la posture de l'architecte sur leur intégration et le schéma morpho/typologique du bâtiment en rapport au système de rafraîchissement choisi.

Nous avons décrit dans les pages précédentes la fiche du CII Institute of Quality, maintenant nous allons analyser point par point la manière dont elle est composée.

### 1.4.4.1 Le contenu de la fiche 1<sup>e</sup> page

Le contenu de la fiche est la table des matières traitées dans la fiche.

### 1.4.4.2 Synthèse 1<sup>e</sup> page

La synthèse est une courte description du bâtiment, de l'implantation, du système de rafraîchissement, ... Il est nécessaire de donner au lecteur dès la première page une idée générale du bâtiment analysé, des informations plus étendues seront données à l'intérieur de la fiche même. La première



page sera la *porte* à travers laquelle le lecteur est introduit pour l'analyse du bâtiment. Un plan géographique sera toujours présent, nous permettant de localiser le lieu où le bâtiment se trouve. Ce plan nous donnera la localisation à l'échelle géographique. En partie haute du plan, les coordonnées géographiques seront présentes, nous permettant facilement de repérer le bâtiment même avec de simples sites de cartographie, comme Google Heart ou Bing.

20. Photo Google maps coordonnées bâtiment CII Institute of Quality.

Si possible, d'autres informations seront présentes sur le plan, par exemple le plan de la fiche du CII Institute of Quality nous donne des renseignements sur le climat de la région.

### 1.4.4.3 Données climatiques de la zone 1<sup>e</sup> page

Les données climatiques nous donnent une vision du climat de la zone. Le type de macro climat et, si nécessaire et possible, des indications sur le microclimat. Apparaîtront aussi les DJU (Degré jour unifié) été et hiver (ADEME, 1999 p. 16). Les degrés jour seront calculés grâce l'outil Weather Tool présent sur le logiciel Ecotect de Autodesk. Pour le calcul des degrés jour, les données climatiques publiées par l'US Department of Energy (U.S. Department of Energy, 2011) ont été utilisées.

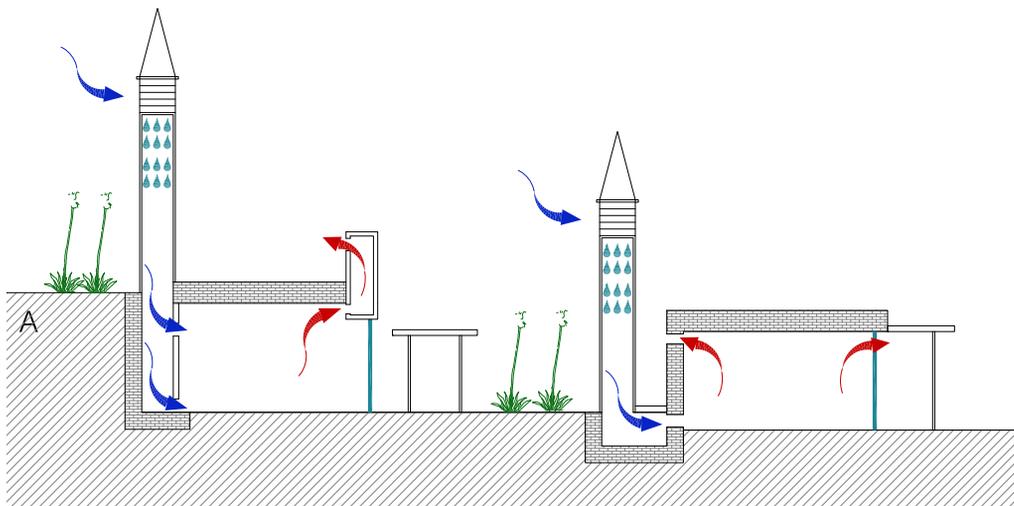
### 1.4.4.4 Groupe Analytique 1<sup>e</sup> page

Le groupe analytique est une liste télégraphique d'informations qui donne

rapidement un aperçu du bâtiment, ses dimensions, son usage,... Seront décrits : la morphologie ; la typologie ; l'usage ; la datation ; la prégnance des systèmes de rafraîchissement ; la surface et le volume ; le langage architectural ; les dimensions principales du bâtiment ; la stratégie de rafraîchissement passif. Le groupe analytique nous donne les informations principales du bâtiment, ce qui nous permet d'avoir une idée de l'échelle et de la typologie du bâtiment.

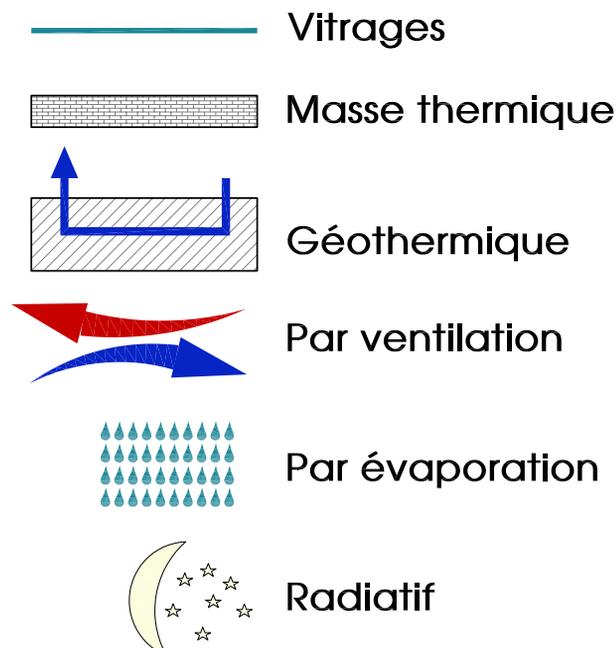
### 1.4.4.5 Logo Synthétique 1<sup>e</sup> page

Le logo est un schéma en coupe, synthétique, du bâtiment. Le logo du CII Institute of Quality nous explique le type de système de rafraîchissement, le fonctionnement du système de rafraîchissement avec les tours évaporatives, le type de toiture, la position de la masse thermique et le type de façade.



21. Exemple de logo synthétique du CII Institute of Quality

Le logo synthétique est un instrument de communication sur le fonctionnement du bâtiment. Sa lecture est simple et la légende, ci-dessous, nous permet de découvrir le fonctionnement du bâtiment.



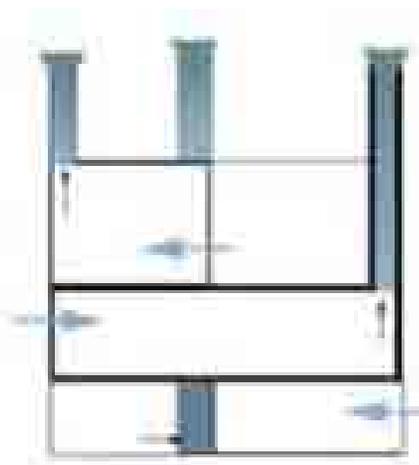
22. Légende du logo synthétique du CII Institute of Quality

### 1.4.4.6 Formes du type 1<sup>e</sup> page

Les formes du type seront le lieu de présentation des photos du bâtiment, ainsi que du logo Typo/Topologique.

Les photos nous donneront un petit aperçu du bâtiment et de ses formes.

Le Logo Typo/Topologique représente le résultat de l'analyse précédemment expliquée.



#### 23. Logo typo/topologique du CII Institute of Quality

Le logo typo/topologique, nous montre le rapport entre le système de rafraîchissement passif et la typologie du bâtiment. Cette information est fondamentale pour comprendre l'impact des systèmes de rafraîchissement sur l'architecture et sur la conception du projet.

La première page des fiches permettra au lecteur de comprendre le bâtiment dès le premier regard.

### 1.4.4.7 Analyse systémique de la 2<sup>e</sup> à la 7<sup>e</sup> page

À partir de la deuxième page, les résultats de l'analyse systémique seront reportés. Plus précisément, en deuxième page apparaîtra le diagramme psychrométrique, représentant les températures moyennes et extrêmes des mois de l'année et l'analyse des potentiels de rafraîchissement des systèmes passifs. Les données climatiques téléchargées à partir du site du département de l'énergie des États-Unis (U.S. Department of Energy, 2011). L'analyse est faite à travers le logiciel ECOTEC de Autodesk et à la fonction Weather Tool. Le lecteur pourra avoir un aperçu plus clair du climat du site, avec les températures, l'humidité et les potentiels de rafraîchissement.

En troisième page, apparaîtra le graphe radar (voir chapitre 3.4.2 pour plus de détails), ressortissant de l'analyse systémique du bâtiment.

De la page 4 à la page 7, apparaît l'analyse du bâtiment avec la même division par niveaux de définition qui se trouve dans la base des données critique. Le lecteur pourra lire de manière synthétique, les résultats de l'analyse des bâtiments.

Les fiches permettent de faire apparaître des images et des dessins qu'illustrent les analyses faites auparavant.

### 1.4.4.8 **État actuel et condition d'utilisation 8<sup>e</sup> page**

En page 8 l'état actuel du bâtiment sera analysé et, si possible, les '*post occupancy evaluations*' (retours d'expériences des usagers).

Ce paragraphe nous permettra de reporter les avis des usagers, les informations sur l'efficacité des systèmes de rafraîchissement et sur l'acceptation des usagers de ces systèmes.

C'est la partie où le lecteur pourra se faire une idée de l'avis des usagers de l'immeuble analysé.

### 1.4.4.9 **Analyse architecturale 8<sup>e</sup> page**

Toujours à la page 8 l'analyse architecturale apparaîtra. Ce paragraphe nous permettra d'analyser la posture de l'architecte par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement. Nous pourrons voir les solutions adoptées par les différents architectes et les idées qui sont à la base de la conception du bâtiment.

Notre objectif est de permettre au lecteur de comprendre les contraintes architecturales et les solutions possibles pour utiliser des systèmes de rafraîchissement passifs.

### 1.4.4.10 **Aspects positifs, négatifs et leçons à retenir 9<sup>e</sup> page**

La dernière page sera dédiée aux conclusions du travail d'analyse. Nous avons mis en avant les aspects et les solutions positives des projets analysés. Les aspects négatifs du projet sont aussi exposés. Notre objectif est de mettre le lecteur en condition de comprendre le comportement des systèmes de rafraîchissement, les détails auxquels il faut prêter une attention particulière et les fautes à éviter.

Nous voudrions que cette analyse puisse être une base pour permettre au concepteur, qui voudrait démarrer le projet d'un bâtiment rafraîchi passivement, d'éviter les incohérences et d'avoir un éventail de solutions possibles pour son projet.

### 1.4.4.11 **Bibliographie et sources des images de la 10<sup>e</sup> à la 11<sup>e</sup> page**

Les deux dernières pages de chaque fiche seront consacrées à la bibliographie et aux sources des images.

## **1.5 Synthèse**

Nous avons tenté dans cette recherche de mettre en place une méthode permettant d'analyser et d'évaluer plusieurs bâtiments rafraîchis passivement, ou de manière hybride.

Notre approche découle du questionnement sur l'épistémologie du mot « architecture », l'architecture comme synthèse de plusieurs sciences qui donne lieu à des systèmes complexes. Nous avons interprété le bâtiment comme un système complexe, composé de dispositifs.

Pour modéliser et analyser les bâtiments, nous nous sommes appuyés sur des recherches existantes et nous avons adopté employé des méthodes déjà utilisées, mais qui dans le notre cas ont été adaptées pour résoudre notre problématique. D'ailleurs, cette méthode fait partie des percepts énoncés par J.L. LEMOIGNE.

Nous savons avoir utilisé des instruments typiques aux sciences sociales, pour analyser des systèmes d'ingénierie, comme les systèmes de rafraîchissement passifs, mais nous pensons que l'architecture est un mélange de plusieurs sciences et que l'architecte doit être capable de se confronter et de 'discuter' avec ces sciences. Nous avons tenté d'évaluer le comportement des dispositifs dans leur environnement, le bâtiment, nous n'étions pas intéressés par les prestations du dispositif lui-même, mais plutôt par son interaction avec les autres dispositifs.

D'ailleurs, c'est la définition d'architecte et d'architecture de Vitruve, sur laquelle nous nous sommes appuyés et elle est restée valable pendant plusieurs siècles. De plus, les écrits d'E. M. W. MAIER et E. RECHTIN ont conforté notre approche et nous ont confirmé qu'architecturer un système complexe est presque impossible à réaliser avec une approche simplement technique, néanmoins elle serait tellement compliquée, que ce ne serait pas justifiable vis-à-vis des coûts qu'elle engendrerait.

La méthode mise en place nous a permis d'évaluer les différents dispositifs architecturaux, de les modéliser et de confronter des bâtiments différents, construits à des différents endroits dans le monde.

Nous nous sommes consacrés à l'analyse de la posture des architectes par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement passifs et les difficultés architecturales causées par ces systèmes, ce qui nous a permis de faire ressortir des liaisons fortes entre la forme architecturale et les dispositifs de rafraîchissement.

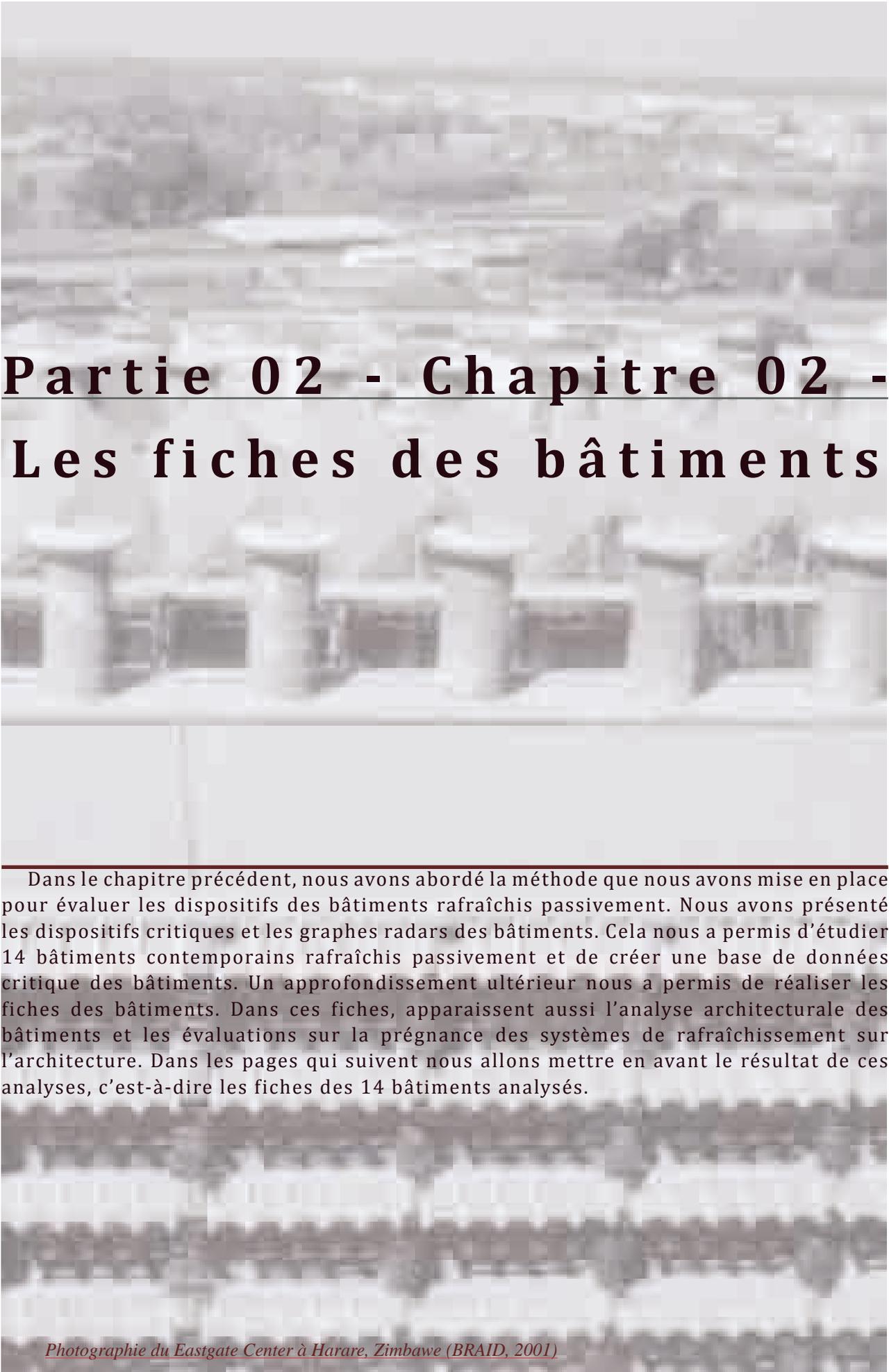
Grâce à la méthodologie mise en place, nous avons analysé plusieurs bâtiments, une partie des résultats a été communiquée à travers les fiches des bâtiments. Ces investigations nous ont permis de comprendre le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement et les faiblesses de ces systèmes dans les bâtiments construits. Nous développerons dans les prochains chapitres les analyses des résultats de notre étude, ce qui nous permettra de faire ressortir les motifs d'échec et les idées innovantes employées par les concepteurs. De plus, dans les pages suivantes nous pourrons exploiter au mieux la méthode de comparaison des bâtiments.

La comparaison des différents bâtiments nous permettra de créer des règles 'expertes', qui seront un instrument utile pour les concepteurs.

Nous avons remarqué que souvent les systèmes bâtiment n'arrivaient pas à garantir le confort thermique des usagers, à cause de problèmes plus ou

moins graves, souvent liés à l'usage, à la conception bioclimatique, à de problèmes de construction, ... qui en général auraient pu être évités.





## **Partie 02 - Chapitre 02 - Les fiches des bâtiments**

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé la méthode que nous avons mise en place pour évaluer les dispositifs des bâtiments rafraîchis passivement. Nous avons présenté les dispositifs critiques et les graphes radars des bâtiments. Cela nous a permis d'étudier 14 bâtiments contemporains rafraîchis passivement et de créer une base de données critique des bâtiments. Un approfondissement ultérieur nous a permis de réaliser les fiches des bâtiments. Dans ces fiches, apparaissent aussi l'analyse architecturale des bâtiments et les évaluations sur la prégnance des systèmes de rafraîchissement sur l'architecture. Dans les pages qui suivent nous allons mettre en avant le résultat de ces analyses, c'est-à-dire les fiches des 14 bâtiments analysés.

*Photographie du Eastgate Center à Harare, Zimbabwe (BRAID, 2001)*



## 2. Les fiches des bâtiments

La méthodologie mise en place nous a permis d'analyser plusieurs bâtiments rafraîchis passivement dans le monde. Les résultats de ces analyses sont annexés à cette thèse (annexés 1, La base de données critique).

Dans ce chapitre nous chercherons à donner un regard d'ensemble au corpus d'études des bâtiments analysés. Et dans les pages qui suivent nous trouverons les fiches des 14 bâtiments analysés, la planche synthétique et les premières considérations qui ressortent de la lecture de ces documents.

Les résultats de notre recherche, à premier vue, nous donnent un cadre plutôt pessimiste sur l'intérêt d'utiliser des systèmes de rafraîchissement passif dans des bâtiments du tertiaire.

Le problème est que quand nous rafraîchissons passivement un bâtiment, nous utilisons presque 100% des ressources des puits thermiques dont nous disposons, la marge d'erreur est, donc, très réduite.

En Méditerranée, par exemple, il n'est pas très difficile de rafraîchir passivement un bâtiment, mais il faut que l'architecte et l'utilisateur soient capables de bien concevoir et utiliser le bâtiment. Au contraire, les systèmes de rafraîchissement mécaniques ont une 'marge' supérieure. C'est-à-dire que si la pompe à chaleur est bien dimensionnée nous pouvons rafraîchir presque n'importe quel bâtiment partout dans le monde.

De plus, nous savons qu'un bâtiment rafraîchi passivement peut entraîner une augmentation du coût de la construction, par rapport à des bâtiments rafraîchis mécaniquement. Cette prise de risque de la part du maître d'ouvrage n'est pas facile. Si en plus il s'ajoute le risque que le bâtiment par la suite ne garantisse pas le confort des usagers, il devient de plus en plus difficile de convaincre les maîtres d'ouvrage de l'opportunité de rafraîchir les bâtiments passivement.

En outre, très souvent le maître d'ouvrage n'est pas l'utilisateur final, spécialement pour ce qui regarde les bâtiments du tertiaire, ce qui rend encore plus complexe la réalisation des bâtiments rafraîchis passivement. Pourtant, le scénario n'est pas si mauvais, nous avons aussi rencontré, tout le long de notre étude, des bâtiments rafraîchis passivement qui garantissent le confort des usagers, avec pleine satisfaction du maître d'ouvrage, et des consommations d'énergie très faibles.

Notre travail se propose d'aboutir à la réalisation de règles expertes, aptes à aider l'architecte qui voudrait concevoir un bâtiment rafraîchi passivement. Pour cela, l'étude des bâtiments construits nous permet de mettre en évidence les erreurs les plus communes commises par les architectes et les usagers, erreurs qui ne doivent pas être reproduites, si possible, pour réduire au minimum le risque d'insuccès. Nous allons d'ailleurs mettre en évidence tous les aspects positifs et innovants des bâtiments étudiés.

Un aspect sur lequel nous avons voulu focaliser notre attention est l'usage. Une des devises du rapport de la conférence de PLEA 2009 était : «Les bâtiments

ne consomment pas d'énergie, seuls les habitants en sont responsables par l'intermédiaire de l'architecture» (PLEA2009, 2009), ou encore l'article de Kathryn B. Janda : « buildings don't use energy : people do » (Janda, 2001), nous sommes plutôt en accord avec ces écrits.

D'ailleurs, une anecdote est assez marquante à ce sujet : le Laboratoire ABC de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Marseille pendant les années 1980/1983 a participé à la réalisation de 4 maisons solaires pour le port autonome de Marseille.

La chose la plus frappante relevée par les chercheurs pendant la campagne de mesures menée en 1983 a été une grande différence de températures et amplitudes relevées entre deux maisons identiques et voisines. Les chercheurs ont découvert que les usagers ne payaient pas l'électricité, ce qui a engendré un comportement différent entre les deux foyers familiaux.

Suite à cette découverte, une des conclusions des chercheurs a été : « *La campagne de mesures ne doit pas être conduite en présence des habitants ; le faible nombre de cas mesurés ne permet pas d'établir une référence de comportement stable et conforme aux hypothèses prises en compte lors de la conception.* », rapport final de synthèse de l'expérimentation<sup>1</sup> rédigé par le GERES<sup>2</sup> (GUINEBARULT, 1985) cité par J-L IZARD (IZARD J. , 2012).

Nous contestons ce point de vue. Nous pensons que l'utilisateur fait pleinement partie des dispositifs influençant le système bâtiment. C'est à l'architecte de rendre logique, simple et confortable le bon usage des différents dispositifs. C'est toujours à l'architecte d'instruire et d'influencer l'utilisateur, qui n'a pas forcément à connaître les techniques passives mises en place, pour qu'il puisse faire un bon usage des différents dispositifs.

Citant un des premiers articles que nous ayons écrit : « *...on peut dire que l'architecture contemporaine, et par conséquent les systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture contemporaine, doivent respecter la devise vitruvienne firmitas (solidité), utilitas (utilité), venustas (harmonie) à laquelle on peut rajouter 'commoditas' (commodité). La 'commoditas' dans l'utilisation et dans l'entretien d'une architecture est fondamentale pour qu'elle soit considérée comme réussie. Si l'approche bioclimatique veut se diffuser, elle doit se confronter aux besoins et aux désirs d'une clientèle réelle.*

*Cela oblige en certains cas à faire des concessions et impose d'adapter les stratégies choisies à des programmes et budgets déterminés.*» (Cadoni, 2009). La capacité de l'architecte à adapter le bâtiment à l'usage est aussi fondamentale que la capacité à bien concevoir le bâtiment de manière bioclimatique.

Dans les pages qui suivent nous présenterons les fiches des 14 bâtiments analysés.

---

1 « Maisons des Eclusiers à Port saint Louis du Rhône ; expérimentation Rapport de synthèse », Alain Guinebault, 9 décembre 1985.

2 Groupe Energies Renouvelables





# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

L'objectif de la première page des fiches est de permettre au lecteur d'avoir une connaissance synthétique et complète du bâtiment analysé

## Contenu de la fiche

- Synthèse
- Données climatiques de la zone
- Groupe analytique
- Logo synthétique
- Formes du type
- État actuel et usage
- Analyse architecturale
- Performances du bâtiment
- Avis critique
- Bibliographe

## Synthèse

Le projet a été réalisé par l'architecte XXXXXX.  
 Dans cette case apparaîtra une description synthétique du bâtiment et de son environnement. Le système bâtiment est inséré dans son écosystème. Bien sûr, le type de système de rafraîchissement sera expliqué.

Latitude, Longitude  
 Dans cet espace il y aura une carte, qui permettra de localiser géographiquement le bâtiment

## Données climatiques de la zone

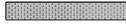
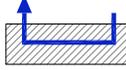
Le climat du site sera décrit. Pour mieux comprendre la rigueur ou la douceur du climat nous ferons apparaître les degrés jour (DJU) d'Hiver et les DJU d'été. Les données climatiques seront analysées avec le logiciel Weather Tool de Ecotec.

## Groupe analytique

|  |   |   |   |  |
|--|---|---|---|--|
| Type de morphologie<br><small>(Morphologie)</small>                | Typologie<br><small>(Typologie)</small>                         | Usage du bâtiment<br><small>(Usage)</small>           | Année de réalisation<br><small>(Datation)</small>                                       | Niveau de prégnance<br><small>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement)</small> |
| Surface - Volume<br><small>(m<sup>2</sup> - m<sup>3</sup>)</small> | Langage architectural<br><small>(Langage architectural)</small> | Dimensions principales<br><small>(Dimensions)</small> | Stratégie de rafraîchissement adoptée<br><small>(Stratégie de rafraîchissement)</small> |  |

## Logo synthétique

Le logo est un schéma en coupe, synthétique, qui nous explique le type de système de rafraîchissement, le fonctionnement, le type de toiture, etc. Le logo est un instrument de communication sur le fonctionnement du bâtiment. La légende, ci-dessous, nous permet de déchiffrer le logo.

-  Vitrages
-  Masse thermique
-  Géothermique
-  Par ventilation
-  Par évaporation
-  Radiatif

Dans cet espace apparaîtront des photos représentatives du bâtiment.

## Formes du type

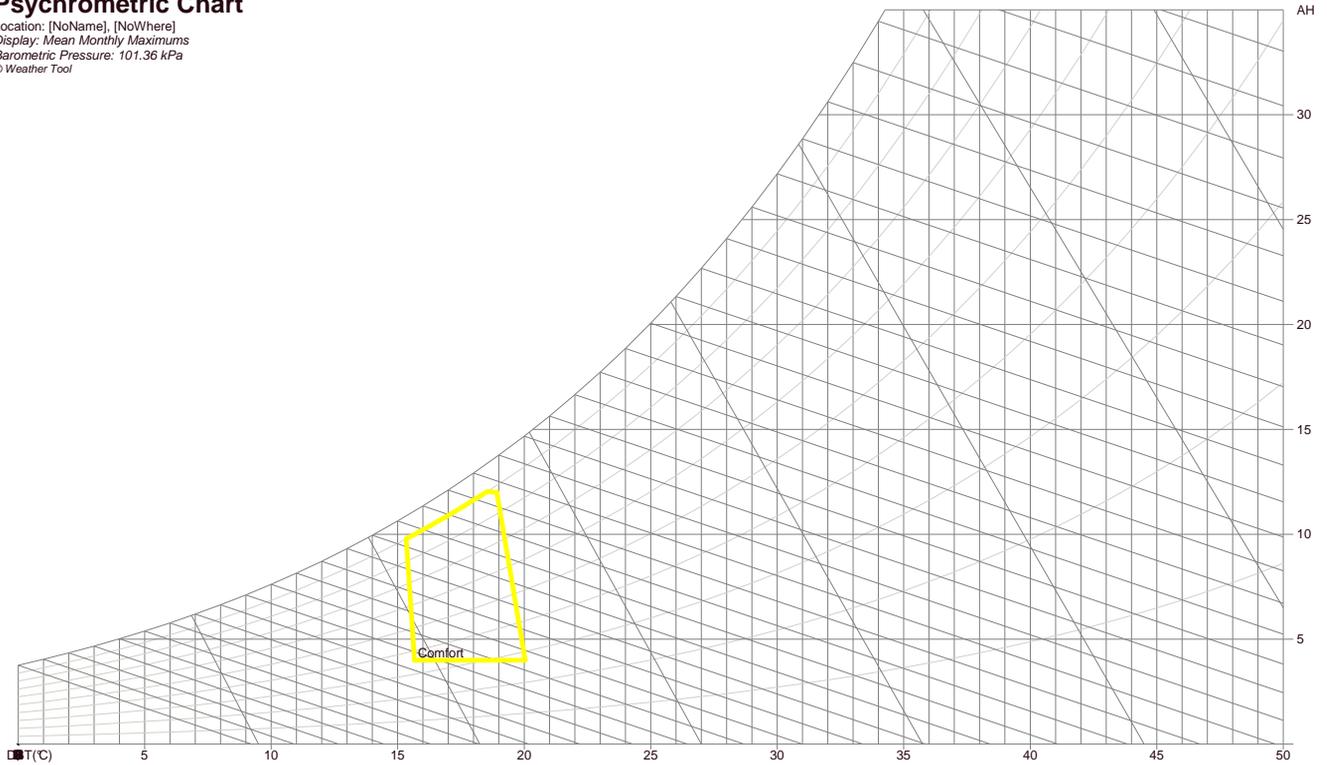
Logo typo/topologique  
 Le logo typo/topologique, nous montre le rapport entre le système de rafraîchissement passif et la typologie du bâtiment. Pour mieux comprendre la fonction du logo typo topologique nous préférons renvoyer au chapitre: La typologie des bâtiments rafraîchis passivement de la thèse.

Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

**Psychrometric Chart**

Location: [NoName], [NoWhere]  
 Display: Mean Monthly Maximums  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool



Le rapport entre système de rafraîchissement et climat du site nous permet d'évaluer la pertinence du système de rafraîchissement utilisé. Grâce au logiciel ECOTEC de Autodesk et à la fonction Weather Tool nous avons pu analyser le climat du site et réaliser un Diagramme psychrométrique des bâtiments analysés. Dans le diagramme apparaîtront les zones de confort thermique qu'on peut atteindre avec les différents systèmes de rafraîchissement. Nous avons utilisé les données climatiques fournies par 'US Department of Energy' (U.S. Department of Energy, 2011).

Ci-dessus nous pourrions trouver le diagramme, les températures moyennes min et max de chaque mois de l'année, humidité relative et potentiels de rafraîchissement des systèmes choisis par l'architecte.

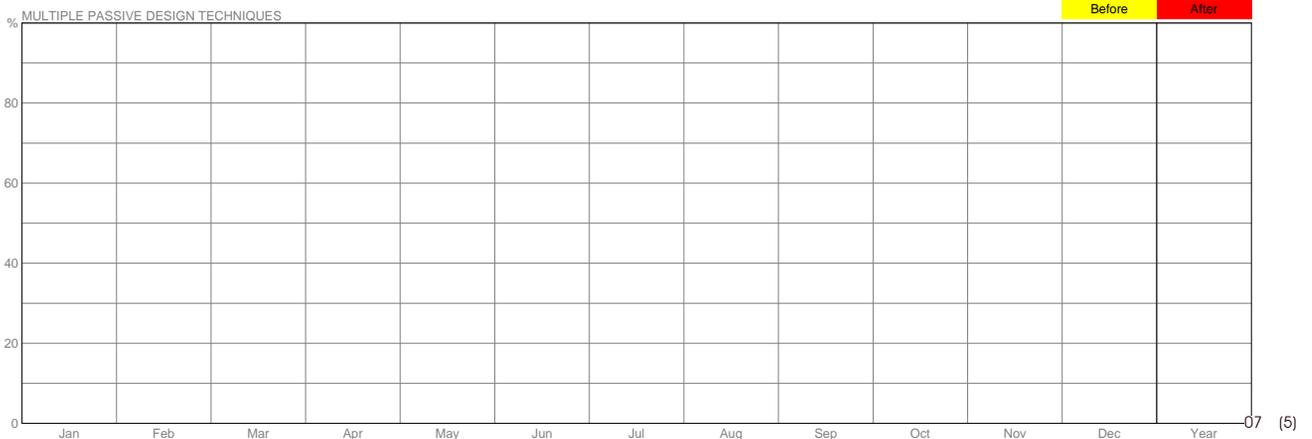
Ci-dessous nous pourrions voir l'analyse des performances des systèmes choisis par l'architecte. Nous verrons les pourcentages d'heures de confort prévues avant l'utilisation des systèmes de rafraîchissement passifs (jaune) et les pourcentages d'heures de confort prévues après l'utilisation des systèmes de rafraîchissement choisis par l'architecte (rouge). Nous voudrions faire remarquer qu'il a été décidé d'analyser la capacité du système bâtiment de garantir le confort pendant toutes les 24h. Nous sommes conscients que cela pourrait induire à des erreurs, mais la lecture attentive du graphe psychrométrique devrait permettre de bien déchiffrer le rapport entre le climat et le bâtiment.

**Comfort Percentages**

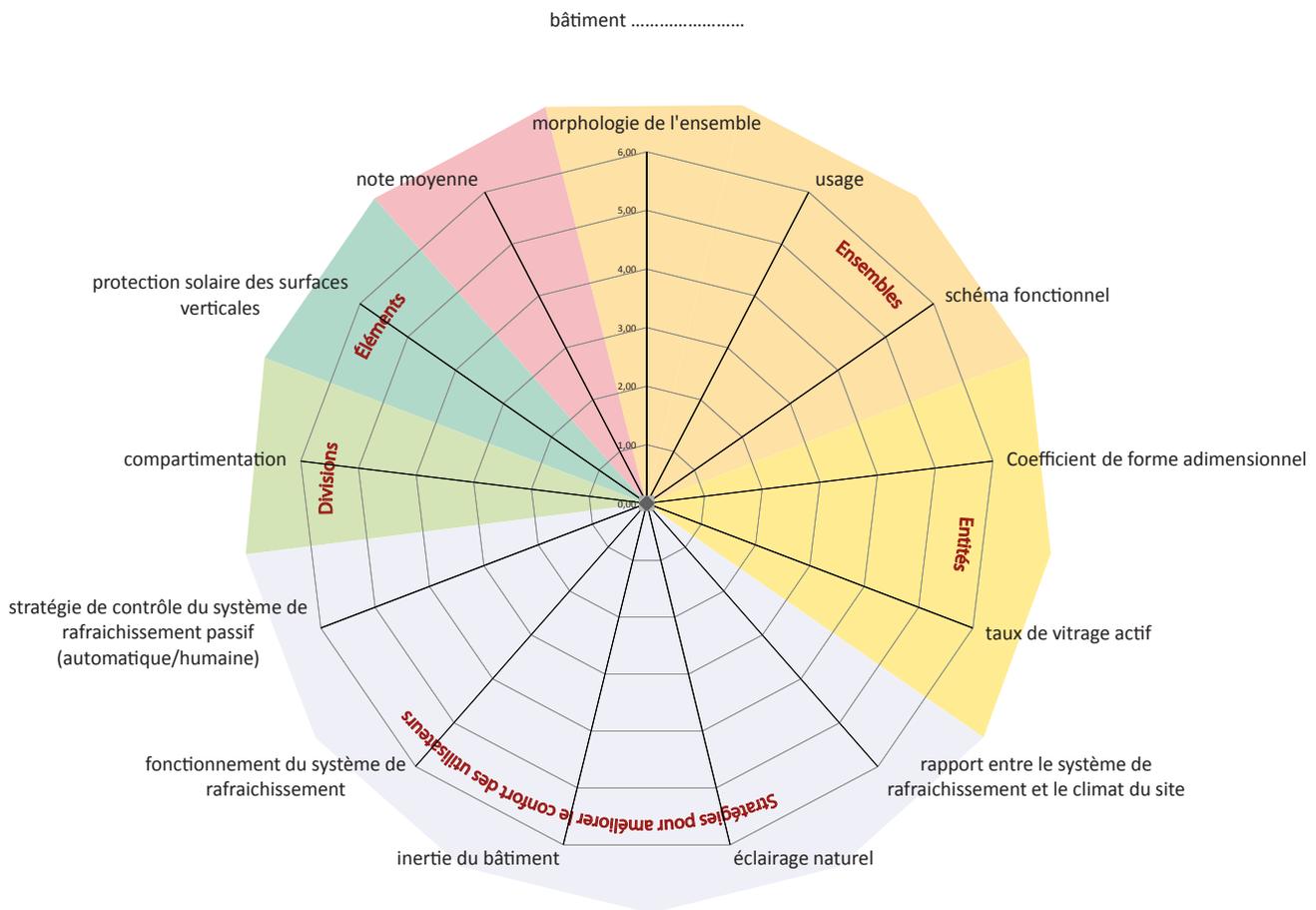
NAME: [NoName]  
 LOCATION: [NoWhere]  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 0.0°, 0.0°  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. exposed mass + night-purge ventilation
4. natural ventilation
5. direct evaporative cooling
6. indirect evaporative cooling



## Graphe synthétique des dispositifs critiques



Pour nous permettre d'avoir une vision d'ensemble du fonctionnement du bâtiment, nous avons choisi des dispositifs que nous pouvons définir comme critiques, extraits de la base de données que nous avons créée pour chaque bâtiment.

Les dispositifs critiques sont ceux qui, mal conçus ou réalisés, peuvent compromettre le fonctionnement bioclimatique du bâtiment. Les dispositifs critiques sont au nombre de 12 et permettent de comparer les bâtiments facilement et d'avoir un cadre général du fonctionnement du système bâtiment. À partir des 12 dispositifs critiques et de la note moyenne des soixante dispositifs étudiés précédemment, nous avons pu réaliser un graphique radar.

Nous pouvons affirmer qu'un dispositif critique avec une note de 1 peut être la cause de défaillance de tout le système bâtiment.

Les dispositifs critiques sont : morphologie de l'ensemble, usage, schéma fonctionnel, coefficient de forme adimensionnel, taux de vitrage actif, éclairage naturel, inertie du bâtiment, fonctionnement du système de rafraîchissement, stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif (automatique/humaine), compartimentation et protection solaire des surfaces verticales. Nous pouvons voir sur le graphe ci-dessus que les dispositifs sont divisés par niveau de définition, de l'échelle territoriale à l'échelle du détail technique. Pour mieux saisir le concept de niveau de définition et des dispositifs critiques, nous préférons renvoyer aux chapitres : Les niveaux de définition et Les Dispositifs critiques de la thèse.

Bien sûr il faut interpréter le graphe radar ainsi obtenu.

Les indicateurs critiques ont été choisis d'une part pour nous donner une idée du comportement du bâtiment et d'autre part pour signaler des faiblesses qui pourraient engendrer un mauvais fonctionnement de tout le système bâtiment. Vu ces considérations nous ne pouvons pas nous baser sur la simple surface retenue par notre graphe, mais nous devons d'abord analyser les extrêmes. Un indicateur critique qui a une note de 1 point peut tout seul engendrer un dysfonctionnement de tout le système bâtiment, même si les dix autres indicateurs ont des notes très élevées.

## Analyse systémique

### Implantation

L'objectif des courtes descriptions qui apparaîtront dans ces cases est de nous faire comprendre le comportement bioclimatique du système bâtiment.

La description de l'implantation du bâtiment nous permettra d'analyser sa position dans la ville et dans la parcelle et aussi ses interactions avec l'environnement territorial dans lequel se situe le bâtiment.

### Usage

L'usage définit le type d'utilisation qui est faite du bâtiment. L'usage est un des paramètres fondamentaux, il donne un premier aperçu des prestations qui seront demandées, de l'attitude des usagers, de la participation au fonctionnement du système bâtiment. Une école, une habitation ou un bureau administratif auront des besoins différents et cela se transfère dans les choix des architectes pour répondre aux demandes des usagers.

### Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel définit l'organigramme du bâtiment. Il peut être en harmonie avec les systèmes de rafraîchissement ou être en contraste. Cela dépend des choix des architectes et des maîtres d'ouvrage. Souvent les ouvertures, cloisons, portes, couloirs et systèmes de déplacement verticaux sont pensés dans l'ensemble du bâtiment, mais parfois la volonté de modifier ou de rajouter des clôtures met en péril le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement

### Morphologie du bâtiment

La morphologie du bâtiment définit la forme du bâtiment. Ce dispositif nous donne un aperçu sur la surface exposée aux intempéries du bâtiment. Dans cette case apparaîtront les indicateurs suivants : Surface  $m^2$ ; Volume  $m^3$ ; Coefficient de forme adimensionnel ; Taux de vitrage actif  $m^2/m^2$  ; Rapport S vitrées/S opaques  $m^2/m^2$

Nous cherchons ici à donner un aperçu de l'échelle du bâtiment. Nous analysons aussi des indicateurs très importants : le coefficient de forme adimensionnel, le taux de vitrage actif et le rapport entre les surfaces vitrées et les surfaces opaques. Le coefficient de forme définit le rapport entre la surface extérieure et le volume d'un bâtiment. Le taux de vitrage actif définit le rapport entre la surface vitrée et la surface utile périphérique du bâtiment. Le rapport S vitrées/S opaques définit le rapport entre la surface vitrée et la surface opaque du bâtiment.

Dans cette colonne apparaîtront des images du bâtiment.

09 (6)

10 (7)

11 (8)

12 (7)

Dans cette colonne apparaîtront des images du bâtiment.

13 (8)

## Éclairage naturel

L'éclairage naturel définit la capacité de la lumière du jour à pénétrer dans le bâtiment. Ce paramètre est très important, la possibilité d'éclairer, par la lumière naturelle, sans pour autant éblouir les usagers, permet un meilleur fonctionnement du bâtiment. Ce paramètre semble être en contraste avec l'indicateur taux de vitrage actif précédemment analysé. Cependant, l'optimum est dans l'équilibre entre ces deux paramètres.

## Système de rafraîchissement

Le système de rafraîchissement choisi par l'architecte sera analysé et décrit. Pour savoir quelle méthode a été adoptée par l'architecte. Très souvent les systèmes sont multiples et ils fonctionnent en parallèle, selon une stratégie définie.

## Fonctionnement du système de rafraîchissement

Le fonctionnement du système de rafraîchissement définit le mode opératoire et son harmonie par rapport à l'usage du bâtiment. Un système de rafraîchissement doit une bonne partie de son succès ou de sa défaillance à la manière dont le fonctionnement a été prévu.

14 (9)

## Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

La stratégie de contrôle d'un dispositif de rafraîchissement est liée au type d'usage du bâtiment. Si le système bâtiments n'est pas bien utilisé il ne pourra pas fonctionner. Cela est vrai pour tous les systèmes des bâtiments. Si on n'allume pas le chauffage en hiver on risque d'avoir froid, mais concernant les systèmes de rafraîchissement cela est encore plus important.

15 (10)

### Inertie du bâtiment

L'inertie du bâtiment définit la prédisposition à garder stable la température. L'inertie du bâtiment est un indicateur qui nous aide à comprendre la capacité du bâtiment à stocker de la chaleur et de la fraîcheur. Normalement un bâtiment de grande inertie évite que les variations de température à l'extérieur se transmettent directement sur l'utilisateur.

Dans cette colonne apparaîtront des images du bâtiment.

16 (12)

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Seront analysés de manière générale la composition et le fonctionnement dans le système bâtiment des surfaces verticales exposées aux intempéries extérieures.

### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

L'analyse générale de la composition et du fonctionnement dans le système bâtiment des surfaces horizontales exposées aux intempéries extérieures sera faite la.

17 (11)

### Compartimentation

La compartimentation définit les divisions internes et donc les obstacles qui empêchent l'air de traverser le bâtiment.

La compartimentation d'un bâtiment en plusieurs espaces peut engendrer des problèmes de fonctionnement du système de rafraîchissement, sauf si des conduits pour le passage de l'air frais sont prévus. D'autre part, un des ennemis des locaux open space c'est le bruit, qui ne permet pas aux usagers de travailler en tranquillité. Ce paramètre veut être une appréciation de la manière dont l'architecte a résolu et harmonisé la nécessité de rafraîchir avec le besoin des usagers de partager l'espace en portions étanches.

18 (11)

Dans cette colonne apparaîtront des images du bâtiment.

## Protection solaire

Il est défini la présence et la qualité des protections solaires. Les systèmes de rafraîchissement passifs ne pourront jamais rafraîchir un bâtiment mal conçu avec des apports thermiques internes et externes trop importants.

19 (11)

## Surfaces vitrées

C'est l'analyse du type de vitrage utilisé. Un vitrage de mauvaise qualité sera source de problèmes pour le bâtiment, d'autant plus que la proportion entre surfaces vitrées et surfaces opaques, ou surfaces au sol, sera élevée.

Il sera, une nouvelle fois, mis en relation les surfaces vitrées avec les surfaces opaques.

Taux de vitrage actif : ..... m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : ..... m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

20 (12)

## Surfaces opaques

C'est l'analyse le type de surface opaque, matériaux isolants, matériaux inertes, etc. toujours en considérant leur comportement dans le fonctionnement du système bâtiment.

21 (3)

## Ouvrants pour la ventilation nocturne

La nuit est le moment le plus frais de la journée. Dans cet espace sera analysée la capacité du système bâtiment de 'profiter' de la fraîcheur nocturne et les stratégies adoptées par l'architecte pour exploiter au maximum ces moments favorables.

22 (3)

## État actuel et conditions d'utilisation

C'est ici que sera analysé l'état actuel du bâtiment et, si possible, les post occupancy evaluations.

Ce paragraphe nous permettra de reporter, les informations sur l'efficacité des systèmes de rafraîchissement et l'avis des usagers à ce sujet.

C'est l'espace où le lecteur pourra se faire une idée sur l'opinion des usagers à propos de l'immeuble analysé

Dans cette colonne apparaîtront des images du bâtiment et des graphes, si possible, des analyses post occupationnelles.

23 (13)

## Analyse architecturale

Ce paragraphe nous permet d'analyser la posture de l'architecte par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement. Nous pourrons voir les solutions adoptées par les différents architectes et les idées qui sont à la base de la conception du bâtiment.

Notre objectif est de mettre le lecteur en condition de comprendre quelles contraintes et quelles solutions sont possibles avec les systèmes de rafraîchissement passifs

24 (7)

25 (3)

26 (14)

## Aspects positifs et leçons à retenir

Dans cette colonne apparaîtront des images du bâtiment.

Nous avons mis en avant les aspects et les solutions positives des projets analysés. Les aspects négatifs du projet sont aussi pris en considération. Notre objectif est de mettre le lecteur en condition de comprendre le comportement des systèmes de rafraîchissement, les détails auxquels faire attention et les fautes à éviter.

Nous voudrions que cette analyse puisse être une base pour permettre au concepteur, qui voudrait démarrer un projet de bâtiment rafraîchi passivement, d'éviter les erreurs et d'avoir un éventail de solutions possibles pour son projet.

27 (7)

## Aspects négatifs et leçons à retenir

28 (7)

29 (7)

## Bibliographie

---

Les deux dernières pages de chaque fiche seront dédiées à la bibliographie et aux sources des images.

## Sources des illustrations

---

Les deux dernières pages de chaque fiche seront dédiées à la bibliographie et aux sources des images.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Bâtiment pour les bureaux iGuzzini à Recanati

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Bâtiment pour les bureaux iGuzzini à Recanati, Italie.  
 Le projet de l'architecte M. Cucinella avait comme objectif la réduction des coûts énergétiques et la réduction de l'impact environnemental. La façade principale est orientée vers le sud. La surface est d'environ 2.700 m<sup>2</sup> et le volume d'environ 10.000 m<sup>3</sup>. Dans la partie centrale du bâtiment on trouve un atrium jardin. L'atrium jardin est ouvert sur trois côtés vers les bureaux et il est couvert par des lucarnes ouvrantes et protégées du soleil.  
 Les stratégies de rafraîchissement utilisées sont : une protection efficace des surchauffes et un système de VNC structurelle nocturne. Le système de rafraîchissement passif par VNC structurelle se base sur la fonction de cheminée de l'atrium central et par des ouvertures automatiques dans la partie basse des bureaux. Les ouvertures sont reliées à un système de contrôle de la température interne et externe qui ouvre et referme les fenêtres selon différents programmes. Pour favoriser le rafraîchissement par VNC la masse thermique du bâtiment à été exposée au flux d'air.

Latitude N 43.360083, Longitude 13.502026



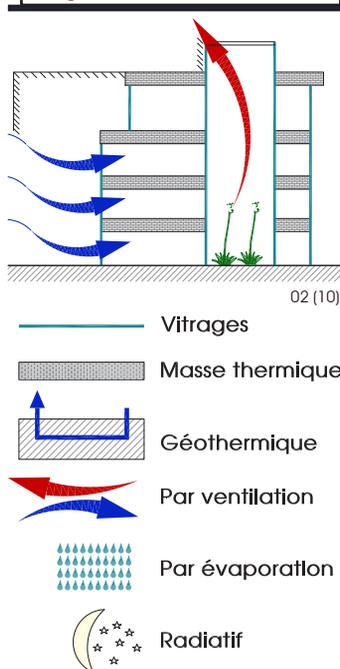
### Données climatiques de la zone

Le bâtiment se situe à Recanati dans une zone industrielle à 100m NGF. La station météo plus proche est celle de Ancona. Le climat est de type méditerranéen septentrional plus pluvieux qu'au sud et caractérisé par la présence de vents forts (la vitesse moyenne de l'air est supérieure à 4 m/s avec direction E-O). DJU hiver = 1690,38, DJU été = 879,08

### Groupe analytique

|  |   |  |                    |  |
|--|---|--|--------------------|--|
| <b>Compacte</b><br>(Morphologie)<br>2.700 - 10.000<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | <b>Tertiaire</b><br>(Typologie)<br>Contemporaine<br>(Langage architectural) | <b>Bureaux directifs</b><br>(Usage)<br>40m p; 18m l; 13m h<br>(Dimensions) | 1997<br>(Datation) | <b>Intégrés niveau 1</b><br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement)<br>Ventilation Naturelle Contrôlée<br>(Stratégie de rafraîchissement) |
|--|---|--|--------------------|--|

### Logo synthétique



### Formes du type

Logo typo/topologique

- Espace de transition
- Structures de figures à bases identiques
- Contact surfacique
- Structures tramées

03 (2)

04 (3)

05 (4)

06 (5)

Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

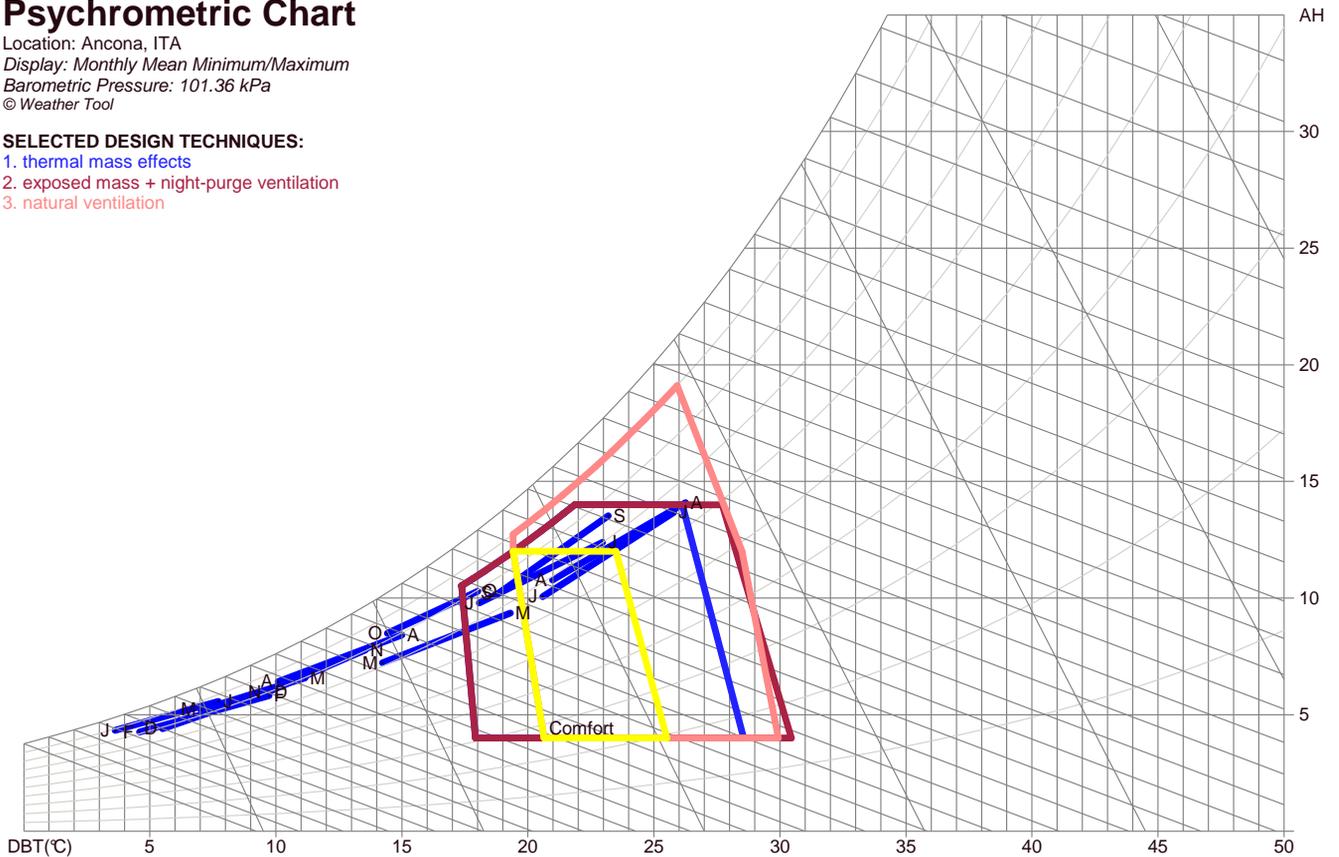
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: Ancona, ITA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation



Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique). La station météo la plus proche est celle de Ancona. Le climat est de type méditerranéen septentrional plus pluvieux qu'au sud et caractérisé par la présence de vents forts (la vitesse moyenne de l'air est supérieure à 4 m/s avec direction E-O)

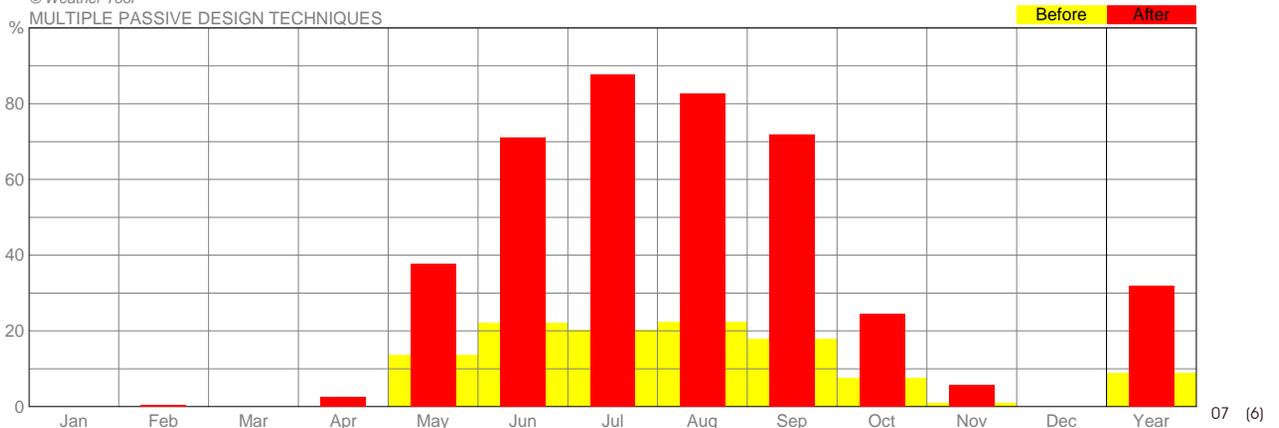
La masse thermique et la ventilation naturelle devraient garantir le confort des usagers presque toute l'année, sauf dans les jours de grande canicule. Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site, un peu moins à l'usage. De plus, le diagramme montre une situation «idéale», mais il ne tient pas compte des grands apports internes et externes de ce bâtiment. Il faut aussi considérer que les bureaux sont fermés en août, le mois le plus chaud de l'année.

### Comfort Percentages

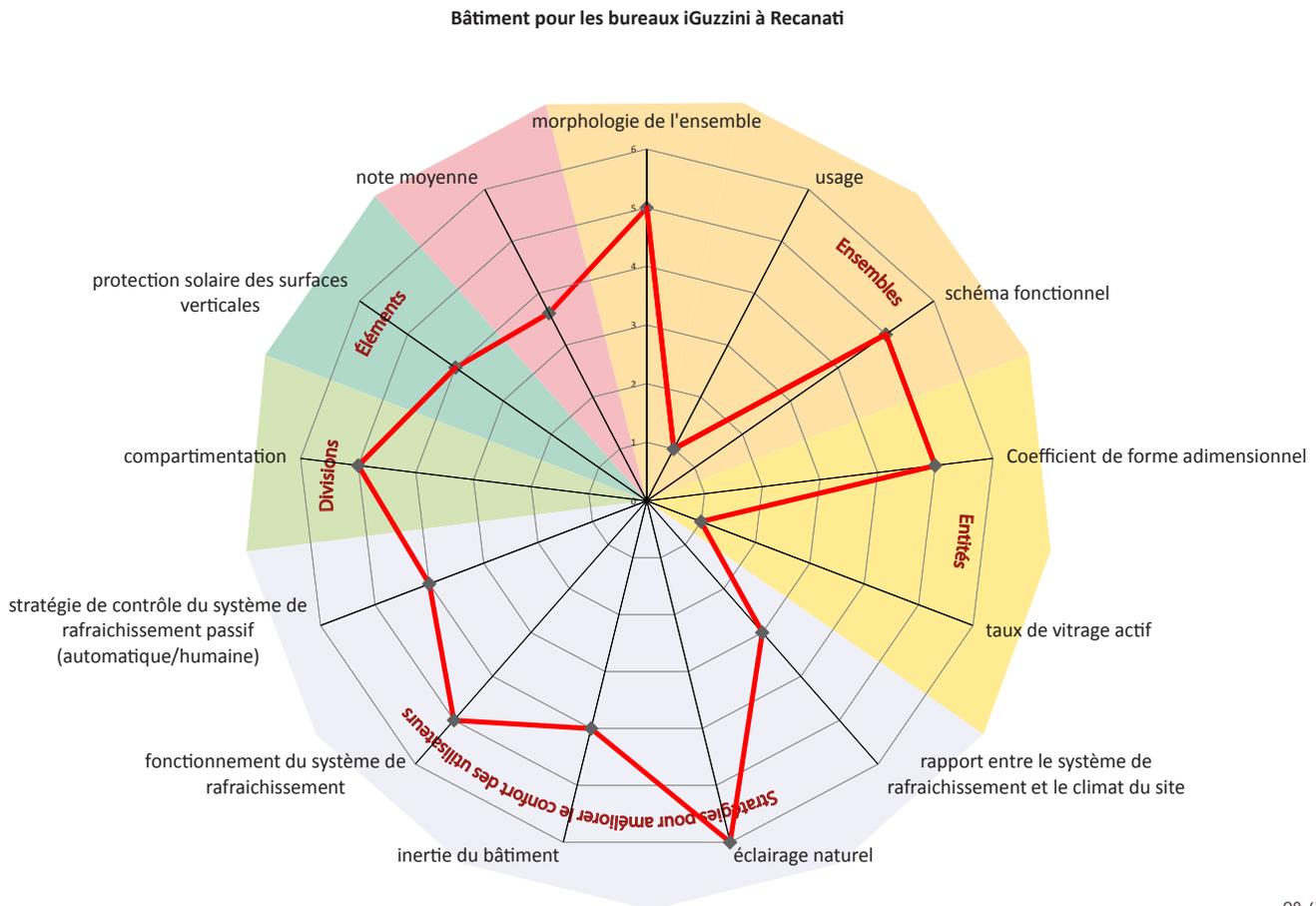
NAME: Ancona  
 LOCATION: ITA  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 43.6°, 13.5°  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation



## Graphe synthétique des dispositifs critiques



Ce qui ressort de l'analyse critique du bâtiment et du graphique ci-dessous est que le bâtiment est globalement bien conçu et bien réalisé, mais des points critiques risquent de compromettre le fonctionnement estival de l'ensemble. Sur le graphique il est évident que des points importants ont reçu une appréciation très faible. En particulier l'usage (bâtiment de direction) : le fait que le bâtiment loge le siège administratif d'une entreprise, qui produit des luminaires de design, détermine que le standard thermique demandé est très élevé. Les analyses de pré-construction ont tenu compte d'une température de confort de 26°C, ce qui est déjà la limite du confort dans un bâtiment d'habitation. Dans un bâtiment directionnel, les standards sont plus hauts et la tenue des usagers n'est souvent pas adaptée au climat (veste et chemise en été comme en hiver). Un autre facteur de grande faiblesse est la présence des grandes façades vitrées, transparentes, qui sont aussi demandées par le type de bâtiment (la transparence dans l'architecture rappelle la transparence de l'entreprise). Le rapport surface vitrée / surface opaque est de 2.11/1, trop élevé. Cela peut rendre inutiles les stratégies bioclimatiques adoptées par l'architecte. Les baies vitrées ne possèdent aucune inertie et même dans le cas de triple vitrage l'effet de paroi froide ou paroi chaude est immédiat. De plus, le contrôle de la radiation solaire directe a été très méticuleux, avec des expériences menées en laboratoire, mais la radiation diffuse a une influence importante sur les façades vitrées et souvent les concepteurs ne prennent pas en considération ce facteur.

On peut affirmer que tout le système bâtiment, même si dans sa globalité il est bien conçu, risque de ne pas fonctionner à cause de quelques points critiques.

Les stratégies de rafraîchissement ont demandé un peu de 'rodage'. Suite à différents essais pour pouvoir garantir le confort des usagers, aujourd'hui, le bâtiment est rafraîchi en mode mécanique à l'exception du printemps et de l'automne.

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se situe à Recanati dans une zone industrielle à 100m NGF.

Les bâtiments de iGuzzini Illuminazione ont été bâtis sur un espace verdoyant situé dans un site très remarquable du point de vue archéologique et paysager.

Le bâtiment est rectangulaire la façade principale est orientée au sud avec un petit décalage de 12°. L'orientation est optimale pour pouvoir garantir un bon contrôle solaire en été et gérer les apports solaires en hiver.

L'ensemble est composé d'un seul bâtiment en forme de parallélépipède. Ceci garantit un très bon coefficient de forme.

### Usage

Bureau de direction

Créé en 1958 à Recanati dans la région des Marches en Italie, iGuzzini est aujourd'hui une des 5 premières sociétés européennes du secteur de l'éclairage architectural.

Les bureaux de direction de l'entreprise doivent répondre à un cahier des charges précis: la réduction des coûts énergétiques et de l'impact environnemental. La fonction, bureaux directifs et commerciaux, comporte des nécessités de représentativité qui sont en contradiction avec les stratégies bioclimatiques adoptées par l'architecte. Pendant les expérimentations la température considérée de confort pour les bureaux était de 26°. Cette température, à cause de l'usage et des vêtements comme veste et chemises à manches longues, typiques dans un bureau de direction, n'a pas garanti l'état de confort. Le bâtiment aujourd'hui est rafraîchi pendant trois mois par la climatisation mécanique.

### Schéma fonctionnel

La forme du bâtiment est rectangulaire la façade principale est orientée au sud avec un petit décalage de 12°. La surface est d'environ 2.700 m<sup>2</sup> et le volume d'environ 10.000 m<sup>3</sup> dans la partie centrale du bâtiment il y a un atrium jardin. Au rez-de-chaussée on trouve la réception, au premier et le deuxième étage on trouve des bureaux open-space. Au troisième étage les cabinets sont séparés et ils sont équipé d'un système de climatisation, donc ils ne sont pas ventilés naturellement. L'atrium jardin est ouvert sur trois côtés vers les bureaux et il est couvert par des lucarnes ouvrantes et protégées du soleil, pour exploiter l'effet cheminée pour l'extraction de l'air. Le schéma fonctionnel est très efficace. Le patio, autour duquel se développent toutes les circulations verticales et horizontales, fait aussi fonction de cheminée pour le tirage de l'air. Les bureaux open-space s'ouvrent sur le patio et vers l'extérieur et cela permet une très bonne circulation de l'air.

### Morphologie du bâtiment

Le bâtiment est en forme de parallélépipède.

Surface: 2.700 m<sup>2</sup>

Volume: 10.000 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 4.83

taux de vitrage actif : 0,52 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 2.11 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Le bâtiment est de forme compacte et le coefficient de forme est excellent.

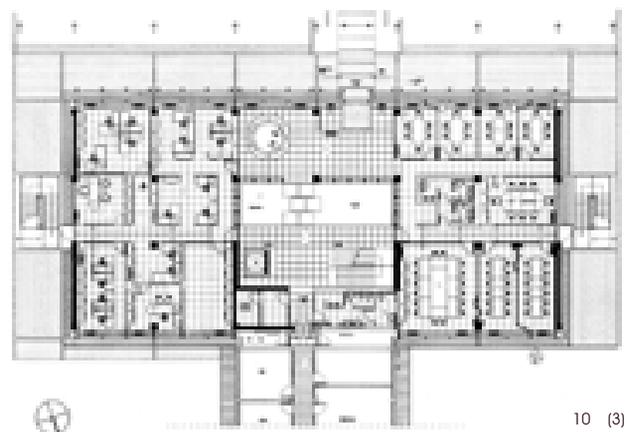
Le rapport surface vitrée / surface opaque est de 2.11 m<sup>2</sup>/1 m<sup>2</sup>, trop élevé. Les grandes surfaces vitrées peuvent rendre inutiles les stratégies bioclimatiques adoptées par l'architecte.

Même si les protections solaires de la radiation directe sont très bien étudiées il faut tenir compte de la radiation diffuse et de l'effet d'inconfort du à la paroi «fine».



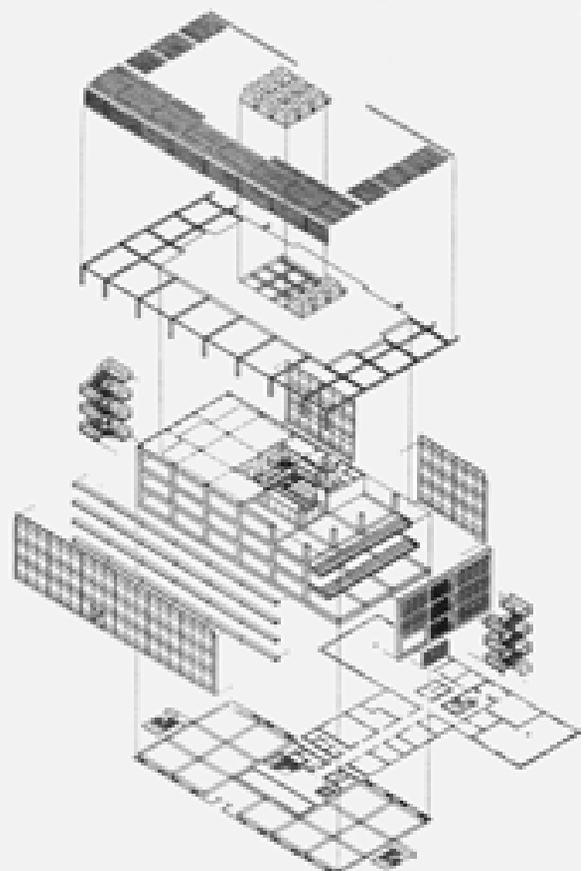
09 (4)

ground floor plan

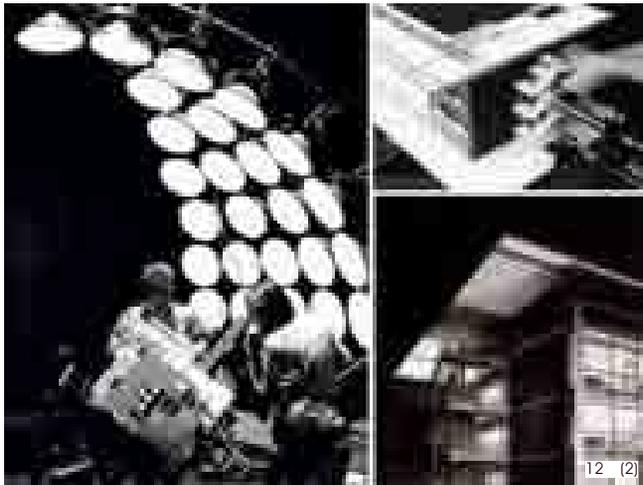


10 (3)

exploded isometric projection of building elements



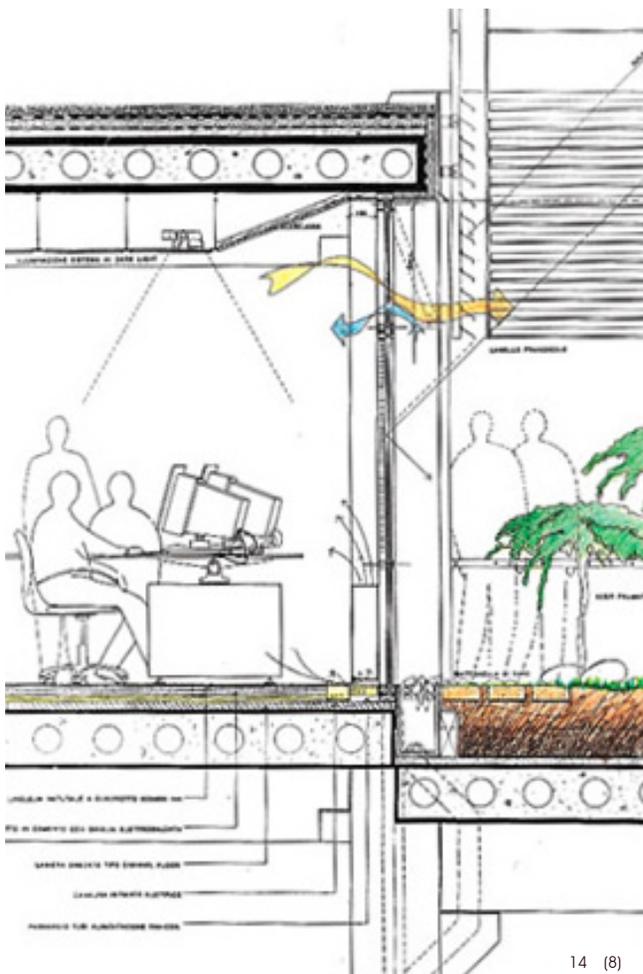
11 (3)



12 (2)



13 (3)



14 (8)

## Éclairage naturel

Les façades vitrées orientées, ainsi que la toiture de l'atrium, surmonté par des lanternes vitrés, permettent l'utilisation de la lumière du jour dans les bureaux. Le bâtiment a été étudié pour réduire au maximum la demande d'éclairage artificiel. L'architecte et le bureau d'étude Ove Arup ont mené des recherches pour améliorer au maximum la pénétration de la lumière jour, tout en réduisant au maximum la radiation directe, pour éviter les surchauffes et l'éblouissement.

Les 12 lanternes au-dessus de l'atrium, qui contient également un jardin intérieur, sont des éléments essentiels de la stratégie de ventilation. L'atrium non seulement sert à introduire la lumière du jour, mais aussi la fonction de cheminée d'extraction de l'air chaud.

## Système de rafraîchissement

Système de ventilation naturelle et ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique.

Le résultat des analyses, effectuées par le cabinet technique Ove Arup pour évaluer la rentabilité des systèmes de VNC, a décrété que le système de VNC devrait garantir le confort thermique pendant 55% des heures d'occupation du bâtiment. Pendant 35% des heures d'occupation, la température extérieure est trop basse et il sera nécessaire de chauffer le bâtiment. Pendant 10% des heures d'occupation, la température extérieure est trop élevée et il faudra rafraîchir le bâtiment mécaniquement. Le système de VNC permet de garantir le confort des usagers quand la température extérieure est comprise entre 13° et 26° le flux d'air n'est pas inférieur à 3 vol./heure. (7)

Ces analyses se sont révélées légèrement optimistes.

## Fonctionnement du système de rafraîchissement

L'air rentre par des ouvertures automatiques dans la partie basse sur la façade. L'air par la suite est extrait par des ouvertures en partie haute des espaces, qui donnent vers le patio central. Les différents modes de ventilation, direct et nocturne sont gérés automatiquement.

L'air frais nocturne est dirigé vers les dalles pour améliorer l'accumulation de fraîcheur et l'air chaud est extrait par le patio, qui a fonction de cheminée. Les dalles sont directement exposées au flux d'air. Il n'a pas été installé de faux plafond pour améliorer l'exposition de la masse thermique au flux d'air. Les gaines techniques passent dans le plancher flottant.

Le système devrait fonctionner de manière automatique, avec une autonomie limitée pour les usagers, mais pendant les premières années d'utilisation du bâtiment ont été testées différentes formes de gestions du système, donnant plus ou moins de liberté aux usagers. Cela pour atteindre le meilleur confort.

## Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

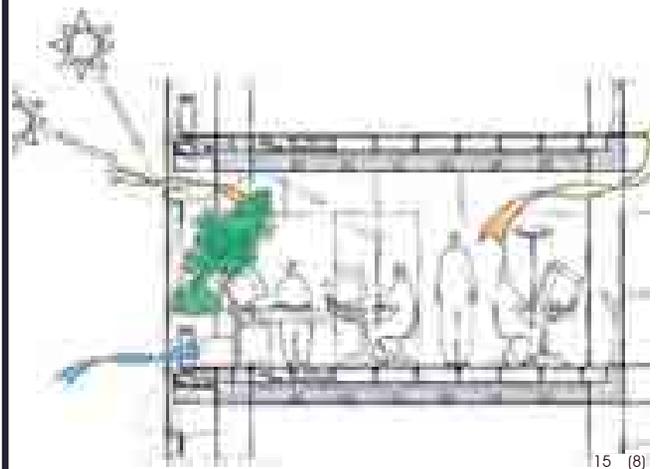
Le système de contrôle automatique fonctionne suivant des programmes établis. « Le système de gestion technique du bâtiment (GTB) choisi automatiquement la ventilation et le refroidissement mécanique une fois les températures intérieures excèdent 25°C. Le contrôle est de type central complètement automatique avec un contrôle limité des utilisateurs... Quand la température interne est inférieure à 20°C ou supérieure à 23°C le bâtiment fonctionne également en mode mécanique. Quand la température intérieure descend sous 20°C, le système mécanique chauffe l'air, alors que si elle monte au-delà de 23°C le système mécanique refroidit l'air. Les occupants peuvent programmer la température locale dans une gamme de 3°C autour de 20°C et de 23°C pour avoir leur propre confort thermique... Pendant la nuit les lucarnes et les fenêtres sur la façade sud sont entièrement ouverts. »(4)

### Inertie du bâtiment

La masse thermique est localisée sur les planchers et plafonds qui sont directement exposés au flux d'air.

Les façades ouest et est sont opaques et sont constituées des couches suivantes: plâtre léger, parpaings denses, cavité ventilée, parpaings denses, isolation en fibre minérale. Le mur a une valeur équivalente de U d'environ 0.7 W/m<sup>2</sup>K (4).

Les planchers en béton armé et le choix de ne pas utiliser de faux plafonds permettent d'exposer la masse thermique au flux d'air. Le choix de localiser la masse thermique dans les dalles est bon, mais l'absence complète de masse thermique en façade sud et nord peut comporter des effets de parois froides et parois chaudes désagréables. Ceci réduit l'efficacité du système. Le sol flottant permet le passage des systèmes techniques. Les dalles en béton armé font partie de la stratégie de rafraîchissement.



15 (8)

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

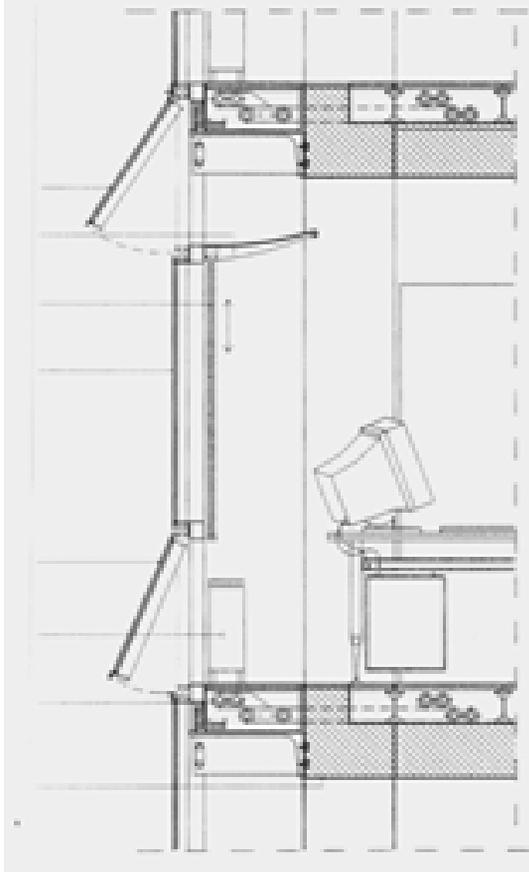
L'enveloppe du bâtiment est composée de surfaces opaques et vitrées. Les façades sud et nord sont entièrement transparentes, les protections solaires extérieures garantissent un bon contrôle de la radiation directe, les verres sont à basse émissivité et à l'intérieur sont prévus des stores, pour éviter l'éblouissement. «les façades sud et nord se composent des couches suivantes : stores horizontaux, vitrage de basse émissivité, verre de flotteur clair, cavité non ventilée, verre de flotteur clair. Les façades ouest et est sont constitués des couches suivantes : plâtre léger, parpaings denses, cavité ventilée, parpaings denses, isolation en fibre minérale. Le mur a une valeur équivalente de U d'environ 0.7 W/m<sup>2</sup>K» (4). Les façades sud et nord sont complètement vitrées. Les trop grandes surfaces vitrées sont un facteur négatif pour le fonctionnement bioclimatique de tout le système bâtiment.

### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

La toiture plane loge les lucarnes qui permettent l'accès de la lumière dans l'atrium central et la sortie de l'air. Les lucarnes sont protégées du soleil par des brise soleil.

La toiture plane ne dispose d'aucun système de protection solaire qui puisse réduire les apports thermiques du soleil, sauf une importante isolation thermique.

Section on south façade, typical offices floor



16 (3)

### Compartimentation

Les parties du bâtiment rafraîchies passivement ne sont pas compartimentées.

Les locaux open-espace permettent un bon passage de l'air et facilitent le rafraîchissement par VNC. Le problème des locaux open space est généralement le bruit.



17 (4)



18 (3)

### Protection solaire

Le bâtiment est protégé du rayonnement solaire par les brise soleil. La forme et la position des brise soleil ont été étudiées pour protéger au mieux le bâtiment des surchauffes dues au rayonnement solaire.

Des expériences ont été réalisées sur une maquette pour optimiser la position et la taille des brise soleil pour une meilleure protection et pour garantir une bonne pénétration de la lumière naturelle. Les protections solaires sont assez efficaces contre l'ensoleillement direct, mais la radiation diffuse est plus difficile à combattre.



19 (4)

### Surfaces vitrées

«Les façades sud et nord sont entièrement transparentes, vitrées et se composent des couches suivantes : stores horizontaux, vitrage de basse émissivité, verre de flotteur clair, cavité non ventilée, verre de flotteur clair».(4)

Taux de vitrage actif :  $0.52 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $2.11 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Les surfaces vitrées sont trop amples. C'est une cause importante de surchauffes et d'inconfort pour les usagers.

### Surfaces opaques

Les façades opaques sont caractérisées par une très bonne isolation thermique, elles sont réalisées de manière à exploiter la plus grande masse thermique possible vers l'intérieur.

« Les façades ouest et est sont opaques et sont constitués des couches suivantes : plâtre léger, parpaings denses, cavité ventilée, parpaings denses, isolation en fibre minérale. Le mur a une valeur équivalente de U d'environ  $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$  ».



20 (4)

### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Présents et automatiques. La ventilation nocturne du bâtiment est fondamentale pour pré-rafraîchir la masse thermique de l'ensemble. Les ouvrants, gérés par le système de contrôle automatique du bâtiment, s'ouvrent et se referment suivant les programmes établis et les conditions météo extérieures et intérieures.

## État actuel et condition d'utilisation

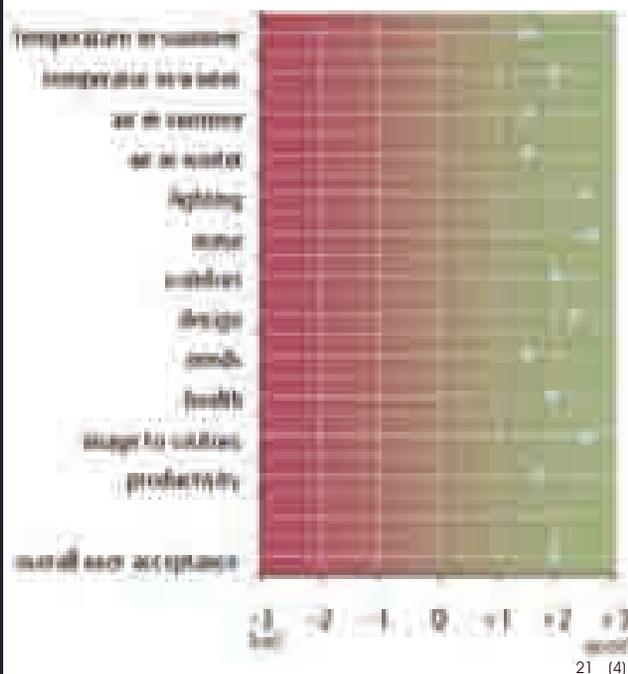
Les analyses sur l'évaluation des usagers et le comportement énergétique du bâtiment sont positives

Le graphe montre des réponses moyennes des usagers avec des notes, sur une échelle de sept points, qui vont de mauvais (- 3) à bon (+3). La moyenne est 1.96 ce qui est une bonne évaluation.

L'effet du bâtiment administratif sur la productivité des usagers, la possibilité du contrôle par les usagers, l'ambiance visuelle et la qualité d'air sont évalués comme bon.

Les stratégies de rafraîchissement ont demandé un peu de « rodage ». Suite à différents essais pour pouvoir garantir le confort des usagers, aujourd'hui, le bâtiment est rafraîchi en mode mécanique à l'exception du printemps et de l'automne. Interviewé à ce sujet l'architecte E. Francis a répondu que les analyses ont tenu compte que le bâtiment pendant la période d'août aurait du être fermé et que les périodes d'utilisation des systèmes mécaniques de rafraîchissement sont très réduites.

Il faut considérer aussi le fait que le bâtiment loge le siège administratif d'une entreprise et que le standard thermique demandé est très élevé.



21 (4)

## Analyse architecturale

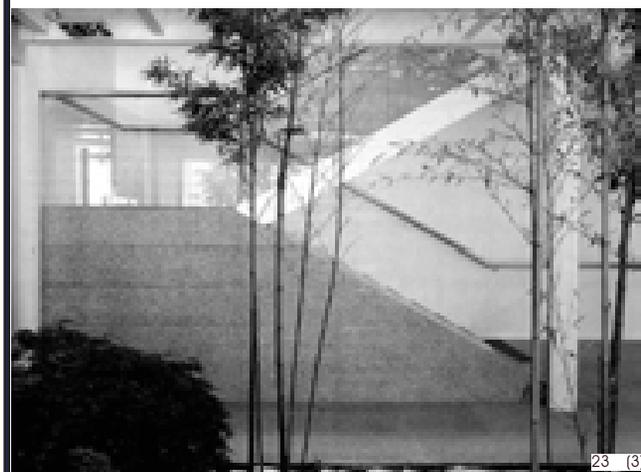
Le bâtiment se présente avec une 'veste' architecturale contemporaine, de grandes façades vitrées, typiques de ce type de bâtiments représentatifs/commerciaux, protégées par les brise soleil et ne dénote pas une attention aux problématiques environnementales. Les stratégies de rafraîchissement ne sont pas immédiatement reconnaissables et explicites dans la composition architecturale. L'objectif de l'architecte est de créer « una bellissima architettura » (Elisabeth Francis vice-président de l'agence d'architecture MC A), en intégrant à la première phase de la conception les notions de la conception bioclimatique du bâtiment afin de créer un bâtiment peu énergivore. Le bâtiment ne se présente donc pas comme un édifice 'éducatif', mais plutôt comme une architecture contemporaine ayant comme objectif principal la représentation des caractéristiques de l'entreprise accueillie, avec une grande attention aux problématiques environnementales.

La prégnance des systèmes de rafraîchissement dans ce bâtiment est de niveau 1 « Non visible, pas de changement. » C'est à dire que l'architecte a fait un effort pour intégrer et rendre illisibles les systèmes de rafraîchissement.

La présence du grand atrium central aux yeux du visiteur ne représente pas un 'utilitaire' permettant de rafraîchir le bâtiment, mais plutôt une solution esthétique pour concentrer les circulations verticales et horizontales. Cette approche architecturale est typique de l'agence Cucinella. Les architectes Cucinella et Francis jugent qu'aujourd'hui on est dans une phase hybride pour l'architecture, d'un côté on s'aperçoit de la nécessité de réaliser des bâtiments peu énergivores, de l'autre côté on continue à réaliser des bâtiments « contemporaines » auxquels on rajoute des annexes, panneaux solaires ou autre, pour les faire devenir performants. Ils veulent faire de l'architecture contemporaine en travaillant dès la première phase de conception avec des ingénieurs afin de créer des bâtiments qui par leur même architecture soient performants. Leurs styles architecturaux sont assez évidents et ne visent pas à réaliser des bâtiments où les systèmes techniques sont visibles et déclarés.



22 (3)



23 (3)

## Aspects positifs et leçons à retenir



Le projet de Cucinella est assez intéressant, l'architecte a cherché de lier les nécessités de représentation d'une entreprise leader dans la réalisation de luminaires design, avec la conception bioclimatique. Naturellement la nécessité de réaliser «una bellissima architettura» était primordiale et il a dû être fait quelques accroc à la conception bioclimatique.

Il faut tout de même mettre en évidence des points intéressants.

Aspects les plus importants :

Le choix d'utiliser la masse thermique des plafonds en béton est très positif, de plus pour un bureau les câbles qui passent dans le sol sont très efficaces.

Le grand patio avec plantation est, non seulement suggestif, mais aussi efficace pour favoriser la ventilation.

L'éclairage naturel est bien étudié. C'est un des points principaux de ce bâtiment.

Les protections solaires sont bien conçues, mais cela ne suffit pas. Le brise-soleil souvent ne sont pas appréciés par les architectes, car ils créent un écran visuel. La solution adoptée par Cucinella, une casquette de brise-soleil en toiture, résout ce problème, tout en protégeant la façade du rayonnement direct.

Un autre aspect positif est le schéma fonctionnel. L'architecte utilise le patio central comme lieu des circulations verticales et horizontales. De plus, il a réussi à concentrer les pièces techniques, qui ont moins besoin d'éclairage, sur les façades est et ouest. Cela permet de garder ces façades 'aveugles' et de réduire au maximum des apports solaires difficiles à contrôler.

## Aspects négatifs et leçons à retenir

A notre avis ce bâtiment est caractérisé par deux problèmes : l'usage et les grandes façades vitrées.

Concernant l'usage, bâtiment de direction, la demande de performances et les apports internes sont trop élevés pour le système de rafraîchissement choisi. De plus, les usagers ne sont apparemment pas un public 'sensible' et ne sont pas 'prêts' à supporter un certain nombre d'heures d'inconfort pendant l'été.

Ces évaluations ressortent aussi dans l'analyse réalisée par le groupe de recherche «EULEB», qui constate : « Après une première période d'essai du bâtiment fonctionnant en ce mode de contrôle, l'inconfort des usagers suggéré de changer la température à laquelle les fenêtres s'ouvrent et d'ouvrir les auvents situés en haut. L'échec de cette deuxième modalité de contrôle a aussi provoqué l'ajustement manuel des panneaux, pour permettre aux occupants de modifier les conditions intérieures locales. Les mesures de suivi énergétique ont considéré toute la période pendant laquelle le changement des modes a été effectué, mais comme démontré, le système de ventilation hybride n'a pas été suffisant pour établir les conditions de confort thermique d'hiver et d'été. Pour cette raison pendant l'année, à l'exception de printemps et d'automne, le bâtiment a fonctionné en mode mécanique. Pendant ces saisons les valeurs de PMV n'ont pas toujours été acceptables, même si les valeurs d'émission de CO<sub>2</sub> ont atteint des niveaux adéquats.»[4]

Les études sur le bâtiment, effectuées pendant un an, ont démontré que la consommation annuelle d'énergie est de 130.4kWh/m<sup>2</sup>.

L'autre point noir est la taille des parois vitrées trop importantes pour un bâtiment rafraîchi passivement. Les parois vitrées ne constituent pas seulement un problème pour la radiation directe, mais il faut considérer aussi la radiation diffuse, beaucoup plus difficile à évaluer et l'effet de parois 'fines'.



## Bibliographie

---

CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie, Universität Siegen Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie, UCL Université Catholique de Louvain, AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School, CSTB Centre Scientifique idea [En ligne] // [idea-architecture.org](http://idea-architecture.org). - [idea-architecture.org](http://www.unige.ch/cuepe/idea/firm_one.htm), 2003 01 9. - 05 25 2010. - [http://www.unige.ch/cuepe/idea/firm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/firm_one.htm).

EULEB GUZZINI HEADQUARTERS [En ligne] // EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique / éd. Europe Intelligent Energy. - 2006. - 19 04 2010. - [http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index\\_s4.html](http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index_s4.html).

Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr/maps?q=12.975795,+77.47640&ie=UTF8&hl=fr&t=h&z=16>.

GROSSO Mario Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato [Livre] / éd. Editore Maggioli. - San Marino : Maggioli Editore, 2008. - II : p. 648. - ISBN 978-88-387-3963-3.

kiriocomunicazione MC Architects [En ligne] // iGuzzini Headquarters building. - HIBO, 2010. - 12 05 2010. - <http://www.mcarchitects.it/index.php?id=19&projid=100>.

MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.

Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.

Simonelli Giuliano Ufficio progetti e sede centrale iGuzzini [En ligne] // edilizianrete / éd. BE-MA. - BE-MA, 1998. - 15 03 2009. - [http://www.edilizianrete.it/scheda\\_real.asp?rec=530](http://www.edilizianrete.it/scheda_real.asp?rec=530).

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [En ligne] Google, 2011. [Citation : 10 04 2011.] <http://maps.google.fr/maps?q=12.975795,+77.47640&ie=UTF8&hl=fr&t=h&z=16>.
2. kiiocomunicazione. MC Architects. iGuzzini Headquarters building. [En ligne] HIBO, 2010. [Citation : 12 05 2010.] <http://www.mcar-chitects.it/index.php?id=19&projid=100>.
3. CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität SiegenFachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique. idea. idea-architecture.org. [En ligne] idea-architecture.org, 2003 01 9. [Citation : 05 25 2010.] [http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm_one.htm).
4. EULEB . GUZZINI HEADQUARTERS. EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique. [En ligne] 2006. [Citation : 19 04 2010.] [http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index\\_s4.html](http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index_s4.html).
5. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
6. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [En ligne] 11 03 2011. [Citation : 25 01 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
7. GROSSO, Mario. Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato. [éd.] Maggioli Editore. II. San Marino : Maggioli Editore, 2008. p. 648. ISBN 978-88-387-3963-3.
8. Simonelli, Giuliano. Ufficio progetti e sede centrale iGuzzini. edilizianrete. [En ligne] BE-MA, 1998. [Citation : 15 03 2009.] [http://www.edilizianrete.it/scheda\\_real.asp?rec=530](http://www.edilizianrete.it/scheda_real.asp?rec=530).
9. Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe. Bing Cartes. Bing. [En ligne] Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. [Citation : 15 04 2011.] <http://www.bing.com/maps>.
11. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Lycée français CHARLES DE GAULLE à Damas

### Contenu de la fiche

Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type

---

État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Nouvelle école française à Damas, Ateliers Lion Architectes. Située dans le quartier de Mezé, en périphérie de la ville. L'ensemble de bâtiments est très clair. La construction du lycée a été économique grâce à l'utilisation de matériaux locaux et l'usage reste économique grâce à l'absence de systèmes de climatisation, à un éclairage naturel optimisé et à la production d'eau chaude solaire. Les architectes ont voulu créer un microclimat favorisant le confort thermique à travers la création de plusieurs patios. Ceci plus une stratégie de rafraîchissement exploitant la masse thermique du bâtiment et la ventilation naturelle garantissent le confort des usagers.

L'ensemble des bâtiments abrite une école maternelle, une école primaire, un collège et un lycée. Les Atelier Lion, architectes de l'opération, ont décidé de ne pas utiliser la climatisation mécanique, mais de s'inspirer de la tradition constructive en méditerranéenne. Les parois garantissent une grande masse thermique, la toiture est ventilée avec un vide de 25 cm, les cheminées solaires garantissent une circulation de l'air continue et les enduits blancs avec leurs albédo très élevé réfléchissent le rayonnement solaire.

Latitude N 33.510383, Longitude 36.256567



01 (1)

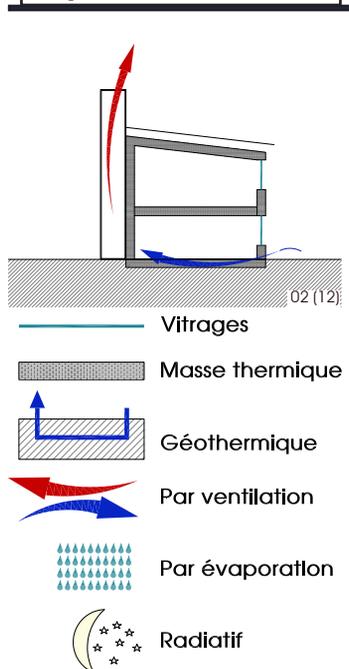
### Données climatiques de la zone

Le bâtiment est à Damas à 700m NGF. Le climat est de type méditerranéen aride, des étés chauds (14 à 35 °C) et des hivers frais et pluvieux (0 à 13 °C). Le bâtiment est séparé de la mer par la chaîne montueuse de l'Anti Liban, ce qui en réduit l'effet mitigeur. Les précipitations en été sont quasiment nulles, au mois de décembre s'élèvent à 26 mm. DJU hiver = 1690,38 DJU été = 879,08

### Groupe analytique

|   |  |                                      |                         |   |
|---|--|--------------------------------------|-------------------------|---|
| Éparse<br>(Morphologie)                             | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Scolaire<br>(Usage)                  | 2001-2008<br>(Datation) | Apparentes niveau 3<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 10.000/24.380<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 9.5 m p; 6 m l; 8m h<br>(Dimensions) |                         | Ventilation Naturelle Contrôlée<br>(Stratégie de rafraîchissement)  |

### Logo synthétique



### Formes du type

Logo typo/topologique

- Cheminées
- Structures de figures à base différente
- Contact ponctuel
- Structures d'éloignement

Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

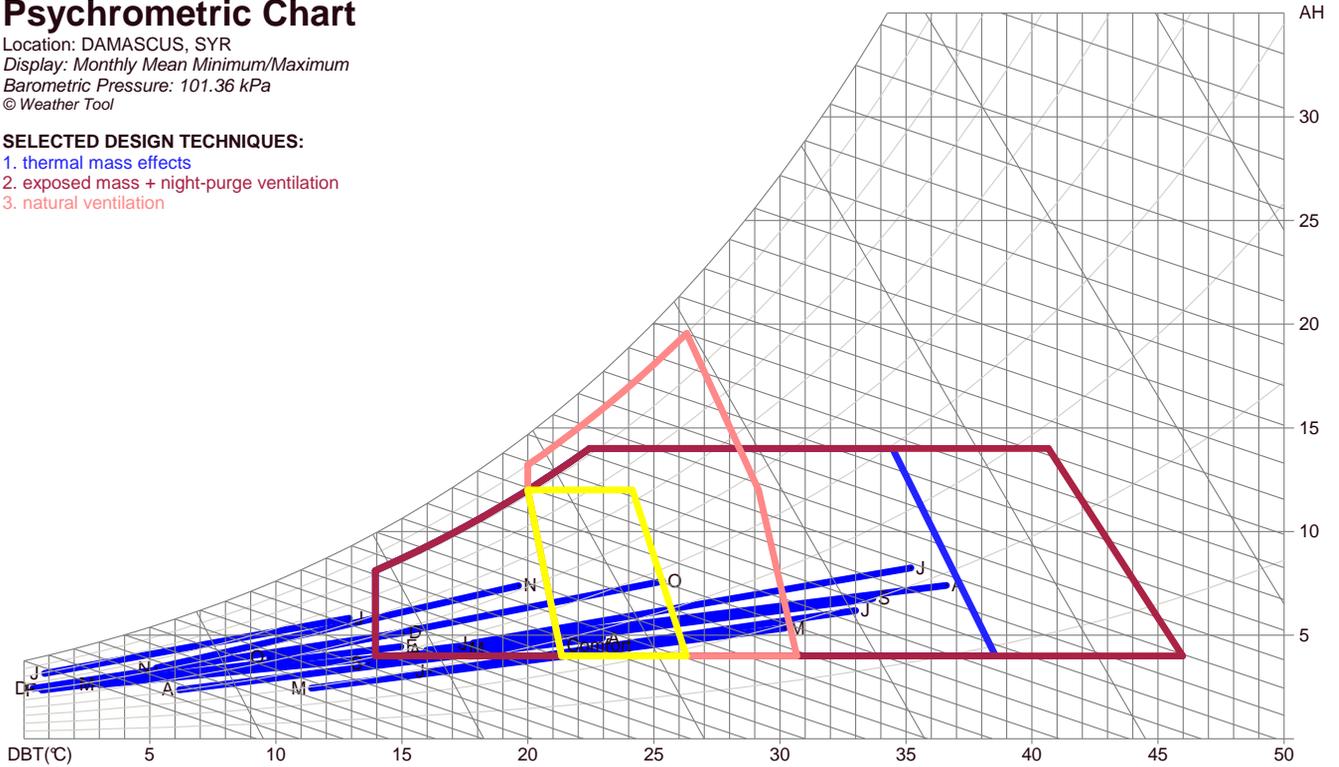
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

**Psychrometric Chart**

Location: DAMASCUS, SYR  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation



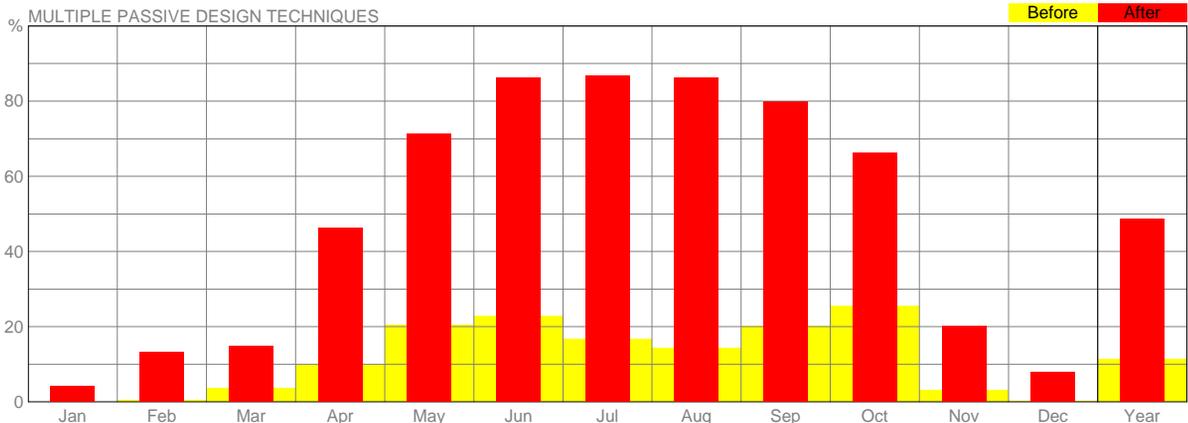
Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique, plus ventilation naturelle) devrait garantir le confort des usagers en été, mais pas en hiver. L'école est fermée pendant les mois le plus chauds de l'année. Par contre, on relève immédiatement que dans les mois d'hiver le confort ne peut pas être garanti par ces systèmes passifs. Cela fait ressortir l'évaluation négative sur les corridors extérieurs et la fragmentation des espaces. Les rares commentaires des usagers que nous avons trouvés parlent de situations d'inconfort très graves en hiver et trop chaud en été (7). Cela pourrait d'une part dépendre de l'usage et d'autre part des problèmes déjà soulevés.

**Comfort Percentages**

NAME: DAMASCUS  
 LOCATION: SYR  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 33.4°, 36.5°  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

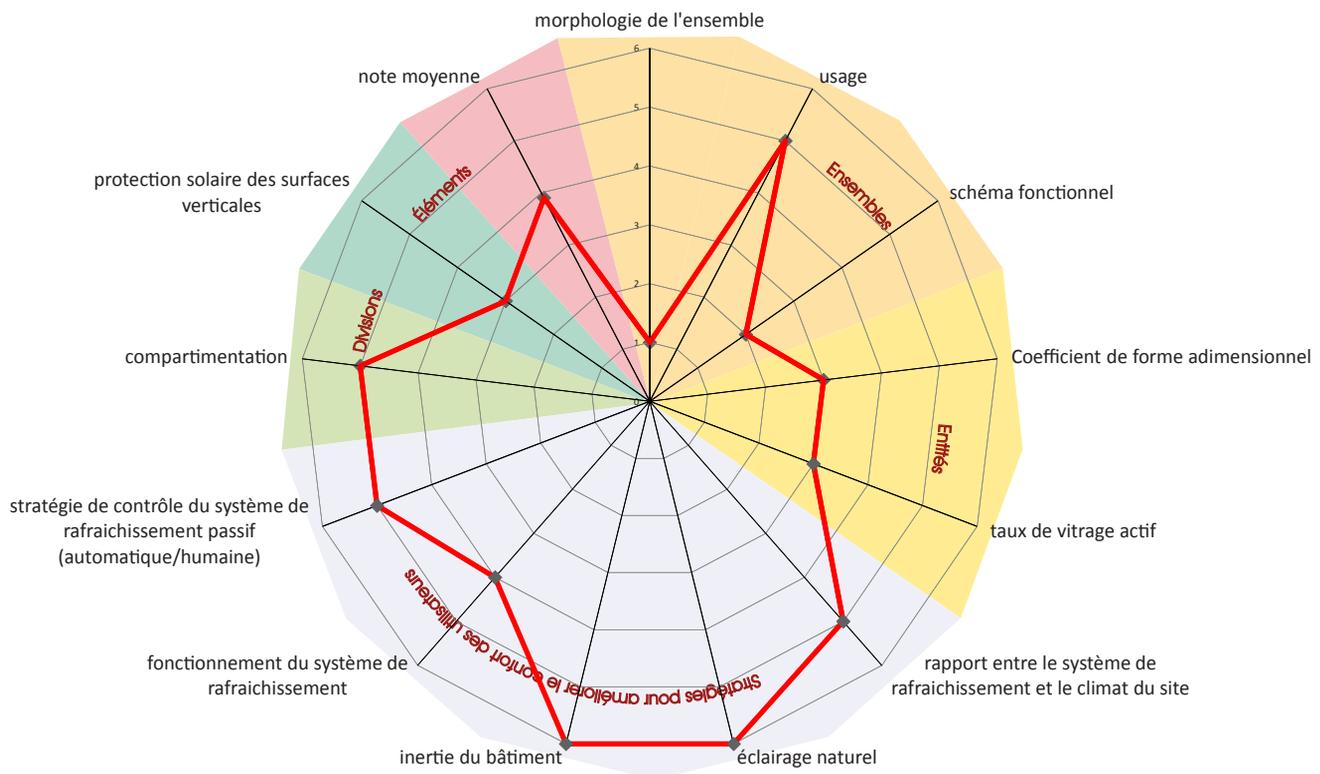
- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation



06 (6)

## Graphe synthétique des dispositifs critiques

Lycée français CHARLES DE GAULLE à Damas



07 (12)

Le bâtiment est bien conçu et les systèmes de rafraîchissement sont simples et efficaces, mais des points négatifs risquent de mettre en crise tout le système bâtiment.

Les points faibles sont : la morphologie de l'ensemble pavillonnaire, ceci comporte un rapport surface extérieure/volume peu efficace ; l'absence d'isolation thermique, qui peut porter des situations d'inconfort et réduire l'efficacité de tout le système ; le fonctionnement du système de rafraîchissement, qui est géré directement par les usagers.

Si les usagers sont motivés et font les bonnes manipulations des grilles d'amenée d'air le système fonctionnera très bien, au contraire si les usagers ne s'adaptent pas au système le résultat sera négatif. Le choix de l'architecte a une valeur pédagogique qui s'adapte bien au type de bâtiment ; une autre limite du système est qu'en cas de forts vents et de pluie les ouvrants ne se ferment pas automatiquement ; pour finir les stores sur les patios auront besoin d'entretien continu, si cet entretien n'est pas garanti tout le fonctionnement du système sera déficitaire.

Les rares retours d'usagers sont plutôt négatifs, ils se plaignent des températures trop chaudes en été et trop froides en hiver. De plus, il paraît que le système de chauffage n'était pas prévu et qu'il a été installé d'urgence. Le mauvais fonctionnement pourrait se justifier par la morphologie de l'ensemble, lié au fait que l'architecte, dans une région au climat très chaud en été et très froid en hiver, n'a pas prévu d'isolation thermique dans les murs.

En conclusion le bâtiment devrait bien fonctionner et il est bien adapté à la fonction scolaire. Les limites et les défauts semblent être dus d'une part à des choix précis de l'architecte et donc justifiables, d'autre part au budget limité pour réaliser l'ensemble.

## Implantation

Le bâtiment se situe à Damas dans la banlieue de la ville à 700 m NGF.

L'école a été réalisée sur un terrain en limite d'urbanisation qui a été occupé par les casernes de l'armée française puis syrienne. Le terrain a été réattribué à la France avec la condition de désenclaver le quartier et de créer une liaison avec les deux voies parallèles qui longent le site [2]. Il est impossible de définir une forme précise, mais on peut imaginer que l'ensemble soit composé par trois barres réunies pour former un C, au milieu duquel on trouve la cour de récréation. Les barres ont été par la suite désagrégées pour créer les patios des différentes classes. Le bâtiment se présente comme une série de pavillons de deux niveaux réunis par les systèmes de distribution (des galeries couvertes). L'alternance des patios et des pavillons donne aux classes un rapport singulier au jardin. Chaque pavillon est surmonté d'une cheminée solaire.

## Usage

Le bâtiment rassemble les écoles de la maternelle à la terminale. Les lycées français à l'étranger ont une fonction principalement pédagogique, mais doivent aussi représenter la France, à travers leur architecture et la qualité des enseignements. Ce sont des lieux où les expatriés et les usagers locaux doivent se sentir en France.

Les Ateliers Lion ont donné une réponse à ces cahiers des charges, tout en réalisant une architecture issue de la tradition constructive locale et adaptée au site.

Le bâtiment est utilisé pendant presque toute l'année scolaire. Pendant les mois les plus chauds le bâtiment n'est pas utilisé.

## Schéma fonctionnel

Le bâtiment se présente comme une série de pavillons de deux niveaux réunis par les systèmes de distribution (des galeries couvertes). L'alternance des patios et des pavillons donne aux classes un rapport singulier au jardin. Chaque pavillon est surmonté d'une cheminée solaire.

La surface est de 10 000 m<sup>2</sup>.

La distribution est très claire. Après l'entrée principale les élèves vont à gauche vers le collège et le lycée ou à droite vers l'école primaire. L'accès à la maternelle se fait par une entrée dédiée au nord-est. Le schéma fonctionnel est efficace au regard du comportement estival de l'ensemble. Il se peut qu'en hiver les galeries couvertes, mais ouvertes vers l'extérieur puissent causer de l'inconfort. Pour le confort d'été l'alternance de pavillons et de patios verdoyants et ombragés est positive.

## Morphologie du bâtiment

Eparses. Le bâtiment se présente comme une série de pavillons de deux niveaux réunis par les systèmes de distribution (des galeries couvertes).

Surface: 10.000 m<sup>2</sup>

Volume: 41.000 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 5,28

taux de vitrage actif : 0,34 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,15 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Le bâtiment est de forme semi-compacte et le coefficient de forme n'est pas excellent.

Les petits pavillons sont en forme de parallélépipède, mais étant petit, le coefficient de forme n'est pas positif. De plus, nous avons calculé le coefficient de forme seulement en référence à une classe, si nous avions tenu compte du volume de toute l'opération le coefficient aurait été bien plus défavorable.



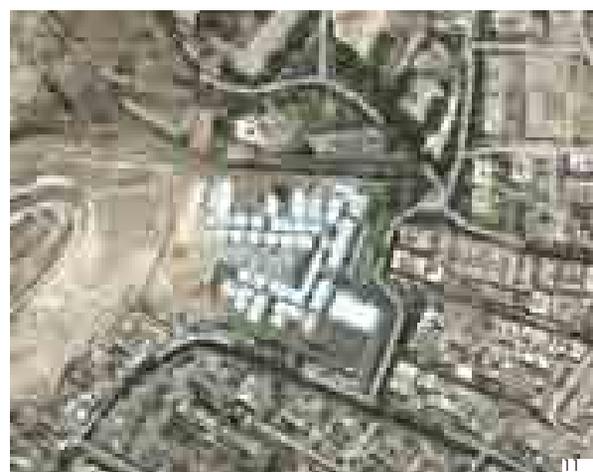
08 (2)



09 (2)



10 (2)



11 (1)



12 (8)

### Éclairage naturel

La position des fenêtres et leurs tailles sont étudiées pour garantir un bon éclairage naturel. De plus les fenêtres font partie du système de ventilation. Les fenêtres plus grandes sont ouvertes vers l'est, vers les patios, et elles sont protégées du rayonnement direct par l'ombre des arbres et par les toiles tendues qui protègent le patio en été. Les fenêtres à l'ouest sont plus petites et sont en hauteur pour participer à l'extraction de l'air chaud. Les enduits blancs garantissent une bonne réflexion de la lumière contribuant à avoir un bon éclairage naturel dans l'immeuble. Les fenêtres à l'est sont bien protégées par les grands rideaux extérieurs qui protègent les patios. Des doutes peuvent être émis par rapport à la durée et à l'entretien que nécessitent les rideaux.

### Système de rafraîchissement

Système de ventilation naturelle contrôlée et ventilation nocturne. Le bâtiment est rafraîchi passivement par des cheminées solaires qui garantissent une bonne ventilation continue. La nuit le flux d'air est inversé et le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne.

Les systèmes de rafraîchissement s'adaptent à l'usage du bâtiment, mais risquent d'être sous-dimensionnés pendant une partie de l'année.

Les cheminées solaires sont exposées à l'ouest, au soleil de l'après-midi, exposition optimale selon les études menées par Bouchair (9).



En été, pendant la journée, l'air chaud est aspiré par les cheminées solaires exposées à l'ouest.



En été, à la fin de la nuit, l'air froid est aspiré par les cheminées solaires exposées à l'ouest.

### Fonctionnement du système de rafraîchissement

Le système adopté par les Ateliers Lion est techniquement très simple, mais efficace. Les cheminées solaires garantissent une extraction continue de l'air. Les amenées d'air se font par les patios ombragés et riches en végétation. La présence de la végétation contribuera à régler la température de l'air, qui passe par des cavités dans la dalle, qui a fonction de lieu de stockage de la fraîcheur et est introduite dans la classe en partie basse. Des ouvertures en parties hautes, réglables, permettent l'extraction de l'air chaud. La stratégie choisie par l'architecte était de simplifier au maximum les systèmes de rafraîchissement et de les rendre accessibles aux usagers. Cette stratégie s'adapte très bien à la fonction scolaire du bâtiment.

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Stratégie de contrôle humain. Le système de ventilation continue permet de régler la température dans la classe. Avec de simples gestes de la part des élèves et des professeurs on peut modifier les portées d'air pour atteindre l'état de confort. L'accès direct aux réglages a une fonction pédagogique et fait participer les usagers aux choix et réglages des différentes stratégies de ventilation. Les architectes ont remis aux usagers une simple notice expliquant les différentes possibilités de réglage des systèmes de rafraîchissement. Des retours négatifs sur l'efficacité des systèmes de contrôle font penser à une mauvaise utilisation des systèmes de rafraîchissement. Cela est naturellement le 'risque' quand l'architecte décide de confier la stratégie de contrôle aux usagers.



En hiver, pendant la journée, l'air chaud est aspiré par les cheminées solaires exposées à l'ouest.

13 (2)

### Inertie du bâtiment

L'objectif de l'architecte était de créer un bâtiment très inerte et d'exposer sa masse thermique au système de ventilation continue.

Les murs sont ainsi composés de l'extérieur à l'intérieur : enduit extérieur + chaux, de parpaings creux de 20 cm, un vide d'air de 5 cm, des parpaings pleins de 10 cm et l'enduit intérieur.

Les aménagements d'air se font par des tuyaux intégrés dans la dalle.

Le bâtiment est très inerte. Les murs ont été conçus pour augmenter le plus possible l'inertie du bâtiment et améliorer le confort d'été.

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Les murs ont été réalisés avec des matériaux facilement repérables sur le marché local. L'objectif était d'exposer la masse thermique du bâtiment au système de ventilation continue.

Le seul point négatif qui ressort est l'absence d'isolation thermique qui aurait pu améliorer le confort en particulier le confort d'hiver. Les enduits sont blancs avec leur albédo très élevé réfléchissant le rayonnement solaire.

### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Double toiture avec vide d'air de 25 cm.

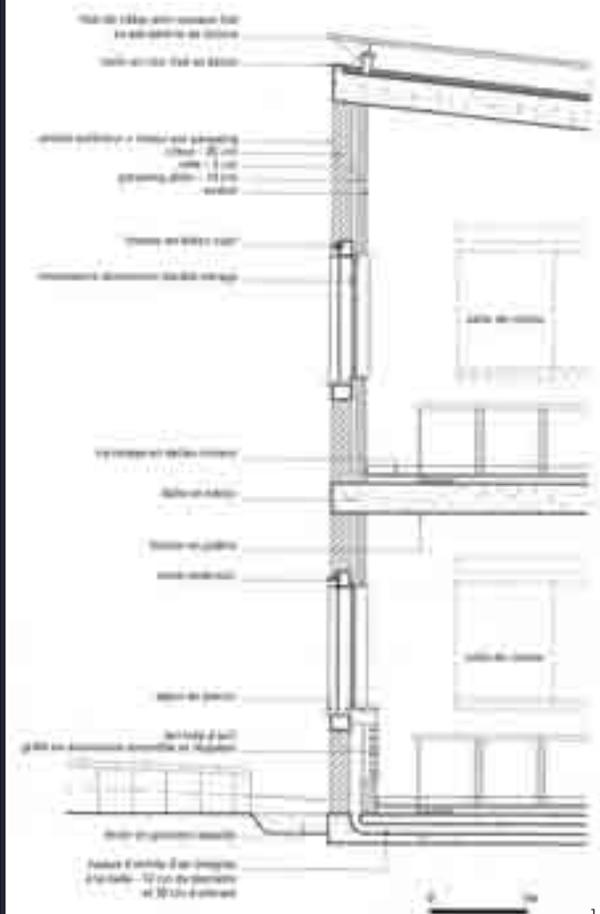
Bien protégée. La double toiture de couleur blanche réduit les surchauffes.

Toiture à une pente, avec pente vers le sud-est. La pente vers le sud-est permet de réduire l'incidence des rayons du soleil.

### Compartimentation

Les parties du bâtiment rafraîchies passivement ne sont pas compartimentées. Chaque classe est un pavillon rafraîchi par sa cheminée.

Les locaux open-espace permettent un bon passage de l'air et facilitent le rafraîchissement.



14 (2)



15 (8)



17 (10)



### Protection solaire

Au sud les bâtiments sont munis d'une casquette de protection. Les patios au sud-ouest sont très serrés pour empêcher le rayonnement direct du soleil et ils sont munis d'un store qui peut couvrir et ombrager le patio. La végétation du patio, permet de créer des espaces frais, qui fournissent de l'air pour la ventilation des classes.

Les protections solaires sont efficaces et bien étudiées. La seule remarque est la nécessité d'entretien continu des stores. Si l'école veut faire des économies sur l'entretien des stores, les patios ne seront plus ombragés et tout le système pourrait ne plus fonctionner.

A remarquer la double toiture avec vide d'air de 25 cm.

### Surfaces vitrées

La position des fenêtres et leurs tailles sont étudiées pour garantir un bon éclairage naturel. De plus, les fenêtres font partie du système de ventilation. Les fenêtres plus grandes sont ouvertes vers l'est, vers les patios, et elles sont protégées du rayonnement direct par l'ombre des arbres et par les toiles tendues qui protègent le patio en été. Les fenêtres à l'ouest sont plus petites et sont en hauteur pour participer à l'extraction de l'air chaud.

Les enduits blancs garantissent une bonne réflexion de la lumière contribuant à avoir un bon éclairage naturel dans l'immeuble.

Taux de vitrage actif :  $0.34 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0.15 \text{ m}^2/\text{m}^2$



### Surfaces opaques

Les murs ont été réalisés avec des matériaux facilement repérables sur le marché local. L'objectif était d'exposer la masse thermique du bâtiment au système de ventilation continue. Les murs sont ainsi composés de l'extérieur à l'intérieur : enduit extérieur + chaux, de parpaings creux de 20 cm, un vide d'air de 5 cm, des parpaings pleins de 10 cm et l'enduit intérieur. Le seul point négatif qui ressort est l'absence d'isolation thermique qui aurait pu améliorer le confort en particulier le confort d'hiver.



### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Les ouvrants manuels fonctionnent bien et sont cohérents avec l'objectif de créer un bâtiment simple et « pédagogique ». Le seul problème du système est qu'en cas de fort vent et pluie les ouvrants ne se ferment pas automatiquement et que si les professeurs et les étudiants en sortant de l'école oublient de régler la position des ouvrants le système de VNC le jour suivant pourra difficilement garantir l'état de confort.

## État actuel et condition d'utilisation

Nous n'avons pas trouvé beaucoup de retour sur le fonctionnement du bâtiment. Les seules informations des usagers que nous ayons trouvées sont assez négatives, mais n'ayant pas un caractère scientifique nous pouvons seulement les considérer comme indicatives.

Cela dit, il apparaît que ce type de bâtiment pourrait avoir des problèmes dans l'usage courant. Ces problèmes ont été soulevés tout le long de la description.

La chose la plus importante qui caractérise cette construction est le système de contrôle du rafraîchissement passif. Tout le fonctionnement du bâtiment dépend de la volonté des usagers. Ce choix mené par l'architecte est courageux, mais comporte des risques. De plus, si les usagers ne sont pas préparés adéquatement il sera difficile qu'ils puissent manœuvrer de manière efficace les ouvrants pour la ventilation continue et la ventilation nocturne.

### Analyse architecturale

Les Ateliers Lion, architectes de l'opération, ont décidé de s'inspirer de la tradition constructive en méditerranée. Les cheminées solaires nous renvoient vers les Bagdirs iraniens et garantissent une circulation de l'air continue. La couleur blanche, au delà des qualités bioclimatiques, nous fait immédiatement penser à l'architecture méditerranéenne.

L'ensemble se présente comme une alternance de pavillons de deux niveaux et des patios, ceci permet aux classes d'avoir un rapport presque privatif avec leurs patios. Les patios ont été plantés avec des essences adaptées au climat aride local et l'objectif est de créer un «territoire de l'abondance» (2).

Le système de ventilation a un objectif pédagogique et demande la participation active des élèves et des enseignants qui doivent manipuler les grilles d'amené d'air et d'extraction pour garantir le confort thermique. Naturellement les cheminées solaires sont mises en valeur dans les choix architecturaux. Leur «objectif pédagogique» est explicité et souligné dans l'architecture même.

Les systèmes de distribution, des galeries non fermées, couvertes, soulignent encore une fois la volonté des architectes de donner un aspect pavillonnaire éparse à l'ensemble.

Seule la « place centrale » (la cour de récréation) est en contraste avec les petits espaces intra-pavillons. Son langage architectural nous rappelle les « forums », ou la cour d'une grande mosquée. Les lycées français à l'étranger ont une fonction pédagogique, mais doivent aussi représenter la France, à travers leur architecture et la qualité des enseignements. Ils sont des lieux où les expatriés et les usagers locaux doivent se sentir en France. Les Ateliers Lion ont donné une réponse à ces cahiers des charges, tout en réalisant une architecture issue de la tradition constructive locale et adaptée au site.

Le niveau de prégnance des systèmes de rafraîchissement pour ce bâtiment est 3.

La position des tours est optimale par rapport aux nécessités de rafraîchissement. L'architecte a signalé leur présence par la couleur, le type d'ouverture, etc., mais il a gardé leur position et leur emplacement optimal.



## Aspects positifs et leçons à retenir



Le bâtiment est bien conçu et les systèmes de rafraîchissement sont simples et efficaces. L'idée de donner aux usagers la 'responsabilité' de leur confort thermique est intéressante, d'autant plus dans un bâtiment scolaire. L'objectif 'pédagogique' de l'architecte est déclaré et lisible dans l'architecture même. Naturellement, si les usagers ne participent pas au bon usage des ouvrants pour le rafraîchissement, le système bâtiment ne permettra pas de garantir le confort thermique.

Aspects les plus importants :

Les tours de rafraîchissement exploitent la masse thermique du sol, cela est très utile, en particulier si les tours ont une fonction de ventilation nocturne. Le stockage de frigorifiques nocturnes est très utile, surtout dans le climat de Damas.

Les usagers sont invités à utiliser les ventelles d'ouverture et fermeture des cheminées de ventilation. L'architecte a prévu des pancartes explicatives dans chaque classe, pour aider les usagers à utiliser de manière adaptée les systèmes de rafraîchissement.

La double toiture ventilée est un élément très efficace pour réduire les apports solaires.

Les petits patios verdoyants, quand les plantations seront plus grandes, pourront contribuer efficacement au rafraîchissement passif des classes.



## Aspects négatifs et leçons à retenir

Le bâtiment est globalement bien conçu, mais il reste des points importants qui peuvent conduire à un mauvais fonctionnement du système bâtiment. La faiblesse principale est due à la morphologie de l'ensemble pavillonnaire. Les petits pavillons ont un coefficient de forme très négatif. De plus, les usagers pour tout déplacement en été, comme en hiver, devront passer par l'extérieur. Cela est naturellement une cause d'inconfort, en particulier pour les plus petits. N'oublions pas que le climat de Damas en hiver est assez froid. Un autre point faible, particulièrement important, est l'absence d'isolation thermique sur les murs extérieurs. L'absence d'isolation thermique peut porter des situations d'inconfort et réduire l'efficacité de tout le système. Non seulement en hiver, mais aussi en été une isolation thermique efficace aurait permis d'améliorer le comportement thermique du système bâtiment. Dans les aspects négatifs, nous devons citer aussi le système de contrôle. Il est vrai que nous venons d'insérer ce système de contrôle dans les aspects positifs, mais il faut néanmoins mettre en évidence les risques dus à ce système de contrôle. En particulier sans un contrôle automatique en cas de forte pluie ou vent après la fermeture des classes les ventelles resteront ouvertes et cela pourrait amener des problèmes. De plus, si les usagers ne suivent pas les consignes données par l'architecte le système bâtiment ne pourra pas garantir le confort thermique.

Aspects les plus importants :

L'ensemble pavillonnaire comporte une grande exposition de surfaces aux agents extérieurs, cela peut mettre en difficulté les systèmes aptes à garantir le confort thermique des usagers.

Absence d'isolation thermique dans les murs. Ce choix est difficilement justifiable, en particulier dans le climat de Damas.

Nous avons des doutes sur la durabilité des stores extérieurs qui servent de protections solaires des façades et des patios. Damas n'est pas sujette à de nombreuses heures de vents forts, néanmoins les vents du sud/sud-ouest peuvent être violents. Si les stores étaient abîmés, toute la protection solaire des patios serait compromise.

Le système de contrôle manuel peut causer des problèmes. La grande cour de récréation ne nous semble pas assez ombragée et avec son aspect très 'minéral' elle est difficilement utilisable dans les mois les plus chauds.



## Bibliographie

---

- 02 KM 817 Lycée Charles de Gaulle [En ligne] // Ateliers Lion. - 20 03 2010. - 20 03 2010. - [http://www.atelierslion.com/ateliers\\_lion.swf](http://www.atelierslion.com/ateliers_lion.swf).
- Architopik LYCÉE CHARLES DE GAULLE [En ligne] // Architopik. - GROUPE MONITEUR, 18 06 2010. - 21 11 2011. - [http://architopik.lemoniteur.fr/index.php/realisation-architecture/lycee\\_charles\\_de\\_gaulle/2530](http://architopik.lemoniteur.fr/index.php/realisation-architecture/lycee_charles_de_gaulle/2530).
- Ateliers Lion Damas [En ligne] // ATELIERS LION ASSOCIES. - 09 12 2011. - 09 12 2011. - <http://www.atelierslion.com>.
- Bouchair A Building Services Engineering Research and Technology [En ligne] // <http://bse.sagepub.com>. - SAGE, 01 01 1994. - 20 10 2011. - <http://bse.sagepub.com/content/15/2/81.full.pdf>. - DOI: 10.1177/014362449401500203.
- Dominique GAUZIN-MÜLLER strategie climatique en milieu aride [Article] // EcologiK / éd. Vivre Architectures à. - 04/05 2009. - Architectures à Vivre. - 08. - pp. 72-81.
- Elgendy Karim A Damascus School Revives Traditional Cooling Techniques [En ligne] // carboun.com. - Carboun, 24 05 2010. - 21 10 2011. - <http://www.carboun.com/sustainable-development/sustainable-design/a-damascus-school-revives-traditional-cooling-techniques/>.
- Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr/maps?q=12.975795,+77.47640&ie=UTF8&hl=fr&t=h&z=16>.
- L'EXPRESS Sarkozy inaugure le Lycée Charles de Gaulle à Damas [En ligne] // L'EXPRESS. - L'EXPRESS.fr, 04 09 2008. - 13 10 2011. - [http://www.lexpress.fr/culture/architecture-patrimoine/architecture/sarkozy-inaugure-le-lycee-charles-de-gaulle-a-damas\\_559097.html](http://www.lexpress.fr/culture/architecture-patrimoine/architecture/sarkozy-inaugure-le-lycee-charles-de-gaulle-a-damas_559097.html).
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- Saget Maud TOUT SAVOIR SUR LE GRAND PRIX AFEX 2010 [En ligne] // Le Moniteur.fr. - Le Moniteur, 19 08 2010. - 15 11 2011. - <http://www.lemoniteur.fr/157-realizations/article-dossier-actualites/743208-prix-de-l-afex-a-la-decouverte-de-l-architecture-francaise-dans-le-monde-le-lycee-francais-de-damas->.
- Souria Event's Page [En ligne] // Souria.com. - Souria Online, 2011. - 09 12 2011. - [http://www.souria.com/em/sn/social\\_ph.asp?pi=4&pn=4&ev=626](http://www.souria.com/em/sn/social_ph.asp?pi=4&pn=4&ev=626).
- U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
- Wikipedia Damascus [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 18 04 2011. - 25 04 2011. - <http://en.wikipedia.org/wiki/Damascus>.

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [En ligne] Google, 2011. [Citation : 10 04 2011.] <http://maps.google.fr/maps?q=12.975795,+77.47640&ie=UTF8&hl=fr&t=h&z=16>.
2. Dominique, GAUZIN-MÜLLER. strategie climatique en milieu aride. [éd.] Architectures à Vivre. EcologiK. Architectures à Vivre, 04/05 2009, 08, pp. 72-81.
3. 02 KM 817. Lycée Charles de Gaulle. Ateliers Lion. [En ligne] 20 03 2010. [Citation : 20 03 2010.] [http://www.atelierslion.com/ateliers\\_lion.swf](http://www.atelierslion.com/ateliers_lion.swf).
4. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
5. Ateliers Lion. Damas. ATELIERS LION ASSOCIES. [En ligne] 09 12 2011. [Citation : 09 12 2011.] <http://www.atelierslion.com>.
6. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [En ligne] 11 03 2011. [Citation : 25 01 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
7. L'EXPRESS. Sarkozy inaugure le Lycée Charles de Gaulle à Damas. L'EXPRESS. [En ligne] L'EXPRESS.fr, 04 09 2008. [Citation : 13 10 2011.] [http://www.lexpress.fr/culture/architecture-patrimoine/architecture/sarkozy-inaugure-le-lycee-charles-de-gaulle-a-damas\\_559097.html](http://www.lexpress.fr/culture/architecture-patrimoine/architecture/sarkozy-inaugure-le-lycee-charles-de-gaulle-a-damas_559097.html).
8. Saget, Maud. TOUT SAVOIR SUR LE GRAND PRIX AFEX 2010. Le Moniteur.fr. [En ligne] Le Moniteur, 19 08 2010. [Citation : 15 11 2011.] <http://www.lemoniteur.fr/157-realizations/article-dossier-actualites/743208-prix-de-l-afex-a-la-decouverte-de-l-architecture-francaise-dans-le-monde-le-lycee-francais-de-damas->.
9. Bouchair, A. Building Services Engineering Research and Technology. <http://bse.sagepub.com>. [En ligne] 01 01 1994. [Citation : 20 10 2011.] <http://bse.sagepub.com/content/15/2/81.full.pdf>. DOI: 10.1177/014362449401500203.
10. Architopik. LYCÉE CHARLES DE GAULLE. Architopik. [En ligne] GROUPE MONITEUR, 18 06 2010. [Citation : 21 11 2011.] [http://architopik.lemoniteur.fr/index.php/realisation-architecture/lycee\\_charles\\_de\\_gaulle/2530](http://architopik.lemoniteur.fr/index.php/realisation-architecture/lycee_charles_de_gaulle/2530).
11. Souria. Event's Page. Souria.com. [En ligne] Souria Online, 2011. [Citation : 09 12 2011.] [http://www.souria.com/em/sn/social\\_ph.asp?pi=4&pn=4&ev=626](http://www.souria.com/em/sn/social_ph.asp?pi=4&pn=4&ev=626).
12. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Sandra Day O'connor Fédéral Courthouse, Phoenix, Arizona

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par l'architecte Richard MEIER.  
 Le palais de justice représente l'un des symboles de la démocratie américaine. Il abrite les lieux de jugement et des bureaux et il doit accueillir le public. L'entrée se situe sur la façade Est. Une fois à l'intérieur, on se trouve dans une énorme place couverte et vitrée de 107mX46m. Au fond de cet espace on peut reconnaître immédiatement la salle de jugement et sur la gauche on voit tous les bureaux qui participent au fonctionnement du palais de justice.  
 Le seul espace rafraîchi passivement est la grande place couverte qui a fonction d'accueil du public, et qui est vitrée sur tous les côtés, toiture comprise. Les espaces voisins profitent du très bon éclairage de cet espace, par contre les apports thermiques dûs aux parois vitrées sont énormes. L'atrium/place couverte est rafraîchi avec un système de rafraîchissement évaporatif. Le rafraîchissement évaporatif s'adapte parfaitement au climat local, car il est rendu très performant par l'humidité relative très basse. Le problème est l'approvisionnement en eau dans le désert. La consommation d'eau de l'immeuble est très élevée.

Latitude N 33.44809, Longitude -112.080605



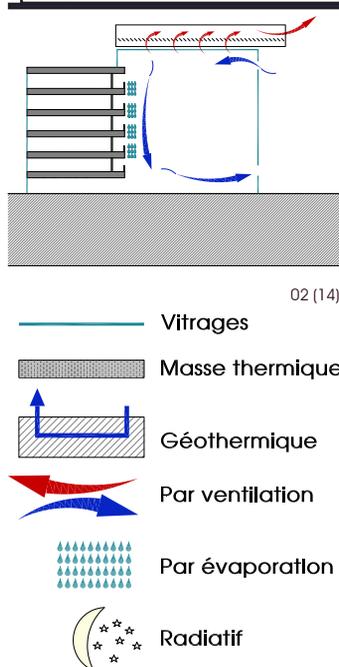
### Données climatiques de la zone

Le climat de la ville de Phoenix est très chaud et sec en été. La ville a le record de 32 jours, dans le même été, avec des températures supérieures à 43°C. La moyenne des maximales pour le mois de juillet est de 44,9°C. La ville compte 325 jours de soleil par an et seulement 194 mm de pluie annuelle(2)(3). DJU hiver = 760,96, DJU été = 2082,25

### Groupe analytique

|  |  |                                    |                    |   |
|--|--|------------------------------------|--------------------|---|
| Compacte<br>(Morphologie)                              | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Court de justice<br>(Usage)        | 2000<br>(Datation) | Intégrés niveau 1<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 46.500 - 375.635<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 80m p;130m l;34m h<br>(Dimensions) |                    | Evaporatif direct<br>(Stratégie de rafraîchissement)              |

### Logo synthétique



### Formes du type



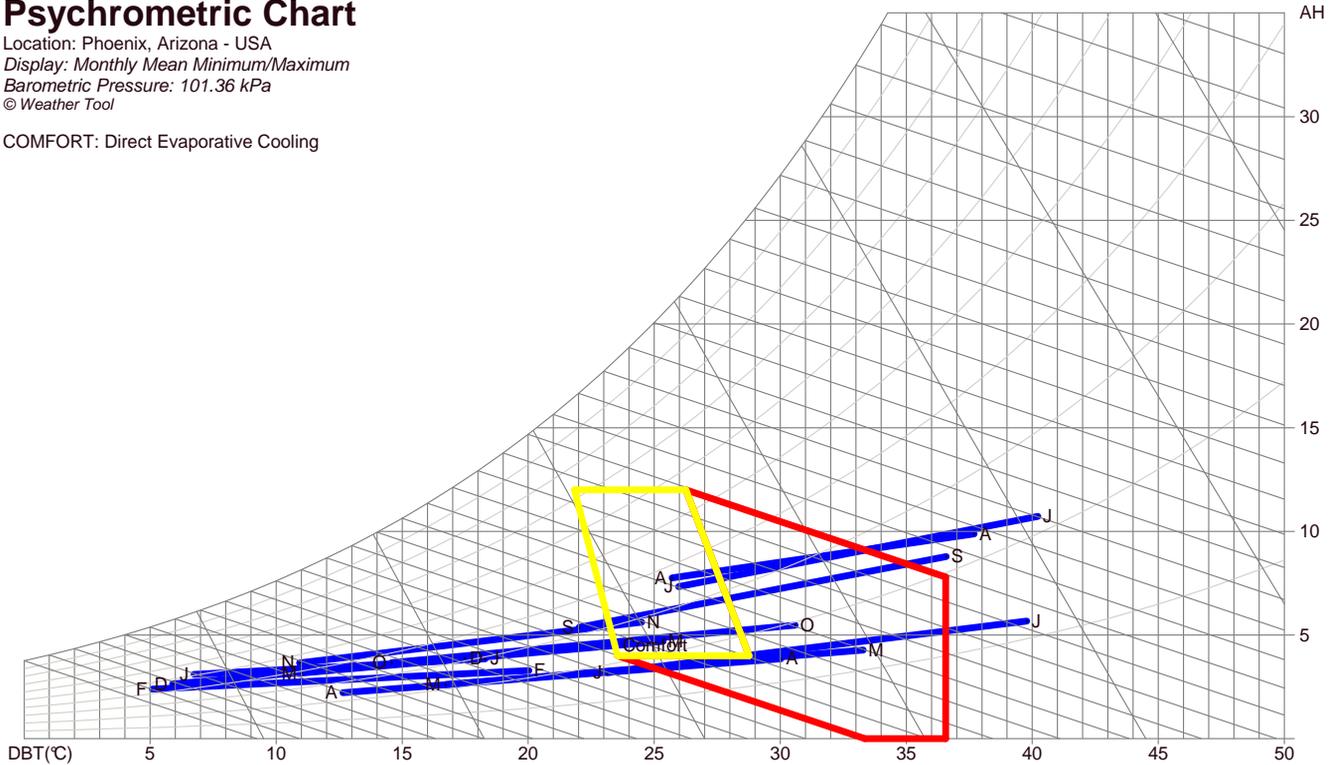
Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

**Psychrometric Chart**

Location: Phoenix, Arizona - USA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

COMFORT: Direct Evaporative Cooling



Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (évacratif direct), pour rafraîchir l'atrium, n'est pas suffisant pour garantir le confort thermique des usagers, même s'il s'adapte au climat sec du site. De plus, nous nous posons la question 'éthique' de l'utilisation d'un système de rafraîchissement très demandeur en eau, pour rafraîchir un atrium si grand et vitré, dans une zone désertique. La consommation d'eau de l'immeuble est très élevée. Le système utilise en une journée standard environ 13 000 L d'eau et en moyenne, pendant les 6 mois d'utilisation, 6000 L/Jour. Tout cela sans avoir prévu la récupération des eaux de pluie.

Nous pouvons voir ci-dessous sur l'analyse climatique faite grâce à Echotec que le système évaporatif direct ne suffit jamais à garantir le confort des usagers.

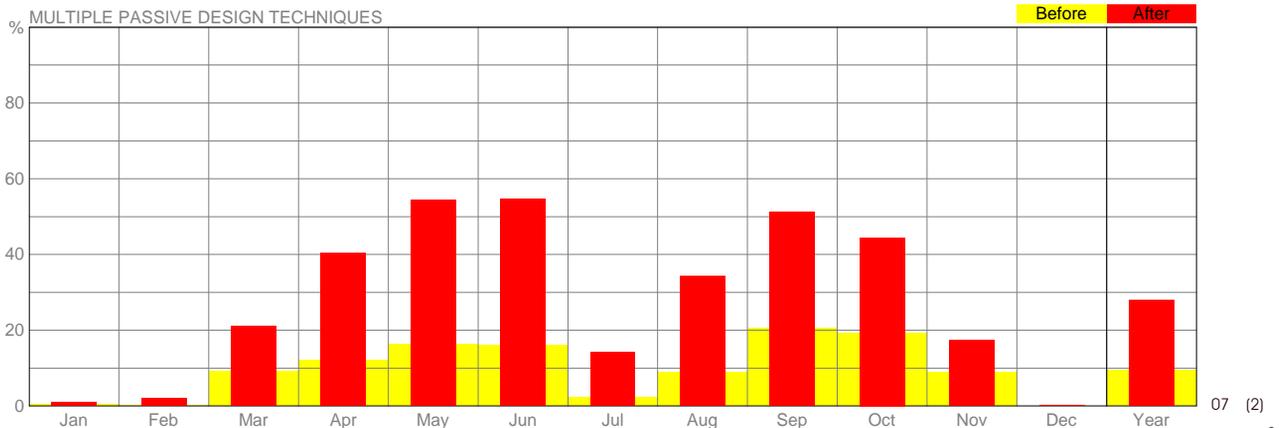
De plus, avec les apports dus aux parois vitrées, cela sera encore plus difficile pour un système passif.

**Comfort Percentages**

NAME: Phoenix  
 LOCATION: Arizona - USA  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 33.5°, -112.0°  
 © Weather Tool

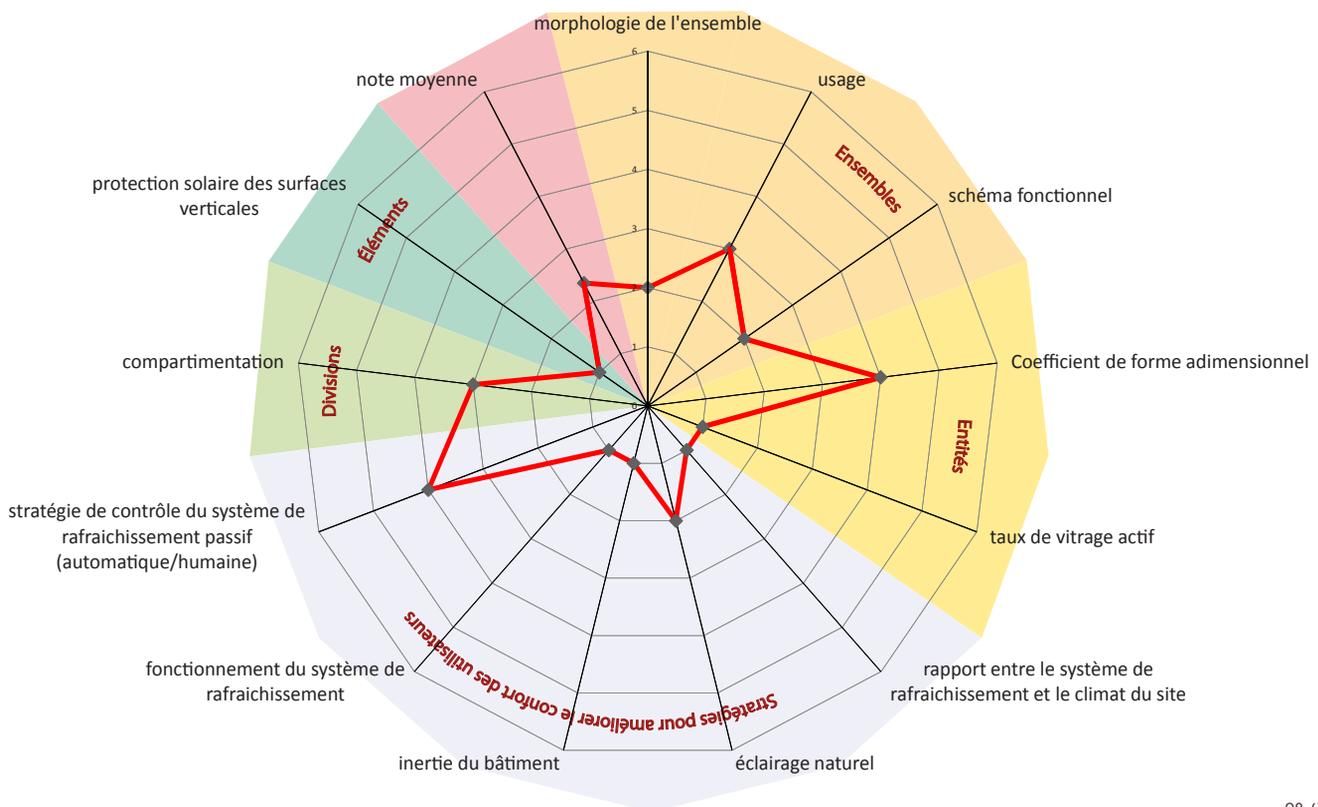
SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

- 1. direct evaporative cooling



## Graphe synthétique des dispositifs critiques

Sandra Day O'Connor Fédéral Courthouse, Phoenix, Arizona



08 (14)

Ce bâtiment pourrait faire partie des exemples à ne pas suivre. Le bâtiment se trouve en plein désert et l'architecture n'a pas du tout été étudiée avec le climat du site.

Une fois le projet réalisé l'architecte s'est demandé comment faire pour climatiser la grande place couverte complètement vitrée. Bien sûr pour réduire la température, il a choisi un système plus performant, par rapport au climat du site, mais les concepteurs ne se sont pas questionnés sur la consommation en eau de ce type de système de rafraîchissement, surtout dans une zone désertique.

C'est un exemple typique de projet non réfléchi de manière «bioclimatique» auquel a été «rajouté» un système de rafraîchissement passif, inefficace, pour pouvoir déclarer qu'on a réalisé un bâtiment écologique.

Le graphique montre que presque tous les dispositifs critiques ont des notes de 1 ou 2, sauf le coefficient de forme, la stratégie de contrôle et la compartimentation. En ce qui concerne le coefficient de forme et la compartimentation les notes sont positives, car il était difficile de faire mieux : Le bâtiment est énorme, très compact et la partie rafraîchie n'est pas compartimentée, mais le grand volume est presque complètement inutilisé.

La stratégie de contrôle est automatique, très complexe et bien adaptée à ce type de bâtiment et à son usage. Il s'agit d'une démonstration ultérieure que l'investissement économique pour ce bâtiment a été important, mais que l'objectif n'était pas de créer un bâtiment low carbon.

# Analyse systémique

## Implantation

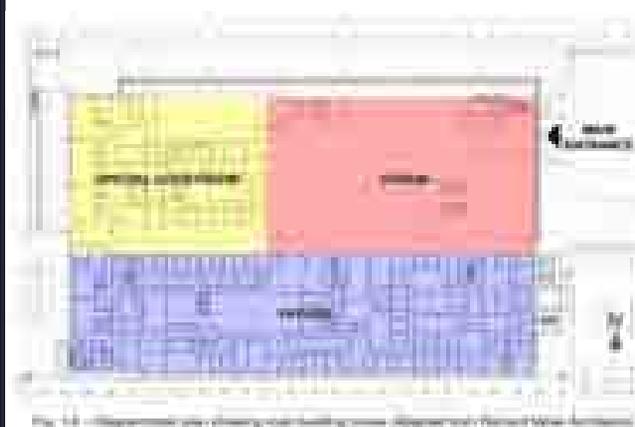
Le bâtiment se trouve à Phoenix au nord du désert Sonoran, une zone extrêmement chaude et sèche. La ville a une morphologie typique des nouvelles villes du sud-ouest des USA. Les banlieues sont caractérisées par les maisons pavillonnaires et le centre-ville par une grande densité due aux buildings très élevés. Le système routier est de type orthogonal avec des voies très larges qui mènent au centre-ville. L'orientation respect les axes de la ville: parfaitement nord/sud.



09 (1)

## Usage

C'est le palais de justice fédéral des USA, qui représente l'un des symboles de la démocratie américaine. Il abrite les lieux de jugement et des bureaux et il doit accueillir le public. L'usage, avec une certaine élasticité, pourrait bien s'adapter aux systèmes de rafraîchissement passifs. Les grands bureaux publics pourraient être des lieux d'expérimentation et de promotion de ces systèmes de rafraîchissement. Mais il faut bien tenir compte des nécessités des usagers, sans oublier que ce type de bâtiment a des procédures fixes et souvent complexes concernant les opérations d'entretien. Il s'agit donc d'intégrer tous ces paramètres dans le choix du bon système de rafraîchissement

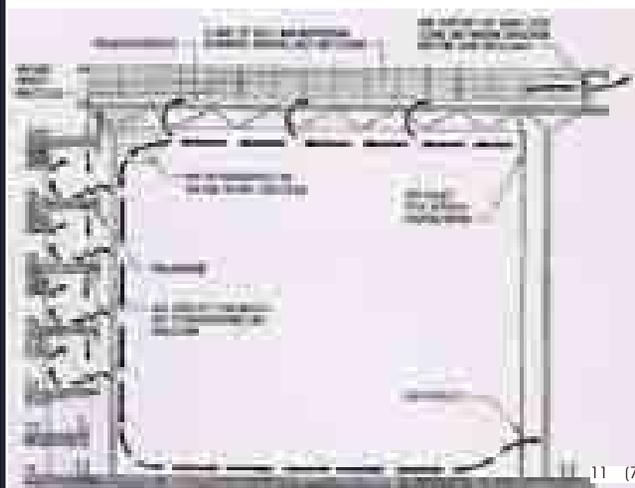


10 (5)

## Schéma fonctionnel

L'entrée se situe sur la façade Est. Une fois à l'intérieur, on se trouve dans une énorme place couverte et vitrée de 107mX46m. Au fond de cet espace on peut reconnaître la salle de jugement et sur la gauche on voit tous les bureaux qui participent au fonctionnement du palais de justice. Le seul espace rafraîchi passivement est la grande place couverte qui a fonction d'accueil du public.

La grande place vitrée crée un lieu très représentatif, mais est sujette à des apports solaires énormes. Ce grand volume de distribution favorise les systèmes de rafraîchissement passifs, mais dans le cas du palais de justice de l'architecte Richard Meier, il est disproportionné par rapport aux fonctions et difficile à rafraîchir.



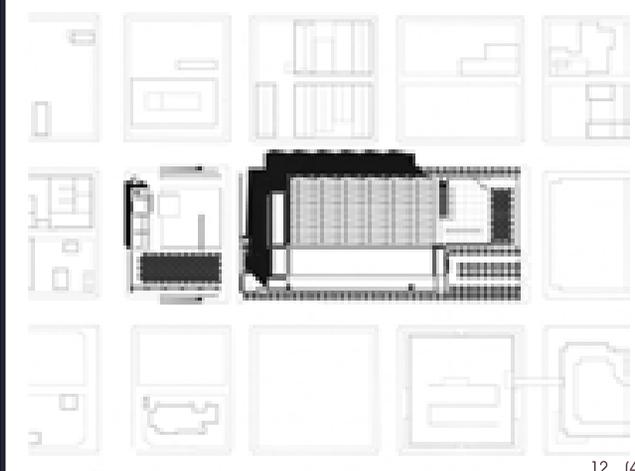
11 (7)

## Morphologie du bâtiment

Le bâtiment est en forme de parallélépipède.  
Surface: 46.500 m<sup>2</sup>  
Volume: 375.653 m<sup>3</sup>  
Coefficient de forme adimensionnel : 4,80  
taux de vitrage actif : 2,43 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
Rapport S vitrées/S opaques : 9,50 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

La morphologie du bâtiment est compacte, mais le volume couvert n'est pas vraiment exploité. La grande place centrale constitue un espace de filtre et de représentation, mais les grandes parois vitrées créent des apports de chaleur importants, obligeant l'architecte à rafraîchir et chauffer un volume énorme mais pas vraiment utilisé.

Le rapport surface vitrée / surface opaque est de 9,50 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, trop élevé. Les énormes surfaces vitrées rendent inutiles toutes stratégies bioclimatiques adoptables par l'architecte.



12 (4)

Ensembles

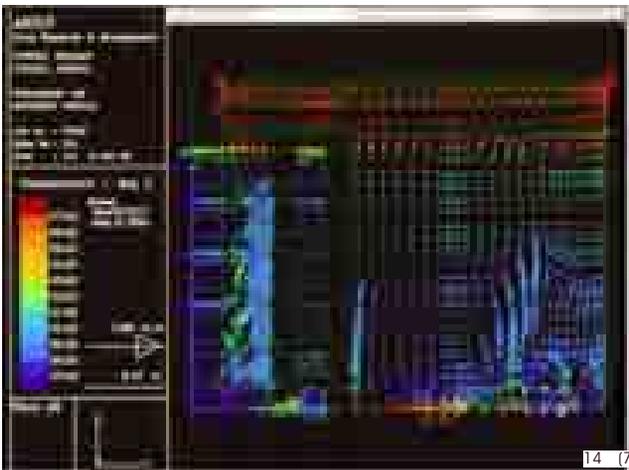
Entités



13 (4)

### Éclairage naturel

La grande place couverte est vitrée sur tous les côtés, toiture comprise. Les espaces voisins profitent de ce très bon éclairage. Le reste de l'immeuble est éclairé de manière classique et les couloirs entre les bureaux le sont artificiellement. L'un des objectifs de l'architecte était d'utiliser au maximum la lumière du jour. La grande place couverte est presque complètement vitrée et les espaces voisins profitent d'une très bonne distribution de la lumière. La lumière zénithale a dans ce cadre une fonction «symbolique». Le problème est que les énormes parois vitrées comportent des apports thermiques trop élevés. Pour contraster les apports thermiques, le système de rafraîchissement évaporatif n'est pas assez performant. De plus, par rapport aux énormes surfaces vitrées, le fait que les couloirs soient illuminés de manière traditionnelle est néanmoins un mauvais signe.



14 (7)

### Système de rafraîchissement

L'atrium/place couverte est rafraîchi par un système évaporatif, qui s'adapte au climat local, mais ne suffit pas. L'humidité relative très basse rend le système évaporatif très performant. Le problème est l'approvisionnement en eau dans le désert. La consommation d'eau de l'immeuble est très élevée. Le système utilise en une journée standard environ 13 000 L d'eau, et en moyenne, pendant les 6 mois d'utilisation, 6000 L/Jour. Tout cela sans avoir prévu la récupération des eaux de pluie.

### Fonctionnement du système de rafraîchissement



15 (7)

L'installation fonctionne avec de l'eau à haute pression (89bar). L'eau est filtrée dans une centrale de purification pour enlever le calcaire qui pourrait bloquer les brumisateurs, positionnés sur les garde-corps des six étages de coursives donnant sur l'atrium. L'air chaud et sec entre par les ouvertures en partie haute de l'atrium. Les brumisateurs provoquent une dépression qui mène l'air vers la partie basse de la place couverte. L'air ressort par les ouvertures réalisées dans la partie basse de la place couverte. Le système est complètement automatisé et relié à la centrale de contrôle.

Les systèmes à haute pression demandent une grande quantité d'eau. Dans le cas du bâtiment de Phoenix le réservoir de 1135L n'était pas suffisant et on a dû installer un deuxième système de filtrage. De plus, les filtres doivent être changés chaque année et la centrale de purification de l'eau doit être entretenue régulièrement.

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif



16 (7)

Le système de rafraîchissement évaporatif est relié à une centrale de contrôle de la température et de l'humidité qui active et désactive les brumisateurs selon les nécessités.

Le fonctionnement du système est optimal par rapport au type d'utilisation du bâtiment. Le problème dans cette réalisation est que le système n'a pas été pensé dans l'ensemble du projet architectural. En particulier les grandes parois vitrées comportent des apports thermiques trop importants par rapport aux capacités de rafraîchissement du système évaporatif.

## Analyse systémique

### Inertie du bâtiment

Les concepts de rafraîchissement passif ont été introduits tardivement dans la phase de projet et n'apparaissent nulle part les choix faits par l'architecte pour améliorer l'inertie du bâtiment.



17 (4)

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Les parois sont complètement vitrées, réalisées en « Ceramic-fritted glass » (un verre avec insertion de céramique pour réduire les apports solaires) et en verres à basse émissivité.



18 (8)

### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Toiture vitrée



19 (8)

### Compartimentation

Les parties du bâtiment rafraîchies passivement ne sont pas compartimentées.

La grande place couverte est le seul espace rafraîchi passivement.

Le bâtiment s'adapterait bien au rafraîchissement passif, mais les dimensions (plus de 100 m de longueur), couleurs, la lumière et la température en rendent l'usage désagréable. (Coleman, 2008)



20 (4)



### Protection solaire

Toiture vitrée et rideaux intérieurs pour réduire les apports solaires. De plus, les vitres basse émissivité et les châssis devraient contribuer à réduire la radiation solaire directe, mais ces protections sont insuffisantes pour réduire réellement les apports thermiques.



### Surfaces vitrées

Les parois vitrées ont été réalisées en « Ceramic-fritted glass », un verre avec insertion de céramique pour réduire les apports solaires et en verres basse émissivité.

Taux de vitrage actif :  $2,43 \text{ m}^2/\text{m}^2$   
Rapport S vitrées/S opaques :  $9,50 \text{ m}^2/\text{m}^2$   
La quantité des surfaces vitrées est énorme.



### Surfaces opaques

Absence dans la zone rafraîchie passivement



### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Présents et automatiques.

## État actuel et condition d'utilisation

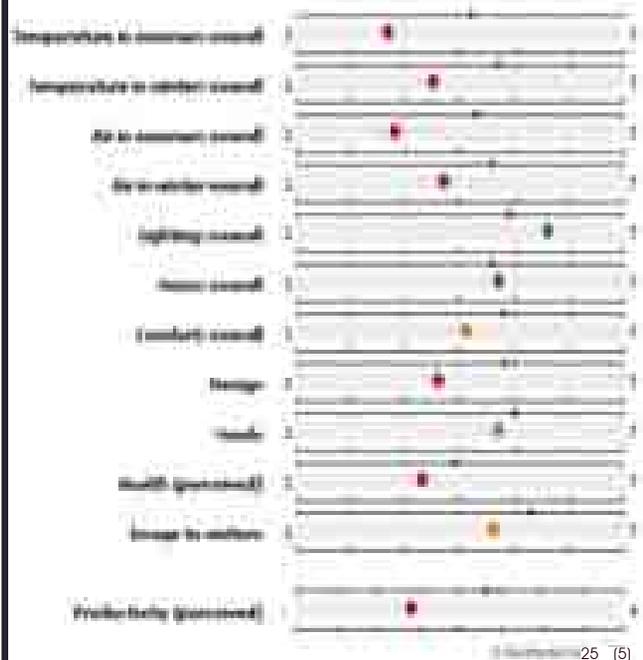
Les analyses sur l'évaluation des usagers et le comportement reflètent nos observations.

Les usagers trouvent que la température de l'air est trop élevée et qu'elle change trop pendant la journée. L'atrium est perçu comme trop grand. « L'espace aurait pu être utilisé de manière plus utile, pour des parkings ou des bureaux » (PHDC, 2009).

De plus, les usagers pensent que le design du bâtiment est intéressant, mais pas adapté au climat de Phoenix (FORD, et al., 2010).

Ces commentaires ne diffèrent pas de nos analyses précédentes: Le bâtiment n'est pas conçu de manière bioclimatique et les choix architecturaux vont à l'encontre du comportement thermique du système bâtiment.

Il faut aussi remarquer que l'atrium central rejoint des températures très élevées, mais les bureaux sont climatisés de manière mécanique. Le passage entre les zones chaudes et les bureaux froids font l'objet de sensations d'inconfort encore plus intenses.



## Analyse architecturale

Le bâtiment se présente sous une veste contemporaine. Le projet de l'architecte R. MEIER est riche en symboles: les transparences, la grande place au fond de laquelle on trouve le tribunal fédéral, l'illumination zénithale, etc.

Tous les choix architecturaux visent à créer un espace suggestif, qui peut représenter de manière appropriée une de trois branches du gouvernement des USA.

La lumière joue un rôle fondamental dans la scénographie recherchée par l'architecte. La « place centrale » ou atrium est orientée vers la ville.

Le journaliste Ron Coleman (Coleman, 2008) a prononcé des fortes critiques sur ce projet. D'une part, il regarde sévèrement le choix de créer une grande « serre » dans une ville en plein désert. D'autre part, Coleman critique l'énorme coût d'un bâtiment qu'il définit « arrogant » par ses symbolismes et son esthétique.

Il nous semble évident que les choix architecturaux ont été faits au détriment du comportement bioclimatique du bâtiment. Les systèmes de rafraîchissement semblent rajoutés pour résoudre les énormes problèmes thermiques de l'atrium, sans vraiment pouvoir apporter une solution.

Les systèmes de rafraîchissement ont été « dissimulés » dans les balustrades des couloirs qui desservent les bureaux.

Dans son ensemble la Sandra Day O'Connor Courthouse n'est pas un bâtiment conçu pour être rafraîchi passivement.



## Aspects positifs et leçons à retenir



Si nous pensons le bâtiment comme un système complexe apte à garantir le confort thermique des usagers, il est difficile de mettre en évidence dans ce bâtiment des aspects vraiment positifs.

Nous pouvons tout de même imaginer que si cet espace d'environ 175 000 m<sup>3</sup> n'avait pas été rafraîchi passivement il aurait dû être rafraîchi en totalité mécaniquement, avec des coûts énergétiques énormes.

Les solutions adoptées sont techniquement très performantes, le système de contrôle, le traitement de l'eau, etc. pourraient être des « exemples », mais selon nous ne représentent que des mauvaises solutions à un « mauvais projet ». Les mêmes ressources auraient pu être utilisées pour réaliser un bâtiment bioclimatique.

De plus, un bâtiment rafraîchi passivement ainsi conçu peut aussi donner une mauvaise opinion sur les systèmes de rafraîchissement passifs.



## Aspects négatifs et leçons à retenir

Nous allons nous répéter : l'aspect négatif principal de ce bâtiment est que le projet n'est pas du tout adapté au climat du site. Les solutions « passives » adoptées pour résoudre ce problème, non seulement ne constituent pas une solution réelle, mais en plus elles ne sont pas du tout bénéfiques.

Le système de rafraîchissement choisi utilise en une journée standard environ 13 000 L d'eau. La moyenne de consommation d'eau pendant les 6 mois d'utilisation est de 6000 L/Jour. Aucune prévision de récupération d'eau de pluie n'a été faite dans cette ville caractérisée par un climat désertique.



## Bibliographie

---

American institute of architects ArchitectureAwardGuide [En ligne] // aia-phoenixmetro. - AIA ARIZONA, 01 08 2011. - 10 12 2011. - <http://aia-phoenixmetro.org/wp-content/uploads/2009/09/ArchitectureAwardGuide.pdf>.

ARCSPACE Richard Meier & Partners United States Courthouse [En ligne] // ARCSpace. - ARCSpace, 01 09 2000. - 12 12 2011. - <http://www.arcspace.com/architects/meier/phoenix/index.html>.

Coleman Ron COOKING LAWYERS ALIVE [En ligne] // likelihood of success. - DAILYPRESS theme, 01 07 2008. - 13 12 2011. - <http://www.likelihoodofsuccess.com/2008/07/01/cooking-lawyers-alive/#more-1193>.

Coleman Ron O'Connor federal courthouse [En ligne] // flickr. - flickr, 05 05 2008. - 08 01 2012. - <http://www.flickr.com/photos/roncoleman/2470427183/in/photostream/lightbox/>.

Dibble T. [et al.] Moderns Couthouses and the New Green [En ligne] // American Institute Of Architects. - American Institute Of Architects, 01 11 2008. - 13 10 2010. - [http://aia.org/aiaucmp/groups/ek\\_public/documents/pdf/aiap072915.pdf](http://aia.org/aiaucmp/groups/ek_public/documents/pdf/aiap072915.pdf).

FORD Brian [et al.] The Architecture and Engineering of Downdraught Cooling: A Design Source Book [Livre]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.

Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.

Haskell Jack Sandra Day O'Connor United States Courthouse [En ligne] // flickr. - flickr, 19 06 2010. - 08 01 2012. - <http://www.flickr.com/photos/jhaskell/4715636566/>.

Heintges & Associates Sandra Day O'Connor Courthouse and Federal Building [En ligne] // Heintges . - R. A. Heintges & Associates. - 12 10 2011. - <http://www.heintges.com/project.php?id=sandra-oconnor-us-courthouse#>.

Lawton Claire Andrew Pielage's Sandra Day O'Connor Courthouse [En ligne] // Phoenix New Times. - Phoenix New Times, 07 7 2011. - 10 01 2012. - [http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2011/07/andrew\\_pielages\\_sandra\\_day\\_oco.php](http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2011/07/andrew_pielages_sandra_day_oco.php).

MANSAURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.

OpenBuildings United States Courthouse, Phoenix [En ligne] // OpenBuildings. - OpenBuildings. - 10 01 2012. - <http://openbuildings.com/buildings/United-States-Courthouse2C-Phoenix-profile-1351>.

Pfeiffer Rohlk courthouse [En ligne] // myazbar. - State Bar of Arizona, 01 10 2000. - 12 05 2011. - <http://www.myazbar.org/AZAttorney/Archives/Oct00/courthouse.pdf>.

PHDC Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC\_Downdraught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 29 10 2009. - Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.

Richard MEIER & partners architects LLP [et al.] United States Courthouse, Phoenix [En ligne] // Richard MEIER & partners architects LLP. - Richard MEIER & partners architects LLP. - 05 12 2010. - <http://www.richardmeier.com/www/#/projects/architecture/location/n.-america/united-states/1/131/3/>.

Silverman Amy Sandra Day O'Connor Courthouse Slapped as a Space Waster [En ligne] // phoenix new times. - phoenix new times, 26 05 2012. - 08 01 2012. - [http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2010/05/sandra\\_day\\_oconnor\\_courthouse.php](http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2010/05/sandra_day_oconnor_courthouse.php).

Thayer Eric Jared Loughner Arraigned On 3 Counts Of Attempted Murder In Tucson Shootings [En ligne] // ZIMBIO. - Getty Images North America, 23 01 2011. - 08 01 2012. - [http://www.zimbio.com/pictures/QMLLtaoINBO/Jared+Loughner+Arraigned+3+Count+s+Attempted/-Rw1\\_g3ruqH](http://www.zimbio.com/pictures/QMLLtaoINBO/Jared+Loughner+Arraigned+3+Count+s+Attempted/-Rw1_g3ruqH).

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

Wikipedia Phoenix en [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 19 12 2011. - 04 01 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/Phoenix,\\_Arizona](http://en.wikipedia.org/wiki/Phoenix,_Arizona).

Wikipedia Phoenix fr [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 29 12 2011. - 04 01 2012. - [http://fr.wikipedia.org/wiki/Phoenix\\_\(Arizona\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Phoenix_(Arizona)).

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [En ligne] Google, 2011. [Citation : 10 04 2011.] <http://maps.google.fr>.
2. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [En ligne] 11 03 2011. [Citation : 25 01 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
3. Wikipedia. Phoenix fr. Wikipedia. [En ligne] Wikipedia, 29 12 2011. [Citation : 04 01 2012.] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Phoenix\\_\(Arizona\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Phoenix_(Arizona)).
4. Richard MEIER, & partners architects LLP, et al. United States Courthouse, Phoenix. Richard MEIER & partners architects LLP. [En ligne] Richard MEIER & partners architects LLP. [Citation : 05 12 2010.] <http://www.richardmeier.com/www/#/projects/architecture/location/n.-america/united-states/1/131/3/>.
5. PHDC. Cooling Without Air-Conditioning. 01\_02-PHDC\_Downdraught Cooling a Primer P47. [CD-ROM]. Bologna, Italie : s.n., 29 10 2009. Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. P10006183248.
6. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
7. Dibble, T., et al. Moderns Couthouses and the New Green. American Institute Of Architects. [En ligne] 01 11 2008. [Citation : 13 10 2010.] [http://aia.org/aiaucmp/groups/ek\\_public/documents/pdf/aiap072915.pdf](http://aia.org/aiaucmp/groups/ek_public/documents/pdf/aiap072915.pdf).
8. Heintges & Associates. Sandra Day O'Connor Courthouse and Federal Building. Heintges . [En ligne] [Citation : 12 10 2011.] <http://www.heintges.com/project.php?id=sandra-oconnor-us-courthouse#>.
9. Coleman, Ron. O'Connor federal courthouse. flickr. [En ligne] 05 05 2008. [Citation : 08 01 2012.] <http://www.flickr.com/photos/roncoleman/2470427183/in/photostream/lightbox/>.
10. Haskell, Jack. Sandra Day O'Connor United States Courthouse. flickr. [En ligne] 19 06 2010. [Citation : 08 01 2012.] <http://www.flickr.com/photos/jhaskell/4715636566/>.
11. Thayer, Eric. Jared Loughner Arraigned On 3 Counts Of Attempted Murder In Tucson Shootings. ZIMBIO. [En ligne] 23 01 2011. [Citation : 08 01 2012.] [http://www.zimbio.com/pictures/QMLLtaolNBO/Jared+Loughner+Arraigned+3+Counts+Attempted/-Rw1\\_g3ruqH](http://www.zimbio.com/pictures/QMLLtaolNBO/Jared+Loughner+Arraigned+3+Counts+Attempted/-Rw1_g3ruqH).
12. Silverman, Amy. Sandra Day O'Connor Courthouse Slapped as a Space Waster. phoenix new times. [En ligne] 26 05 2012. [Citation : 08 01 2012.] [http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2010/05/sandra\\_day\\_oconnor\\_courthouse.php](http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2010/05/sandra_day_oconnor_courthouse.php).
13. Coleman, Ron. COOKING LAWYERS ALIVE. likelihood of success. [En ligne] DAILYPRESS theme, 01 07 2008. [Citation : 13 12 2011.] <http://www.likelihoodofsuccess.com/2008/07/01/cooking-lawyers-alive/#more-1193>.
14. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Sohrabji Godrej Green building centre, Hyderabad, Inde

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par l'architecte Karan GROVER.  
 Le bâtiment est un centre qui regroupe la fédération des entreprises traitant de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables, de l'utilisation de l'eau...  
 Le bâtiment se trouve dans la périphérie Nord-Ouest de la ville d'Hyderabad sur une grande parcelle entourée d'un jardin tropical verdoyant et de bassins d'eau. Le bâtiment a une forme circulaire avec un patio central.  
 Le bâtiment est rafraîchi soit mécaniquement, soit semi-passivement avec des tours évaporatives qui réduisent la température de l'air, soit simplement passivement par évaporation directe. Le rafraîchissement du bâtiment n'est pas «passif», mais la partie passive évaporative a une fonction de support à la partie mécanique.  
 Le climat du site est trop sévère pour espérer que les seuls systèmes passifs puissent garantir le confort des usagers pendant toute l'année. L'approche de l'architecte est de type pragmatique et il cherche à construire un bâtiment très performant. Le résultat est un bâtiment bien dessiné, qui garantit le confort des usagers.

Latitude N 17.4567417, Longitude 78.3737183



01 (1)

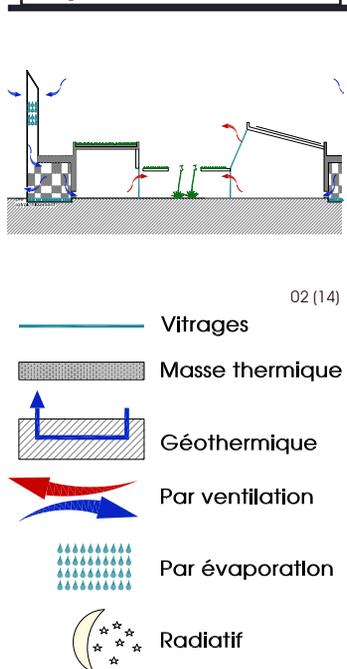
### Données climatiques de la zone

Le climat du site est de type tropical, caractérisé par une période très sèche et par une période de moussons avec des précipitations qui dépassent les 100 mm mensuels. Les températures moyennes sont élevées et ne descendent jamais en dessous de 18°C. Pendant le mois de mai les températures moyennes maximales sont très proches de 40°C . DJU hiver = 20,04, DJU été = 2376,75

### Groupe analytique

|   |  |                                     |  |   |
|---|--|-------------------------------------|--|---|
| Semi-compacte<br>(Morphologie)                      | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Green Business Centre<br>(Usage)    | 2004<br>(Datation)                     | Visibles niveau 4<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 1.400 - 7.500<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 49m diamètre; 15m h<br>(Dimensions) | Evaporatif directe/indirecte/mécanique | (Stratégie de rafraîchissement)                                   |

### Logo synthétique



### Formes du type

Logo typo/topologique

06 (4) Structures d'éloignement

Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

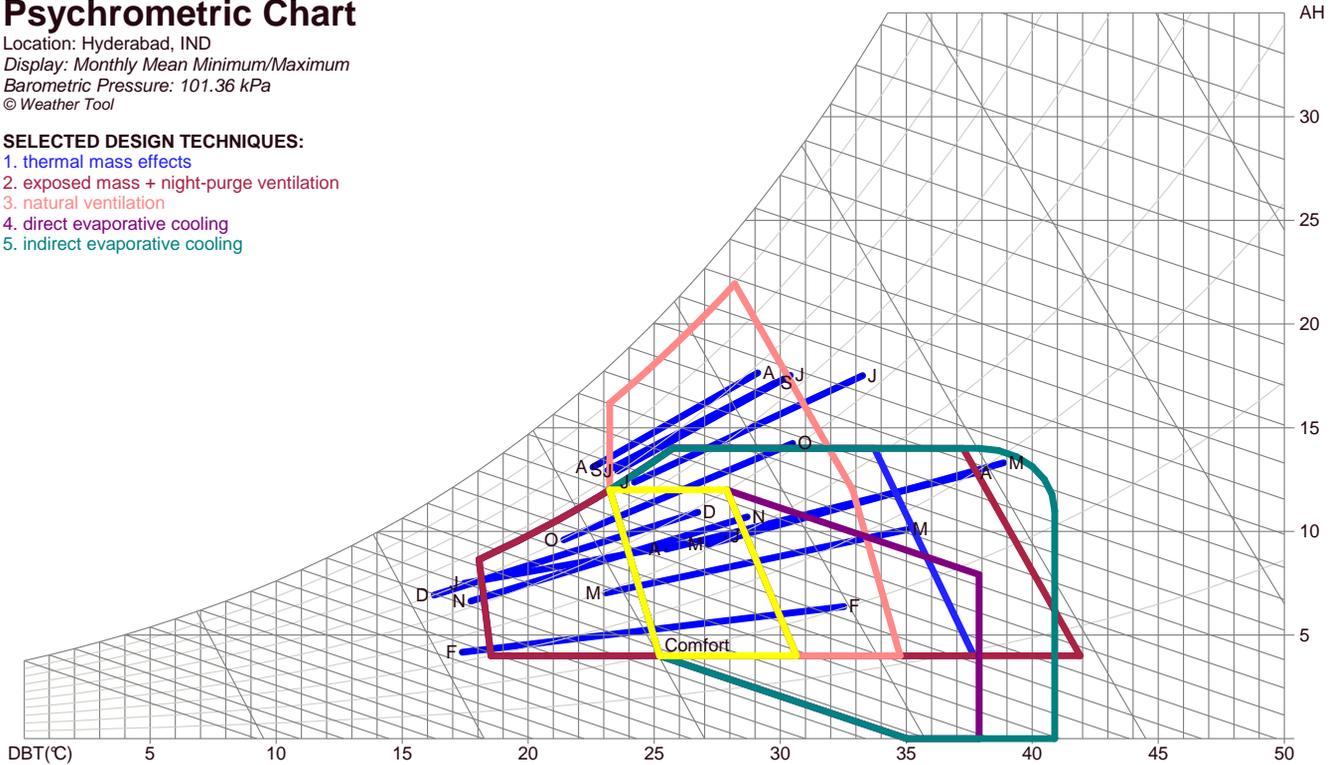
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: Hyderabad, IND  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation
- 4. direct evaporative cooling
- 5. indirect evaporative cooling



Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique, ventilation naturelle, évaporation directe et indirecte) devrait garantir le confort des usagers presque toute l'année. Il y a quand même toute une période de l'année où les températures sont trop élevées pour atteindre un état de confort grâce au rafraîchissement passif. En particulier durant les mois de juin à septembre, l'humidité relative et les températures élevées peuvent être contrastées seulement avec des systèmes de ventilation. Au printemps au contraire les températures sont élevées, mais l'humidité relative n'est pas très élevée, pendant cette période le système évaporatif direct et indirect est efficace.

Le système choisi, hybride avec la possibilité de rafraîchir par évaporation directe et indirecte ou par un système mécanique, est déterminé par les températures extrêmes du site. La grande humidité et les températures élevées ne permettent pas, pendant toute l'année, de rafraîchir passivement.

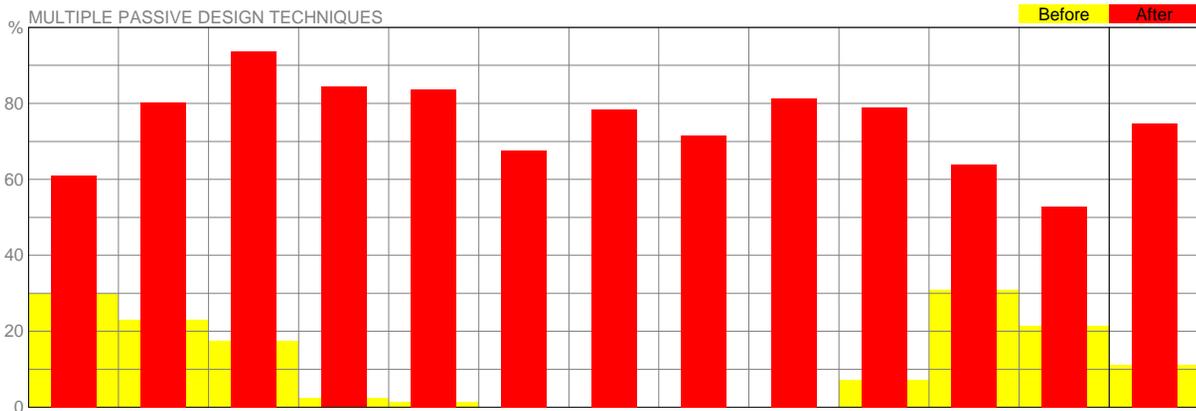
Ce qui est évident de l'analyse ci-dessous est la grande amélioration, théorique, du confort des usagers, grâce aux systèmes de rafraîchissement choisis.

#### Comfort Percentages

NAME: Hyderabad  
 LOCATION: IND  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 17.5°, 78.5°  
 © Weather Tool

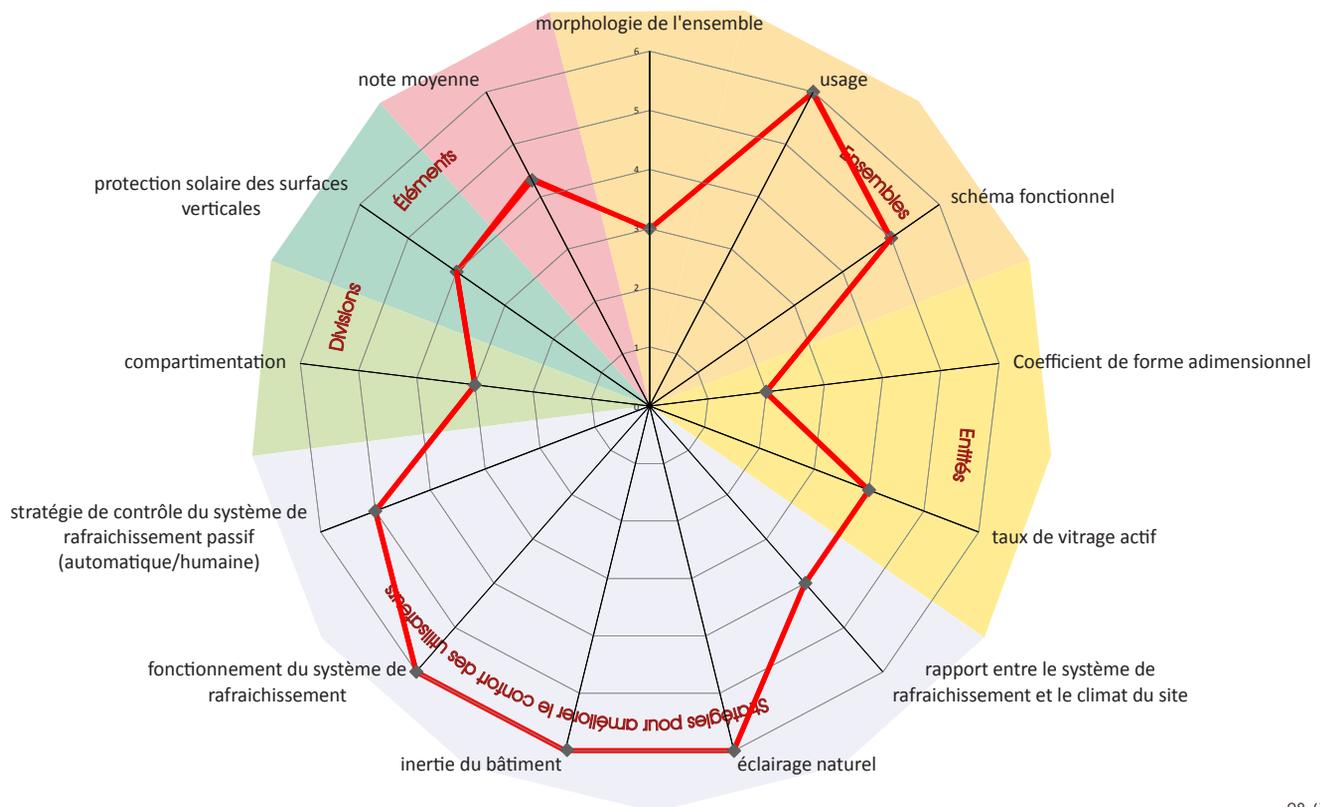
**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation
- 4. direct evaporative cooling
- 5. indirect evaporative cooling



## Graphe synthétique des dispositifs critiques

Sohrabji Godrej Green building centre, Hyderabad Inde



08 (15)

Le Sohrabji Godrej Green building center est un bâtiment très particulier. Il se situe dans la ville de Hyderabad, caractérisée par un climat de type tropical, une période très sèche et une période de moussons avec des précipitations qui dépassent les 100 mm mensuels. Pendant le mois de mai les températures moyennes maximales sont très proches de 40°C. Le climat du site est assez sévère, en particulier l'architecte a dû répondre aux besoins du rafraîchissement de l'air pendant deux saisons complètement différentes, une sèche et chaude et l'autre très humide.

Pour résoudre ce problème il a utilisé plusieurs systèmes de rafraîchissement couplés, ainsi qu'un système mécanique, pendant les périodes les plus chaudes. De plus, le système passif aide le système mécanique. Cette stratégie très flexible et complexe, gérée par un système de contrôle automatique, a permis de garantir la température de confort pendant toute l'année. La consommation électrique est extrêmement faible. L'eau pluviale est récoltée dans la parcelle et l'eau usée est traitée par phytodepuration. Toutes ces caractéristiques ont permis à ce bâtiment de gagner le Platinum Leed Award.

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se trouve dans la périphérie Nord-Ouest de la ville sur une grande parcelle entourée d'un jardin tropical verdoyant et de bassins d'eau.

Il est impossible de définir l'orientation exacte du bâtiment, ayant une forme circulaire. On peut dire que le bâtiment s'ouvre vers le patio et qu'ont été prévus des écrans solaires ou des ouvertures par rapport à l'orientation et aux nécessités d'éclairage et de protection solaire. La définition de l'orientation du bâtiment n'est pas aisée, mais dans ce type de climat il reste plus important de se protéger des apports thermiques que de chercher de la chaleur en hiver. Cette fonction est très bien assurée par les moucharabieh et par les casquettes qui protègent les surfaces vitrées. De plus, la plus grande partie des ouvertures sont orientées au Nord ou au Sud (avec une préférence des ouvertures vers le Nord) pour réduire les apports solaires,

### Usage

Le bâtiment accueille un centre d'excellence des entreprises qui travaillent sur les technologies liées aux problèmes environnementaux et énergétiques.

Il a une fonction qui demandait expressément de concevoir un édifice 'bioclimatique'. Il a aussi une fonction pédagogique envers les visiteurs. De plus, ceux-ci constituent un public sensible capable d'apprécier le fonctionnement du centre. Ce bâtiment a été le premier au monde, non américain, à recevoir le platinum LEED award.

### Schéma fonctionnel

L'entrée se situe sur la façade Est. Une fois à l'intérieur, on se trouve dans une énorme place couverte et vitrée de 107mX46m. Au fond de cet espace on peut reconnaître immédiatement la salle de jugement et sur la gauche on voit tous les bureaux qui participent au fonctionnement du palais de justice. Le seul espace rafraîchi passivement est la grande place couverte qui a fonction d'accueil du public.

La grande place vitrée crée un lieu très représentatif, mais sujette à des apports solaires énormes. Le fait d'avoir un grand volume de distribution favorise les systèmes de rafraîchissement passifs, mais dans le cas du palais de justice de l'architecte Richard Meier, le volume de la place couverte est disproportionné par rapport aux fonctions et difficile à rafraîchir.

### Morphologie du bâtiment

Semi-compacte. Le bâtiment est constitué d'un seul corps, mais il s'articule en plusieurs parties exposant des surfaces importantes vers l'extérieur

Surface: 1.400 m<sup>2</sup>

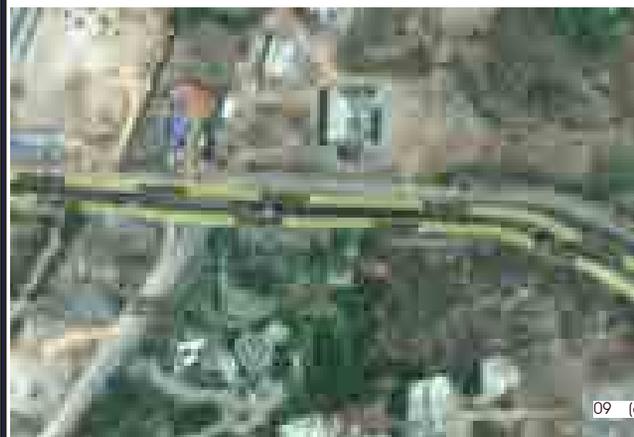
Volume: 7.500 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 9,00

taux de vitrage actif : 0,23 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,09 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

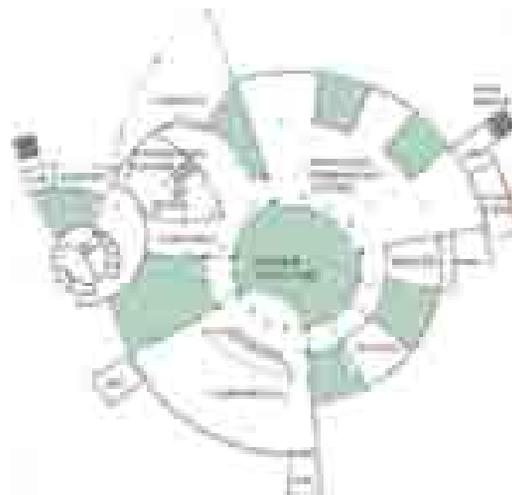
La surface exposée au soleil est importante à cause de la fragmentation du bâtiment, en même temps les surfaces verticales sont souvent bien protégées des apports solaires et la fragmentation du bâtiment permet une meilleure pénétration de la lumière solaire.



09 (6)



10 (7)



11 (8)



12 (7)



13 (8)

### Éclairage naturel

Le bâtiment est conçu pour améliorer au maximum la pénétration de la lumière naturelle (90% des locaux ont un accès direct à la lumière naturelle). Des capteurs de lux sont présents dans les salles éclairées naturellement et réduisent ou augmentent l'intensité de l'éclairage artificiel. Cela permet de réduire la consommation électrique, 86% moins qu'un bâtiment traditionnel ayant les mêmes caractéristiques. Cela engendre un confort très élevé pour les usagers et une réduction des apports thermiques internes, ainsi, bien sur, que des réductions de consommation électrique.

### Système de rafraîchissement

On peut dire que le bâtiment couple les systèmes évaporatifs et géothermiques. Dans un climat aussi chaud que celui de Hyderabad, il est presque impossible de garantir l'état de confort avec un système passif, c'est pour ce motif que l'architecte a décidé d'utiliser une stratégie mixte, mais normalement dans ces situations on exclut le système passif et on met en route les systèmes mécaniques. L'architecte Karan a décidé au contraire de réduire la consommation électrique en pré-rafraîchissant l'air utilisé par les appareils de clim avec le rafraîchissement évaporatif. Cette stratégie permet de réduire la consommation annuelle du bâtiment de 36.000kWh/an, par rapport à un bâtiment similaire.

### Fonctionnement du système de rafraîchissement

Le système peut fonctionner en pré-cooling combiné au rafraîchissement mécanique ou en rafraîchissement direct. Les modalités de fonctionnement sont les suivantes: 01 pendant la saison «sévère» les tours évaporatives sont utilisées pendant la nuit pour rafraîchir des grandes masses de pierres (100 Tonnes). L'air passe à travers les pierres et il est ensuite encore rafraîchi mécaniquement avant d'entrer dans le bâtiment. 02 Pendant la saison plus tempérée (température de l'air inférieure à 32°C) l'air est rafraîchi pendant la journée dans les tours évaporatives et il est utilisé directement pour rafraîchir l'immeuble. Les pierres sont rafraîchies par les brumisateurs à basse pression et l'eau en excès est récoltée dans la partie basse de la tour pour être réutilisée et brumisée. Les pierres sont ventilées jusqu'à séchage complet pour éviter tout type de moisissure. Le climat du site est trop sévère pour espérer que les seuls systèmes passifs puissent garantir le confort des usagers pendant toute l'année. L'approche de l'architecte est de type pragmatique et il cherche à construire un bâtiment très performant. Le résultat est un bâtiment bien dessiné, qui garantit le confort des usagers (9)

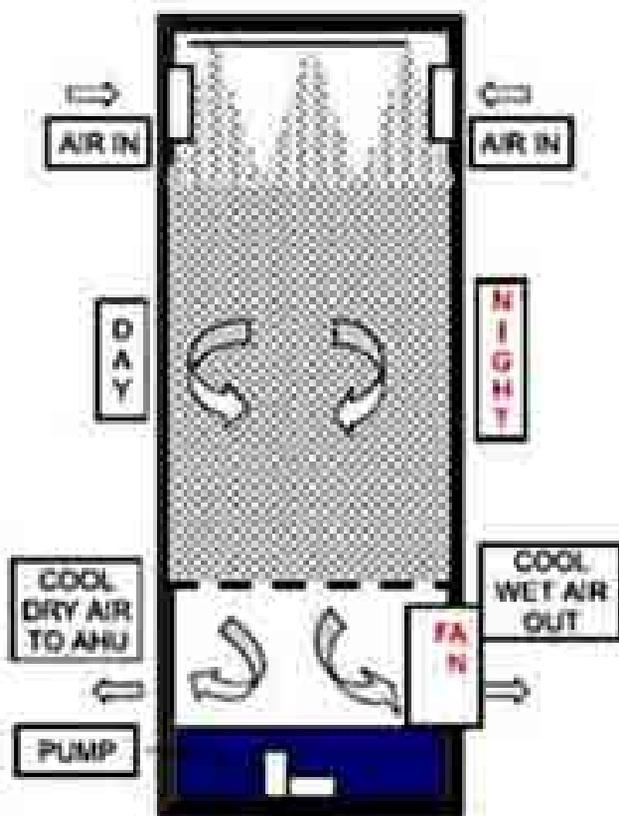


Figure 2: Inside schematic of the fresh air tower.

14 (9)



15 (10)

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Le système de rafraîchissement est géré par une centrale de contrôle. La centrale gère tous les programmes et les modes de rafraîchissement. Cela est obligatoire dans un bâtiment avec des modalités de fonctionnement si complexes.

## Analyse systémique

### Inertie du bâtiment

Tout le système de rafraîchissement mis en place se base sur le stockage la fraîcheur par inertie. En particulier à la base des tours évaporatives sont présents des «magasins» de masse thermique (100 tonnes de pierres), des pierres et blocs de ciment disposés pour favoriser le passage de l'air sont rafraîchis, afin de pouvoir réutiliser la fraîcheur par la suite.

Les toitures végétalisées aident aussi l'inertie du bâtiment et protègent la toiture des apports solaires.



### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Parpaing alvéolé avec une résistance thermique élevée. Efficaces, mais vu le type de climat il aurait pu être étudié quelque autre solution plus performante.



### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

55%-60% de la toiture est végétalisée, pour améliorer la masse et la résistance thermique. Le reste de la toiture est couverte de panneaux solaires qui garantissent 24Kw/J de capacité, ce qui correspond aux 20% de la consommation totale du bâtiment.



### Compartimentation

Divisions que n'influence pas le fonctionnement du système. Vu la particularité du système de rafraîchissement hybride utilisé, les compartimentations ne jouent pas un rôle négatif pour le rafraîchissement du bâtiment.



### Protection solaire

Les parties vitrées sont toujours protégées, soit par des casquettes, soit par des 'moucharabieh' réalisées en briques. Les ouvertures sont orientées vers le Sud et le Nord (en particulier vers le Nord) et sont toujours protégées par des écrans solaires. Soit toitures végétalisées, soit panneaux photovoltaïques, permettent de réduire les apports solaires



### Surfaces vitrées

Les parois vitrées ont été réalisées en doubles vitrages à basse émissivité.

Taux de vitrage actif :  $0,09 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0,23 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Le rapport surface vitrée / surface opaque est équilibré, tout en garantissant un bon éclairage naturelle.



### Surfaces opaques

Parpaings alvéolés avec une résistance thermique élevée. Efficaces, mais vu le type de climat il aurait pu être étudié quelque autre solution plus performante.



### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Le bâtiment n'a pas de vrais ouvrants nocturnes, mais la stratégie de rafraîchissement est fortement basée sur le pré-rafraîchissement nocturne. En particulier, pendant les mois les plus chauds, la nuit les pierres au pied des tours sont pré-rafraîchies par évaporation directe. Durant la nuit tous les brumisateurs et les sprinklers 'mouillent' les pierres, qui constituent la masse thermique du bâtiment, cela permet d'exploiter la fraîcheur accumulée en rafraîchissement soit passif direct, soit mécanique indirect.

## État actuel et condition d'utilisation

Il apparaît d'après la post occupancy evaluation, mené par le groupe de recherche PHDC (PHDC, 2009), que les usagers du bâtiment apprécient le confort et le design de leurs lieu de travail.

Les résultats aux questions sur la perception de la température en été, la qualité de l'air, le confort, etc. sont très positifs. En particulier les usagers apprécient la luminosité du bâtiment.

Ces réponses confirment que l'approche très pragmatique de l'architecte Karan Gover est exacte. D'une part, il a concilié un design contemporain avec la tradition constructive locale. D'autre part, il a choisi des techniques de rafraîchissement passives, hybrides et mécaniques, ce qui permet de réaliser un bâtiment très peu énergivore et confortable.

| Question                           | Score |
|------------------------------------|-------|
| Temperature is comfortable overall | 4.5   |
| Temperature is better overall      | 4.5   |
| Air is comfortable overall         | 4.5   |
| Air is better overall              | 4.5   |
| Lighting is comfortable overall    | 4.5   |
| Lighting is better overall         | 4.5   |
| Sound is comfortable overall       | 4.5   |
| Sound is better overall            | 4.5   |
| View is comfortable overall        | 4.5   |
| View is better overall             | 4.5   |
| Overall satisfaction               | 4.5   |
| Would recommend                    | 4.5   |
| Would return                       | 4.5   |
| Would recommend to others          | 4.5   |

23 (13)

## Analyse architecturale

Le bâtiment se présente comme un mélange entre tradition constructive et esthétique traditionnelle indienne et un langage contemporain. Dans l'article Indian Insite (Pinge, 2008) il est clair que la philosophie de l'agence de l'architecte Karan Grover est de marier ces caractéristiques.

Le bâtiment est fortement caractérisé par les deux tours évaporatives qui dominent la parcelle. Les systèmes de rafraîchissement passif sont mis en évidence par la forme et la couleur. Nous avons attribué un niveau de prégnance de 4. Les tours sont effectivement dans leur position optimale, elles sont mises en évidence par leur forme et leurs couleurs.

Les constructions se développent et s'ouvrent vers le patio verdoyant, lieu de rencontre et de relaxation pour les usagers. Une autre caractéristique du projet est l'attention à la récupération de l'eau pluviale, dans des bassins intégrés à l'aménagement du jardin.

L'architecte a cherché à aménager la parcelle et le bâtiment comme un ensemble cohérent. Les caractéristiques bioclimatiques du bâtiment sont évidentes pour l'utilisateur d'un premier coup d'œil, ce qui était probablement une des demandes du maître d'ouvrage.

Le CII-Sohrabji Godrej Green Business Center est un centre de renseignements, conférences, promulgation des entreprises qui s'occupent de green business. Naturellement le bâtiment qui le représente doit 'exprimer' son caractère bioclimatique.



## Aspects positifs et leçons à retenir



Le principal aspect positif que nous pouvons remarquer c'est la grande flexibilité du système de rafraîchissement choisi par l'architecte. Ce projet est très particulier, l'adoption de plusieurs stratégies qui s'adaptent aux différentes conditions climatiques pendant l'année permet de réduire la consommation énergétique et de garantir le confort des usagers.

De plus, les usagers même ont une perception plus que positive de ce bâtiment, ce qui permet une acceptation encore majeure des possibles 'problèmes' qui peuvent se présenter pendant la vie d'un bâtiment.

A remarquer que selon les usagers interviewés par le groupe de recherche PHDC (FORD, et al., 2010) le système de rafraîchissement fonctionne depuis 5 ans parfaitement, avec seulement de petits entretiens, comme le lavage des pierres constituant la masse thermique.

Un autre aspect positif de ce bâtiment est la réduction de la consommation électrique très importante : environ 63% d'économie d'énergie par rapport à un bâtiment similaire, entre 20%/30% d'économie en consommation d'eau et un abattement de la plus-value due aux coûts supérieurs de construction (18% en plus) en seulement 7 ans (Indian Green Building Council (IGBC) , 2008).

Ces caractéristiques, liées à l'utilisation de matériaux écologiques, le traitement des eaux usées, etc. ont valu à ce bâtiment le prix Platinum Leed award.



## Aspects négatifs et leçons à retenir

Ce qui pourrait sembler un aspect négatif pour ce bâtiment est la présence de la climatisation mécanique. Comme nous l'avons déjà dit, dans un climat aussi sévère que celui de Hyderabad, pour atteindre la température de confort l'ajout de la climatisation mécanique est nécessaire.

Un autre aspect négatif soulevé, mais non confirmé, par le groupe de recherche PHDC est la prolifération de mauvaises odeurs, venant des pierres de stockage de fraîcheur. Ce problème n'a pas été confirmé et des recherches ultérieures seraient nécessaires.



## Bibliographie

---

- asia business council CII Sohrabji Godrej Green Business Centre [Online] // asia business council. - asia business council, 2011. - 08 10, 2011. - [http://www.asiabusinesscouncil.org/docs/BEE/GBCS/GBCS\\_CII.pdf](http://www.asiabusinesscouncil.org/docs/BEE/GBCS/GBCS_CII.pdf).
- Byloos Matty The 10 Greenest Buildings in the World [Online] // easy ways to go green. - easy ways to go green, 02 6, 2009. - 05 03, 2011. - <http://www.easywaystogogreen.com/green-architecture/10-greenest-buildings-in-world/>.
- Confederation of Indian Industry CII - Sohrabji Godrej Green Business Centre [Online] // Green Business Centre. - Confederation of Indian Industry, 2009. - 05 03, 2011. - <http://www.greenbusinesscentre.org/site/ciigbc/index.jsp>.
- Confederation of Indian Industry Green Building Tour [Online] // CII - Sohrabji Godrej Green Business Centre. - Confederation of Indian Industry, 2009. - 05 03, 2011. - <http://www.greenbusinesscentre.com/site/ciigbc/greentourk.jsp?tourimgid=198260>.
- FORD Brian [et al.] The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book [Book]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.
- Godrej Green Business Centre: Spearheading the Green Revolution [Online] // Godrej. - Godrej.com, 2011. - 05 03, 2011. - <http://www.godrej.com/godrej/godrej/sustainability.aspx?id=1&menuid=1163>.
- Google Google Maps [Online] // Google. - Google, 2011. - 04 10, 2011. - <http://maps.google.fr>.
- Indian Green Building Council (IGBC) Green Building - LEED [Online] // emt-india. - Indian Green Building Council (IGBC) , 05 16, 2008. - 05 03, 2011. - <http://www.emt-india.net/Presentations2008/Indo-GermanSymposium15-16May2008/16-05-08Presentations/III-MANand.pdf>.
- Jadhav Raj L'architecture verte en inde [Online] // Nations Unies. - Nations Unies, 04 2006. - 05 03, 2011. - <http://www.un.org/french/pubs/chronique/2007/numero2/0207p66.htm>.
- Jadhav Raj LEEDing Green in India [Online] // architecture week. - artifice, 2004. - 05 03, 2011. - [http://www.architectureweek.com/2004/0922/environment\\_1-1.html](http://www.architectureweek.com/2004/0922/environment_1-1.html).
- Lucchese Cecilia Arquivo de arquitetura [Online] // The Urban Heart. - wordpress, 06 24, 2008. - 05 03, 2011. - <http://theurbanearth.wordpress.com/tag/arquitetura/>.
- Majumdar Mili GREEN BUILDING DESIGN [Online] // ishrae. - ishrae, 06 2004. - 05 03, 2011. - [http://www.ishrae.in/journals\\_20042005/2004apr/article04.html](http://www.ishrae.in/journals_20042005/2004apr/article04.html).
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis and co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- MNRE and IREDA CII – Sohrabji Godrej Green Business Centre [Online] // Green Buildings Website. - MNRE and IREDA, 2010. - 05 03, 2011. - <http://www.ncict.net/Examples/Examples7.aspx>.
- MNRE and IREDA Examples [Online] // Green Buildings / ed. IREDA MNRE and. - MNRE and IREDA, 2010. - 04 15, 2010. - <http://ncict.net/Examples/Examples.aspx>.
- MOLINA Félix José Luis phdc.eu/uploads/media/PHDC\_BOLOGNA\_AICIA\_Climatic\_Applicability\_and\_components\_performance.pdf [Online] // phdc.eu. - 11 12, 2009. - 03 23, 2010. - [http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC\\_BOLOGNA\\_AICIA\\_Climatic\\_Applicability\\_and\\_components\\_performance.pdf](http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC_BOLOGNA_AICIA_Climatic_Applicability_and_components_performance.pdf).
- PHDC Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC\_Draught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 10 29, 2009. - Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.
- Pinge Ar. Roopa Sabnis indian insite [Online] // insiteindia. - insiteindia, 2008. - 04 16, 2010. - <http://www.insiteindia.in/pdf/2008/inaugural/Indian%20insite.pdf>.
- Rakheja Ashish and Jain Dr. Prem C. air conditioning the CII GODREJ [Online] // ishrae. - ishrae, 06 2004. - 05 03, 2011. - [http://www.ishrae.in/journals\\_20042005/2004apr/article04.html](http://www.ishrae.in/journals_20042005/2004apr/article04.html).
- Rediff The Godrej Green Business Centre (Hyderabad, India) [Online] // solarpedia. - solarpedia, 2004. - 05 03, 2011. - [http://www.solarpedia.com/13/94/821/godrej\\_glazing.html](http://www.solarpedia.com/13/94/821/godrej_glazing.html).
- SCHIANO PHAN Rosa and FORD Brian Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling: Case studies in the US [Conference] // PLEA 2008 – 25° Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / ed. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.
- Shah Surendra H. SHEETAL MINAR [Online] // ishrae. - ishrae, 06 2004. - 05 03, 2011. - [http://www.ishrae.in/journals\\_20042005/2004apr/article03.html#top](http://www.ishrae.in/journals_20042005/2004apr/article03.html#top).
- SUNDAR NANDHINI What encompasses a green building [Online] // The HINDU. - The HINDU, 07 14, 2008. - 06 10, 2011. - <http://www.hindu.com/pp/2008/06/14/stories/2008061450600100.htm>.

Thüring Christine Green Building Focus [Online] // Greenroofs.com. - Greenroofs, 2009. - 06 10, 2011. - <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1076>.

Thüring Christine Green Buildings in India [Online] // Greenroofs.com. - Greenroofs, 2009. - 06 10, 2011. - [http://www.greenroofs.com/content/guest\\_features005.htm](http://www.greenroofs.com/content/guest_features005.htm).

Tulloch James India's Greenest Building [Online] // Allianz. - Allianz, 09 01, 2009. - 05 03, 2011. - <http://knowledge.allianz.com/search.cfm?495/indias-greenest-building>.

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [Online] // EnergyPlus. - 03 11, 2011. - 01 25, 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

USAID; INDIA World Clean Energy Awards [Online] // World Clean Energy Awards. - World Clean Energy Awards, 04 23, 2007. - 05 03, 2011. - [http://www.cleanenergyawards.com/top-navigation/nominees-projects/nominee-detail/project/54/?cHash=56f87f93b5#short\\_desc](http://www.cleanenergyawards.com/top-navigation/nominees-projects/nominee-detail/project/54/?cHash=56f87f93b5#short_desc).

## Sources des illustrations

---

1. MNRE and IREDA. Examples. Green Buildings. [Online] 2010. [Cited: 04 15, 2010.] <http://ncict.net/Examples/Examples.aspx>.
2. Indian Green Building Council (IGBC) . Green Building - LEED . emt-india. [Online] 05 16, 2008. [Cited: 05 03, 2011.] <http://www.emt-india.net/Presentations2008/Indo-GermanSymposium15-16May2008/16-05-08Presentations/III-MAnand.pdf>.
3. MNRE and IREDA. CII – Sohrabji Godrej Green Business Centre. Green Buildings Website. [Online] MNRE and IREDA, 2010. [Cited: 05 03, 2011.] <http://www.ncict.net/Examples/Examples7.aspx>.
4. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis and co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
5. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [Online] 03 11, 2011. [Cited: 01 25, 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
6. Google. Google Maps. Google. [Online] Google, 2011. [Cited: 04 10, 2011.] <http://maps.google.fr>.
7. Rediff, The. Godrej Green Business Centre (Hyderabad, India). solarpedia. [Online] solarpedia, 2004. [Cited: 05 03, 2011.] [http://www.solaripedia.com/13/94/821/godrej\\_glazing.html](http://www.solaripedia.com/13/94/821/godrej_glazing.html).
8. Pinge, Ar. Roopa Sabnis. indian insite. insiteindia. [Online] 2008. [Cited: 04 16, 2010.] <http://www.insiteindia.in/pdf/2008/inaugural/Indian%20Insite.pdf>.
9. Shah, Surendra H. SHEETALMINAR. ishrae. [Online] ishrae, 06 2004. [Cited: 05 03, 2011.] [http://www.ishrae.in/journals\\_20042005/2004apr/article03.html#top](http://www.ishrae.in/journals_20042005/2004apr/article03.html#top).
10. PHDC. Cooling Without Air-Conditioning. 01\_02-PHDC\_Downdraught Cooling a Primer P47. [CD-ROM]. Bologna, Italie : s.n., 10 29, 2009. Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. P10006183248.
11. Jadhav, Raj. LEEDing Green in India. architecture week. [Online] artifice, 2004. [Cited: 05 03, 2011.] [http://www.architectureweek.com/2004/0922/environment\\_1-1.html](http://www.architectureweek.com/2004/0922/environment_1-1.html).
12. Thüring, Christine. Green Building Focus. Greenroofs.com. [Online] Greenroofs, 2009. [Cited: 06 10, 2011.] <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1076>.
13. FORD, Brian, et al. The Architecture and Engineering of Downdraught Cooling: A Design Source Book. UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. p. 199. ISBN 978-0956579003.
14. Tulloch, James. India's Greenest Building. Allianz. [Online] Allianz, 09 01, 2009. [Cited: 05 03, 2011.] <http://knowledge.allianz.com/search.cfm?495/indias-greenest-building>.
15. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# ANALYSE DES SYSTEMES DE RAFFRAICHISSEMENT PASSIFS DANS LES TRADITIONS CONSTRUCTIVES. L'ADAPTATION ET L'APPLICATION DES SYSTEMES DE RAFFRAICHISSEMENT A L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET A LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BATIMENT.

## Kenilworth Junior High School, Petaluma, CA, USA

### Contenu de la fiche

Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type

État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par l'agence Quatrocchi kwok. L'école Kenilworth Junior se situe à Petaluma en Californie. La ville se trouve dans la vallée du fleuve Petaluma, au nord de la St Francisco Bay. Plus précisément, l'école se trouve dans la banlieue nord de la ville. Le bâtiment est de type pavillonnaire. Les trois pavillons rafraîchis passivement ont différentes orientations. Ils renferment : le gymnase, la bibliothèque, la salle multifonction. Ces espaces sont rafraîchis par évaporation directe. L'architecte déclare avoir réalisé des études pour le projet en liaison continue avec la direction de l'école, les parents des élèves et les élèves mêmes, pour créer un campus qui soit de support optimal à la didactique. Comme nous pourrions voir en phase de projet et de réalisation ont été commises plusieurs erreurs qui déterminent le mauvais fonctionnement du système bâtiment. Des études ont été effectuées sur l'éclairage direct, afin de réduire la consommation électrique, mais aussi dans ce cas les témoignages sont plutôt contrastés.

Latitude N 38.273379, Longitude -122.641025



01 (1)

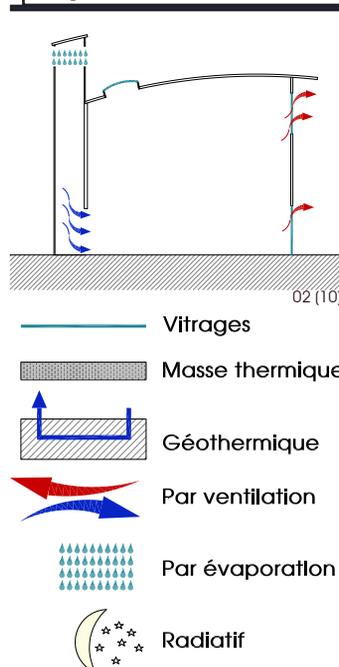
### Données climatiques de la zone

Le climat est de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Il est important de remarquer que les températures moyennes minimales en janvier sont de 3,5°C et la moyenne maximale en août est de 28,5°C. L'amplitude journalière entre les températures moyennes en été peut être supérieure à 10°C. DJU hiver = 1899,00, DJU été = 287,42.

### Groupe analytique

| Éparse<br>(Morphologie)                              | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Scolaire<br>(Usage)               | 2003/2005<br>(Datation) | Visibles niveau 4<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
|--|--|-----------------------------------|-------------------------|---|
| 2.435 - 17.500<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | Variés; 13m h max<br>(Dimensions) |                         | Evaporatif directe<br>(Stratégie de rafraîchissement)             |

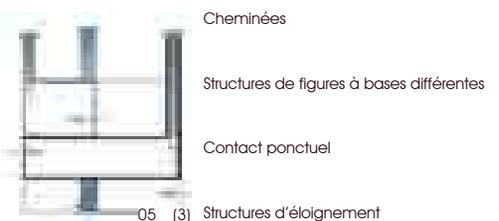
### Logo synthétique



### Formes du type



Logo typo/topologique



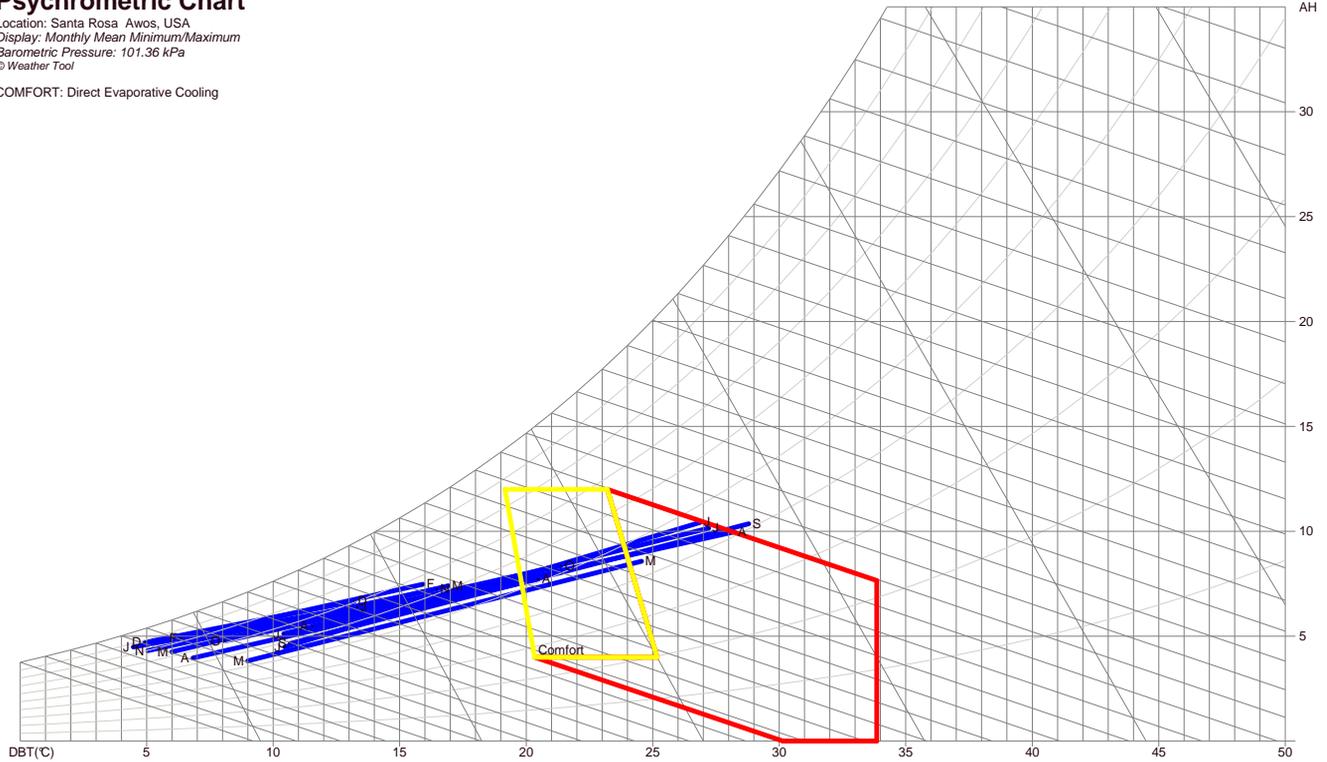
Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

**Psychrometric Chart**

Location: Santa Rosa Awos, USA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

COMFORT: Direct Evaporative Cooling



Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (évaporatif direct) devrait garantir le confort des usagers, mais dans ces conditions climatiques il aurait été plus efficace d'exploiter la masse thermique et la ventilation nocturne, ainsi que la ventilation naturelle.

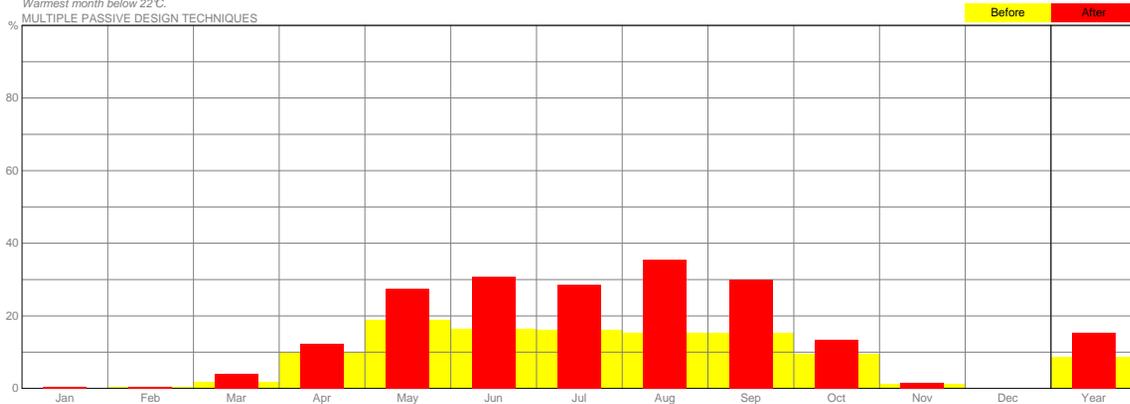
Il apparaît de l'analyse faite avec le logiciel WeatherTool que l'efficacité du système de rafraîchissement choisi est réduite. Nous pouvons bien voir comme le système de rafraîchissement implémente le confort des usagers seulement dans environ 20% des heures au mois d'août, et d'environ 15% aux mois de juin, juillet et septembre. Cela n'apparaît pas assez, par rapport à l'investissement fait, sans oublier les contraintes architecturales que ce système comporte. L'architecte aurait dû se concentrer sur des systèmes constructifs plus efficaces et prêter une attention majeure aux détails, comme la position des fenêtres de toit, par exemple.

**Comfort Percentages**

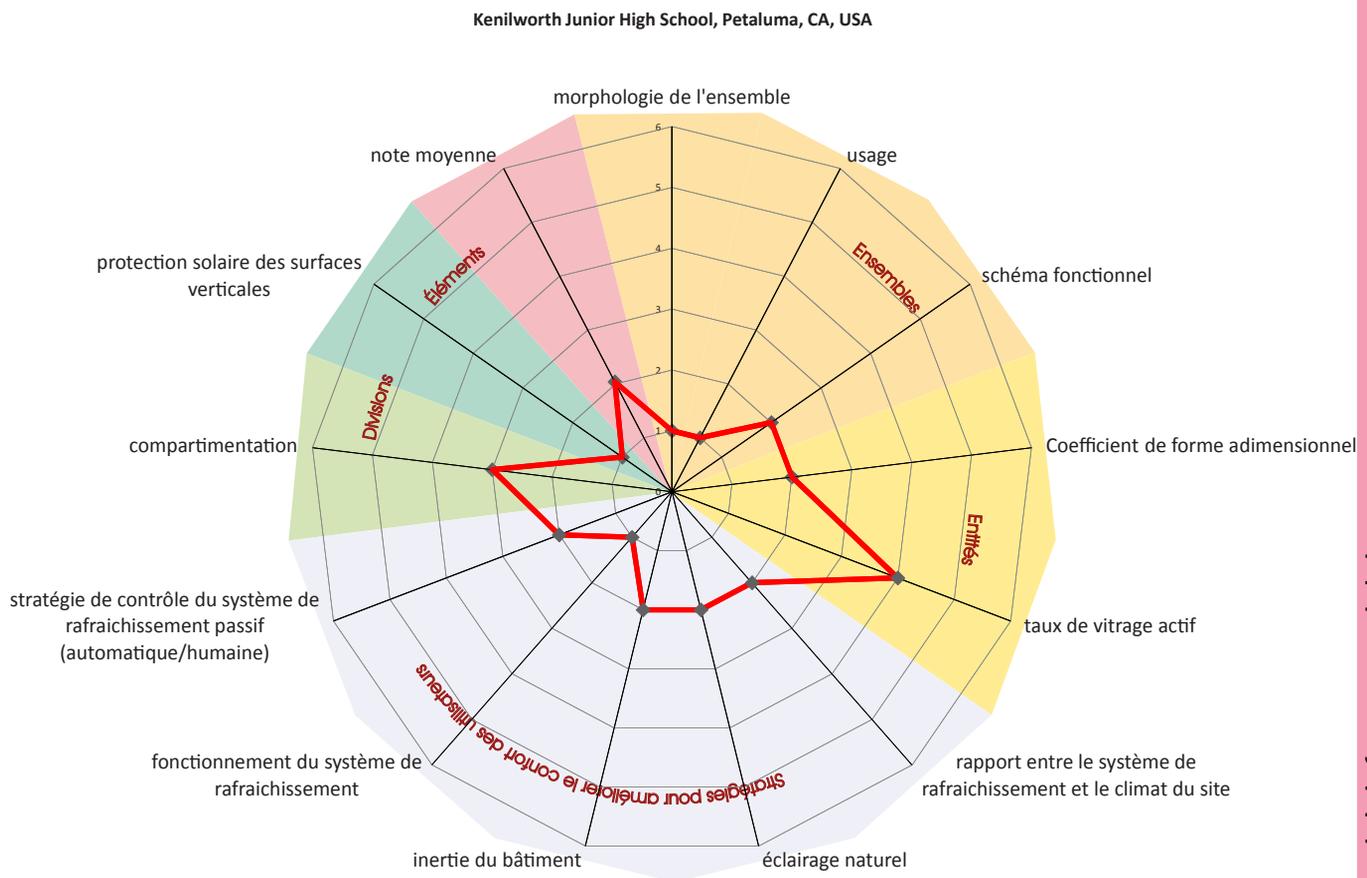
NAME: Santa Rosa Awos  
 LOCATION: USA  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 38.5°, -122.8°  
 © Weather Tool

CLIMATE: Cfb  
 Moist mid-latitude climate with mild winters.  
 Marine climates found on the western coast of most continents.  
 High humidity with short dry summers. Heavy precipitation in winter.  
 Warmest month below 22°C.

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:  
 1. direct evaporative cooling



## Graphe synthétique des dispositifs critiques



07 (10)

Le graphe ci-dessus montre clairement que le Kenilworth Junior High School est un bâtiment 'problématique'. Non seulement trois indicateurs ont une note de 1, mais presque tous les indicateurs ne dépassent pas la note de 3. Il ressort que ce bâtiment est mal conçu et surtout mal accepté par ses usagers. La note de 1 pour l'indicateur usage est emblématique. L'architecte a choisi de rafraîchir des parties de ce bâtiment avec des tours évaporatives, ce qui devrait bien fonctionner dans une école, située dans une région au climat doux comme la Californie. Malheureusement les choix de l'architecte, les systèmes de contrôle inadaptés et les erreurs de réalisation, ne permettent pas aux systèmes choisis de s'adapter à l'usage des salles rafraîchies.

Les choix de l'architecte de rafraîchir par évaporation le gymnase n'a pas été accepté par les usagers, car ce système de rafraîchissement a imposé de renoncer au parquet pour le terrain de volley. Il a été utilisé du PVC, moins adapté. De plus, le PVC a été mal posé et il se décolle de la dalle en béton (FORD, et al., 2010).

Le système de contrôle des tours évaporatives a présenté des problèmes et les rideaux métalliques, ainsi que les ouvrants de toiture, s'ouvraient et se refermaient trop souvent, en dérangeant les usagers. De plus, l'hygrométrie interne des espaces rafraîchis n'est pas bien contrôlé; ce qui a mené des énormes problèmes pour la bibliothèque. Il est facile d'imaginer que les livres ne supportent pas une humidité relative trop élevée et très variable.

Pour finir, la réalisation n'a pas été assez soignée. D'une part les rideaux métalliques, ainsi que les ouvrants du toit sont extrêmement bruyants. Cela n'est pas très étonnant, en particulier pour ce qui regarde les rideaux métalliques. D'autre part, il a été enregistré une inondation très grave dans le gymnase, à cause d'un problème de tuyauterie (PHDC, 2009).

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se situe dans la ville de Petaluma, dans la banlieue nord de la ville. La ville est située au nord de la San Francisco Bay, dans la vallée Petaluma.

L'orientation du bâtiment n'est pas vraiment identifiable, étant un bâtiment décomposé dans le territoire. Les trois pavillons rafraîchis passivement ont différentes orientations, mais la plus grande partie des ouvertures sont situées au Nord.

Il faut par contre remarquer que l'architecte a souvent utilisé des fenêtres de toit exposées au sud sans aucune protection solaire, ce qui est très pénalisant à cause des apports solaires.

### Usage

Le bâtiment accueille une école. Cette fonction s'adapte assez bien aux systèmes de rafraîchissement passifs, les écoles étant fermées pendant les mois les plus chauds de l'année. De plus, ces systèmes, d'habitude, ne sont pas bruyants et permettent de ne pas déranger les activités scolaires (on verra que dans le cas de l'école de Petaluma c'est exactement le contraire). Les parties rafraîchies passivement, par contre, ne s'adaptent pas très bien au rafraîchissement évaporatif. La bibliothèque : le rafraîchissement évaporatif ne s'adapte pas du tout à la nécessité d'avoir une hygrométrie stable et une humidité relative basse. Le gymnase : le rafraîchissement évaporatif ne s'adapte pas du tout à la nécessité de poser un parquet pour le terrain de volley, il a imposé de passer par un sol PVC, moins apprécié. Cette contrainte a dégradé la perception du bâtiment par les usagers.

C'est encore une fois un cas dans lequel l'architecte a décidé d'accoler un système de rafraîchissement pour rafraîchir un bâtiment, non prévu à cet effet. De plus, il n'a pas tenu compte des usagers, des contraintes et des demandes.

### Schéma fonctionnel

Le bâtiment se développe autour de deux grandes cours-paysages. Les liaisons entre les bâtiments se font par des parcours extérieurs couverts.

Le schéma fonctionnel est efficace surtout au printemps et à l'automne, mais en hiver et pendant l'été les parcours extérieurs ne sont sûrement pas très confortables. De plus, les grandes surfaces goudronnées ou bétonnées ne sont pas favorables à la fonction de rafraîchissement et au confort des usagers.

### Morphologie du bâtiment

Morphologie pavillonnaire. L'ensemble est composé de différents pavillons reliés par des passages couverts extérieurs. La surface exposée au soleil est importante à cause de la fragmentation du bâtiment, et de l'orientation des barres.

Surface: 2.435 m<sup>2</sup>

Volume: 17.500 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 8,09

taux de vitrage actif : 0,16 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,05 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Le coefficient de forme n'est pas favorable. Et encore, nous avons pu calculer ce coefficient seulement en référence aux bâtiments rafraîchis passivement. Malheureusement, nous n'avons pas pu calculer le volume de l'ensemble par manque de données sur les autres bâtiments



08 (5)



09 (6)



10 (7)



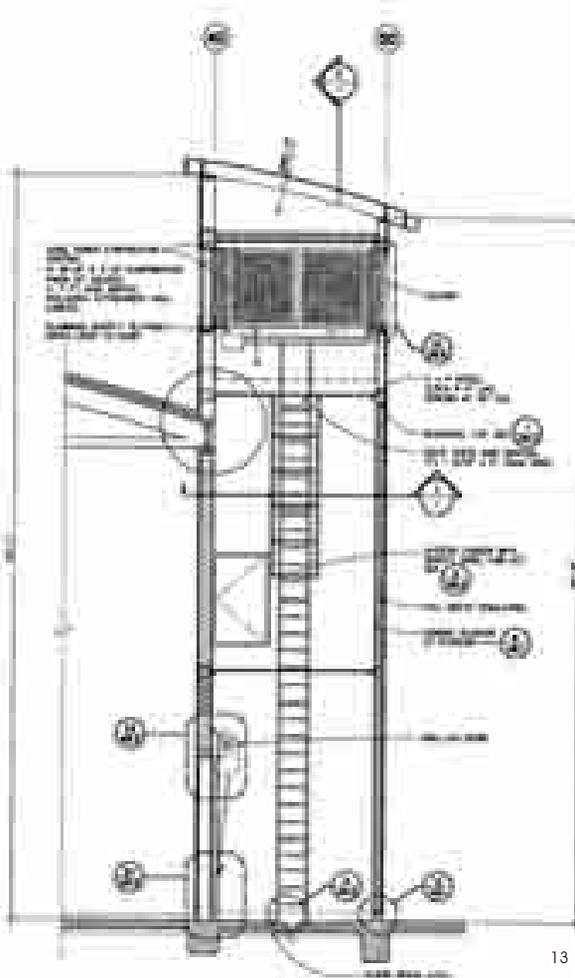
11 (8)



12 (8)

### Éclairage naturel

Le bâtiment est conçu pour améliorer au maximum la pénétration de la lumière naturelle. À ce sujet, les publications au regard du bâtiment sont contrastées : selon les analyses de l'architecte Brian Ford du groupe de recherche PHDC le bâtiment n'est absolument pas conçu pour améliorer la pénétration de la lumière naturelle et dans certains cas les pièces sont «noires». Selon les études menées par le CHPS le bâtiment permet une réduction de la consommation énergétique grâce à l'éclairage naturel des classes. C'est vrai que le gymnase rafraîchi passivement est insuffisamment éclairé naturellement. L'éclairage a été «optimisé» seulement pour ce qui regarde les classes. Certaines autres pièces sont aveugles. À remarquer que sur la bibliothèque et sur d'autres pavillons l'architecte a prévu des grands ouvrants de toiture exposés plein sud, ce qui est de plus défavorable vu les apports thermiques d'été.



13 (9)

### Système rafraîchissement

Les trois espaces rafraîchis passivement sont le gymnase, la bibliothèque et le bâtiment multi-fonctions. Ils le sont par des tours évaporatives, avec des panneaux en cellulose. Le rafraîchissement évaporatif ne s'adapte pas aux espaces auxquels il est destiné. Les livres de la bibliothèque ont souffert des changements de taux d'humidité relative, même chose pour le parquet du gymnase. Ces problèmes ont conduit à de mauvais fonctionnements du système de rafraîchissement et au blocage de tout le système.

### Fonctionnement du système de rafraîchissement

L'air frais est introduit dans la partie basse des pièces et extraite mécaniquement par ventilation. Les tours sont contrôlées par un système automatique qui ouvre et referme les volets métalliques par rapport à la température de l'air. La réalisation du bâtiment n'a pas été parfaite, des grilles de protection des panneaux de cellulose étaient prévues, mais n'ont pas été réalisées. Les oiseaux ont nidifié dans les panneaux de cellulose ce qui ajoute des problèmes d'hygiène et de qualité de l'air. Le système de fermeture et d'ouverture des volets est très bruyant et dérange les utilisateurs des pièces. Les tours évaporatives ne s'adaptent pas à l'usage des différentes pièces, la bibliothèque a besoin d'une hygrométrie stable et très basse, même chose pour le gymnase. Le choix de ce type de rafraîchissement a imposé l'élimination du parquet dans le gymnase, substitué par le PVC. L'ensemble de ces problèmes aurait dû être mieux analysé par l'architecte avant de réaliser ce bâtiment.



14 (7)

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Le système de rafraîchissement est géré par une centrale de contrôle automatique. Le problème réside dans le fait que les utilisateurs n'étaient pas informés du fonctionnement du système de rafraîchissement, personne n'a expliqué les modalités et les paramètres de l'ouverture et la fermeture des rideaux métalliques. Ce manque de communication a induit une mauvaise utilisation du système et a eu pour résultat qu'aujourd'hui la seule tour évaporative encore en fonction est celle du bâtiment multi usages.

## Analyse systémique

### Inertie du bâtiment

Nous avons peu de données à ce sujet, mais en analysant une coupe de la structure du gymnase il est évident que les nécessités de garantir la bonne masse thermique des murs, des plafonds et des planchers n'a pas été une priorité. Cela dit, un des interlocuteurs que nous avons trouvés sur le bâtiment affirme que la masse thermique a été exploitée pour garantir le confort thermique des classes.

Nous ne pouvons pas juger ce dispositif en ce qui concerne les classes, mais la technique constructive utilisée pour réaliser les bâtiments rafraîchis passivement ne garantit pas une masse thermique suffisante. Il ne faut pas oublier que dans un climat 'méditerranéen' comme à Petaluma, avec un usage scolaire, il aurait été suffisant de garantir une masse thermique élevée couplée à la ventilation nocturne pour apporter du confort thermique aux usagers presque tout l'été.



### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Nous n'avons pas assez d'informations sur ce sujet, mais de certaines coupes des bâtiments l'épaisseur des murs semble être très faible pour pouvoir garantir une bonne résistance thermique



### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Toitures plates ou en zinc. Aucune protection solaire et présence de fenêtres de toit. Récemment ont été rajoutés des panneaux photovoltaïques.

Aucune protection solaire et présence de fenêtres de toit. De plus, les toitures sont à une seule pente et en grande partie des cas la pente est exposée plein sud, ce qui est favorable pour poser des panneaux photovoltaïques, mais ce qui est très néfaste en ce qui concerne les apports thermiques. Sans oublier que les fenêtres de toit dans ce cas sont exposées plein sud, sans aucune protection, pour maximiser les apports thermiques.



### Compartimentation

Les espaces rafraîchis passivement ne sont pas compartimentés..



### Protection solaire

Présence des casquettes, mais les grandes fenêtres de toit exposées au sud ne sont pas du tout protégées.



### Surfaces vitrées

Nous n'avons pas d'informations spécifiques sur le type de vitrage utilisé.

Taux de vitrage actif :  $0,16 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0,05 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Le rapport surface vitrée / surface opaque est très bas, voire un peu trop pour garantir une bonne clarté naturelle des pièces.



### Surfaces opaques

Nous n'avons pas assez d'informations sur ce sujet, mais de certaines coupes des bâtiments l'épaisseur des murs semble être très faible pour pouvoir garantir une bonne résistance thermique



### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Non présents.

La ventilation nocturne et un peu de masse thermique auraient pu résoudre une partie des problèmes de surchauffe de ce bâtiment.

## État actuel et condition d'utilisation

Il apparaît de la post occupancy evaluation, menée par le groupe de recherche PHDC (PHDC, 2009), que les usagers du bâtiment ont une très mauvaise perception de ce dernier.

Comme reporté par la recherche PHDC comme les défaillances de ce bâtiment. La qualité de l'air, le chauffage, le rafraîchissement, etc.

Rappelons que le bâtiment est fermé pendant les mois les plus chauds de l'année.

Le seul aspect positif déclaré est l'image du bâtiment pour les visiteurs, ce qui n'est pas beaucoup.

Le problème le plus important que nous percevons est que les usagers, non seulement ne comprennent pas le système de rafraîchissement, mais ils ne veulent pas le comprendre. Le système a été imposé et il n'a pas été expliqué. De plus, les erreurs techniques (manque de protection des panneaux de cellulose, absence des protections solaires, etc.) et les erreurs de conception (utilisation de rideaux métalliques très bruyants pour l'ouverture des tours, modification du sol du gymnase pour s'adapter au rafraîchissement passif, mais pas à l'activité prévue) ont causé de telles défaillances qui ont exaspéré les usagers. Aujourd'hui il est très compliqué de convaincre les usagers de reconsidérer leurs avis sur ces systèmes de rafraîchissement. Les problèmes techniques de ce bâtiment pourraient être résolus facilement avec des interventions de maintenance extraordinaire, mais les problèmes de perception et d'acceptation des usagers sont extrêmement difficiles à résoudre.

## Analyse architecturale

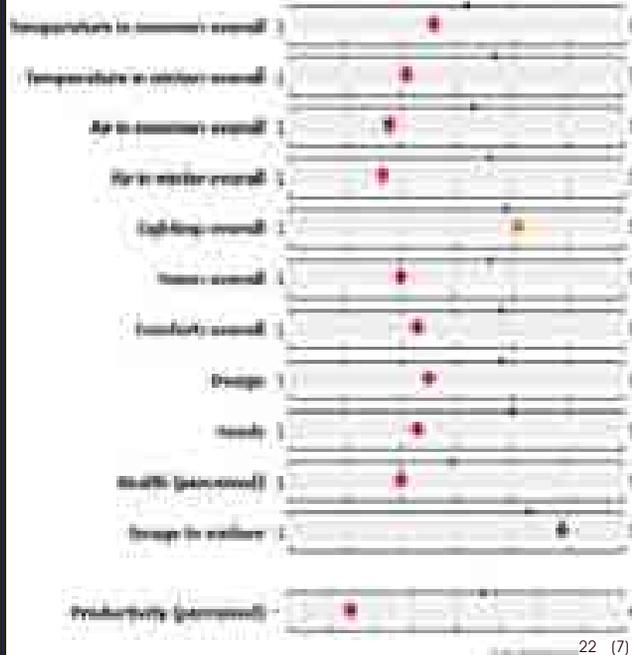
Le bâtiment a un aspect particulier, le langage architectural des différents pavillons est contemporain, mais l'aménagement paysager est assez classique.

L'architecte a cherché à créer un campus avec des grands espaces entre les différents pavillons.

Nous pouvons remarquer à ce sujet que les grands espaces traités avec la pelouse sont certainement très demandeurs en eau, ce qui est en contraste avec les déclarations de l'architecte, d'avoir adopté des dispositifs pour réduire la consommation d'eau du bâtiment. De plus, aucune récupération d'eau pluviale n'est prévue.

Les systèmes de rafraîchissement passif sont mis en évidence par la forme et la couleur. Nous avons donné un niveau de prégnance de 4. Les tours sont effectivement dans leur position optimale, elles sont mises en évidence par leur forme et couleurs. L'architecte, ainsi que le maître d'ouvrage, ont voulu caractériser de manière claire l'aspect 'green' de ce bâtiment, cela apparaît aussi par le choix d'équiper les toits de l'ensemble avec des panneaux photovoltaïques.

Le choix de créer un bâtiment explicitement bioclimatique est adapté à l'usage scolaire de l'ensemble, mais les erreurs commises en phase de projet et de réalisation non seulement empêchent le bâtiment de fonctionner, mais minent aussi la crédibilité des systèmes de rafraîchissement et de l'approche bioclimatique du projet.



## Aspects positifs et leçons à retenir



Il est très difficile de faire ressortir de vrais points positifs dans ce bâtiment.

Ce qui aurait pu être positif dans ce type de bâtiment est l'aspect pédagogique de l'opération. Malheureusement, à cause des grandes défaillances cette caractéristique, s'inverse et devient absolument négative.

Nous pouvons dire est que le bâtiment est un bon exemple de mauvais projet.

## Aspects négatifs et leçons à retenir

Les défaillances de ce bâtiment sont multiples.

D'une part, les problèmes techniques sont évidents (FORD, et al., 2010) :

1. Mauvaise conception des tours évaporatives : absence de protection solaire des panneaux, prévention des animaux à l'intérieur des panneaux, ouvrants de toiture et des tours bouillants, etc.

2. Mauvaise conception des systèmes de contrôle : absence de contrôle de l'humidité interne aux espaces rafraîchis passivement, ce qui a été catastrophique en particulier pour la bibliothèque. Les livres n'aiment pas une hygrométrie trop variable avec des pourcentages d'humidité trop élevés.

3. Mauvaise conception du bâtiment :

les ouvertures en toiture côté sud non protégées du rayonnement solaire direct sont une erreur très grave, la réalisation d'un ensemble pavillonnaire expose de grandes surfaces à l'extérieur.

4. Mauvaise réalisation des tours évaporatives :

nous avons enregistré des dégâts très graves d'eau dans le gymnase.

5. Mauvaise réalisation des systèmes de contrôle :

les systèmes de contrôle ont eu des problèmes et les ouvertures s'ouvraient et se fermaient trop souvent, dérangerant les usagers.



D'autre part, et à notre avis très importants, on trouve des problèmes d'adhésion de la part aux usagers des systèmes de rafraîchissement. Le problème est ne du fait que l'approche 'bioclimatique' semble avoir été plus ou moins imposée. Cette contrainte a été mal gérée et l'adoption des systèmes passifs de rafraîchissement mal supportée par les usagers. Un exemple est le sol du gymnase qui était prévu en parquet et a dû être abandonné en faveur du PVC à cause de l'hygrométrie due aux tours évaporatives. D'ou des problèmes d'usage très importants. De plus, le sol PVC a été mal posé et se décolle (FORD, et al., 2010).

Cet exemple fait comprendre le regard que les usagers peuvent avoir sur les systèmes de rafraîchissement choisis.

Nous pensons que ce bâtiment est un cas symbolique de très mauvaise approche de la part de l'architecte. Les problèmes techniques auraient pu être résolus facilement, mais la perception des usagers du système de rafraîchissement peut difficilement être améliorée.



## Bibliographie

---

- AIM Associates KENILWORTH JUNIOR HIGH SCHOOL [En ligne] // AIM Associates. - AIM Associates, 2011. - 15 10 2011. - <http://www.aimgreen.com/consulting/consulting-kenilworth.html>.
- Department of General Services electrical independence of california schools and community colleges [En ligne] // qka. - Department of General Services, 1 02 2009. - 16 10 2011. - [http://www.qka.com/PDF/Grid\\_Neutral\\_Schools.pdf](http://www.qka.com/PDF/Grid_Neutral_Schools.pdf).
- Dunnagan Emily Kenilworth Junior High School [En ligne] // petalumacityschools. - petalumacityschools, 2010-2011. - 10 01 2012. - <http://www.petalumacityschools.org/perform/SARC2011/Kenilworth-JH.pdf>.
- FORD Brian [et al.] The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book [Livre]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosca; FRANCIS editors, 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.
- Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.
- Heinen Kristin Exemplary CHPS Processes and Projects [En ligne] // cashnet. - cashnet, 22 07 2008. - 10 05 2011. - [http://www.cashnet.org/meetings/2008\\_Workshops/documents/KristinHeinenPresentation.pdf](http://www.cashnet.org/meetings/2008_Workshops/documents/KristinHeinenPresentation.pdf).
- Horn Jim Kenilworth Junior High School [En ligne] // hornengineers. - CASH REGISTER, 07 2004. - 10 05 2011. - <http://www.hornengineers.com/Projects/KenilworthCASH.pdf>.
- Kolderup Erik et Schindler Tom Acoustics HVAC and Envelope [En ligne] // scribd. - CHPS, 2007. - 10 09 2010. - <http://www.scribd.com/doc/65379600/070129-Acoustics-HVAC-and-Envelope>.
- Kolderup Erik Natural Ventilation in Schools [En ligne] // kolderupconsulting. - kolderupconsulting, 12 12 2008. - 10 05 2011. - [http://kolderupconsulting.com/files/Nat-Vent-in-Schools\\_12-10-08.pdf](http://kolderupconsulting.com/files/Nat-Vent-in-Schools_12-10-08.pdf).
- Kolderup Erik Right-sized: Equipment and Controls for Super Efficient Buildings [En ligne] // kolderupconsulting. - kolderupconsulting., 11 12 2009. - 15 05 2011. - [http://kolderupconsulting.com/files/AIA2030-Right-sizing\\_Kolderup.pdf](http://kolderupconsulting.com/files/AIA2030-Right-sizing_Kolderup.pdf).
- LOISOS + UBBELOHDE Associates Kenilworth Junior High School [En ligne] // coolshadow. - LOISOS + UBBELOHDE Associates, 2011. - 10 05 2011. - <http://www.coolshadow.com/consulting/kenilworth.html>.
- Loisos Ubbelohde architecture energy Kenilworth Junior High School [En ligne] // Loisos Ubbelohde architecture energy. - LOISOS + UBBELOHDE Associates, Inc, 2011. - 11 10 2011. - <http://www.coolshadow.com/consulting/kenilworth.html>.
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.
- O'Mahony & Myer Kenilworth Junior High School [En ligne] // O'Mahony & Myer. - O'Mahony & Myer. - 05 10 2011. - [http://www.ommconsulting.com/projects/educational/kenilworth\\_high\\_school.php](http://www.ommconsulting.com/projects/educational/kenilworth_high_school.php).
- PHDC Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC\_Draught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 29 10 2009. - Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.
- QKA Architects KENILWORTH JUNIOR HIGH SCHOOL [En ligne] // QKA Architects. - Quattrocchi Kwok Architects. - 05 01 2012. - [http://www.qka.com/NC\\_Kenilworth.php](http://www.qka.com/NC_Kenilworth.php).
- SCHIANO PHAN Rosa et FORD Brian Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling: Case studies in the US [Conférence] // PLEA 2008 – 25° Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / éd. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.
- U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
- Wikipedia Petaluma [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 13 01 2012. - 20 01 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/Petaluma,\\_California](http://en.wikipedia.org/wiki/Petaluma,_California).

## Sources des illustrations

---

1. Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe. Bing Cartes. Bing. [Online] Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. [Cited: 04 15, 2011.] <http://www.bing.com/maps>.
2. Loisos Ubbelohde architecture energy. Kenilworth Junior High School. Loisos Ubbelohde architecture energy. [Online] LOISOS + UBBELOHDE Associates, Inc, 2011. [Cited: 10 11, 2011.] <http://www.coolshadow.com/consulting/kenilworth.html>.
3. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis and co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
4. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [Online] 03 11, 2011. [Cited: 01 25, 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
5. Google. Google Maps. Google. [Online] Google, 2011. [Cited: 04 10, 2011.] <http://maps.google.fr>.
6. QKA Architects. KENILWORTH JUNIOR HIGH SCHOOL. QKA Architects. [Online] Quattrocchi Kwok Architects. [Cited: 01 05, 2012.] [http://www.qka.com/NC\\_Kenilworth.php](http://www.qka.com/NC_Kenilworth.php).
7. FORD, Brian, et al. The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book. UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. p. 199. ISBN 978-0956579003.
8. O'Mahony & Myer. Kenilworth Junior High School. O'Mahony & Myer. [Online] O'Mahony & Myer. [Cited: 10 05, 2011.] [http://www.ommconsulting.com/projects/educational/kenilworth\\_high\\_school.php](http://www.ommconsulting.com/projects/educational/kenilworth_high_school.php).
9. Kolderup, Erik and Schindler, Tom. Acoustics HVAC and Envelope. scribd. [Online] 2007. [Cited: 09 10, 2010.] <http://www.scribd.com/doc/65379600/070129-Acoustics-HVAC-and-Envelope>.
10. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

Department of Global Ecology, Stanford University, Stanford, CA, USA

## Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

## Synthèse

Le projet a été réalisé par l'agence EHDD Architecture .  
Le bâtiment accueille le département de Global Ecology de l'université de Stanford.

Le department of global ecology est l'un des bâtiments les plus intéressants rencontrés. D'une part, il est construit pour être un symbole de l'architecture écologique, mais d'autre part il abrite des fonctions très contraignantes. Les laboratoires ont besoin d'un taux d'échange d'air très élevé, ce qui pour le rafraîchissement passif est une grande contrainte. De plus, les apports internes sont très élevés. Tout cela a été résolu en réalisant une architecture pensée dès le début pour minimiser les apports thermiques, tout en garantissant un très bon éclairage général. Le rafraîchissement radiatif est une innovation très intéressante et efficace. Les panneaux radiants et le plancher rafraîchissant font à juste titre partie de la stratégie de rafraîchissement : si on ne peut pas rafraîchir l'air à cause des échanges d'air demandés, on rafraîchit par radiation. Cela démontre que tout le système bâtiment a été bien réfléchi.

Latitude N 37.428839, Longitude -122.17921



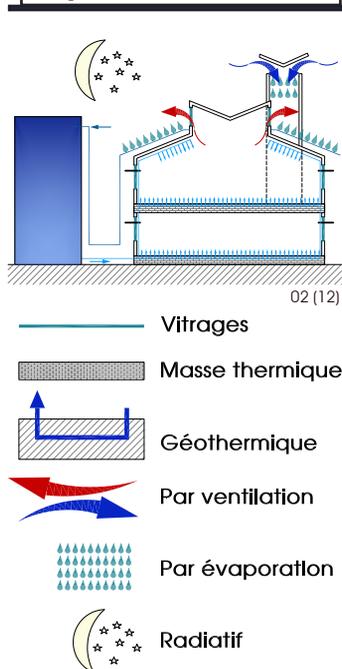
## Données climatiques de la zone

Le climat est de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Il est important de remarquer que les températures moyennes minimales en janvier sont de 4,4°C et la moyenne maximale en août est de 26°C. L'amplitude journalière entre les températures moyennes en été peut être supérieure à 12°C. DJU hiver = 1409, 13, DJU été = 193,58

## Groupe analytique

|   |  |  |   |   |
|---|--|--|---|---|
| Compacte<br>(Morphologie)                           | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Département de Global Ecology<br>(Usage) | 2004<br>(Datation)  | Visibles niveau 5<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 1.021 - 4.630<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 12,8m p;43m l;12m h<br>(Dimensions)      | Evaporatif indirecte/radiatif nocturne/mécanique<br>(Stratégie de rafraîchissement) |   |

## Logo synthétique



## Formes du type

Logo typo/topologique

- Vecteur de frigories liquide
- Structures de figures à bases différentes
- Contact surfacique
- 06 (5) Structures tramées



Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

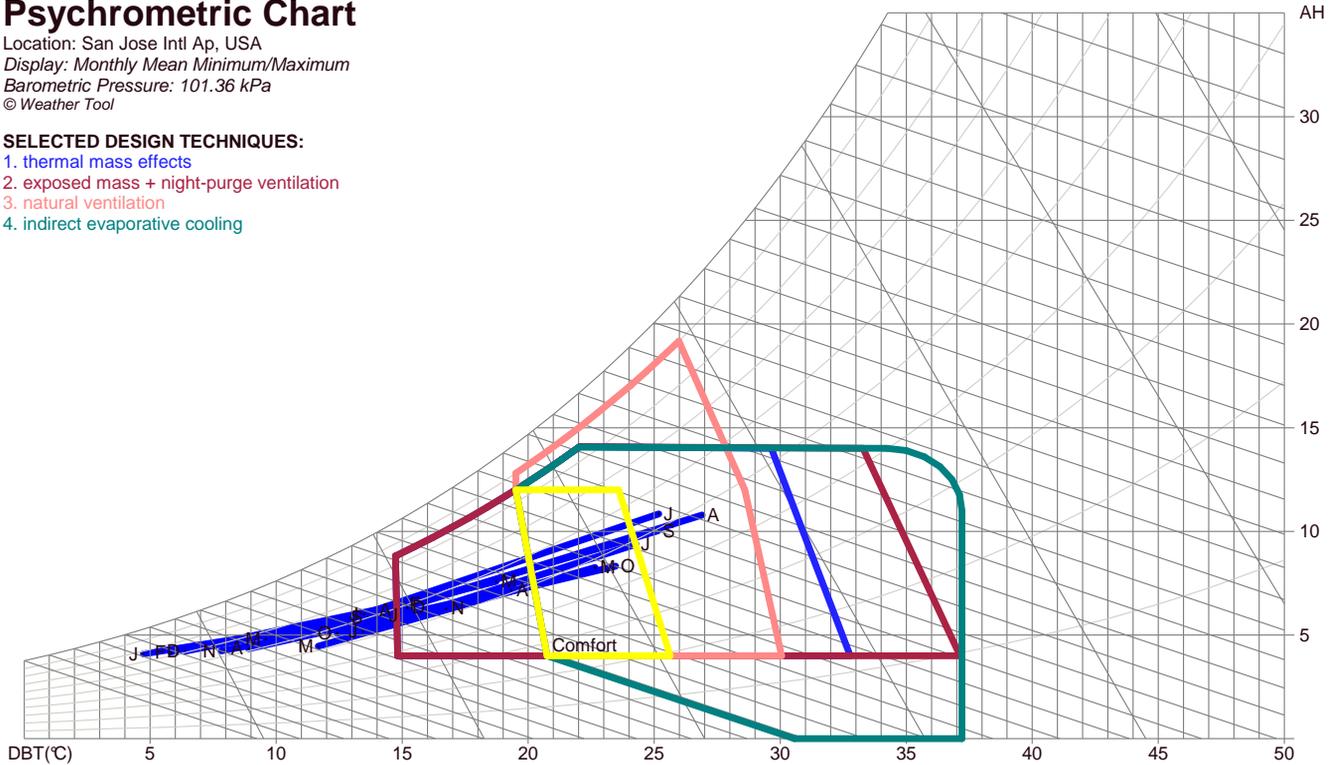
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

**Psychrometric Chart**

Location: San Jose Intl Ap, USA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation
- 4. indirect evaporative cooling



Pour l'analyse climatique nous avons utilisé les données de la ville de San Jose, qui se trouve 20km plus au sud. Nous signalons aussi que ni le logiciel echotect, ni d'autres softwares d'analyse climatique, ne peuvent analyser le potentiel de rafraîchissement par radiation. Probablement car les bâtiments rafraîchis avec cette technique sont extrêmement rares et le logiciel n'a pas été développé à ce sujet. Notre analyse climatique n'est pas complètement fiable, nous devons nous baser sur le simple apport de la masse thermique (dans ce cas les 45 000L d'eau), de la ventilation nocturne et la composante d'évaporation indirecte.

Nous pouvons simplement imaginer qu'il y aura un apport dû au rafraîchissement par la voûte céleste nocturne. Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (évaporatif indirect, plus radiant) devrait garantir le confort des usagers presque toute l'année. Seulement certains jours les usagers risquent de se retrouver dans des situations d'inconfort.

Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site et à l'usage.

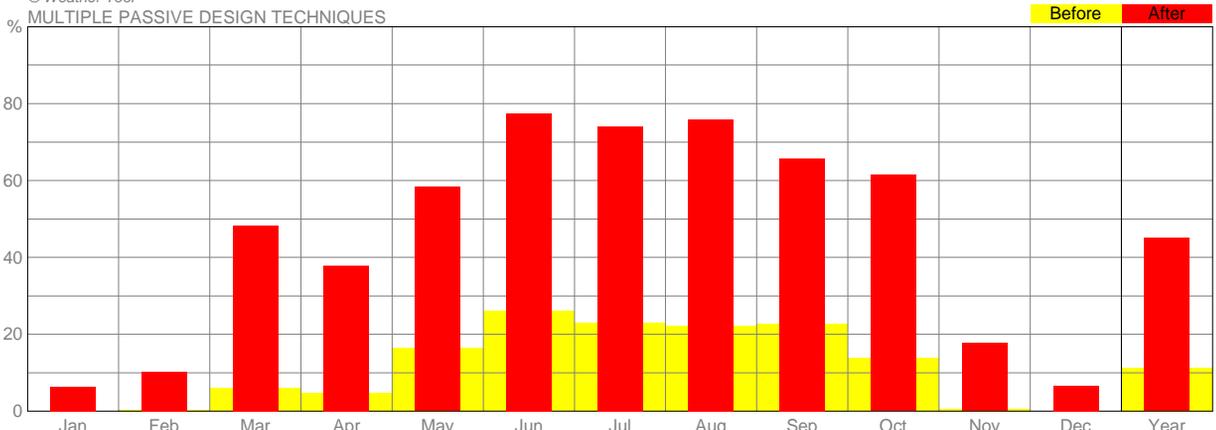
La contrainte due à l'usage a été résolue de manière très innovatrice et adaptée au climat local.

**Comfort Percentages**

NAME: San Jose Intl Ap  
 LOCATION: USA  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 37.4°, -121.9°  
 © Weather Tool

CLIMATE: Cfb  
 Moist mid-latitude climate with mild winters.  
 Marine climates found on the western coast of most continents.  
 High humidity with short dry summers. Heavy precipitation in winter.  
 Warmest month below 22°C.

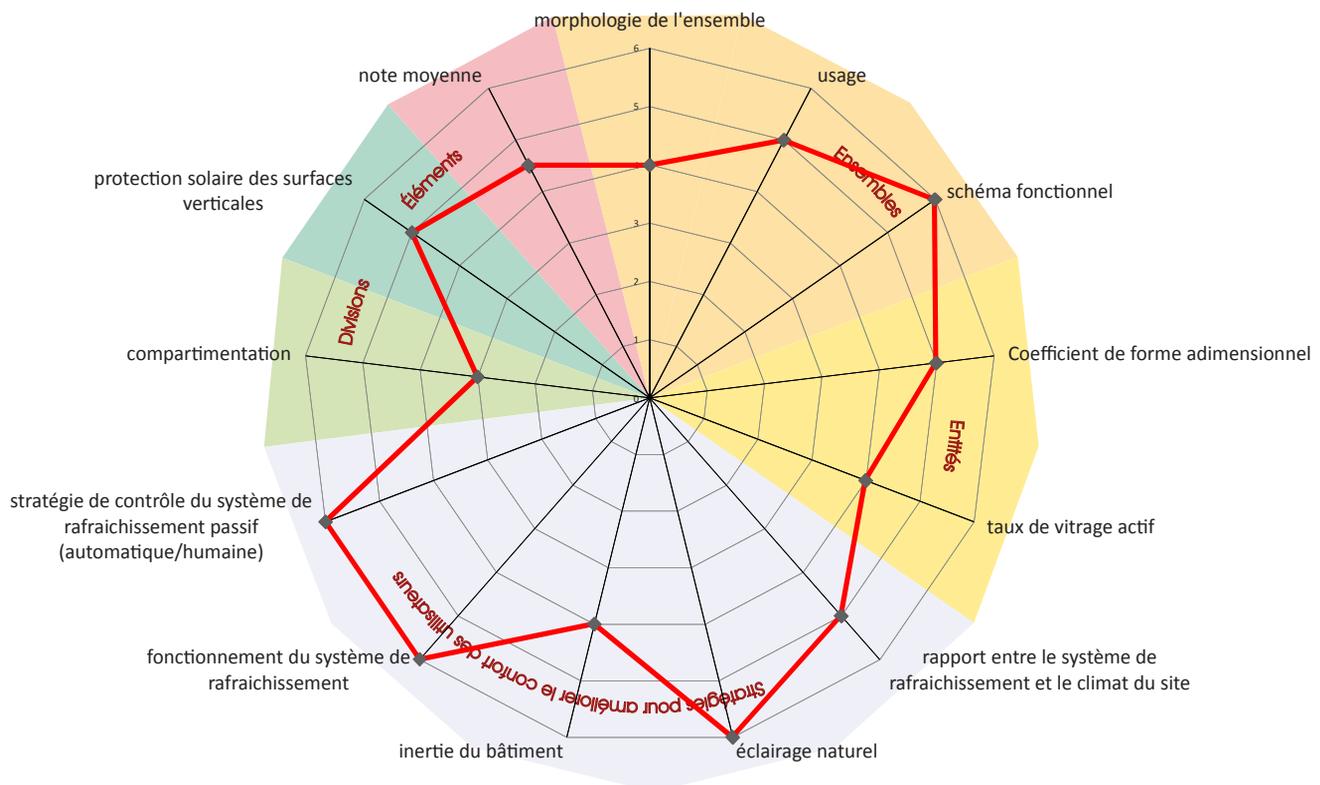
SELECTED DESIGN TECHNIQUES:  
 1. thermal mass effects  
 2. exposed mass + night-purge ventilation  
 3. natural ventilation  
 4. indirect evaporative cooling



07 (6)

## Graphe synthétique des dispositifs critiques

Department of Global Ecology, Stanford University, Stanford, CA, USA



08 (12)

Le department of global ecology est le seul bâtiment que nous avons rencontré rafraîchi par un système radiatif nocturne.

Il faut d'abord considérer les difficultés du projet et l'engagement d'un maître d'ouvrage très particulier.

Le bâtiment est construit pour être un exemple d'architecture «écologique». Ce qui était le programme du maître d'ouvrage, mais ce programme était en contradiction avec la nécessité de réaliser des laboratoires 'humides' et des bureaux équipés de nombreux ordinateurs.

Les laboratoires ont besoin d'un taux d'échange d'air très élevé, ce qui pour le rafraîchissement passif est une grande contrainte. De plus, les apports internes sont très élevés, les réfrigérateurs, ordinateurs et autres machines produisent beaucoup de chaleur.

Tout cela a été résolu en réalisant un système bâtiment pensé dès le début pour minimiser les apports thermiques, tout en garantissant un très bon éclairage naturel des différents espaces. Le rafraîchissement radiatif est une innovation très intéressante et efficace.

Les panneaux radiants et le plancher rafraîchissant font à juste titre partie de la stratégie de rafraîchissement : si on ne peut pas rafraîchir l'air à cause des échanges d'air demandés, on rafraîchit par radiation. Cela démontre que tout le système bâtiment a été bien réfléchi.

Les choix faits par les concepteurs nous semblent presque toujours appropriés à résoudre les différents problèmes techniques. Le bâtiment a été réfléchi comme un système apte à garantir le confort thermique des usagers. Nous avons attribué des notes très élevées en ce qui regarde le schéma fonctionnel, l'éclairage naturel et la stratégie de contrôle (mixte).

La seule note inférieure à 4 est la compartimentation, car vu le système de rafraîchissement adopté il n'était pas nécessaire de réaliser des espaces open space, qui comportent toujours des problèmes de bruit pour les usagers.

## Implantation

La ville de Stanford est située au sud de San Francisco sur la St Francisco Bay, près de la ville de Palo Alto.

Le bâtiment se situe dans le campus de l'université.

Il est difficile de définir une implantation dans la ville, car l'ensemble de la Sant Francisco Bay est une énorme métropole. Le bâtiment est bien orienté, les façades principales s'ouvrent au nord et au sud. Les ouvertures à l'est et à l'ouest sont presque inexistantes.

## Usage

Le bâtiment accueille le département de Global Ecology de l'université de Stanford. Il est difficilement possible d'imaginer un «maître d'ouvrage» plus sensible et engagé, mais en même temps le département nécessite des espaces très particuliers, des laboratoires «humides», des laboratoires «secs» et un nombre élevé d'ordinateurs et d'autres équipements (80 réfrigérateurs). Cela comporte de grands apports thermiques et des contraintes très importantes. Seulement la présence d'un maître d'ouvrage aussi engagé a permis de faire face à ces problèmes et de réaliser un bâtiment «modèle» avec un très bas impact environnemental. Il est difficile d'évaluer si l'usage de ce bâtiment s'adapte bien aux systèmes de rafraîchissement passifs. D'une part, les usagers sont très sensibles au sujet et leur capacité à s'adapter est élevée. D'autre part, le type de laboratoires installés dans le bâtiment comporte des apports thermiques et des nécessités de ventilation trop élevées pour pouvoir rafraîchir avec des systèmes passifs. C'est d'ailleurs pour cela que les concepteurs ont opté pour un rafraîchissement hybride radiatif, trouvant une solution ingénieuse à un problème très compliqué.

## Schéma fonctionnel

L'accès se fait par un hall d'entrée situé à l'est. Le hall peut être ouvert sur tous les côtés et pour les jours les plus chauds il est rafraîchi par une tour évaporative. La tour a aussi la fonction de «signaler» l'entrée du bâtiment. Du hall, on peut accéder aux laboratoires du RDC ou monter les escaliers pour accéder aux bureaux à l'étage. Il faut remarquer trois choses importantes :

01 les laboratoires ne peuvent pas être ventilés naturellement et il est nécessaire d'avoir une VMC et des fenêtres non ouvrantes, hébergés au RDC.

02 des espaces spéciaux, non réfrigérés ont été étudiés pour loger les 80 réfrigérateurs nécessaires aux laboratoires, pour éviter d'augmenter la charge thermique des espaces rafraîchis.

03 les bureaux et les salles de réunion peuvent être ventilés naturellement et pour cette raison ont été logés au premier étage. Les fenêtres sur le toit permettent une très bonne ventilation, avec l'élimination de l'air chaud par un effet cheminée.

Le schéma fonctionnel est très bien adapté à l'usage et au type de rafraîchissement choisi. De plus, les principales causes de surchauffes ont été positionnées dans des pièces ventilées à l'extérieur du bâtiment, pour ne pas compromettre le fonctionnement du système bâtiment.

## Morphologie du bâtiment

L'ensemble est composé d'un seul bâtiment, de deux étages, en forme de parallélépipède. Ceci garantit un bon coefficient de forme.

Surface: 1.021 m<sup>2</sup>

Volume: 4.630 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 5,65

taux de vitrage actif : 0,24 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,16 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>



09 (2)



10 (4)



11 (2)



12 (7)



13 (7)



14 (8)



15 (7)

## Éclairage naturel

Le bâtiment est conçu pour améliorer au maximum la pénétration de la lumière naturelle qui suffit à garantir l'éclairage pendant la plus grande partie de la journée. Les fenêtres sont étudiées pour améliorer l'éclairage. Des panneaux réfléchissants permettent d'augmenter l'effet d'éclairage naturel. Très peu d'ambiances sont «aveugles». La pénétration de la lumière naturelle a été étudiée et simulée. Des capteurs règlent l'intensité de la lumière par rapport au nombre d'occupants et des lux. Le projet a été étudié pour améliorer la pénétration de la lumière du jour et réduire les apports thermiques estivaux, tout en favorisant l'apport thermique hivernal.

## Système de rafraîchissement

Le bâtiment est rafraîchi par un système hybride radiatif et mécanique. Le hall d'entrée est rafraîchi par une tour évaporative. Le choix de ce type de rafraîchissement est déterminé par la nécessité d'avoir une grande ventilation des laboratoires, qui comporterait une élimination de l'air frais obtenue avec d'autres techniques. Pendant les semaines de très forte canicule, une pompe à chaleur baisse ultérieurement la température de l'eau. L'utilisation des sols radiants permet de ventiler les espaces selon les nécessités des usagers. Le seul problème se présente pendant les semaines les plus chaudes de l'année. C'est là que le système est un peu déficitaire, il a fallu prévoir une pompe à chaleur de dimension réduite qui travaille seulement 200 heures/an. Sauf cas exceptionnels, le bâtiment est bien conçu, les apports sont réduits au minimum et, même si les contraintes dues à l'usage étaient importantes le bâtiment garantit avec un minimum d'apport mécanique le confort thermique des usagers.

## Fonctionnement du système de rafraîchissement

Le système de rafraîchissement radiatif fonctionne de la manière suivante : pendant la nuit l'eau est brumisée sur la toiture du bâtiment. Le film d'eau est rafraîchi par radiation de la voûte céleste et en partie par évaporation. L'eau ainsi rafraîchie est stockée dans une citerne de 45 500 L et pendant la journée l'eau re-circule dans le sol radiant et les panneaux radiants de l'immeuble.

Le système de rafraîchissement mis au point pour le bâtiment est très adapté aux fonctions installées. Les laboratoires et les bureaux sont rafraîchis par l'eau du grand réservoir.

## Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

En ce qui concerne le rafraîchissement radiatif le système est géré par une centrale de contrôle automatique, pour le rafraîchissement par ventilation le système est géré directement par les usagers. Les usagers ont été formés pour améliorer leur connaissance du système et pour éviter de «mauvaises» utilisations des fenêtres ouvrantes.

La gestion mixte en partie, la gestion automatique du système et d'autre part la liberté des usagers permettent d'influencer le taux de ventilation des espaces. Pour l'étage des laboratoires la norme prévoit des taux de ventilation fixes, très élevés. La VMC est donc toujours en fonction. Cette stratégie de contrôle expose à des risques, mais donne aux usagers la possibilité de modifier les conditions, pour atteindre l'état de confort. Cette solution permet aux usagers d'être en «harmonie» avec le fonctionnement du système de rafraîchissement, souvent on a vu combien l'imposition de certaines conditions était cause d'inconfort.

### Inertie du bâtiment

L'utilisation du sol radiant comporte l'exposition d'une bonne partie de la masse thermique vers les utilisateurs. La masse thermique est bien exploitée, le seul reproche possible est que la toiture aurait pu être réalisée avec des matériaux plus «lourds», afin de garantir la masse thermique là où elle est la plus importante.



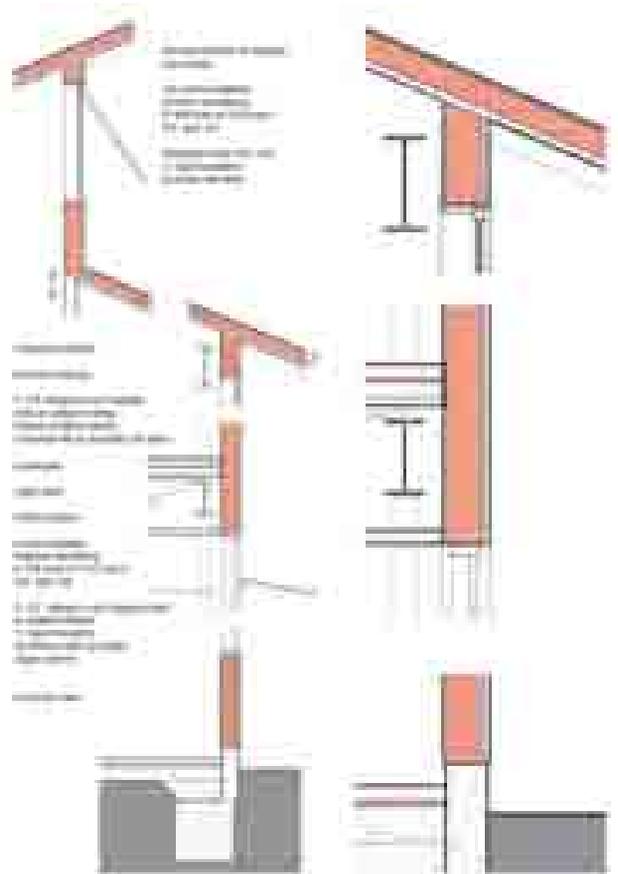
16 (2)

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Isolation thermique standard de 15 cm.

### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Toitures en zinc isolées par un isolant rigide de 10 cm. Le type de matériel est adapté au rafraîchissement radiatif nocturne de l'eau. La couleur du toit est réfléchissante pour absorber le moins possible les rayons du soleil. La toiture est orientée de manière à exposer une surface mineure au rayonnement du soleil. La surface la plus importante est exposée au nord.



17 (7)

### Compartimentation

Au RDC les différents espaces sont divisés selon leur fonction et en particulier les pièces avec les réfrigérateurs, etc. ne sont pas rafraîchies. Au premier étage la présence de quelque compartimentation réduit dans les bureaux privatifs l'efficacité de la ventilation naturelle.



18 (8)



### Protection solaire

Présence de casquettes et d'écrans réflecteurs. Les écrans réflecteurs ont la double fonction d'améliorer la pénétration de la lumière et réduire la radiation directe. La position des fenêtres est étudiée pour réduire au maximum les apports solaires. Les toitures en zinc sont isolées par une mousse rigide de 10 cm. Le type de matériel est adapté au rafraîchissement radiatif nocturne de l'eau. La couleur du toit est réfléchissante pour absorber le moins possible les rayons du soleil. La toiture est orientée de manière à exposer une surface mineure au rayonnement du soleil. La surface la plus importante est exposée au nord.



### Surfaces vitrées

Les parties vitrées ont été réalisées en double vitrage à basse émissivité.

Taux de vitrage actif :  $0,24 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0,16 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Le rapport surface vitrée / surface opaque est équilibré, tout en garantissant une bonne illumination naturelle.



### Surfaces opaques

Les surfaces opaques sont isolées par des panneaux de mousse rigides, la technique de construction choisie est classique. Le béton utilisé est enrichi en cendres de recyclage à 55%, pour réduire le teneur en béton.

### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Présents et réalisés pour permettre l'ouverture en cas de pluie.



## État actuel et condition d'utilisation

Il ressort de la post occupancy evaluation, que les usagers du bâtiment apprécient le confort et le design de leur lieu de travail.

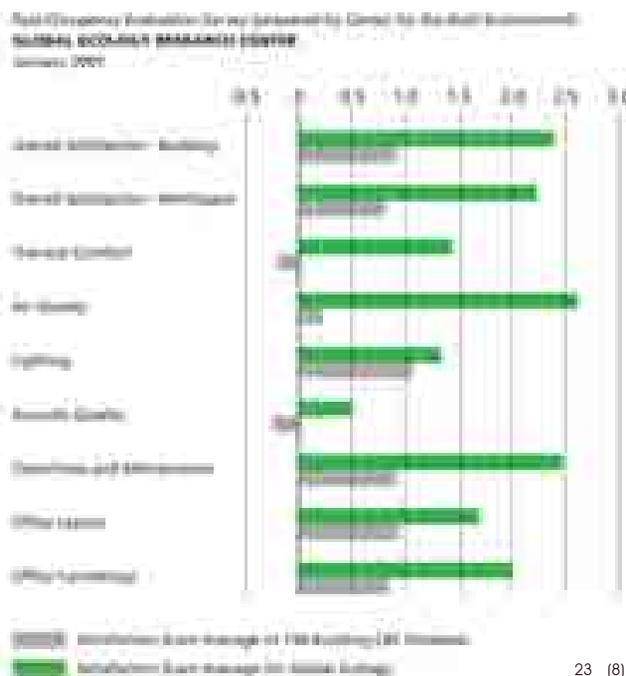
Les usagers ont donné des réponses très positives au sujet du bâtiment.

La réponse sur la qualité de l'air et la satisfaction globale du bâtiment sont remarquables.

Les résultats plus bas regardent la qualité acoustique. Les laboratoires et une partie des bureaux sont en open-space, ce qui peut comporter des nuisances acoustiques.

Le confort thermique est presque toujours garanti, mais pendant quelques jours/semaines de canicule par an les systèmes de rafraîchissement n'arrivent pas à rafraîchir le premier étage. Cela est dû à plusieurs facteurs, mais l'inconfort pour de très courtes périodes est considéré par les usagers comme acceptable.

Ce qui ressort des post occupancy evaluations est la bonne adaptabilité des usagers, mais aussi la grande qualité d'un bâtiment, qui a été réfléchi comme une «machine» apte à garantir le confort des usagers.



23 (8)

## Analyse architecturale

Le bâtiment a la forme d'un parallélépipède.

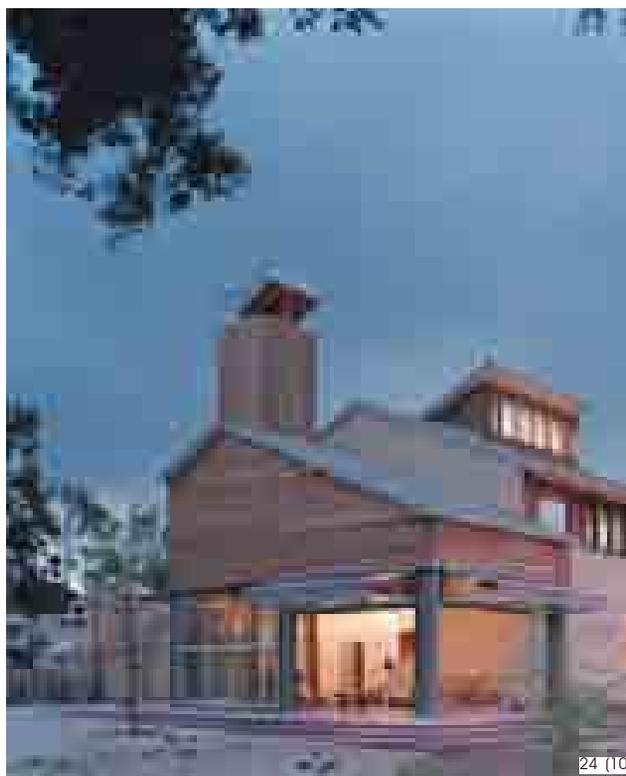
L'architecture est contemporaine et très sobre. Comme nous l'avons déjà dit, l'objectif de l'architecte était de réaliser une «machine bioclimatique». Les éléments 'décoratifs' sont réduits et se limitent à l'usage des matériaux, qui caractérisent la façade.

Le deuxième objectif de l'architecte était de rendre le bâtiment reconnaissable par ses caractéristiques bioclimatiques. Il est clair que le maître d'ouvrage désirait créer un bâtiment symbole facile à identifier. Le système de rafraîchissement radiatif nocturne n'est pas visible par les usagers. C'est probablement pour ce motif que l'architecte a choisi de rafraîchir le hall d'entrée par une tour évaporative.

Nous pouvons dire que ce système de rafraîchissement n'est pas vraiment nécessaire pour le hall, qui est presque un espace filtre entre l'extérieur et intérieur. Les parois du hall d'entrée sont complètement ouvrantes et en été elle devient un salon ouvert. La présence de la tour évaporative, par contre, répond efficacement à la nécessité de caractériser le bâtiment. C'est pour ce motif que nous avons attribué un niveau de prégnance au bâtiment de 5.

Il est clair que la fonction de la tour de rafraîchissement évaporatif est plus esthétique que technique. Le même espace aurait pu être rafraîchi par le système radiatif.

Ce bâtiment est un cas un peu spécial, l'architecte a adopté un système de rafraîchissement facile à dissimuler, mais il a préféré caractériser le bâtiment par une tour non indispensable, mais de grand impact visuel. D'ailleurs sur presque toutes les photos de ce bâtiment elle apparaît.

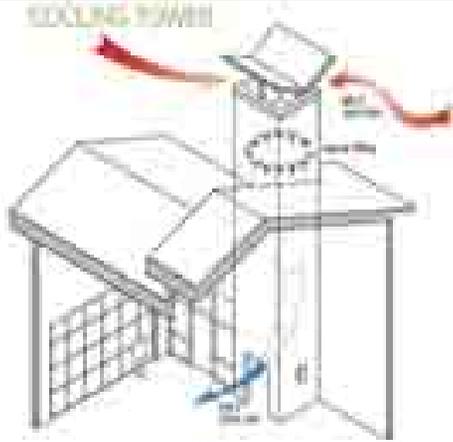


24 (10)



25 (10)

## Aspects positifs et leçons à retenir



A diagram illustrating cooling power analysis.

26 (10)



27 (11)



28 (7)

Le department of global ecology est l'un des bâtiments les plus intéressants rencontrés.

D'une part, il est construit pour être un symbole de l'architecture écologique, mais d'autre part il abrite des fonctions très contraignantes. Les laboratoires ont besoin d'un taux d'échange d'air très élevé, ce qui pour le rafraîchissement passif est une grande contrainte. De plus, les apports internes sont très élevés. Tout cela a été résolu en réalisant une architecture pensée dès le début pour minimiser les apports thermiques, tout en garantissant un très bon éclairage général. Le rafraîchissement radiatif est une innovation très intéressante et efficace.

Les panneaux radiants et le plancher rafraîchissant font à juste titre partie de la stratégie de rafraîchissement : si on ne peut pas rafraîchir l'air à cause des besoins d'échanges d'air, on rafraîchit par radiation.

Cela démontre que tout le système bâtiment a été bien réfléchi.

Les aspects les plus significatifs sont:

Le système de rafraîchissement radiatif, le department of global ecology est le seul bâtiment contemporain que nous avons rencontré rafraîchi par radiation nocturne. Le système se révèle d'ailleurs très efficace.

Le schéma fonctionnel. L'idée de positionner les sources de chaleur plus importante à l'extérieur est aussi banale que rare. Presque jamais nous n'avons rencontré des locaux pour les serveurs ou autres éléments traités de cette manière.

Le traitement de l'éclairage naturel, sans pour autant augmenter les surfaces vitrées, est très efficace. À remarquer en particulier les casquettes pour la réflexion de l'éclairage indirect et la protection du rayonnement direct.

Un autre élément très important est le traitement de l'eau. Les urinoirs sans eau, les lavabos à basse pression et le choix des plantations locales permettent au bâtiment de faire d'importantes économies en consommation d'eau. Les espaces extérieurs ont été traités de façon à augmenter au maximum la perméabilité de l'eau, pour réduire le ruissellement.

## Aspects négatifs et leçons à retenir

Ce qui pourrait sembler un aspect négatif pour ce bâtiment est la présence de la climatisation mécanique.

En même temps avec des contraintes comme la nécessité des échanges d'air très élevés, dus aux laboratoires 'humides', il aurait été impossible de rafraîchir le bâtiment sans aucun apport mécanique. De plus, nous savons très bien que la demande en termes de confort aux États Unis est bien supérieure par rapport à d'autres endroits dans le monde. La variable culturelle est très importante pour évaluer un bâtiment.

Aspects négatifs les plus importants :

Les aspects négatifs les plus importants que nous ayons remarqués sont la technique constructive de la toiture et la basse masse thermique des murs extérieurs.

La toiture est à charpente légère et isolée par des panneaux rigides d'environ 13 cm d'épaisseur, ce qui ne nous paraît pas assez important. De plus, le manque de masse thermique au premier étage nous semble la cause principale des surchauffes estivales.

L'isolation dans les murs extérieurs nous semble insuffisante.

Ces remarques doivent être mises en relation avec les caractéristiques d'un bâtiment extrêmement performant.

## Bibliographie

---

- Brager Gail. Mixed-mode cooling [En ligne] // eScholarship . - eScholarship , 01 01 2006. - 16 05 2010. - <http://escholarship.org/uc/item/3bb8x7b8>.
- Carnegie Institution Construction Phase 2 [En ligne] // Carnegie Institution. - Carnegie Institution, 2006. - 03 02 2012. - [http://dge.stanford.edu/about/building/phase\\_2.html](http://dge.stanford.edu/about/building/phase_2.html).
- Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology BEYOND ENERGY [En ligne] // The Department of Global Ecology. - Carnegie Institution, 2006-2008. - 15 05 2010. - <http://dge.stanford.edu/about/building/Resource%20Efficiency.pdf>.
- Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology energy performance goals [En ligne] // The Department of Global Ecology. - Carnegie Institution, 2006-2008. - 15 05 2010. - <http://dge.stanford.edu/about/building/Energy%20Goals.pdf>.
- Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology New Laboratory Complex Department of Global Ecology Carnegie Institution of Washington Stanford, Californi [En ligne] // The Department of Global Ecology. - Carnegie Institution, 02 2002. - 15 05 2010. - <http://dge.stanford.edu/about/building/building%20philosophy%20-02.pdf>.
- Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology Project Description [En ligne] // The Department of Global Ecology. - Carnegie Institution, 2006-2008. - 15 05 2010. - <http://dge.stanford.edu/about/building/Project%20Description.pdf>.
- Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology Sustainable Strategies [En ligne] // The Department of Global Ecology . - Carnegie Institution, 2006-2008. - 15 05 2010. - [http://dge.stanford.edu/about/building/Sus\\_features.pdf](http://dge.stanford.edu/about/building/Sus_features.pdf).
- CBE Global Ecology Research Center [En ligne] // CBE. - The Regents of the University of California, 2009. - 22 05 2010. - <http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/2007globalecology.htm>.
- CBE Global Ecology Research Center [En ligne] // CBE. - The Regents of the University of California, 2009. - 22 05 2010. - [http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/pdfs2007/submittal\\_global\\_ecology.pdf](http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/pdfs2007/submittal_global_ecology.pdf).
- EHDD Architects Department of Global Ecology Carnegie Institution for Science [En ligne] // EHDD Architects. - EHDD Architects. - 20 01 2012. - <http://www.ehdd.com/#/DepartmentofGlobalEcologyCarnegieInstitutionforScience>.
- EHDD Architects EHDD - Global Ecology building [En ligne] // EHDD Architects. - EHDD Architects, 28 01 2005. - 20 01 2012. - <http://www.ehdd.com/sites/ehdd/files/GlobalEcologyfullreport.pdf>.
- FORD Brian [et al.] The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book [Livres]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.
- G Living Staff Monkeys Global Ecology Research Center | Theory Into Practice [En ligne] // architecture / interior design. - GLIVING.COM, 04 10 2008. - 14 05 2010. - <http://gliving.com/global-ecology-research-center-theory-into-practice/>.
- Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.
- LEVY DAWN Built to last: Global Ecology building showcases sustainability [En ligne] // Stanford University News Service. - Stanford University News Service, 13 04 2004. - 18 05 2010. - <http://news.stanford.edu/pr/2004/building414.html>.
- LOISOS UBVELOHDE Associates Carnegie Institute [En ligne] // LOISOS UBVELOHDE Associates. - LOISOS UBVELOHDE Associates, 2011. - 16 05 2011. - [http://www.coolshadow.com/consulting/carnegie\\_institute.html](http://www.coolshadow.com/consulting/carnegie_institute.html).
- Malin Nadav Global Ecology Center [En ligne] // Green Source. - USGBC, 01 2007. - 16 05 2010. - [http://greensource.construction.com/projects/0701\\_planetary.asp](http://greensource.construction.com/projects/0701_planetary.asp).
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.
- PHDC Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC\_Draught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 29 10 2009. - Conférence PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.
- SCHIANO PHAN Rosa et FORD Brian Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling; Case studies in the US [Conférence] // PLEA 2008 – 25° Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / éd. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.
- Shel Scott, Jacobson Brad et Manmoha Dushyant GLOBAL ECOLOGY CENTER FOR THE CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON [En ligne] // ecosmartconcrete. - ecosmartconcrete., 03 2004. - 13 05 2010. - <http://www.ecosmartconcrete.com/kbase/filedocs/csrecologycenter.pdf>.
- The American Institute of Architects Carnegie Institution of Washington Global Ecology Center [En ligne] // The American Institute of Architects. - The American Institute of Architects, 23 04 2007. - 16 05 2010. - <http://www.aiaatopen.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=809>.

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

University of California Berkeley The Carnegie Institute for Global Ecology [En ligne] // Mixed Mode. - University of California Berkeley, 2005. - 16 05 2010. - <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode/carnegie.html>.

Waterloo Architecture Global Ecology Center, Stanford, California [En ligne] // The Carbon Neutral Design Project; Waterloo Architecture . - 2012 American Institute of Architects. - 13 05 2010. - [http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty\\_projects/terri/carbon-aia/case/global/global.html](http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/carbon-aia/case/global/global.html).

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [En ligne] Google, 2011. [Citation : 10 04 2011.] <http://maps.google.fr>.
2. Carnegie Institution. Construction Phase 2. Carnegie Institution. [En ligne] 2006. [Citation : 03 02 2012.] [http://dge.stanford.edu/about/building/phase\\_2.html](http://dge.stanford.edu/about/building/phase_2.html).
3. Brager, Gail. Mixed-mode cooling. eScholarship . [En ligne] 01 01 2006. [Citation : 16 05 2010.] <http://escholarship.org/uc/item/3bb8x7b8>.
4. University of California Berkeley. The Carnegie Institute for Global Ecology. Mixed Mode. [En ligne] University of California Berkeley, 2005. [Citation : 16 05 2010.] <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode/carnegie.html>.
5. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
6. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [En ligne] 11 03 2011. [Citation : 25 01 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
7. Waterloo Architecture . Global Ecology Center, Stanford, California. The Carbon Neutral Design Project; Waterloo Architecture . [En ligne] 2012 American Institute of Architects. [Citation : 13 05 2010.] [http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty\\_projects/terri/carbon-aia/case/global/global.html](http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/carbon-aia/case/global/global.html).
8. CBE. Global Ecology Research Center. CBE. [En ligne] 2009. [Citation : 22 05 2010.] [http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/pdfs2007/submittal\\_global\\_ecology.pdf](http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/pdfs2007/submittal_global_ecology.pdf).
9. G Living Staff Monkeys. Global Ecology Research Center | Theory Into Practice. architecture / interior design. [En ligne] GLIVING.COM, 04 10 2008. [Citation : 14 05 2010.] <http://gliving.com/global-ecology-research-center-theory-into-practice/>.
10. Malin, Nadav. Global Ecology Center. Green Source. [En ligne] USGBC, 01 2007. [Citation : 16 05 2010.] [http://greensource.construction.com/projects/0701\\_planetary.asp](http://greensource.construction.com/projects/0701_planetary.asp).
11. Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe. Bing Cartes. Bing. [En ligne] Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. [Citation : 15 04 2011.] <http://www.bing.com/maps>.
12. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## BRE Office, Watford, England

### Contenu de la fiche

- Synthèse
- Données climatiques de la zone
- Groupe analytique
- Logo synthétique
- Formes du type
- État actuel et usage
- Analyse architecturale
- Performances du bâtiment
- Avis critique
- Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par l'agence Feilden Clegg Design. Le bâtiment se trouve à Watford, dans la partie nord de l'agglomération de Londres, aux extrémités de l'agglomération même. Il est rafraîchi par un système de ventilation naturelle, nocturne et l'exposition de la masse thermique. Le bâtiment du BRE est un exemple très intéressant. Les concepteurs ont utilisé des dispositifs innovants et réutilisables dans d'autres projets. Les analyses ont néanmoins montré des défaillances, en particulier au regard de la consommation de gaz et quelque peu d'électricité. Le facteur humain n'a pas assez été pris en considération et certaines pratiques ont posé des problèmes de surconsommation. Cela dit, il reste l'un des projets les plus intéressants, en particulier dans sa partie liée au rafraîchissement passif. Il faut remettre l'accent sur le système de contrôle qui justement laisse une certaine liberté aux usagers et reprend le contrôle des systèmes de rafraîchissement chaque soir. Il nous semble simple, flexible et innovant.

Latitude N 51.70048, Longitude -0.373374



01 (1)

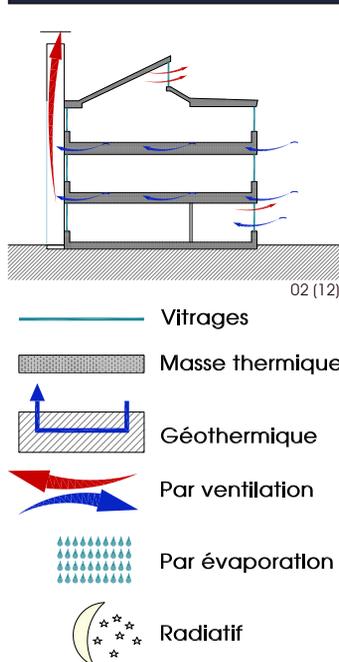
### Données climatiques de la zone

Le climat est de type tempéré avec des pluies continues tout au long de l'année, mais d'intensité légère. Les températures sont douces toute l'année, les moyennes varient entre 3 C° en février et 19 C° en juillet. La moyenne des températures maximum en juillet est d'environ 30 C° et le pic des températures dépasse rarement les 33 C°. DJU hiver = 2633,00, DJU été = 73,04

### Groupe analytique

|   |  |                                   |   |   |
|---|--|-----------------------------------|---|---|
| Semi-compacte<br>(Morphologie)                      | Tertiaire<br>(Typologie)                 | BRE Offices<br>(Usage)            | 1997<br>(Datation)  | Visibles niveau 4<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 2.040 - 5.154<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 14m p;46m l;13m h<br>(Dimensions) | Ventilation naturelle/Ventilation nocturne<br>(Stratégie de rafraîchissement) |   |

### Logo synthétique



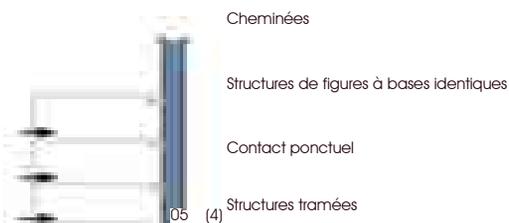
02 (12)

### Formes du type



03 (2)

Logo typo/topologique



05 (4)



04 (3)

Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

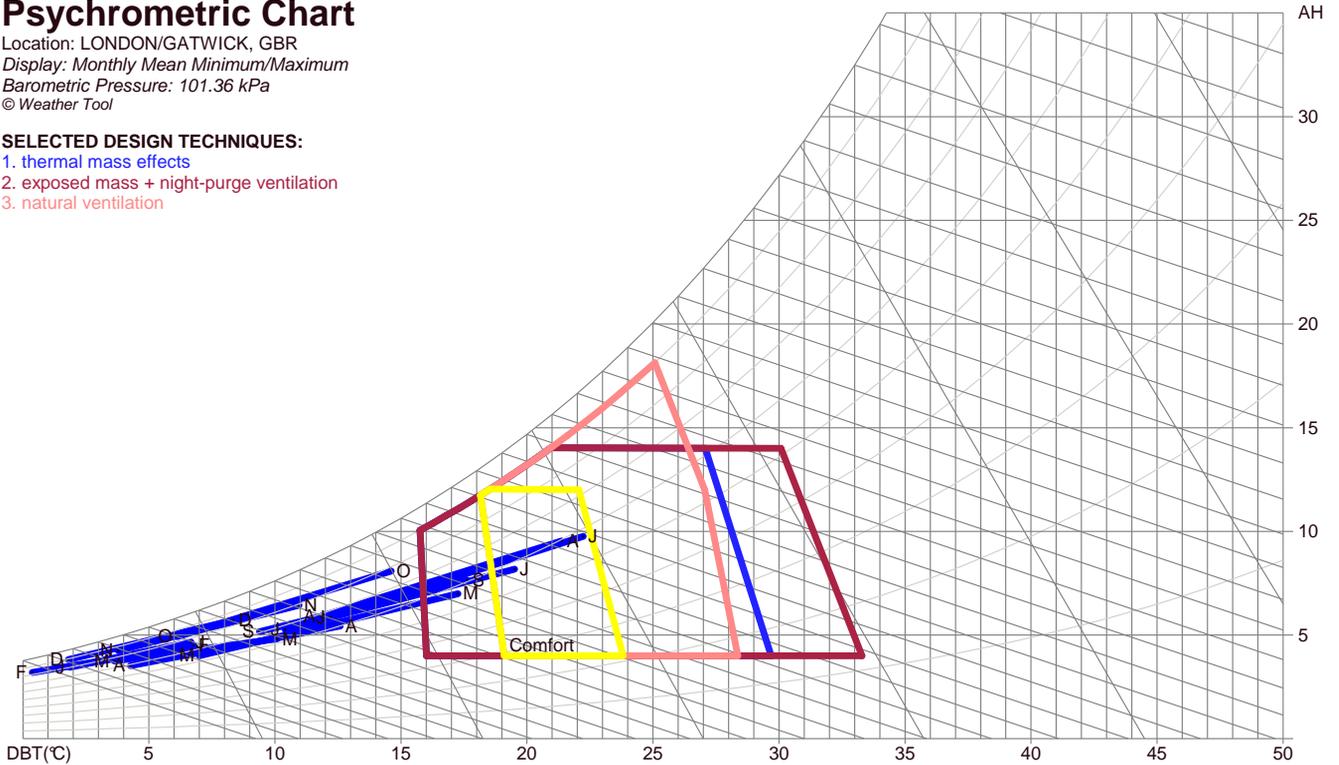
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: LONDON/GATWICK, GBR  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation



Pour analyser le climat de Watford, nous avons pris en considération le climat de Londres. Nous savons que l'effet de ICU très fort dans le centre de Londres sera moins intense à 30 km du centre-ville, mais les conditions climatiques ne seront pas très différentes. Il apparaît nettement en observant le graphe psychrométrique que les systèmes de rafraîchissement choisis s'adaptent très bien au climat du site. Il semble presque trop efficace, mais si nous tenons compte des apports internes il est clair que la capacité de rafraîchissement est adéquate.

Les systèmes de rafraîchissement choisis par l'architecte sont adaptés pour garantir le confort des usagers même dans les périodes les plus chaudes de l'année. De plus, les solutions techniques adoptées sont très efficaces et conviennent au site et au climat.

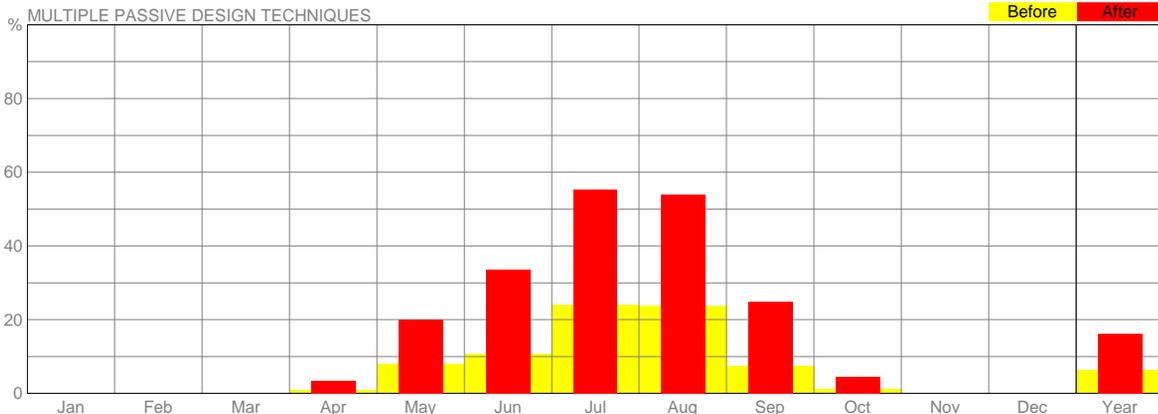
Nous voulons tout de même souligner que le climat du site n'est pas très chaud, mais même dans ces conditions climatiques presque tous les bâtiments similaires sont rafraîchis mécaniquement. Occasionnellement les bureaux du BRE doivent être rafraîchis via un système géothermique, par l'eau d'une source à 70 m de profondeur pour rafraîchir les planchers radiants.

### Comfort Percentages

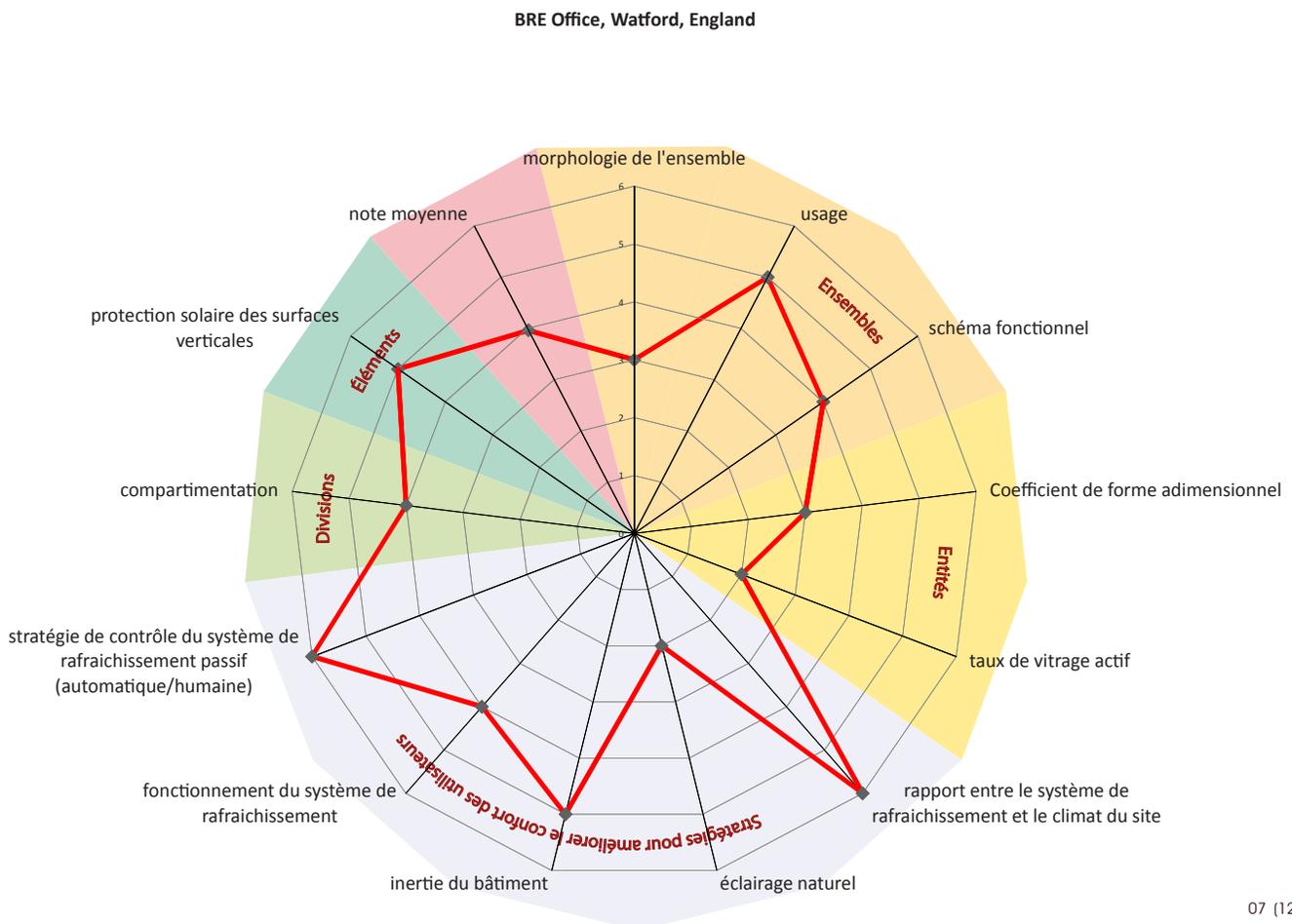
NAME: LONDON/GATWICK  
 LOCATION: GBR  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 51.2°; -0.2°  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation



## Graphe synthétique des dispositifs critiques



Le department of global ecology est l'un des bâtiments les plus intéressants rencontrés.

D'une part, il est construit pour être un symbole de l'architecture écologique, mais d'autre part il abrite des fonctions très contraignantes. Les laboratoires ont besoin d'un taux d'échange d'air très élevé, ce qui pour le rafraîchissement passif est une grande contrainte. De plus, les apports internes sont très élevés. Tout cela a été résolu en réalisant une architecture pensée dès le début pour minimiser les apports thermiques, tout en garantissant un très bon éclairage général. Le rafraîchissement radiatif est une innovation très intéressante et efficace. Les panneaux radiants et le plancher rafraîchissant font à juste titre partie de la stratégie de rafraîchissement : si on ne peut pas rafraîchir l'air à cause des échanges d'air demandés, on rafraîchit par radiation. Cela démontre que tout le système bâtiment a été bien réfléchi.

Les choix faits par les concepteurs nous semblent presque toujours appropriés à résoudre les différents problèmes techniques. Le bâtiment a été réfléchi comme un système apte à garantir le confort thermique des usagers. Nous avons attribué des notes très élevées pour ce qui regarde le schéma fonctionnel, l'éclairage naturel et la stratégie de contrôle (mixte).

La seule note inférieure à 4 est la compartimentation, car vu le système de rafraîchissement adopté il n'était pas nécessaire de réaliser des espaces en open-space, qui provoquent toujours des problèmes de bruit pour les usagers.

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se trouve dans la zone nord de la ville, aux limites de la forêt de Bricket. Dans la zone, existaient d'anciens bâtiments industriels qui ont été démolis. Une partie des matériels anciens a été réutilisée. Le bâtiment a la forme d'un L dont le coté le plus long est orienté vers le sud.

L'orientation du bâtiment est assez favorable.



08 (6)

### Usage

Bureaux du BRE (Building Research Establishment) Group. Le BRE est depuis plus de 80 ans le principal institut de recherche sur le bâtiment en Angleterre.

L'usage s'adapte très bien à ce type de bâtiment.

Les bureaux du BRE, qui est la principale institution anglaise de recherche et innovation sur le bâtiment, sont le lieu le plus adapté à la création d'un bâtiment expérimental. Il a été construit avec l'objectif de devenir un exemple pour les futurs bâtiments de bureaux.

Les usagers sont naturellement sensibles et sensibilisés à ce type de demande et de fonctionnement.

Il faut tout de même rappeler que l'usage bureaux peut comporter des problèmes pour les systèmes de rafraîchissement passifs.

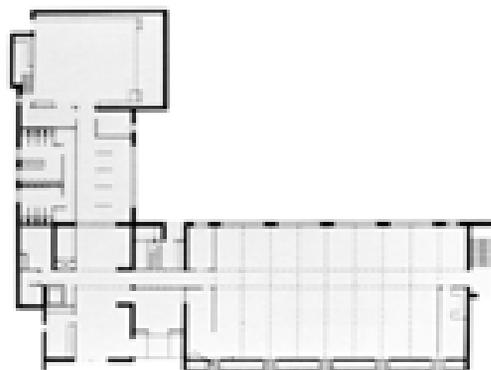


09 (7)

### Schéma fonctionnel

Le bâtiment a été conçu pour loger les bureaux d'environ 100 employés, une salle de séminaire accueillant 100 spectateurs et deux salles de réunion plus petites, pour environ 20 personnes. Les solutions techniques ont été adaptées pour fournir la plus grande flexibilité possible en gardant la masse thermique des planchers et plafonds exposée aux flux d'air. Les planchers ont été divisés en bandes de 1,5 m avec une bande de plancher flottant et une bande de plancher dur. Les plafonds sinusoïdaux permettent d'utiliser des conduits de ventilation, tout en exploitant la masse thermique du plancher. Le seul problème est posé par les grands bureaux en open space, qui facilitent la ventilation et le rafraîchissement, mais qui induisent des nuisances sonores pour les usagers.

La distribution interne est étudiée pour améliorer la flexibilité des espaces et garantir un bon confort thermique. Le seul défaut que nous avons remarqué est le grand bureau en open space au rdc, cela est optimal pour garantir le confort d'été, mais souvent les usagers de ce type de bureaux ne ressentent pas de confort acoustique.



10 (8)

### Morphologie du bâtiment

Le bâtiment est semi-compact, composé de deux barres, l'une contenant les bureaux et l'autre contenant la salle des séminaires et la cafétéria..

Surface: 2.040 m<sup>2</sup>

Volume: 5.154 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 6,87

taux de vitrage actif : 0,28 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,17 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>



11 (8)



12 (6)

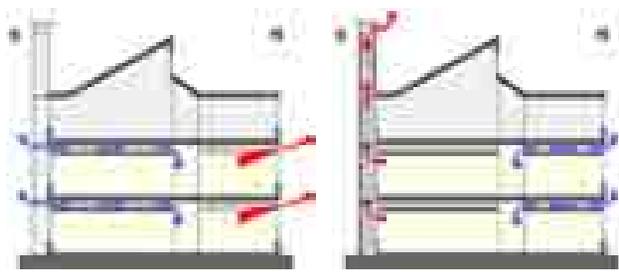
### Éclairage naturel

Le bâtiment a été étudié pour réduire au maximum l'apport d'éclairage naturel, les corps lumineux sont à très basse consommation et des capteurs mesurent la luminosité et règlent la puissance des corps lumineux.

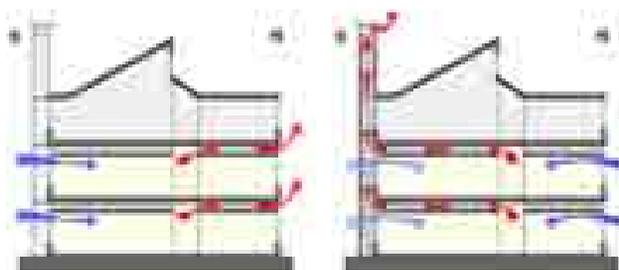
Le système mis en place permet de réduire la consommation électrique par rapport à un espace normal de bureaux. Par contre, selon les déclarations des usagers, souvent, le niveau d'éclairage est trop faible et les surfaces verticales ne sont pas éclairées. Cela est source d'inconfort.

### Système de rafraîchissement

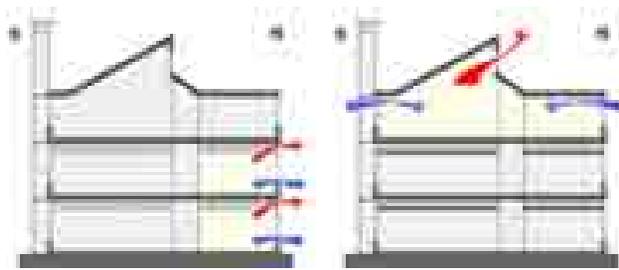
Le bâtiment est rafraîchi par ventilation directe, exposition de la masse thermique et ventilation nocturne. Ces systèmes de rafraîchissement couplés permettent de garantir le confort thermique des usagers. Les cheminées solaires pour le tirage de l'air sont positionnées sur la façade sud, les fenêtres au nord permettent un apport d'air frais, de plus les conduits d'air présents dans les planchers/plafond sinusoidaux permettent la ventilation nocturne avec rafraîchissement de la masse thermique. La grande masse thermique exposée à la ventilation nocturne permet de pré-rafraîchir la structure. Pour garantir le confort lors des rares heures de pics de température et d'humidité, il existe la possibilité de faire circuler, dans les planchers, l'eau d'une source à 70 mètres de profondeur. Les systèmes de rafraîchissement dans un climat, pas particulièrement difficile, comme celui de Londres permettent de garantir le confort thermique des usagers. De plus, les solutions innovatrices adoptées par les architectes et les ingénieurs du BRE office sont simples, efficaces et reproductibles. Les cheminées solaires sur la façade sud, même si les articles de A. Buchair (Bouchair, 1994) démontrent que la position idéale des cheminées solaires serait la façade ouest, permettent un bon tirage de l'air, en particulier quand les pièces sont utilisées. Pendant la nuit, les cheminées permettent le rafraîchissement de la structure et la toiture inclinée avec des ouvertures en partie haute permet l'extraction de l'air chaud au dernier étage. Tout cela, couplé avec une bonne protection solaire, permet de garantir le confort thermique des usagers sans utiliser d'installations de climatisation.



Ventilation diurne en hiver

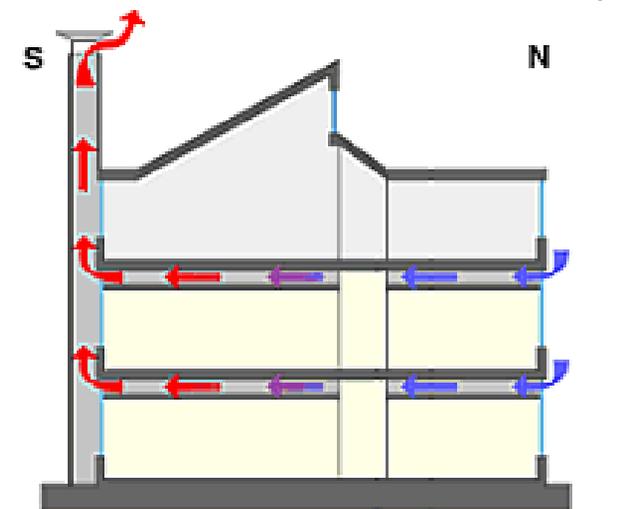


Ventilation diurne en été



Ventilation des bureaux individuels

Ventilation du deuxième étage



Ventilation nocturne en été.

13 (2)

### Fonctionnement du système de rafraîchissement

Tous les systèmes du bâtiment sont reliés à une centrale de contrôle qui ouvre les fenêtres, règle la luminosité et oriente les brise-soleil. Des fenêtres en partie haute du plancher s'ouvrent selon la température extérieure et en particulier des fenestrons hauts renforcent la ventilation nocturne dans les canaux du plancher. Les cheminées solaires permettent l'extraction de l'air chaud, dans des conditions d'absence de vent ou de tirage insuffisant, des ventilateurs facilitent l'extraction de l'air. Les brises-soleil en verre opale, mouvementées automatiquement, réduisent les apports solaires. Les usagers peuvent manoeuvrer les fenêtres pour l'entrée d'air et la ventilation directe. Globalement le système semble fonctionner très bien. Nous pourrions nous interroger sur les difficultés d'entretien d'un tel système, mais nous n'avons pas de données à ce sujet.

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Tous les systèmes du bâtiment sont reliés à une centrale de contrôle qui ouvre les fenêtres, règle la luminosité et oriente les brises-soleil. Les usagers ont une grande liberté dans la modification des paramètres, ils peuvent ouvrir les fenêtres, modifier la position des brises-soleil, ..., mais chaque soir à minuit tout le système est réinitialisé et ramené à sa position première. Le système de contrôle est extrêmement bien conçu et efficace, il donne la possibilité aux usagers de manoeuvrer fenêtres, brises-soleil, etc., il permet d'améliorer leur tolérance aux situations d'inconfort. On peut imaginer que l'entretien d'un tel système de contrôle doit être compliqué. Cependant, nous avons rencontré difficilement dans d'autres bâtiments des systèmes aussi flexibles et efficaces.

Stratégies pour améliorer le confort des utilisateurs

## Analyse systémique

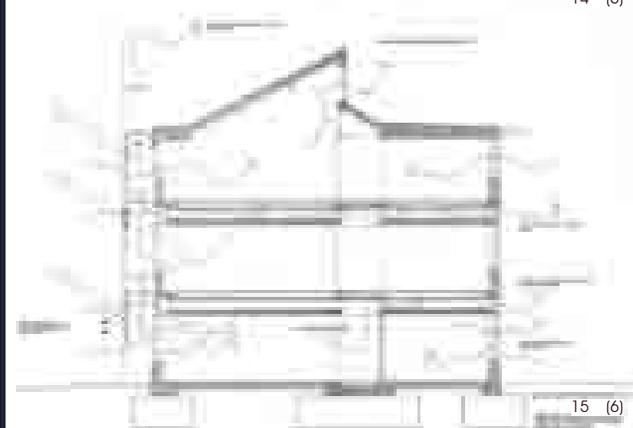
### Inertie du bâtiment

Les dalles sinusoidales, la position des installations techniques ... tout a été étudié pour améliorer la masse thermique du bâtiment et l'exposer aux flux d'air.



### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

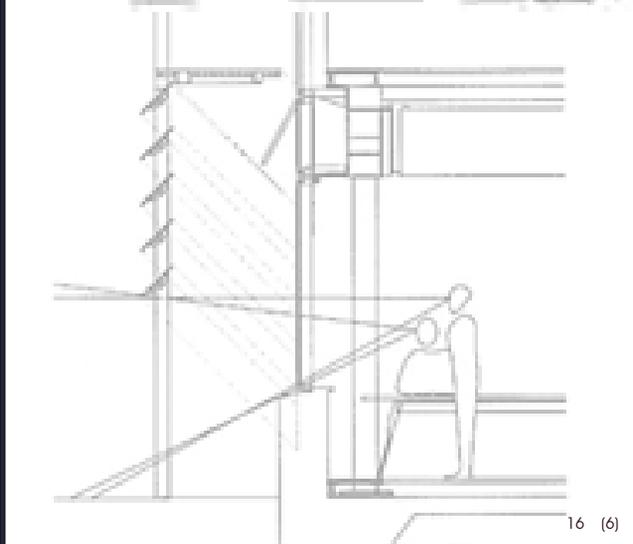
Murs en maçonnerie avec isolation thermique de 100 mm. L'isolation paraît légèrement insuffisante.



### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Toiture en aluminium et charpente en bois

La toiture est orientée de manière à exposer une surface majeure au rayonnement du soleil, pour permettre d'orienter les fenestrons d'extraction de l'air au nord.



### Compartimentation

Pas de compartimentation dans les parties rafraîchies passivement, ce qui est efficace pour le rafraîchissement, mais bien moins pour le bruit.





18 (10)

### Protection solaire

Les surfaces verticales vitrées sont toujours protégées par des brises soleil en verre orientable, gérées par la centrale de contrôle. Il est possible de manipuler la position des brises soleil manuellement.

Le contrôle manuel permet de répondre aux nécessités des usagers pour le contrôle de la lumière directe. Comme pour la gestion des autres systèmes à minuit chaque jour c'est la centrale de contrôle qui prend le relais pour mouvementer les brises soleil et l'ouverture des fenêtres.

Les brises soleil sont en verre avec une lame de céramique à l'intérieur, pour optimiser le contrôle solaire et la réflexion de la lumière.

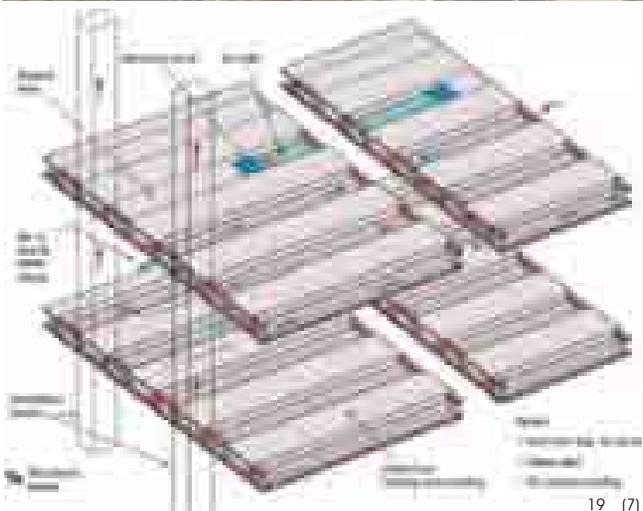
### Surfaces vitrées

Les parties vitrées ont été réalisées en double vitrage, rempli d'argon, à basse émissivité.

Taux de vitrage actif :  $0,28 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0,17 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Le rapport surface vitrée / surface opaque est équilibré, tout en garantissant un bon éclairage naturel.



19 (7)

### Surfaces opaques

Les surfaces opaques sont ainsi composées:

Plancher Béton -  $W/m^2k$  0.33

Murs 100mm briquetage, 100 mm isolation, 150 mm maçonnerie en parpaing enduit dense -  $W/m^2k$  0.32

Toit Aluminium, 150 mm isolation, 75mm bois/150mm béton -  $W/m^2k$  0.24

Source: (EULEB, 2006)



20 (2)

### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Présents, automatiques et efficacement reliés à tout le système du bâtiment.

Fenestrons permettant la ventilation des conduits de la dalle et le pré-rafraîchissement. Fenêtres hautes en toiture.

## État actuel et condition d'utilisation

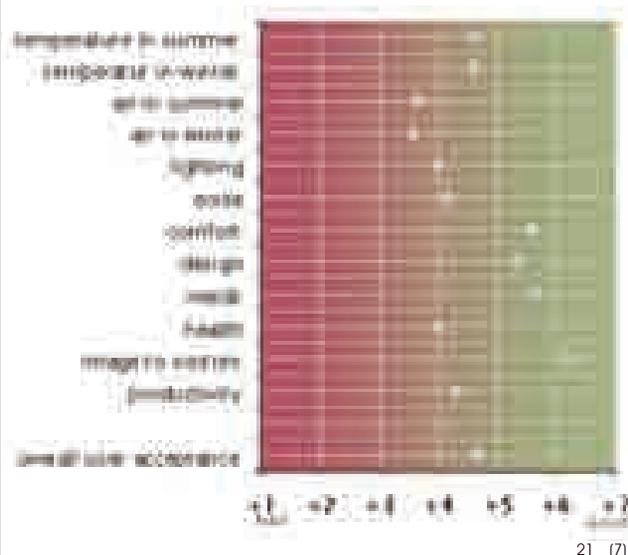
Les post occupancy evaluations montrent que les usagers ont une bonne perception du bâtiment.

En particulier la température, le confort et l'image du bâtiment ont des notes très élevées.

Il demeure des problèmes de qualité de l'air en hiver, comme en été. Cela dépend de quelques difficultés sur les renouvellements d'air.

Les usagers ne sont pas très satisfaits de l'éclairage, comme déjà analysé, les pièces ne sont pas assez éclairées, les surfaces verticales sont trop sombres.

Les analyses faites par le groupe de recherche Euleb (EULEB, 2006) disent : «La perception visuelle des espaces en tant que faibles ou lumineux dépend de la luminance moyenne dans le champ visuel 40 degrés au-dessus et au-dessous du plan horizontal. Au-dessous de 30cd/m<sup>2</sup> les espaces tendent à être perçus comme des espaces de faible luminance. La transition à lumineux se produit dans la gamme 30-100 cd/m<sup>2</sup>. Malgré des niveaux des luminances adéquates sur le plan du travail avec une luminance basse sur les surfaces verticales les usagers trouvent souvent ces conditions visuelles inconfortables.»



21 (7)

## Analyse architecturale

Le bâtiment se présente avec une veste architecturale contemporaine, mais certains matériaux renvoient à la 'tradition' industrielle de la parcelle. L'usage de matériaux de récupération est une évidence dans certains espaces et fait partie de la communication du projet.

La façade principale est fortement caractérisée par la présence des cheminées solaires, les panneaux photovoltaïques et les brises soleil en verre.

L'objectif de l'architecte et du maître d'ouvrage était de créer les bureaux pour le futur. Un exemple qui aurait dû servir de modèle pour les architectes sur le même type de projet.

Bien sûr la prégnance des systèmes techniques doit être explicite et facilement identifiable.

Dans ce cas nous avons attribué un niveau de prégnance des systèmes de rafraîchissement de 4, car les cheminées solaires ont été utilisées clairement comme 'symbole' caractérisant l'architecture de la façade.

Pour faire cela, la surface a été traitée de manière assez particulière. La partie basse en briques de verre devrait comporter un 'effet serre' pour améliorer le tirage de la cheminée. La partie plus élevée est traitée en acier inox, cela est clairement un choix esthétique, qui pourrait symboliser la technicité de l'élément et sa contemporanéité.



22 (2)



23 (6)

## Aspects positifs et leçons à retenir



Le bâtiment est globalement bien conçu et réalisé. L'objectif du maître d'ouvrage était de réaliser le bâtiment 'modèle' pour tous les bureaux du futur.

Le résultat final est un bâtiment bien réussi, avec quelque problème, qui a la fonction d'un cas-école pour les concepteurs du futur. Des problèmes ont été mis en évidence, pendant les analyses, mais aussi des éléments innovateurs et très efficaces.

Les aspects plus significatifs sont :

Le système de contrôle du bâtiment. Le système de contrôle est non seulement très efficace, mais aussi très astucieux. Dans la littérature qui traite du confort une partie du bien-être de l'utilisateur dépend de la liberté de pouvoir modifier les paramètres environnementaux : éclairage, ventilation, température. Ces libertés sont en conflit avec une centrale de contrôle, qui est paramétrée pour optimiser ces conditions. Il arrive que souvent les usagers puissent manipuler de manière incorrect ces paramètres, en ouvrant une fenêtre au mauvais moment pour exemple. Ce qui pour un bâtiment rafraîchi passivement est un grave problème. Pour résoudre ces deux problèmes les concepteurs du bâtiment ont réalisé un système hybride : Les usagers ont une grande liberté dans la modification des paramètres, ils peuvent ouvrir les fenêtres, modifier la position des brises-soleil, ..., mais chaque soir à minuit tout le système est réinitialisé et ramené à sa position optimisée.

Les dalles sinusoidales. Les dalles des planchers ainsi conçues permettent de maximiser l'exposition de la masse thermique du bâtiment, régler les flux d'air et optimiser les passages des câbles. Nous avons déjà rencontré des dalles entre les étages utilisés de cette manière, mais la solution adoptée dans ce projet nous semble la plus efficace et flexible.

## Aspects négatifs et leçons à retenir

Comme déjà dit nous avons remarqué des problèmes de conception et réalisation dans ce bâtiment.

Un premier problème très important, est la grande consommation de gaz pour le chauffage du bâtiment et la production d'eau chaude. Ce problème, qui ne fait pas partie directement de notre sujet de recherche, est dû à la méconnaissance en phase de projet du comportement des usagers (ouverture des fenêtres en hiver, utilisation des stores internes, etc.).

Aspects négatifs plus importants :

L'isolation thermique ne nous semble pas être suffisante, d'ailleurs les valeurs de la résistance thermique déclarées ne sont pas exceptionnelles : Murs  $U = 0.32 \text{ W/m}^2\text{K}$  ; toit  $U = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

L'éclairage trop faible. Le niveau d'éclairage, comme nous avons vu, est un peu trop faible et amène des situations d'inconfort.

La qualité de l'air. Les usagers ont une mauvaise perception de la qualité de l'air. A ce sujet des études faites déclarent que la qualité de l'air est suffisante, en hiver, comme en été (Nat Vent). Il faudrait mieux vérifier ces données et éventuellement augmenter le nombre d'échanges d'air par heure.

Usage du bâtiment. « En effet, les occupants ne respectent pas toujours le mode de fonctionnement optimal du bâtiment. Par exemple, ils utilisent les stores intérieurs en cas d'éblouissement sans essayer de régler au préalable l'orientation des stores extérieurs, ce qui entraîne l'allumage de l'éclairage artificiel. Ils dérogent également de façon importante à la gestion automatique des luminaires, ce qui entraîne des surconsommations inutiles. De même, il est difficile d'empêcher les utilisateurs d'ouvrir les fenêtres (surconsommation de chauffage en hiver). Les premiers occupants du bâtiment avaient été informés sur le fonctionnement du bâtiment, mais les nouveaux occupants reçoivent simplement un document écrit d'explication, qui se résume globalement au mode d'emploi des télécommandes de l'éclairage et des stores. » (DGO4 ; Architecture et Climat)

## Bibliographie

---

- Bouchair A Building Services Engineering Research and Technology [En ligne] // <http://bse.sagepub.com>. - SAGE, 01 01 1994. - 20 10 2011. - <http://bse.sagepub.com/content/15/2/81.full.pdf>. - DOI: 10.1177/014362449401500203.
- BRE The Environmental Building [En ligne] // BRE. - BRE. - 10 10 2011. - <http://projects.bre.co.uk/envbuild/envirbui.pdf>.
- Building Research Establishment BRE [En ligne] // BRE. - Building Research Establishment, 2012. - 15 02 2012. - <http://www.bre.co.uk/>.
- Colt Group BRE Building 16 - Glass solar shading system [En ligne] // Colt . - Colt , 2012. - 10 02 2012. - <http://www.coltinfo.co.uk/projects/bre-building-16/>.
- Colt International Limited Case History Solar Architecture BRE Building 16 [En ligne] // Bobertson RVI. - 12 05 1997. - 09 10 2011. - [http://www.robventind.co.za/manuals/ssi\\_inter\\_project\\_bre.pdf](http://www.robventind.co.za/manuals/ssi_inter_project_bre.pdf).
- CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität SiegenFachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique idea [En ligne] // [idea-architecture.org](http://idea-architecture.org). - [idea-architecture.org](http://idea-architecture.org), 2003 01 9. - 05 25 2010. - [http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm_one.htm).
- GO4 ; Architecture et Climat Le bâtiment environnemental du BRE [En ligne] // energieplus. - Université catholique de Louvain. - 22 09 2011. - [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10876.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10876.htm).
- Edward Brian W Green Buildings Pay [En ligne] // Sheffield Hallam University. - Sheffield Hallam University, 2002. - 05 10 2011. - [http://www.shu.ac.uk/\\_assets/pdf/cfmd-conf-Edwards-GreenBldgsPay.pdf](http://www.shu.ac.uk/_assets/pdf/cfmd-conf-Edwards-GreenBldgsPay.pdf).
- Edwards Brian Sustainable design [En ligne] // ScotMARK. - ScotMARK. - 05 10 2011. - <http://www.scotmark.eca.ac.uk/research/4.pdf>.
- EULEB EULEB HOME [En ligne] // EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique / éd. Europe Intelligent Energy. - 2006. - 19 04 2010. - <http://learn.greenlux.org/packages/euleb/fr/home/index.html>.
- Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.
- Harrison Clayton The Environmental Building [En ligne] // The University of Idaho. - 04 2006. - 05 10 2011. - <http://www.caa.uidaho.edu/arch504ukgreenarch/CaseStudies/bre2.pdf>.
- LEnSE Building Assessment Report For BRE Environment Building, Watford, U [En ligne] // LEnSE. - LEnSE, 09 2007. - 06 10 2011. - [http://www.lensebuildings.com/downloads/projects/05%20UK\\_BRE\\_Watford\\_LEnSE\\_Building\\_Report.pdf](http://www.lensebuildings.com/downloads/projects/05%20UK_BRE_Watford_LEnSE_Building_Report.pdf).
- MAAS J. Van Der Airflow through large openings in buildings [En ligne] // ECBCS . - 06 1992. - 26 09 2011. - [http://www.ecbcs.org/docs/annex\\_20\\_air\\_flow\\_through\\_large.pdf](http://www.ecbcs.org/docs/annex_20_air_flow_through_large.pdf).
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.
- Nat Vent Nat Vent [En ligne] // BRE. - BRE. - 13 02 2012. - [http://projects.bre.co.uk/natvent/presentation/210\\_gb1.pdf](http://projects.bre.co.uk/natvent/presentation/210_gb1.pdf).
- Nat Vent Nat Vent [En ligne] // BRE. - BRE. - 13 02 2012. - <http://projects.bre.co.uk/natvent/>.
- Nat Vent Nat Vent [En ligne] // BRE. - BRE. - 13 02 2012. - <http://projects.bre.co.uk/natvent/reports/monitoring/summary/gb1summ.pdf>.
- Riain C. Ní [et al.] BRE's Environmental Building: [En ligne] // CIBSE. - CIBSE. - 09 10 2011. - <http://www.cibse.org/pdfs/BRE%20environmental%20building.pdf>.
- sofia energy centre passive cooling and summer friendly design and engineering [En ligne] // Intelligent energy. - sofia energy centre. - 13 10 2011. - [http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=BRE%2BOFFICE%2BWatford%2Bpassive%2Bcooling%2Bpdf&source=web&cd=10&ved=0CGgQFjAJ&url=http://eaci-projects.eu/iee/files/show.jsp%3Fatt\\_id%3D16907%26place%3Dpa%26url%3DD20\\_Building-guideline\\_Bulgaria.pdf%26prid%3D1497&ei=\\_](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=BRE%2BOFFICE%2BWatford%2Bpassive%2Bcooling%2Bpdf&source=web&cd=10&ved=0CGgQFjAJ&url=http://eaci-projects.eu/iee/files/show.jsp%3Fatt_id%3D16907%26place%3Dpa%26url%3DD20_Building-guideline_Bulgaria.pdf%26prid%3D1497&ei=_).
- U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
- view BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT [En ligne] // view. - view, 2012. - 10 02 2012. - <http://www.viewpictures.co.uk/Building.aspx?ID=6837>.
- Warmafloor GB Ltd The Bre Building [En ligne] // Warmafloor. - Warmafloor GB Ltd, 2007. - 02 10 2011. - <http://www.warmafloor.co.uk/company/cs-others-d.asp>.

White M K [et al.] Nat Vent [En ligne] // BRE. - BRE. - 13 02 2012. - <http://projects.bre.co.uk/natvent/reports/monitoring/detailed/gb1det.pdf>.

White Peter The Environmental Building [En ligne] // BRE. - BRE, 02 2000. - 25 09 2011. - <http://projects.bre.co.uk/envbuild/>.

wikipedia Solar chimney [En ligne] // wikipedia. - 17 01 2012. - 10 02 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_chimney](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_chimney).

ZIMMERMAN Marck et ANDERSSON Jonny Low Energy Cooling [En ligne] // ecbs. - ecbs, 08 1998. - 06 10 2011. - [http://www.ecbs.org/docs/annex\\_28\\_case\\_study\\_buildings.pdf](http://www.ecbs.org/docs/annex_28_case_study_buildings.pdf).

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [En ligne] Google, 2011. [Citation : 10 04 2011.] <http://maps.google.fr>.
2. DGO4 ; Architecture et Climat. Le bâtiment environnemental du BRE. energieplus. [En ligne] Université catholique de Louvain. [Citation : 22 09 2011.] [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10876.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10876.htm).
3. Harrison, Clayton. The Environmental Building. The University of Idaho. [En ligne] 04 2006. [Citation : 05 10 2011.] <http://www.caa.uidaho.edu/arch504ukgreenarch/CaseStudies/bre2.pdf>.
4. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
5. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [En ligne] 11 03 2011. [Citation : 25 01 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
6. CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität Siegen Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique. idea. idea-architecture.org. [En ligne] idea-architecture.org, 2003 01 9. [Citation : 05 25 2010.] [http://www.unige.ch/cuepe/idea/firm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/firm_one.htm).
7. EULEB. EULEB HOME. EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique. [En ligne] 2006. [Citation : 19 04 2010.] <http://learn.greenlux.org/packages/euleb/fr/home/index.html>.
8. Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe. Bing Cartes. Bing. [En ligne] Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. [Citation : 15 04 2011.] <http://www.bing.com/maps>.
9. Nat Vent. Nat Vent. BRE. [En ligne] [Citation : 13 02 2012.] <http://projects.bre.co.uk/natvent/reports/monitoring/summary/gb1summ.pdf>.
10. Colt International Limited. Case History Solar Architecture BRE Building 16. Robertson RVI. [En ligne] 12 05 1997. [Citation : 09 10 2011.] [http://www.robventind.co.za/manuals/ssi\\_inter\\_project\\_bre.pdf](http://www.robventind.co.za/manuals/ssi_inter_project_bre.pdf).
11. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Zion National Park Visitor Center, Zion National Park, Utah, USA

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par National Park Service (NPS) et National Renewable Energy Latitude N 37.200177, Longitude -112.987256 Lab (NREL).

Le bâtiment se trouve à l'entrée du canyon du Zion Park, à quelques kms au nord de la ville de Springdale, dans la vallée du fleuve Virgin à environ 1200 m NGF. Le bâtiment accueille le centre d'information du Zion Park. Un deuxième bâtiment accueille les toilettes. Le visitor center est rafraîchi par deux tours évaporatives, le confort station par une seule. Les tours ont une fonction d'extraction de l'air pour la ventilation nocturne et d'humidification quand la ventilation n'est plus suffisante. Dans les heures de plus grande canicule, ils sont équipés aussi de ventilateurs qui favorisent l'évaporation et le rafraîchissement de l'air. Le bâtiment en question est un exemple de bâtiment réussi après de petites corrections. En effet les bâtiments rafraîchis passivement sont souvent des lieux d'expérimentation et, comme tout essai souvent, ont besoin de petits ajustages. Il faut par contre déplorer la modification des plans pour le rajout de bureaux. Cela est une erreur commune. Les flux d'air se modifient et des problèmes émergent souvent. Ces nécessités d'espaces auraient dû être résolues en phase de projet. Autre problème rencontré en hiver : l'éblouissement par la lumière directe du soleil.



01 (1)

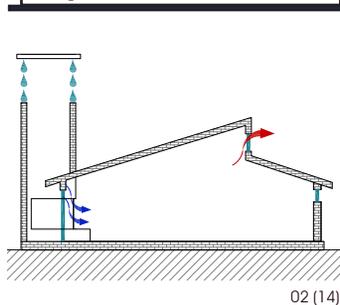
### Données climatiques de la zone

Le climat du site est influencé par l'effet du canyon et sa grande masse thermique. Les hivers sont mitigés et les étés sont chauds et secs. Les températures les plus élevées enregistrées en 2006 sont de 47°. L'humidité relative est basse. La plus grande partie des précipitations sont concentrées entre les mois d'août et septembre. DJU hiver = 1585,04, DJU été = 1433,83

### Groupe analytique

|   |  |  |  |   |
|---|--|--|--|---|
| Compacte<br>(Morphologie)                           | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Zion National Park Visitor Center<br>(Usage) | 2000<br>(Datation)   | Visibles niveau 4<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 1.074 - 5.107<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 12m p;40m l;9m h<br>(Dimensions)             | Evaporatif directe/Ventilation nocturne<br>(Stratégie de rafraîchissement) |   |

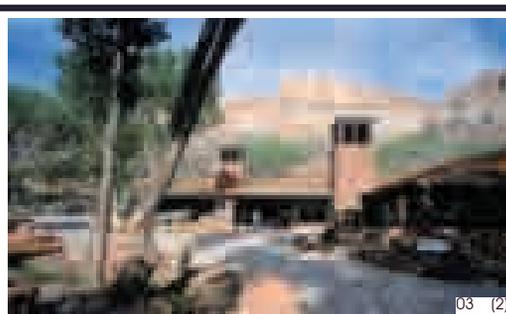
### Logo synthétique



02 (14)

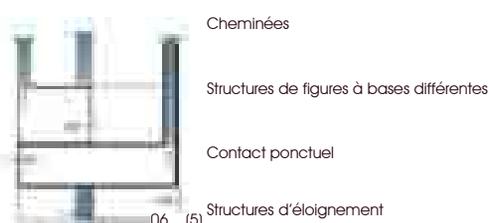
- Vitrages
- Masse thermique
- Géothermique
- Par ventilation
- Par évaporation
- Radiatif

### Formes du type



03 (2)

Logo typo/topologique



06 (5)



04 (3)



05 (4)

Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

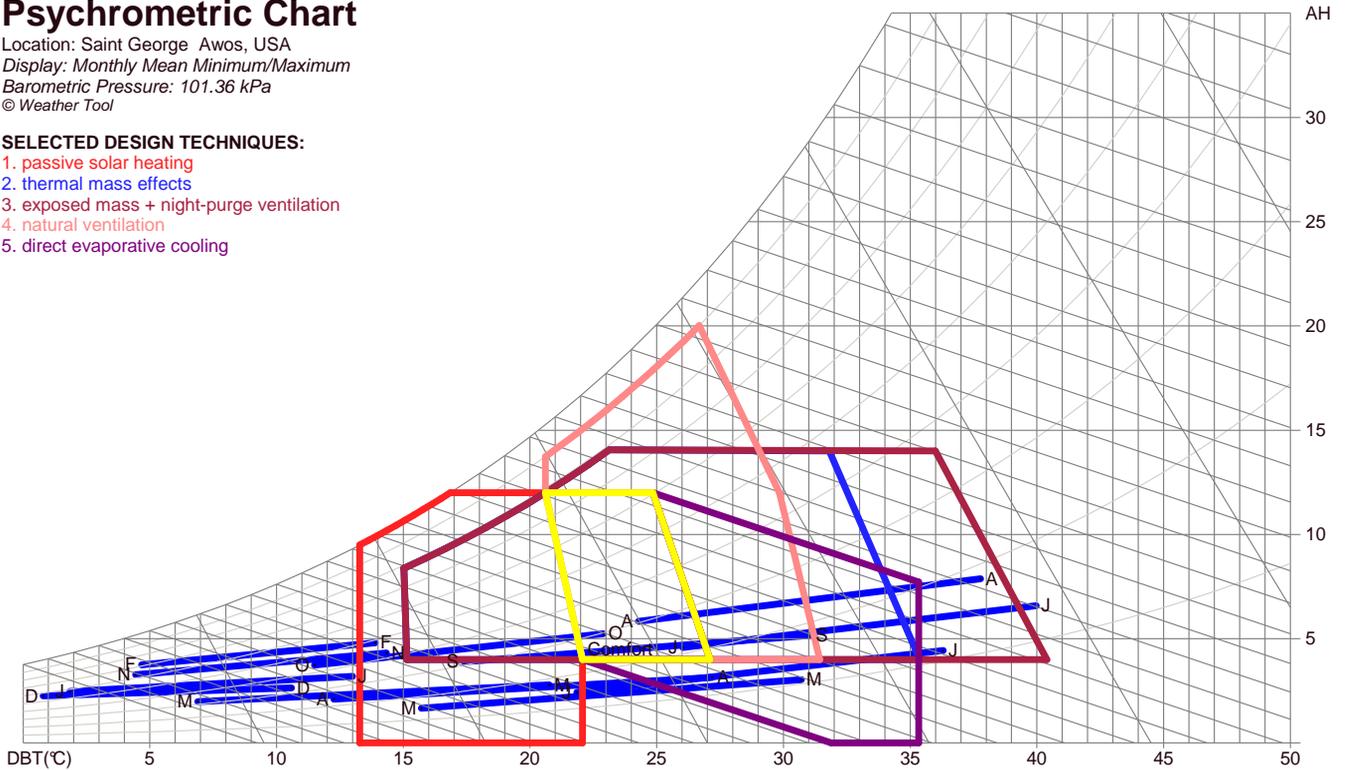
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: Saint George Awos, USA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. passive solar heating
- 2. thermal mass effects
- 3. exposed mass + night-purge ventilation
- 4. natural ventilation
- 5. direct evaporative cooling



La station climatique la plus proche du site est celle de Saint George, à environ 30 km de distance. Le bâtiment se trouve à l'entrée du canyon du Zion Park, à quelques kms au nord de la ville de Springdale, dans la vallée du fleuve Virgin à environ 1200 m NGF. Les hivers sont mitigés et les étés sont chauds et secs. Les précipitations annuelles sont d'environ 375 mm. Les températures les plus élevées enregistrées en 2006 sont de 47°. L'humidité relative est basse et peut être inférieure à 10%. la plus grande partie des précipitations sont concentrées entre les mois d'août et septembre. Les températures du micro climat sont influencées par les grandes masses rocheuses du canyon. Les rochers accumulent la radiation thermique pendant les journées ensoleillées et rayonnent pendant la nuit et les heures plus fraîches. Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique, évaporatif direct) devrait garantir le confort des usagers presque toute l'année, sauf dans les jours de grande canicule. Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site et à l'usage. Il faut par contre considérer la difficulté de rafraîchir un bâtiment de ce type d'usage, sujet à des charges thermiques très variables, selon le flux touristique estival.

**Comfort Percentages**

NAME: Saint George Awos  
 LOCATION: USA  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 37.1°, -113.6°

© Weather Tool

CLIMATE: Cfa

Moist mid-latitude climate with mild winters.

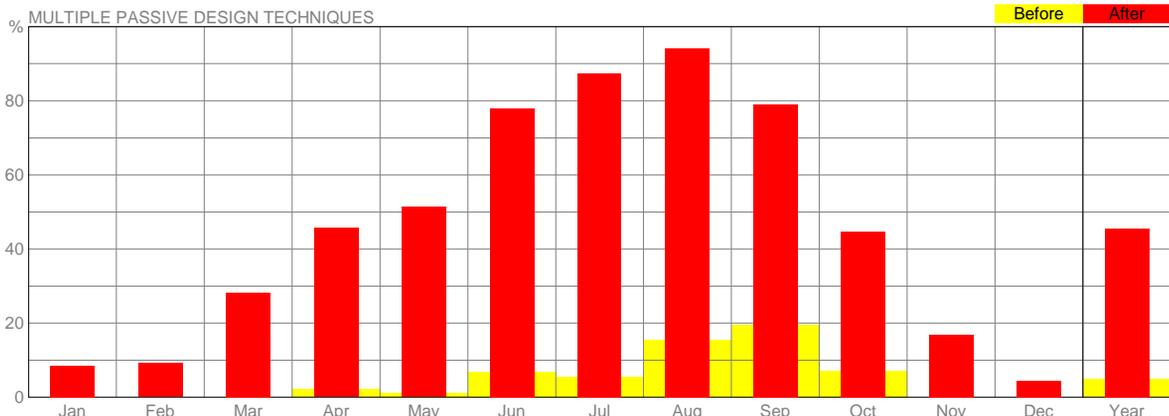
Humid subtropical with hot muggy summers and thunderstorms.

Winters are mild with precipitation from mid-latitude cyclones.

Warmest month above or equal to 22°C.

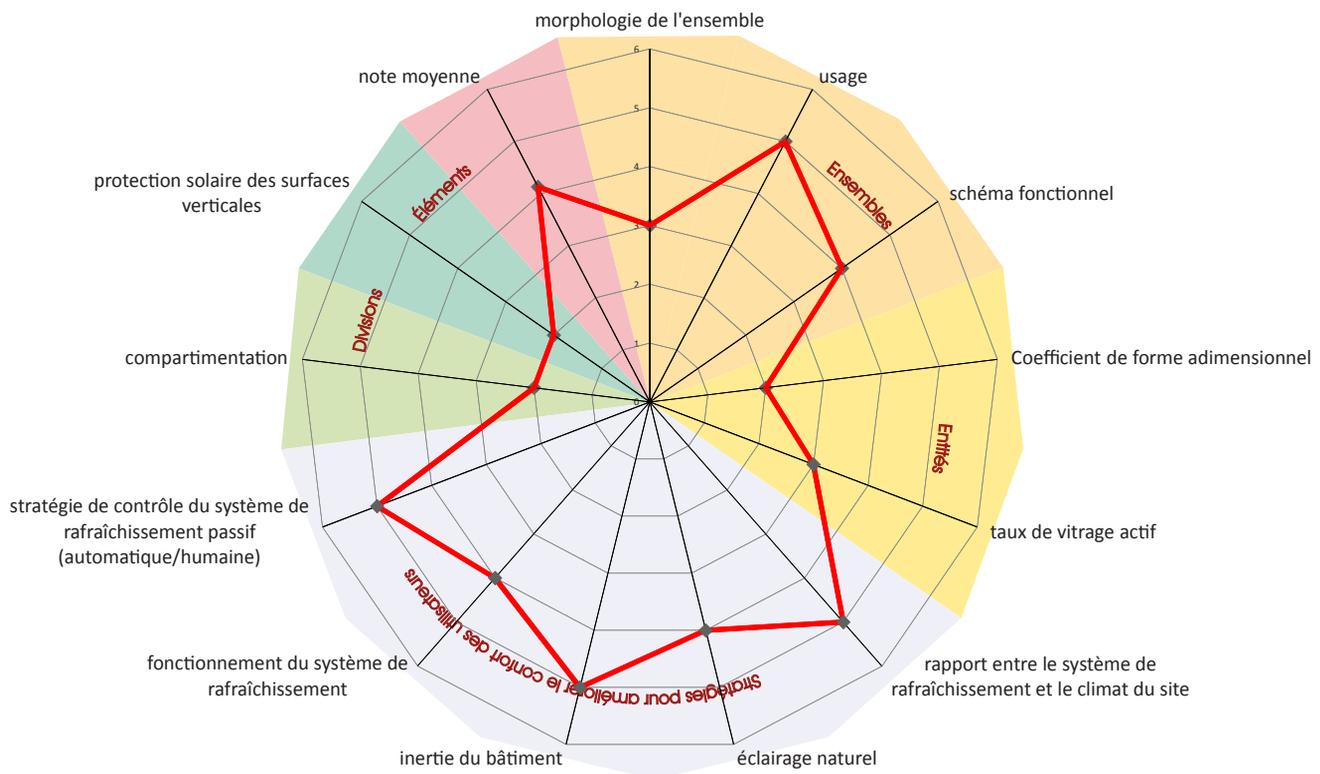
**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. passive solar heating
- 2. thermal mass effects
- 3. exposed mass + night-purge ventilation
- 4. natural ventilation
- 5. direct evaporative cooling



## Graphe synthétique des dispositifs critiques

Zion National Park Visitor Center, Zion National Park, UTHA, USA



08 (14)

Le graphe radar montre que le Visitor Center est un bâtiment assez bien réalisé, presque aucun des indicateurs n'a une note basse et les notes sont presque toutes équilibrées. Cela signifie que le bâtiment a été conçu dans son ensemble de manière efficace. L'objectif des concepteurs était de réaliser un bâtiment très peu énergivore, peu coûteux et reconnaissable par le public.

Les notes les moins élevées regardent la morphologie de l'ensemble et le coefficient de forme, car le Visitor center et la confort station ont été divisés en deux pavillons. De plus, le Visitor center a une forme en 'zigzag' qui n'est pas très favorable, en particulier dans ce type de climat et d'implantation.

Par contre, il exploité très bien la masse thermique, même si, comme nous le verrons dans les analyses, la dalle en béton du sol a été la cause de problèmes de résonance du bruit très importants.

Le système est globalement bien conçu et la température de confort est garantie presque pendant toute l'année. Le problème majeur a été causé par le mur trombe qui surchauffe les espaces proches en été, en particulier le petit bureau réalisé près du mur, qui n'était pas prévu en phase de projet. Les problèmes ont été partiellement résolus en rajoutant des ventilateurs et des micros ventilateurs qui garantissent une meilleure circulation de l'air pendant les périodes plus chaudes. Cette solution bien sûr est plus demandeuse en énergie, mais permet d'améliorer le confort des usagers.

### Implantation

Le bâtiment se trouve à l'entrée du canyon du Zion Park, à quelques kms au nord de la ville de Springdale, dans la vallée du fleuve Virgin à environ 1200 m NGF.

Le choix des concepteurs a été de diviser le bâtiment en deux parties, une station de confort (toilettes), 223m<sup>2</sup>, et un visitor center, 706m<sup>2</sup>. Les deux fonctions ont été séparées pour des nécessités fonctionnelles et bioclimatiques. La taille du visitor center prévue dans le programme au début des travaux a été aussi réduite. Il a été décidé d'aménager l'extérieur pour donner des informations aux touristes.

Le bâtiment est assez bien orienté les façades principales s'ouvrent au nord et au sud, mais une partie d'entre elles sont aussi ouvertes vers l'ouest et l'est. Les parties ouvertes au sud et au nord sont utilisées pour faire entrer la lumière et pour réaliser un mur Trombe pour le chauffage hivernal.

### Usage

Le bâtiment accueille le centre d'information du Zion Park. Un deuxième bâtiment accueille les toilettes. La construction du bâtiment et l'aménagement du site font partie d'un plus grand projet d'aménagement de l'accès au parc et de réduction de la circulation des véhicules.

Le centre et les toilettes sont rafraichis par des tours évaporatives. Les usagers et les employés de ces structures sont généralement sensibles aux problèmes environnementaux. De plus, les usagers sont informés et sensibilisés par rapport aux stratégies bioclimatiques, cela facilite l'acceptation des possibles périodes d'inconfort dans les moments de plus grande canicule.

### Schéma fonctionnel

L'accès se fait directement dans le grand hall qui regroupe toutes les fonctions «publiques». Les deux tours évaporatives encadrent l'entrée et ont une fonction de «signalisation» pour les visiteurs. L'intérieur du centre est composé d'un grand local en open space «divisé» en trois zones. La partie sud-est est cloisonnée et accueille les bureaux des employés du centre. La grande paroi au sud est un mur Trombe qui sert de chauffage en hiver.

Le schéma fonctionnel s'adapte très bien au type de rafraichissement : le grand hall qui par sa forme peut accueillir des fonctions différentes, et les tours évaporatives qui font fonction de division optique entre les diverses «zones». La position des tours favorise la diffusion de l'air frais. Les locaux cloisonnés par contre sont sujets à surchauffe. Le problème a été en partie réglé en rajoutant des ventilateurs qui permettent une meilleure diffusion de l'air frais, mais qui comportent des nuisances sonores. L'autre problème est dû à une «modification du projet» en cours de réalisation. Un des bureaux (sud-est) a été agrandi et le mur trombe induit des surchauffes. Cela est dû à la radiation solaire diffuse qui n'a pas été suffisamment évaluée en phase de calcul.

### Morphologie du bâtiment

Morphologie peu compacte. La forme du visitor center n'est pas régulière et le coefficient de forme n'est pas très favorable. De plus, la division en deux bâtiment, fonctionnelle à l'usage, n'est pas favorable pour la réduction des déperditions thermiques.

Surface: 818 m<sup>2</sup> pour le visitor center et 256 m<sup>2</sup> pour les services  
Volume: 3.917 m<sup>3</sup> pour le visitor center et 1.190 mc pour les services

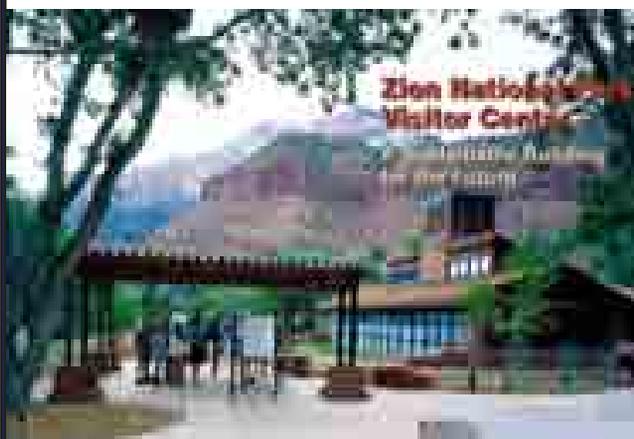
Coefficient de forme adimensionnel : 7,95

taux de vitrage actif : 0,30 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,13 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>



09 (7)



10 (8)



11 (8)



12 (9)



## Analyse systémique

### Inertie du bâtiment

La dalle au sol est directement en contact avec la terre, pour récupérer le maximum possible d'inertie thermique. L'isolation des murs périmétraux permet d'éviter les ponts thermiques. Le choix d'améliorer l'inertie du bâtiment fait partie des stratégies de rafraîchissement.



17 (10)

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Les parois sont en métal de 16 cm remplies d'isolation en mousse en polyuréthane plus une isolation extérieure de 4 cm. Bonne isolation thermique des parois (2,91 m<sup>2</sup>K/W)



18 (12)

### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

La toiture est réalisée par des panneaux structuraux (OSB) avec une isolation rigide en sandwich. Bonne isolation thermique de la toiture (5,45 m<sup>2</sup>K/W).

Une partie de la toiture est utilisée pour poser des panneaux photovoltaïques.

La surface la plus importante de la toiture est orientée pour minimiser les apports solaires.



19 (12)

### Compartimentation

Les espaces d'exposition ont différentes fonctions, mais sont localisés dans un local unique (open space). Les bureaux sont cloisonnés.

L'espace central «public» open space favorise le rafraîchissement, mais comporte aussi des problèmes de nuisances sonores à cause des différentes utilisations d'espaces. Les bureaux cloisonnés ont très vite présenté des problèmes de rafraîchissement par la difficulté de l'air frais à pénétrer dans les bureaux. La solution adoptée a été d'installer des micros ventilateurs qui favorisent le mouvement de l'air.

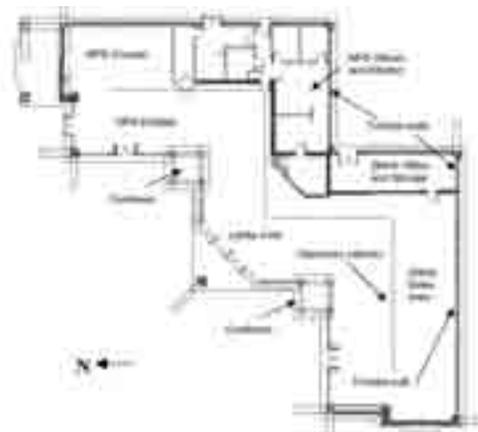


Figure 4.1 - Absorption des ondes sonores dans les bureaux

20 (12)

## Protection solaire

Présence des casquettes.

Les casquettes sont efficaces, mais on n'a pas pris en considération la radiation diffuse solaire sur le mur trombe. Cela a causé des surchauffes.

En été la lumière directe est source d'inconfort pour les usagers des bureaux.



Figure 6-16 Photograph of facade wall showing concrete glass over the Trombe wall, use of shading device, and overhang to shade wall during the summer.

21 (12)

## Surfaces vitrées

Les parties vitrées sont étudiées pour réduire la radiation directe du soleil en été et pour maximiser la luminosité, par contre la radiation solaire directe en hiver est source d'éblouissement. Des doubles vitrages à basse émissivité sont utilisés. Les fenêtres hautes sont gérées par le système de contrôle du bâtiment. Protections solaires et ouvrants hauts pour maximiser la VNC.

Taux de vitrage actif :  $0,30 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0,13 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Le rapport surface vitrée / surface opaque est équilibré, tout en garantissant un bon éclairage naturel.



Figure 6-26 RPS: biobank's checked corner glass from circulator



Figure 6-27 Southeast office, afternoon glass 22 (12)

## Surfaces opaques

Vers l'extérieur: bonne isolation thermique des parois ( $2,91 \text{ m}^2\text{K/W}$ )

À l'intérieur: Dalles-en béton et cloisons en maçonnerie (parpaings) pour améliorer la masse thermique.

Matériaux isolants: Mousses polyuréthane rigides avec bonnes résistances thermiques.

## Ouvrants pour la ventilation nocturne

Présents, automatiques et efficacement reliés à tout le système du bâtiment.

Fenestrons hauts permettant l'extraction de l'air chaud. Les tours la nuit ont fonction d'arrivée d'air frais pour le rafraîchissement.



23 (12)

## État actuel et condition d'utilisation

Les post occupancy evaluations menées par le groupe de recherche PHDC (FORD, et al., 2010) nous permettent de mieux connaître ce projet.

Le premier point important à remarquer est la très bonne perception que les usagers ont de ce bâtiment. Cela regarde surtout le design, les besoins, la perception des visiteurs et l'état de confort en général.

Nous retrouvons tout de même des problèmes, dont le premier est dû au bruit. La dalle en béton du sol comporte une forte résonance du bruit. De plus, le grand atrium ouvert au public, pendant les saisons de grande affluence de touristes, est surpeuplé et ne fait qu'augmenter la perception du bruit. Ce problème est commun aux espaces open-space réalisés pour améliorer le rafraîchissement passif, mais qui comporte presque toujours des problèmes d'inconfort acoustique. D'autres notes moyennes concernent les températures de l'air en hiver et en été et l'éclairage. Comme nous l'avons vu, l'éclairage est efficace, mais en hiver la radiation solaire directe est cause d'éblouissement et d'inconfort. Ce qui pourrait être facilement résolu. D'autres problèmes ont été constatés au sujet de la stratégie de contrôle du système de rafraîchissement. Les usagers n'apprécient pas le fait qu'ils n'ont presque aucun contrôle sur le rafraîchissement, chauffage, etc.

Le système est assez efficace. Seulement dans certains cas les usagers ne sont pas satisfaits du confort thermique. En particulier pendant quelques semaines de forte chaleur le système n'arrive pas à garantir la température de confort. Des expériences ont été réalisées à ce sujet et en 2001/2002 les heures d'inconfort pendant l'occupation ont été de 2,6%/3,7%. Les problèmes plus importants ont été relevés dans les zones proches du mur trombe. En phase de projet l'effet de la radiation solaire diffuse qui surchauffe le mur en été a été sous-évalué.

### Analyse architecturale

Le bâtiment fait partie d'un grand réaménagement des accès au parc Zion. Les nouveaux accès devraient réduire l'impact environnemental des touristes sur le parc et en particulier le nombre de voitures devrait être réduit en faveur des transports publics.

Le bâtiment a la fonction de 'former' les touristes à un usage correct du parc et naturellement de lieu de repos et information. Il apparaît que dans un cadre de ce type le design du bâtiment devait nécessairement 'manifester' sa conception bioclimatique, que pour plusieurs motifs, liés à un tourisme 'conscient', sans oublier un aspect pédagogique important.

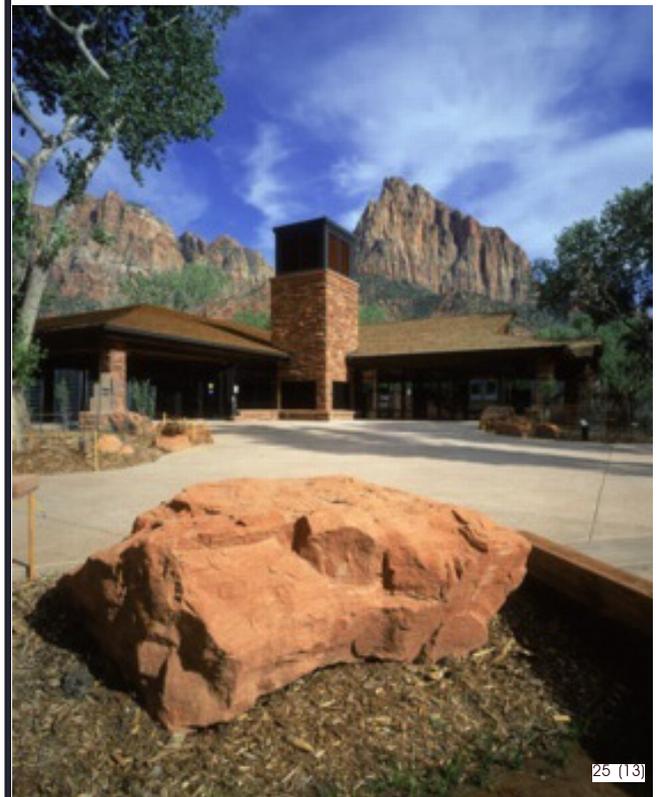
De plus dans le programme du bâtiment les objectifs de réduction de la consommation, par rapport à des bâtiments similaires, étaient très ambitieux.

Le visiteur perçoit rapidement les caractéristiques du bâtiment, grâce aussi à la communication des panneaux d'information, les tours de rafraîchissement et l'usage de matériaux locaux (pierre) permettent immédiatement d'identifier la posture du concepteur. Les panneaux photovoltaïques, bien visible en toiture, sont un autre fort signal de la volonté du concepteur par rapport à l'intégration des systèmes techniques dans l'architecture.

Nous devons attribuer à ce bâtiment un niveau de prégnance des systèmes de rafraîchissement de 4, cela, car les tours non seulement sont visibles et caractérisent le bâtiment, mais aussi leurs surfaces ont été traitées pour leur donner un aspect encore plus important.

| Post Occupancy Evaluation (POE) - Environmental Comfort | Scale |
|---|-------|
| Thermal Comfort   | 4.2   |
| Acoustic Comfort  | 3.8   |
| Air Quality   | 4.1   |
| Lighting  | 4.3   |
| Indoor Air Quality                                      | 4.0   |
| Energy  | 4.2   |
| Cost  | 4.1   |
| Health & Safety   | 4.4   |
| Security  | 4.3   |
| Accessibility   | 4.2   |
| Operability   | 4.1   |
| Maintainability   | 4.0   |
| Flexibility   | 4.1   |
| Adaptability  | 4.2   |
| Resilience  | 4.3   |
| Overall Satisfaction                                    | 4.2   |

24 (10)



25 (13)



26 (3)

## Aspects positifs et leçons à retenir



Le Visitor Center est un exemple de bâtiment très intéressant pour plusieurs motifs. Le bâtiment a été réalisé suivant un programme rigoureux, mais comme souvent des modifications de la dernière minute ont été réalisées, ce qui nuit au comportement bioclimatique du bâtiment. De plus, des problèmes de réalisation importants auraient pu entraîner la défaillance du système bâtiment. Mais dans ce cas, ce qui est rare, il y a eu un vrai suivi après réalisation et une volonté du maître d'ouvrage de réaliser des travaux de maintenance extraordinaire, qui ont résolu presque tous les problèmes qui affligeaient le système bâtiment.

Les aspects les plus significatifs sont :

Comme nous l'avons précédemment signalé l'aspect le plus important dans ce bâtiment est le suivi après la réalisation de la part d'un bureau d'étude, ce qui a permis de résoudre les problèmes et d'affiner les réglages du système de rafraîchissement.

Un autre aspect très important a été l'approche des concepteurs, qui ont toujours réfléchi au bâtiment comme à un système harmonieux apte à garantir le confort des usagers.



## Aspects négatifs et leçons à retenir

Les problèmes plus importants de ce bâtiment ont été corrigés pendant des maintenances extraordinaires. Cela a été une action positive et nous fait remarquer le bon suivi après construction du bâtiment, mais nous allons tout de même signaler certains problèmes importants.

Les aspects les plus significatifs sont :

Pendant la réalisation du bâtiment, il a été rajouté un bureau contre une paroi au sud, avec un mur Trombe. Le problème dû à ces modifications en phase de réalisation est que les flux d'air ont été modifiés. De plus, le bureau ne faisant pas partie des études préalables à la construction n'était pas assez bien rafraîchi. Dans ce bureau les températures estivales étaient très élevées et pour résoudre ce problème on a rajouté des petits ventilateurs pour l'arrivée de l'air frais dans le bureau, mais nous pouvons facilement imaginer que le bruit de la grande pièce peut facilement atteindre le bureau grâce à ces passages d'air.

Le mur trombe a été assez bien réfléchi, mais les protections solaires du mur sont limitées aux casquettes, ce qui est efficace pour la radiation directe, mais qui ne protège pas assez de la radiation diffuse et des réflexions dues aux canyons, d'où des problèmes de surchauffe pendant l'été. Des protections solaires meilleures auraient dû être étudiées.

L'éclairage des bureaux en hiver n'est pas satisfaisant pour les usagers. Pour améliorer les apports thermiques estivaux, la radiation solaire directe n'est pas filtrée, mais cela comporte des problèmes d'éblouissement et l'impossibilité de travailler avec les ordinateurs pendant certaines heures de la journée.

Le sol de la grande pièce rafraîchie par évaporation a été réalisé en béton, ce qui garantit une très bonne masse thermique, qui est exploitée pour le rafraîchissement nocturne, mais qui cause une réverbération très forte. Les usagers sont souvent dérangés par le bruit, ce qui aurait pu être résolu avec d'autres types de sol, mais au détriment du rafraîchissement. De plus, l'installation dans les parois des bureaux des petits ventilateurs pour améliorer le flux d'air comporte aussi le passage du bruit pour les usagers des bureaux, ce qui aurait dû être évité.

Un autre aspect que nous voulons signaler est le mauvais fonctionnement des fenestrons hauts reliés à la centrale de contrôle. Nous avons rencontré souvent des problèmes reliés à ce type de fenêtres. C'est donc un point très important auquel les architectes doivent faire extrême attention. Dans ce cas, les fenêtres ont été substituées avec des ouvrants plus performants.



## Bibliographie

---

- Crockett James, Torcellini Paul et Shea Patrick Zion Visitor Center [En ligne] // Green Building Brain. - Green Building Brain, 15 02 2010. - 20 02 2011. - [http://greenbuildingbrain.org/buildings/zion\\_visitor\\_center](http://greenbuildingbrain.org/buildings/zion_visitor_center).
- FORD Brian [et al.] The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book [Livre]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.
- Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.
- KAMIS ELSAT ON Green Technology - Zion Visitor Center - Heating and Cooling [En ligne] // Green Technology. - 28 01 2010. - 26 05 2010. - <http://greentechnol.blogspot.com/2010/01/green-technology-zion-visitor-center.html>.
- lokisi1 USA Utah Zion Nationalpark Visitor Center [En ligne] // flickr. - flickr, 15 08 2005. - 29 02 2012. - <http://www.flickr.com/photos/lokisi/3530904035/in/photostream/>.
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.
- National Park Service Zion Canyon Visitor Center [En ligne] // National Park Service. - National Park Service, 11 01 2007. - 15 12 2009. - <http://www.nps.gov/zion/naturescience/zion-canyon-visitor-center.htm>.
- National Renewable Energy Laborator Zion National Park Visitor Center [En ligne] // solaripedia. - U.S. Department of Energy , 08 2000. - 12 05 2010. - <http://www.solaripedia.com/files/233.pdf>.
- NREL Zion National Park Visitors [En ligne] // NREL. - NREL, 02 06 2009. - 06 12 2009. - [http://www.nrel.gov/data/pix/collections\\_zion.html](http://www.nrel.gov/data/pix/collections_zion.html).
- PHDC Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC\_Draught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 29 10 2009. - Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.
- SCHIANO PHAN Rosa et FORD Brian Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling: Case studies in the US [Conférence] // PLEA 2008 – 25° Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / éd. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.
- Solaripedia Zion National Park Visitors Center (Utah, USA) [En ligne] // Solaripedia. - Solaripedia, 2005. - 06 12 2010. - [http://www.solaripedia.com/13/33/34/photovoltaics\\_at\\_zion\\_national\\_park\\_visitor\\_center\\_utah\\_usa.html](http://www.solaripedia.com/13/33/34/photovoltaics_at_zion_national_park_visitor_center_utah_usa.html).
- The American Institute of Architects Zion National Park Visitor Center [En ligne] // The American Institute of Architects. - The American Institute of Architects, 04 03 2004. - 16 02 2010. - <http://www.aiaopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=16>.
- The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living window overhang [En ligne] // The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. - The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. - 04 02 2010. - [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/AE\\_window\\_overhang.html#top](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/AE_window_overhang.html#top).
- The U.S. Department of the Interior Visitor Center, Zion National Park, Utah [En ligne] // Greening of the Interior. - U.S. Department of the Interior. - 10 01 2012. - <http://www.doi.gov/greening/energy/zion.html>.
- Torcellin Paul Better Buildings by Design [En ligne] // steelbuildingsnewengland. - steelbuildingsnewengland, 04 2001. - 12 03 2011. - [http://steelbuildingsnewengland.com/better\\_buildings.pdf](http://steelbuildingsnewengland.com/better_buildings.pdf).
- Torcellini P. [et al.] Evaluation of the Low-Energy Design and Energy Performance of the Zion National Park Visitors Center [En ligne] // solaripedia. - National Renewable Energy Laboratory, 02 2005. - 05 01 2011. - <http://www.solaripedia.com/files/653.pdf>.
- Torcellini P. [et al.] Zion National Park Visitor Center: Performance of a LowEnergy Building in a Hot, Dry Climate [En ligne] // National Renewable Energy Laboratory. - National Renewable Energy Laboratory, 03 09 2004. - 23 12 2009. - <http://www.nrel.gov/buildings/pdfs/36272.pdf>.
- Torcellini P., Judkoff R. et Hayter S. Zion National Park Visitor Center: Significant Energy Savings Achieved through a Whole-Building Design Process [En ligne] // National Renewable Energy Laboratory. - National Renewable Energy Laboratory, 23 08 2002. - 23 12 2009. - <http://www.nrel.gov/buildings/pdfs/32157.pdf>.
- Torcellini P., Judkoff R. et Hayter S. Zion National Park Visitor Center: Significant Energy Savings Achieved through a Whole-Building Design Process [En ligne] // National Renewable Energy Laboratory. - National Renewable Energy Laboratory , 02 2005. - 23 12 2009. - <http://www.nrel.gov/buildings/pdfs/34607.pdf>.
- U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
- U.S. Department of Energy's Zion Comfort Station [En ligne] // building green. - building green, 31 07 2003. - 10 12 2009. - <http://>

[www.buildinggreen.com/hpb/overview.cfm?ProjectID=16](http://www.buildinggreen.com/hpb/overview.cfm?ProjectID=16).

Utah Office of Energy Development Renewable Energy: Solar Energy: Systems: Zion National Park [En ligne] // Utah Office of Energy Development. - Utah Office of Energy Development, 23 09 2011. - 05 12 2011. - [http://www.energy.utah.gov/renewable\\_energy/solar/nps/zionnp.htm](http://www.energy.utah.gov/renewable_energy/solar/nps/zionnp.htm).

Walker Andy Natural Ventilation [En ligne] // National Institute of Building Sciences. - National Institute of Building Sciences, 15 06 2010. - 06 01 2011. - <http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php>.

wikipedia Zion Visitors Center [En ligne] // wikipedia. - 26 06 2006. - 10 02 2010. - [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Zion\\_Visitors\\_Center\\_Cool\\_Tower.PNG](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Zion_Visitors_Center_Cool_Tower.PNG).

Zimring Craig, Rashid Mahbub et Kampschroer Kevin Facility Performance Evaluation [En ligne] // National Institute of Building Sciences. - National Institute of Building Sciences, 11 06 2010. - 06 01 2011. - <http://www.wbdg.org/resources/fpe.php#top>.

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [Online] Google, 2011. [Cited: 04 10, 2011.] <http://maps.google.fr>.
2. Torcellin, Paul. Better Buildings by Design. steelbuildingsnewengland. [Online] 04 2001. [Cited: 03 12, 2011.] [http://steelbuildingsnewengland.com/better\\_buildings.pdf](http://steelbuildingsnewengland.com/better_buildings.pdf).
3. NREL. Zion National Park Visitors. NREL. [Online] NREL, 06 02, 2009. [Cited: 12 06, 2009.] [http://www.nrel.gov/data/pix/collections\\_zion.html](http://www.nrel.gov/data/pix/collections_zion.html).
4. U.S. Department of Energy's. Zion Comfort Station. building green. [Online] building green, 07 31, 2003. [Cited: 12 10, 2009.] <http://www.buildinggreen.com/hpb/overview.cfm?ProjectID=16>.
5. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis and co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
6. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [Online] 03 11, 2011. [Cited: 01 25, 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
7. Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe. Bing Cartes. Bing. [Online] Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. [Cited: 04 15, 2011.] <http://www.bing.com/maps>.
8. National Renewable Energy Laborator. Zion National Park Visitor Center . solaripedia. [Online] 08 2000. [Cited: 05 12, 2010.] <http://www.solaripedia.com/files/233.pdf>.
9. lokisi1. USA Utah Zion Nationalpark Visitor Center. flickr. [Online] 08 15, 2005. [Cited: 02 29, 2012.] <http://www.flickr.com/photos/lokisi/3530904035/in/photostream/>.
10. FORD, Brian, et al. The Architecture and Engineering of Downdraught Cooling: A Design Source Book. UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. p. 199. ISBN 978-0956579003.
11. Torcellini, P., Judkoff, R. and Hayter, S. Zion National Park Visitor Center: Significant Energy Savings Achieved through a Whole-Building Design Process. National Renewable Energy Laboratory. [Online] 08 23, 2002. [Cited: 12 23, 2009.] <http://www.nrel.gov/buildings/pdfs/32157.pdf>.
12. Torcellini, P., et al. Evaluation of the Low-Energy Design and Energy Performance of the Zion National Park Visitors Center. solaripedia. [Online] 02 2005. [Cited: 01 05, 2011.] <http://www.solaripedia.com/files/653.pdf>.
13. The American Institute of Architects. Zion National Park Visitor Center. The American Institute of Architects. [Online] The American Institute of Architects, 03 04, 2004. [Cited: 02 16, 2010.] <http://www.aiaopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=16>.
14. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Eastgate Center, Harare, ZIMBAWE

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par l'architecte Mick Pearce.  
 Le bâtiment se trouve dans la zone Est du quartier commercial du centre de la ville, à environ 1500m NGF.  
 L'Eastgate Center accueille un centre commercial et des bureaux. Il est l'un des premiers bâtiments rafraîchis naturellement, avec un usage commercial, en Afrique et dans le monde.  
 Le bâtiment n'est pas un bâtiment low carbon, mais il est intéressant pour répondre à des nécessités du client qu'il se soit développé comme un bâtiment rafraîchi passivement. Le système choisi s'est inspiré des termitières présentes dans la région. Nous ne savons pas si cela correspond à la vérité, mais ce bâtiment rafraîchi par ventilation nocturne et exposition de la masse thermique répond presque toujours aux demandes des usagers. Le choix d'utiliser les dalles pour stocker la fraîcheur est particulièrement adapté à un climat comme celui d'Harare. Seulement peu de jours dans l'année les usagers sont en inconfort, ce qui pourrait être acceptable.

Latitude S 17.83167, Longitude 31.052481



01 (1)

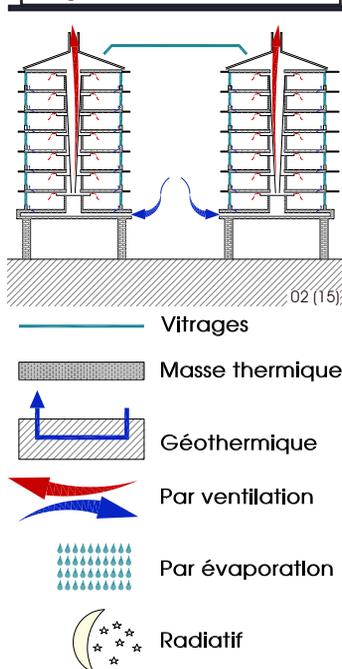
### Données climatiques de la zone

Le climat est conditionné par l'altitude, les journées sont chaudes, l'air est sec et le ciel est clair. Les nuits sont fraîches. Les vents dominants ont une direction nord-est et dépassent rarement les 30 km/h. Le mois le plus chaud est Novembre avec des T. moyennes de 21.7 °C, des max. de 28.7 °C et des min. de 14 °C (U.S. Department of Energy, 2011) DJU hiver = 492,54, DJU été = 459,21

### Groupe analytique

|  |  |   |   |   |
|--|--|---|---|---|
| Compacte<br>(Morphologie)                              | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Centre commercial et bureaux<br>(Usage) | 1996<br>(Datation)  | Visibles niveau 4<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 31.600 - 190.239<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 48m p;110m l;34m h<br>(Dimensions)      | Ventilation nocturne contrôlée<br>(Stratégie de rafraîchissement) |   |

### Logo synthétique



### Formes du type

Logo typo/topologique

- Conduits
- Structures de figures à bases identiques
- Contact ponctuel
- Structures tramées

02 (15)

03 (2)

04 (3)

05 (4)

06 (5)

Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

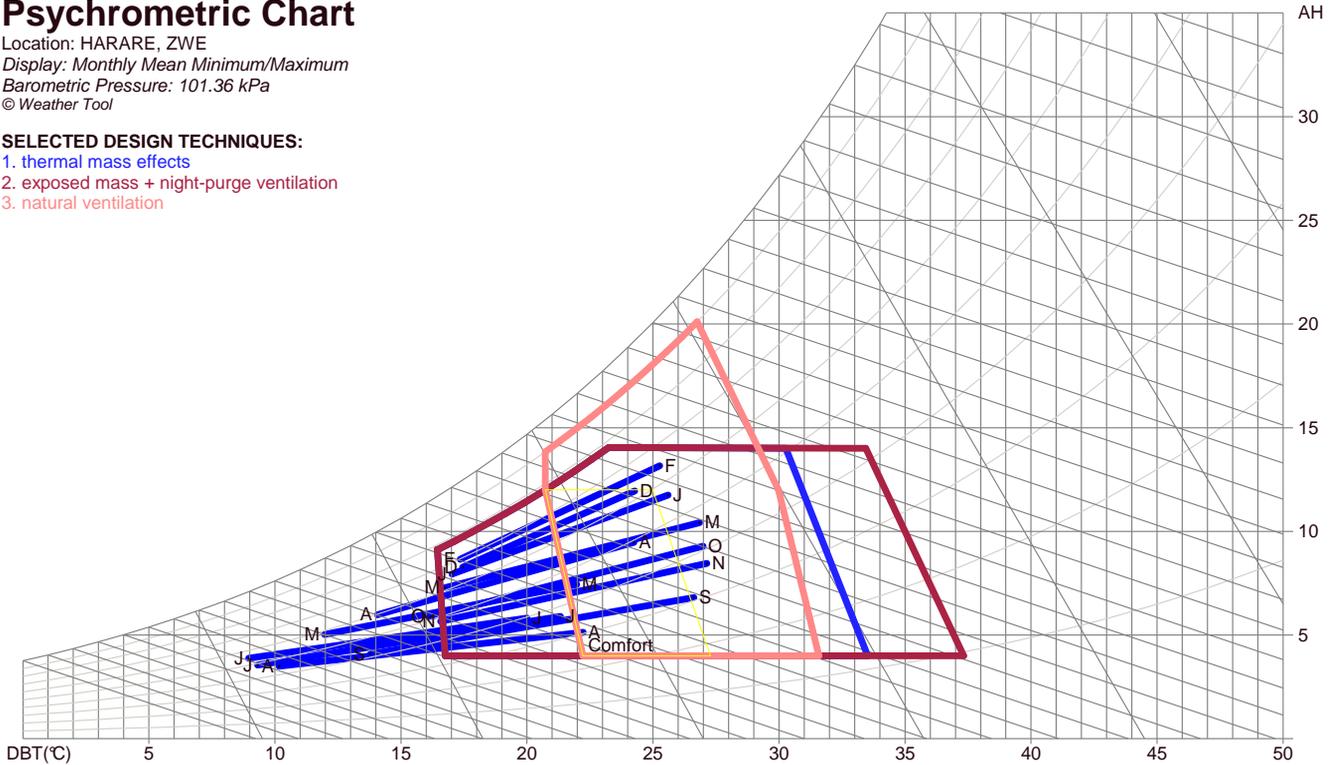
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: HARARE, ZWE  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation



Le bâtiment se trouve dans la zone Est du quartier commercial du centre de la ville, à environ 1500m NGF. Le climat du site est conditionné par l'altitude du site, les journées sont chaudes, l'air est sec et le ciel est clair, pendant 8 mois de l'année. Les nuits sont fraîches. Les vents dominants ont une direction nord-est et dépassent rarement les 30 km/h.

Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique, plus ventilation naturelle) devrait garantir le confort des usagers presque toute l'année.

Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site. Même en été il peut y avoir des heures où la température de l'air sera basse. Cela est dû à l'altitude très élevée de la ville qui détermine son microclimat. Ces caractéristiques climatiques «profitent» au système de rafraîchissement adopté. Bien sûr ces analyses sont faites sans considérer les apports internes, qui peuvent compromettre l'efficacité du système de rafraîchissement.

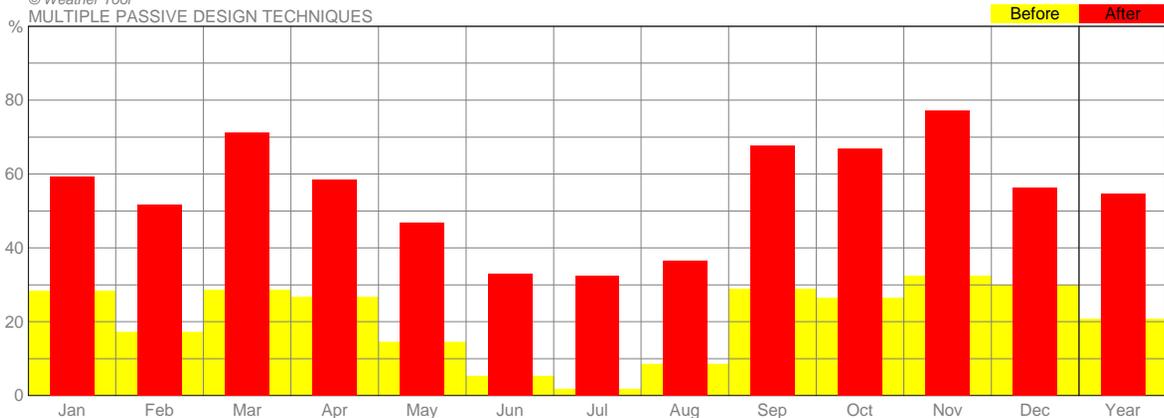
A remarquer que la plupart des heures «d'inconfort» prévues dans l'analyse ci-dessous sont les heures nocturnes, quand la température de l'air est trop basse. Cela devrait être facilement lisible dans le graphe psychrométrique ci-dessus. Le système de rafraîchissement exploite les heures nocturnes pour pré-rafraîchir le bâtiment.

### Comfort Percentages

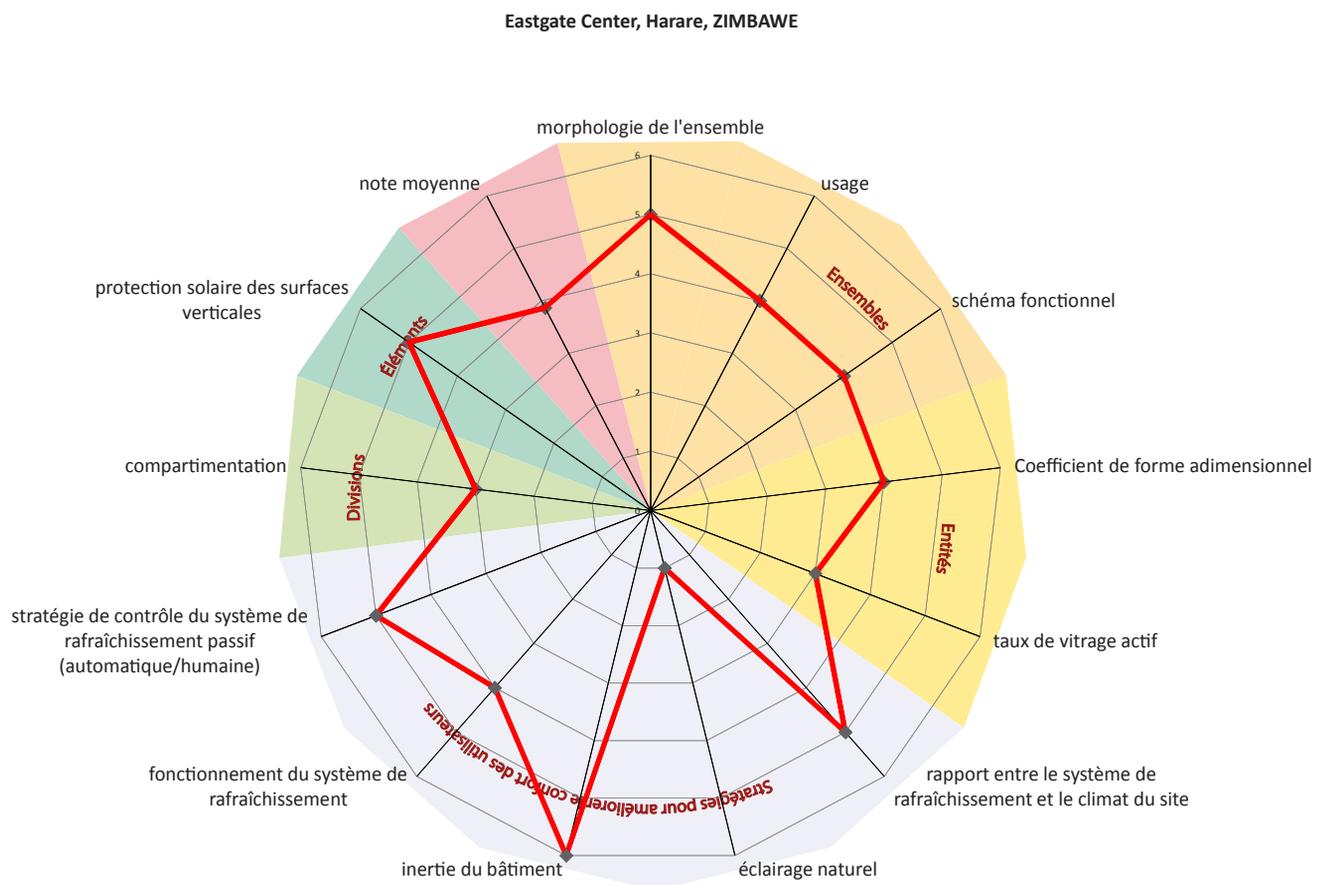
NAME: HARARE  
 LOCATION: ZWE  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: -17.9°, 31.1°  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation



## Graphe synthétique des dispositifs critiques



Ce qui apparaît dans le graphe radar pour l'Eastgate Center est assez positif, mais l'un des indicateurs a une note très basse.

L'éclairage naturel n'est pas suffisant et les usagers sont obligés d'utiliser l'éclairage artificiel toute la journée. Le problème est dû aux grandes protections solaires, réalisées pour réduire les apports thermiques et aux petites surfaces vitrées.

La note la plus élevée est l'inertie du bâtiment. Ce bâtiment a été conçu comme un 'accumulateur' de frigidités nocturnes, pour garantir le confort thermique dans la journée. Naturellement l'inertie thermique est très grande et très bien exploitée.

Le système est globalement bien conçu et la température de confort est garantie pendant presque toute l'année. Seulement pendant deux ou trois semaines dans l'année le système n'est pas très performant. En correspondance avec la saison des pluies avant l'été, octobre, novembre, les températures dans l'immeuble dépassent le seuil de confort. Un utilisateur décrit cette période comme « trop chaude... nous avons fini par ouvrir toutes les fenêtres... mais maintenant la température est bonne. » (DONALD, et al., 1997)

# Analyse systémique

## Implantation

Le bâtiment se trouve dans la zone Est du quartier commercial du centre de la ville, à environ 1500m NGF.

Les façades principales sont orientées nord/sud avec une petite inclinaison vers l'est. Le bâtiment occupe deux îlots de la ville et il est composé par deux barres reliées par une «route» couverte centrale. Le bâtiment est bien orienté, il est en milieu urbain, son orientation est donc dictée par les axes routiers, mais, à l'évidence, les choix des architectes ont permis de développer les façades et les ouvertures au nord et au sud. Le corps du bâtiment est un parallélépipède avec l'axe est/ouest.

Le climat du site est conditionné par l'altitude du site, les journées sont chaudes, l'air est sec et le ciel est clair, pendant 8 mois de l'année. Les nuits sont fraîches. Les vents dominants ont une direction nord-est et dépassent rarement les 30 km/h.

## Usage

Le bâtiment accueille un centre commercial et des bureaux. Il est l'un des premiers bâtiments rafraîchis naturellement, avec un usage commercial, en Afrique et dans le monde. Il faut tenir compte, même si cela n'est pas lié à l'usage, qu'à Harare le coût de l'installation de la climatisation mécanique est très élevé et que la fourniture d'électricité n'est pas assurée tous les jours et toute la journée. Cela, lié au type d'usage, a poussé le maître d'ouvrage à demander un bâtiment rafraîchi, mais sans AC.

Le type d'usage n'est pas forcément très adapté à l'installation d'un système passif (ou hybride) de climatisation, mais la localisation géographique, l'instabilité du réseau électrique et la difficulté d'assurer la maintenance d'une installation AC permettent à la solution adoptée de résoudre tous les problèmes et de garantir, presque toute l'année, l'état de confort des usagers.

## Schéma fonctionnel

Le bâtiment est composé par deux barres de huit étages, reliées par un atrium couvert. Les rez-de-chaussée logent les locaux commerciaux : le premier étage les réserves et les sept autres les bureaux. Les bureaux sont desservis par une passerelle et des blocs escaliers suspendus. Le grand atrium central a aussi la fonction de faire pénétrer la lumière à l'intérieur du bâtiment. La structure très légère de l'atrium contraste avec l'architecture très minérale et lourde du reste du bâtiment. L'air pour la ventilation du bâtiment est aspiré depuis l'atrium pour éviter de capter celui, très pollué, près de la route.

Le schéma fonctionnel s'adapte bien à un système de ventilation hybride. Les deux bâtiments qui rassemblent tous les bureaux et locaux commerciaux sont très «lourds» et garantissent une grande masse thermique. L'atrium central permet d'accueillir les circulations verticales, tout en ayant une fonction d'extraction de l'air chaud et de pénétration de la lumière.

## Morphologie du bâtiment

L'ensemble est très compact et pour amener la lumière au centre l'architecte a exploité une «route couverte» et ferme qui divise le bâtiment en deux parties sur l'axe longitudinal.

Surface: 31.600 m<sup>2</sup>

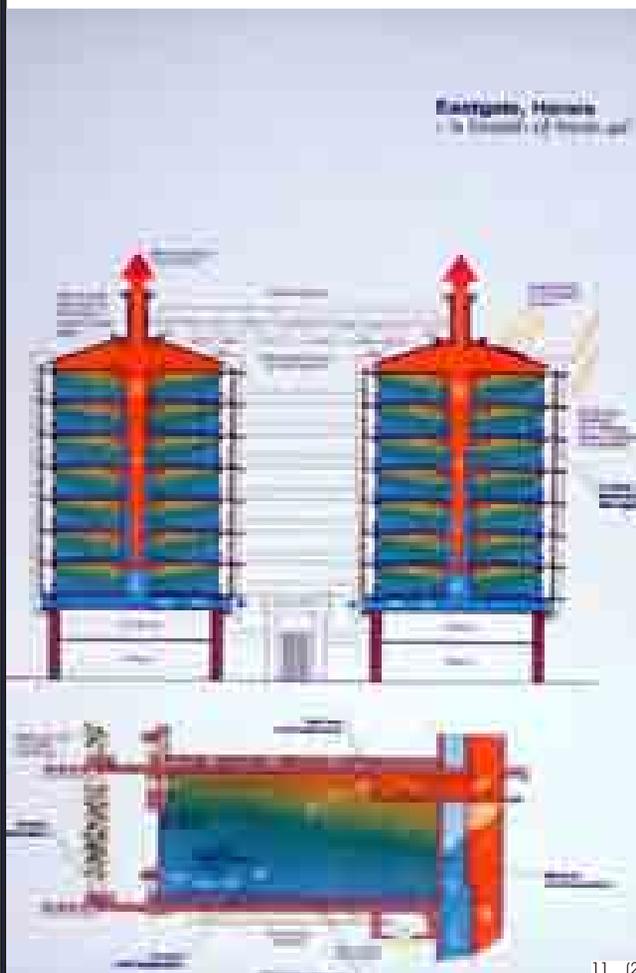
Volume: 190.239 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 5,25

taux de vitrage actif : 0,28 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

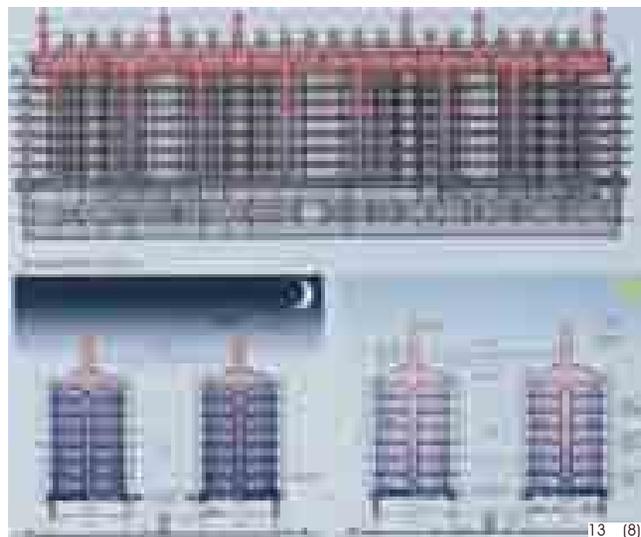
Rapport S vitrées/S opaques : 0,25 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Morphologie très compacte, un parallélépipède de grandes dimensions.

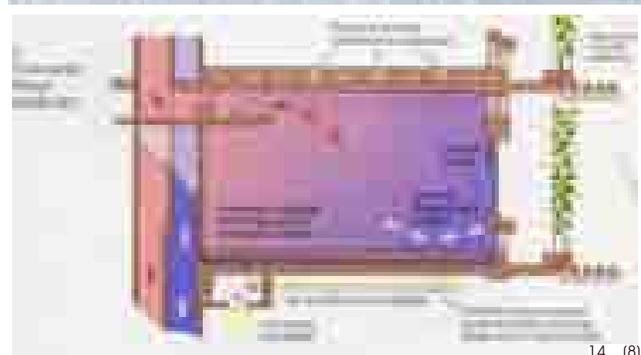




12 (8)



13 (8)



14 (8)



15 (8)

## Éclairage naturel

Le bâtiment, pour réduire les apports thermiques est très peu éclairé naturellement, particulièrement la façade nord, la plus exposée au soleil, est très fermée (moins de 25% d'ouvertures). Si on rajoute les plantations en façade et les écrans solaires, on peut imaginer que l'apport en lumière naturelle est très faible. Seulement le patio central permet un bon apport de lumière dans le cœur de l'édifice. Le bâtiment exploite très peu la lumière naturelle et les luminaires des bureaux sont allumés presque toujours. Il a été prévu des lumières à source «froide» et à basse consommation, mais c'est un aspect «négligé». Selon les estimations du BE OveArup en doublant la surface vitrée sur la façade nord, la température de pic aurait été 1°C supérieure. Vu le climat du site la préférence a été de réduire l'apport d'éclairage naturel et d'améliorer le confort thermique des usagers.

## Système de rafraîchissement

Inspiré par le fonctionnement des termitières, l'architecte a cherché à reproduire les mêmes conditions de fonctionnement entre masse thermique et ventilation naturelle. L'Eastgate est rafraîchi par un système hybride de VNC et de ventilation nocturne forcée. Le bâtiment exploite le climat local pour accumuler de la fraîcheur dans la nuit. La grande masse thermique ainsi chargée, rend ses frigos tout le long de la journée. Pendant la journée des petits ventilateurs favorisent la circulation de l'air dans les bureaux, avec un taux d'échange d'air d'environ 2 renouvellements/h. Pendant la nuit des ventilateurs plus grands poussent l'air de manière à obtenir 7/8 renouvellements/h, pour favoriser l'accumulation de fraîcheur. L'air circule dans un espace vide de la dalle béton, est introduit dans les locaux par des bouches situées à côté des fenêtres et ressort en partie haute du local rafraîchi, pour finir dans des cheminées verticales qui ont la fonction d'extraction. L'air est rafraîchi par la fraîcheur de la dalle, mais le système exploite aussi la composante de radiation. Le système de rafraîchissement mis au point pour le bâtiment est très adapté au climat du site. Selon des témoignages pendant l'année il y a une ou deux semaines où la température n'est pas acceptable, à 28°C. Cela est dû à des pics de température et des périodes d'humidité à ciel couvert, qui ne permettent pas un rafraîchissement nocturne optimal. Ces résultats obtenus garantissent une consommation électrique de plus de 50% inférieure à un autre bâtiment de bureaux dans la même ville. Le système reste hybride, donc comporte de la consommation électrique, mais le bâtiment est rafraîchi avec une consommation de l'ordre du 10% par rapport à un bâtiment identique, de plus la plus grande consommation est nocturne, heures où l'électricité a un coût et un impact environnemental inférieur.

## Fonctionnement du système de rafraîchissement

Les fenêtres ne sont presque pas ouvrantes pour ne pas interférer avec le système de rafraîchissement. Des ventilateurs permettent de gérer les échanges d'air environ 2 échanges/h pendant la journée et 7-8 échanges/h pendant la nuit. La gestion automatisée permet un bon fonctionnement du système, mais les usagers n'apprécient pas de n'avoir aucun contrôle des ouvertures.

## Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Le système de rafraîchissement et d'éclairage sont automatisés et les échanges d'air gérés par une centrale. Ce mode de fonctionnement s'adapte bien au type de bâtiment. Le système de VNC est géré par une centrale de contrôle. Dans ce type de bâtiment, un contrôle automatisé du système de ventilation est presque incontournable. Il est intéressant de relever ce que l'architecte a déclaré au New York Times : «on n'a pas eu de problèmes avec la température dans le bâtiment, sauf pendant trois semaines de l'année et aussi pendant trois jours, quand un ouvrier a arrêté la VMC la nuit par erreur»

## Analyse systémique

### Inertie du bâtiment

Tout l'immeuble a pour fonction de stocker et d'emmagasiner la fraîcheur. Les dalles en béton et l'ensemble de l'architecture sont un exemple d'exploitation maximale de la masse thermique. Inspiré par le fonctionnement des termitières, l'architecte a cherché à reproduire les mêmes conditions de fonctionnement entre masse thermique et ventilation naturelle.

La masse thermique est exploitée le mieux possible.



### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Les parois sont en maçonnerie et non isolées. Le dessin de la façade, que nous pourrions définir à arabesques, ainsi que ses matériaux ont la fonction de réduire les apports solaires.

En particulier sur la façade nord les brises soleil en béton sont étudiés pour éliminer l'apport solaire pendant les mois d'été.



### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

La toiture ventilée a pour fonction d'expulser l'air chaud vers les cheminées d'extraction. Une partie de la toiture est vitrée pour donner de la lumière à l'atrium. Il faut rappeler que une partie de la toiture est vitrée, cela même avec une bonne ventilation pourrait comporter un effet de serre ou la stratification de l'air chaud en partie haute. Par contre les toitures ventilées permettent une petite protection solaire.



### Compartimentation

Les bureaux sont desservis par des canalisations d'air, il n'est pas nécessaire de réaliser des espaces ouverts pour améliorer la circulation de l'air.





### Protection solaire

Présence de casquettes sur toutes les faces exposées au soleil. En particulier sur la façade nord les brises soleil en béton sont étudiés pour éliminer l'apport solaire pendant les mois d'été.

Le dernier étage est bien ventilé, mais l'absence de protection solaire pour le patio vitré pourrait engendrer des phénomènes de stratification de l'air chaud et de surchauffes aux derniers étages.



### Surfaces vitrées

Simplees fenêtres avec des Vénitiennes pour le contrôle de la luminosité.

Simplees vitrages, ce problème pourrait être résolu avec un changement des menuiseries.

Taux de vitrage actif :  $0,28 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0,25 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Le rapport surface vitrée / surface opaque est équilibré, mais l'éclairage naturelle est insuffisante.

### Surfaces opaques

Murs pleins pour exploiter au mieux la masse thermique. Les matériaux, bricks pleins et béton, garantissent une énorme masse thermique, mais la présence d'isolation aurait pu améliorer le comportement thermique du système bâtiment.



### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Présents et gérés par le système de contrôle. Mais nous ne pouvons pas le définir comme des ouvrants, le système de ventilation se base sur le fonctionnement des grands ventilateurs actionnés la nuit, l'air est capté dans le 'patio' couvert.

## État actuel et condition d'utilisation

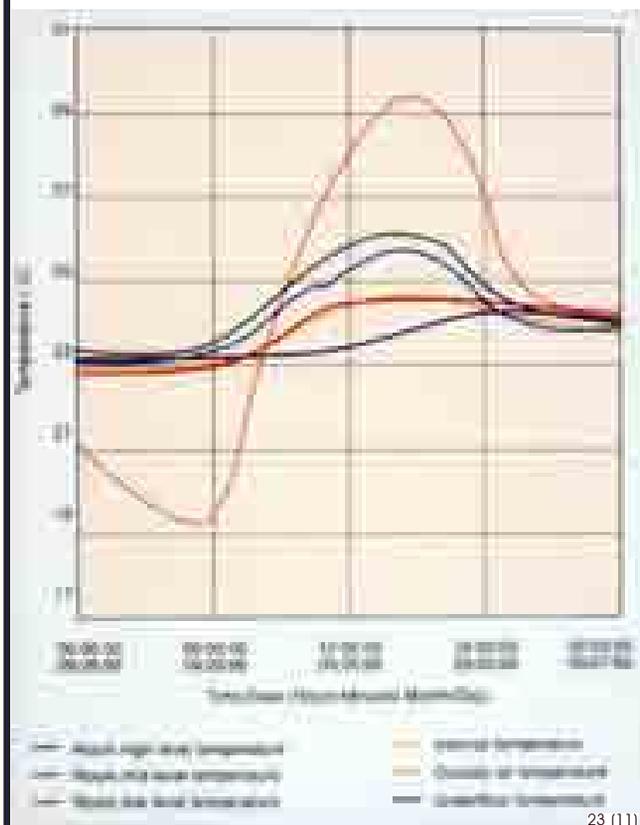
Nous n'avons pas trouvé de post occupancy evaluations, mais nous avons trouvé des interviews faites à plusieurs usagers.

De ces interviews il ressort que :

- Le système est assez efficace. Les évaluations des usagers sont positives. Seulement dans certains cas les usagers ne sont pas satisfaits du confort thermique. En particulier pendant quelques semaines de forte chaleur et d'humidité où le système n'arrive pas à garantir la température de confort.
- La température de confort est garantie presque pendant toute l'année.
- En correspondance avec la saison des pluies avant l'été, octobre, novembre, les températures dans l'immeuble dépassent le seuil de confort.

Un utilisateur décrit cette période comme « trop chaude... nous avons fini par ouvrir toutes les fenêtres... mais maintenant la température est bonne. » (DONALD, et al., 1997)

Il est intéressant de relever ce que l'architecte a déclaré au New York Times : « on n'a pas eu de problèmes avec la température dans le bâtiment, sauf pendant trois semaines de l'année et aussi pendant trois jours, quand un ouvrier a arrêté la VMC la nuit par erreur » (DONALD, et al., 1997)



23 (11)

## Analyse architecturale

Le bâtiment réalisé par l'architecte Mick Pearce a une morphologie très compacte, mais la grande volumétrie n'est pas complètement exploitée. Il est composé de deux grandes barres au milieu desquelles nous trouvons une route couverte. Le rappel aux galeries couvertes du XIX siècle est assez clair. D'ailleurs, le bâtiment, comme les anciennes galeries couvertes, loge des commerces aux étages plus bas et des bureaux aux étages supérieurs.

L'architecte dans des entrevues a déclaré sa posture « un peu gothique ». Nous pouvons bien retrouver ces aspects décoratifs dans ce bâtiment. La grande route couverte rappelle, par ses proportions, la nef des églises gothiques. Le traitement des surfaces, en béton et bricks, est aussi lié à ce style architectural. Bien sûr, nous ne retrouvons pas des gargouilles dans les décorations des façades, mais l'aspect très minéral, presque sculpté, nous renvoie à ces images.

Nous avons attribué un niveau de 4 en ce qui regarde la posture de l'architecte par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement.

En effet, la façon dont les 48 cheminées sont traitées en façade, les matériaux et leurs positions en toiture, sont évidemment une expression esthétique des systèmes de rafraîchissement.

Le commentaire de G. BRAID sur la photo ici de coté : « Cinescape : Queen Mary or Titanic » (BRAID, 2001) Il est intéressant.

Selon lui Il apparaît clairement que le traitement des surfaces, ainsi que la position des cheminées ont été choisis pour des motifs esthétiques.



24 (12)



25 (4)

## Aspects positifs et leçons à retenir



Le système est globalement bien conçu et la température de confort est garantie presque pendant toute l'année. Seulement pendant deux ou trois semaines dans l'année le système n'est pas performant. En correspondance avec la saison des pluies avant l'été, octobre, novembre, les températures dans l'immeuble dépassent le seuil de confort.

L'aspect intéressant dans le cas de l'Eastgate Center de Harare est que le bâtiment n'est pas né comme un bâtiment low carbon, avec une volonté de réduction écologique de la consommation électrique, mais il répond à des besoins précis dus à l'instabilité du réseau électrique local. Une autre chose intéressante est que l'architecte s'est inspiré du monde animal, avec son système qui ressemble aux termitières.

Nous voudrions faire remarquer que les transformateurs nécessaires aux luminaires à basse consommation ont été positionnés dans la gaine d'extraction de l'air chaud, cela pour réduire les apports thermiques. C'est un petit détail, mais il est important pour faire comprendre que le bâtiment est étudié comme un système.

Les aspects les plus significatifs sont :

Le rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site. Le système choisi s'adapte très bien au climat de Harare. De plus, si nous tenons compte des heures de travail le système choisi pourrait garantir le confort thermique presque, à 100% des heures d'occupation d'été. Naturellement c'est un calcul théorique et difficilement réalisable. D'ailleurs, dans le cas de l'Eastgate, les problèmes dus à l'usage, les apports internes, etc. souvent ne permettent pas au système bâtiment de garantir le confort thermique.

La masse thermique. Tout le bâtiment est étudié pour exploiter au maximum l'énorme masse thermique, à travers Le pré-rafraîchissement nocturne, la ventilation diurne et la ventilation naturelle.

## Aspects négatifs et leçons à retenir

Le bâtiment, comme nous l'avons précédemment vu est assez bien conçu, en particulier la manière dont est exploitée la grande masse thermique de façon remarquable. Nous voudrions, tout de même préciser certains aspects négatifs.

Les aspects les plus significatifs sont :

L'éclairage naturel : Le bâtiment, pour réduire les apports thermiques est très peu éclairé naturellement, particulièrement la façade nord, la plus exposée au soleil, est très fermée (moins de 25% d'ouvertures). Si on rajoute les plantations en façade et les écrans solaires, on peut imaginer que l'apport en lumière naturelle est très faible. À cause de ce problème, les lumières des bureaux et commerces restent allumées pendant toutes les heures d'occupation. Cela n'est pas une bonne performance, au contraire. De plus, le bâtiment devrait être éclairé par des corps lumineux à basse consommation et froids, mais les usagers peuvent changer les corps lumineux et cela pourrait être la cause de surchauffes non prévues.

L'absence d'isolation thermique : les murs ont été étudiés pour exploiter la masse thermique, mais la présence d'une isolation thermique pourrait aider à réduire l'incidence des fluctuations de la température extérieure.

Vitrages : les simples vitrages nous semblent très peu performants pour un bâtiment de ce type.

L'absence de contrôle de la part des usagers des ouvertures en façade. Il est toujours très difficile de décider quel degré de contrôle donné aux usagers pour l'ouverture des ouvertures. Souvent les usagers avec une mauvaise utilisation des fenêtres compromettent le comportement bioclimatique du bâtiment. Il est par contre sûr que, si les usagers n'ont aucun contrôle des ouvertures en façade, ils seront en condition d'inconfort. L'architecte dans ce cas a décidé d'interdire l'ouverture des fenêtres. Nous pensons qu'il aurait fallu probablement trouver un juste milieu.



## Bibliographie

---

- Academic Dictionaries and Encyclopedias Eastgate Centre, Harare [Online] // academic. - Wikimedia Foundation, 2010. - 06 12, 2011. - <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/1844724>.
- Aga Khan Trust for Culture Eastgate [Online] // archnet. - MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture. - 06 10, 2011. - [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=1776](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=1776).
- Andrew Biomimetic and Sustainable Architecture: Learning from the Eastgate Building in Harare, Zimbabwe [Online] // zpluspartners. - Z + Partners, 01 24, 2004. - 06 12, 2011. - [http://www.zpluspartners.com/zblog/archive/2004\\_01\\_24\\_zblogarchive.html](http://www.zpluspartners.com/zblog/archive/2004_01_24_zblogarchive.html).
- APPROACHES PLANET SAVING DESIGN Mike Rainbow [Online] // sustainableSettlement. - sustainableSettlement, 08 23, 2000. - 06 15, 2011. - <http://www.sustainableSettlement.co.za/event/SSBE/Proceedings/rainbow.pdf>.
- ArchiEnvironmental Eastgate Centre in Zimbabwe : Modeled After Termite Mounds [Online] // ArchiEnvironmental. - ArchiEnvironmental, 12 15, 2007. - 06 13, 2011. - <http://nat-envir-sun.blogspot.com/2007/12/eastgate-centre-in-zimbabwe-modeled.html>.
- Ball Philip insect architecture [Online] // philipball. - 02 27, 2010. - 04 20, 2011. - [http://www.philipball.co.uk/images/stories/docs/pdf/insect\\_architecture.pdf](http://www.philipball.co.uk/images/stories/docs/pdf/insect_architecture.pdf).
- Bezemer V. Can we create more sustainable buildings by imitating natures cooling techniques? [Online] // chilliwebsites. - 11 2009. - 05 10, 2011. - [http://www.chilliwebsites.us/sitefiles/132/File/sustainable\\_cooling\\_techniques.pdf](http://www.chilliwebsites.us/sitefiles/132/File/sustainable_cooling_techniques.pdf).
- BRAID George The Architectural Expression of Environmental Control Systems [Book]. - London : Spon Press, 2001. - p. 264. - ISBN 0-419-24430-1.
- Chown Mark BUILDING SIMULATION AS AN AIDE TO DESIGN [Online] // ibpsa. - ibpsa, 11 11, 2003. - 06 16, 2011. - [http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2003/BS03\\_0019\\_30.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2003/BS03_0019_30.pdf).
- Doan Abigail Green Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds [Online] // inhabitat / ed. 2011 Inhabitat.com. - 10 12, 2007. - 03 15, 2011. - <http://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/#ixzz0sQLBwPcF>.
- DONALD G. and McNEIL Jr. In Africa, Making Offices Out of an Anthill [Online] // New York Times / ed. Company The New York Times. - 02 13, 1997. - 04 12, 2011. - <http://www.nytimes.com/1997/02/13/garden/in-africa-making-offices-out-of-an-anthill.html?scp=2&sq=Zimbabwe&st=nyt>.
- Ecodorp Leemhut met termieten airco [Online] // <http://ecodorpbrabant.nl>. - Ecodorp. - 06 12, 2011. - <http://ecodorpbrabant.nl/html/voortgang/DKA/termietenheuvel.php>.
- Environment and Ecology The Eastgate Centre [Online] // Environment and Ecology. - Environment and Ecology, 2012. - 02 01, 2012. - <http://environment-ecology.com/energy-and-architecture/369-the-eastgate-centre.html>.
- Google Google Maps [Online] // Google. - Google, 2011. - 04 10, 2011. - <http://maps.google.fr>.
- Holmes Michael HYBRID VENTILATION SYSTEMS [Online] // heatinghelp. - heatinghelp. - 06 12, 2011. - <http://www.heatinghelp.com/files/articles/738/42.pdf>.
- insects.tamu.edu eastgate\_facilities.pdf [Online] // insects.tamu.edu. - insects.tamu.edu. - 05 13, 2011. - [http://insects.tamu.edu/podcast/pdf/eastgate\\_facilities.pdf](http://insects.tamu.edu/podcast/pdf/eastgate_facilities.pdf).
- Johnston Lindsay Environmentally SustainableDesign [Online] // rivertime. - rivertime. - 07 01, 2011. - [http://www.rivertime.org/lindsay/ar\\_articles/ar\\_74.pdf](http://www.rivertime.org/lindsay/ar_articles/ar_74.pdf).
- Kumar B.Sameer Eastgate: A cool green structure inspired by nature! [Online] // ecofriend. - ecofriend, 03 11, 2008. - 06 14, 2011. - <http://www.ecofriend.com/entry/eastgate-a-cool-green-structure-inspired-by-nature/>.
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis and co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- McKeag Tom How Termites Inspired Mick Pearce's Green Buildings [Online] // greenbiz / ed. Group GreenBiz. - 09 02, 2009. - 02 15, 2011. - <http://www.greenbiz.com/blog/2009/09/02/how-termites-inspired-mick-pearces-green-buildings>.
- Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [Online] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 04 15, 2011. - <http://www.bing.com/maps>.
- Nubian Architects TERMITES AND TEMPERATURE CONTROL FROM ZIMBABWE WITH LOVE [Online] // Nubian Architects. - Nubian Architects, 08 16, 2010. - 06 13, 2011. - <http://nubianarchitects.wordpress.com/2010/08/16/termites-and-temperature-control-from-zimbabwe-with-love/>.
- Onwumere Francis A new inspiration for efficient innovation [Online] // scitech360. - scitech360, 12 06, 2008. - 06 13, 2011. - <http://www.scitech360.com/Materials.php?action=view&id=32>.
- Real FMG The practicalities of Green building design [Online] // realfmfg. - Real FMG, 07 2010. - 06 16, 2011. - <http://www.realfmfg.com/htmlnewsletter/july2010/green-building-design.html>.

STEFFEN ALEX Harare's Eastgate Building and the Perils of Thinking Small [Online] // Worldchanging . - Worldchanging , 01 30, 2004. - 06 12, 2011. - <http://www.worldchanging.com/archives/000359.html>.

Tengyuen Ngan Sustainable Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds [Online] // miragestudio7. - miragestudio7, 06 13, 2011. - 06 13, 2011. - <http://blog.miragestudio7.com/sustainable-building-in-zimbabwe-modeled-after-termite-mounds/1556/>.

The Biomimicry Institute Eastgate Centre building [Online] // asknature / ed. Institute The Biomimicry. - 12 31, 2011. - 02 15, 2012. - <http://www.asknature.org/product/373ec79cd6dba791bc00ed32203706a1#changeTab>.

The Biomimicry Institute Ventilated nests remove heat and gas: mound-building termites [Online] // asknature / ed. Institute The Biomimicry. - 2009. - 05 09, 2011. - <http://www.asknature.org/strategy/8a16bdfcd2387cd2a3a995525ea08b3#changeTab>.

Thomas Justin Biomimetic Building Uses Termite Mound As Model [Online] // treehugger. - Discovery Communications, 08 07, 2006. - 06 15, 2011. - <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/biomimetic-building-uses-termite-mound-as-model.html>.

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [Online] // EnergyPlus. - 03 11, 2011. - 01 25, 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

UDUKU Ola Passive energy Futures in Africa [Conference] // Architecture, city, environment: proceedings of PLEA 2000. - Cambridge : James and James LTD, 2000. - Vol. 1. - pp. 398-400. - 1-902916-16-6.

wikipedia Eastgate Centre, Harare [Online] // wikipedia. - 02 02, 2012. - 02 28, 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/Eastgate\\_Centre,\\_Harare](http://en.wikipedia.org/wiki/Eastgate_Centre,_Harare).

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [Online] Google, 2011. [Cited: 04 10, 2011.] <http://maps.google.fr>.
2. Aga Khan Trust for Culture. Eastgate. archnet. [Online] MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture. [Cited: 06 10, 2011.] [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=1776](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=1776).
3. Andrew. Biomimetic and Sustainable Architecture: Learning from the Eastgate Building in Harare, Zimbabwe. zpluspartners. [Online] Z + Partners, 01 24, 2004. [Cited: 06 12, 2011.] [http://www.zpluspartners.com/zblog/archive/2004\\_01\\_24\\_zblogarchive.html](http://www.zpluspartners.com/zblog/archive/2004_01_24_zblogarchive.html).
4. BRAID, George. The Architectural Expression of Environmental Control Systems. London : Spon Press, 2001. p. 264. ISBN 0-419-24430-1.
5. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis and co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
6. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [Online] 03 11, 2011. [Cited: 01 25, 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
7. Ball, Philip. insect architecture. philipball. [Online] 02 27, 2010. [Cited: 04 20, 2011.] [http://www.philipball.co.uk/images/stories/docs/pdf/insect\\_architecture.pdf](http://www.philipball.co.uk/images/stories/docs/pdf/insect_architecture.pdf).
8. insects.tamu.edu. eastgate\_facilities.pdf. insects.tamu.edu. [Online] insects.tamu.edu. [Cited: 05 13, 2011.] [http://insects.tamu.edu/podcast/pdf/eastgate\\_facilities.pdf](http://insects.tamu.edu/podcast/pdf/eastgate_facilities.pdf).
9. Holmes, Michael. HYBRID VENTILATION SYSTEMS. heatinghelp. [Online] [Cited: 06 12, 2011.] <http://www.heatinghelp.com/files/articles/738/42.pdf>.
10. Johnston, Lindsay. Environmentally SustainableDesign. rivertime. [Online] [Cited: 07 01, 2011.] [http://www.rivertime.org/lindsay/ar\\_articles/ar\\_74.pdf](http://www.rivertime.org/lindsay/ar_articles/ar_74.pdf).
11. Chown, Mark. BUILDING SIMULATION AS AN AIDE TO DESIGN. ibpsa. [Online] 11 11, 2003. [Cited: 06 16, 2011.] [http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2003/BS03\\_0019\\_30.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2003/BS03_0019_30.pdf).
12. wikipedia. Eastgate Centre, Harare. wikipedia. [Online] 02 02, 2012. [Cited: 02 28, 2012.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Eastgate\\_Centre,\\_Harare](http://en.wikipedia.org/wiki/Eastgate_Centre,_Harare).
13. Doan, Abigail. Green Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds. inhabitat. [Online] 10 12, 2007. [Cited: 03 15, 2011.] <http://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/#ixzz0sQLBWPcF>.
14. McKeag, Tom. How Termites Inspired Mick Pearce's Green Buildings. greenbiz. [Online] 09 02, 2009. [Cited: 02 15, 2011.] <http://www.greenbiz.com/blog/2009/09/02/how-termites-inspired-mick-pearces-green-buildings>.
15. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

CII Institute of Quality, Bangalore Inde

## Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

## Synthèse

Le bâtiment se trouve à Bangalore, sud de l'Inde et capitale de l'état du Karnataka. La ville est située sur le plateau du Deccan à environ 900m NGF dans une zone de plaines. La ville est considérée comme la nouvelle Silicon Valley. Le gouvernement a installé plusieurs instituts de recherche liés aux nouvelles technologies. L'expansion très rapide de la ville et l'économie basée sur la recherche et les nouvelles technologies se traduisent par une demande toujours plus élevée d'électricité.

Le bâtiment se situe sur une parcelle aménagée de 16 000 m<sup>2</sup>. C'est une construction contemporaine intégrée dans le paysage. Le projet est étudié pour être le plus ecofriendly possible. L'ensemble est composé par trois barres, deux qui suivent les courbes de niveau et une qui coupe les autres de manière transversale, formant un pont entre les deux barres plus basses. Le bâtiment accueille un centre d'excellence des entreprises. Le bâtiment est rafraîchi passivement avec des tours évaporatives qui réduisent la température de l'air. Les différentes pièces sont rafraîchies par des tours évaporatives. La nuit le flux d'air est inversé et le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne.

Latitude N 12.975795, Longitude 77.47640



01 (1)

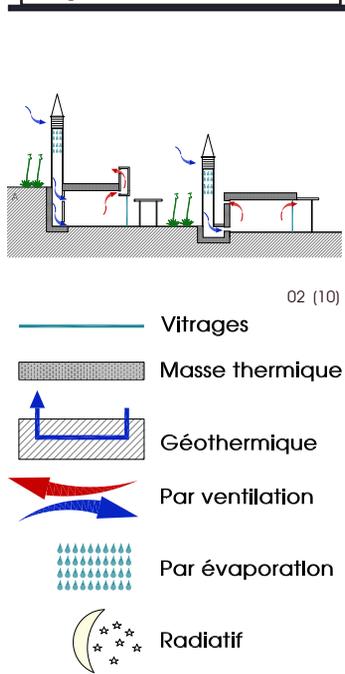
## Données climatiques de la zone

Le climat du site est de type tropical de savane, caractérisé par une période très sèche et par une période des moussons avec des précipitations. Les températures moyennes sont assez élevées et descendent rarement en dessous de 18°C. Les précipitations se concentrent entre les mois de mai à octobre. DJU hiver = 28 DJU été = 1301

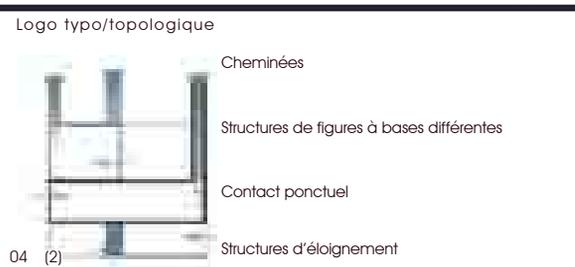
## Groupe analytique

|   |  |                                    |   |  |
|---|--|------------------------------------|---|--|
| Semi compacte<br>(Morphologie)                      | Tertiaire<br>(Typologie)                 | centre de recherche<br>(Usage)     | 2001<br>(Datation)                      | Apparents - niveau 5<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement)       |
| 2.500 - 8.800<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 80m p; 17m l; 4m h<br>(Dimensions) | Evaporatif dir. et ventilation nocturne | Evaporatif dir. et ventilation nocturne<br>(Stratégie de rafraîchissement) |

## Logo synthétique



## Formes du type



Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

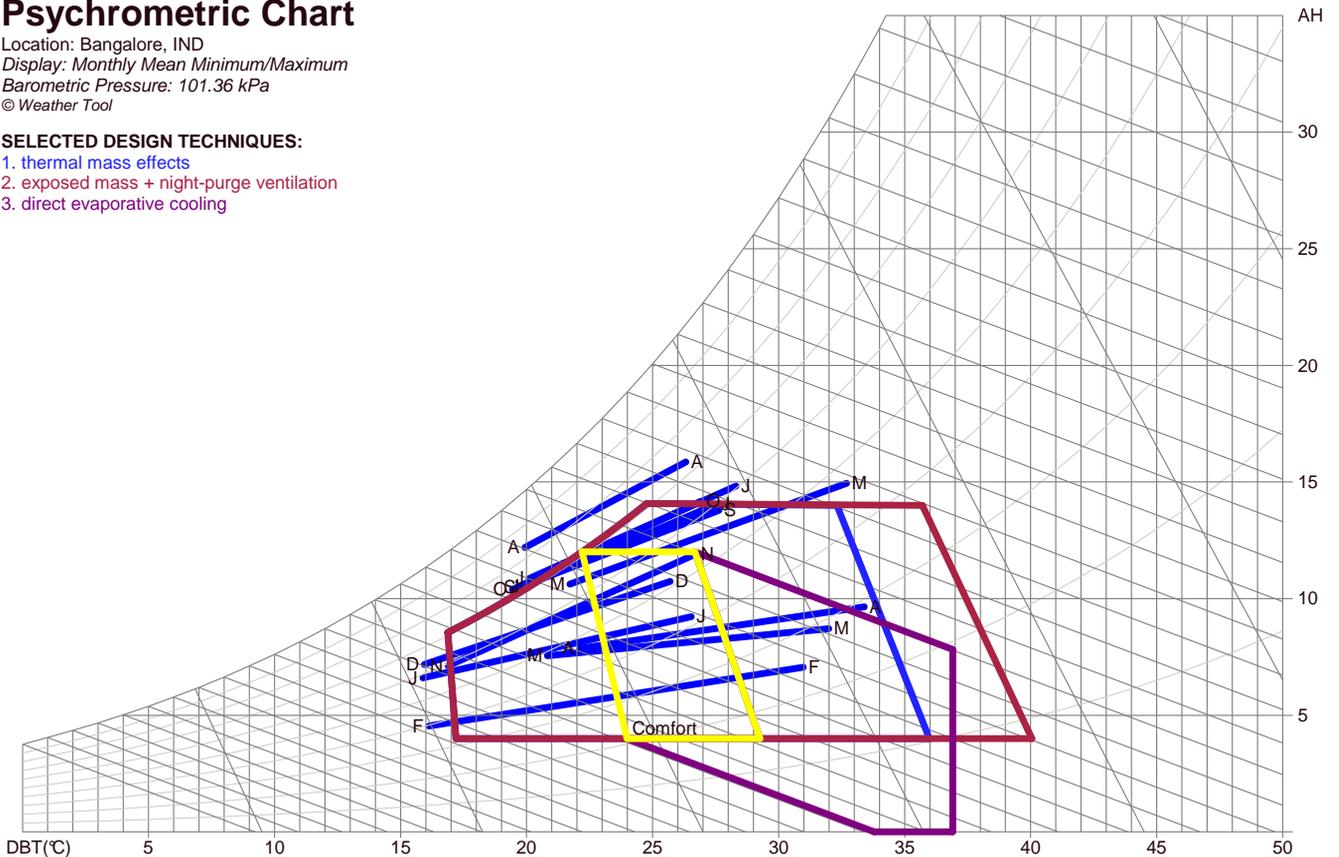
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: Bangalore, IND  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. direct evaporative cooling



Le climat de Bangalore est de type tropical de savane, caractérisé par une période très sèche et par une période des moussons avec des précipitations qui dépassent les 180mm mensuels.

Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation nocturne avec exposition de la masse thermique, évaporatif direct) devrait garantir le confort des usagers. Par contre pendant une partie de l'année le rafraîchissement évaporatif ne sera pas utilisable, car l'humidité relative est trop élevée. Dans ces conditions seulement la ventilation naturelle pourrait garantir le confort. Le rafraîchissement par ventilation nocturne, avec exposition de la masse thermique, est plus efficace, en vertu de l'altitude de Bangalore, environ 1000 mètres NGF. Le système évaporatif est efficace seulement pendant les trois mois les plus secs, ou les températures de l'air peuvent être très élevées.

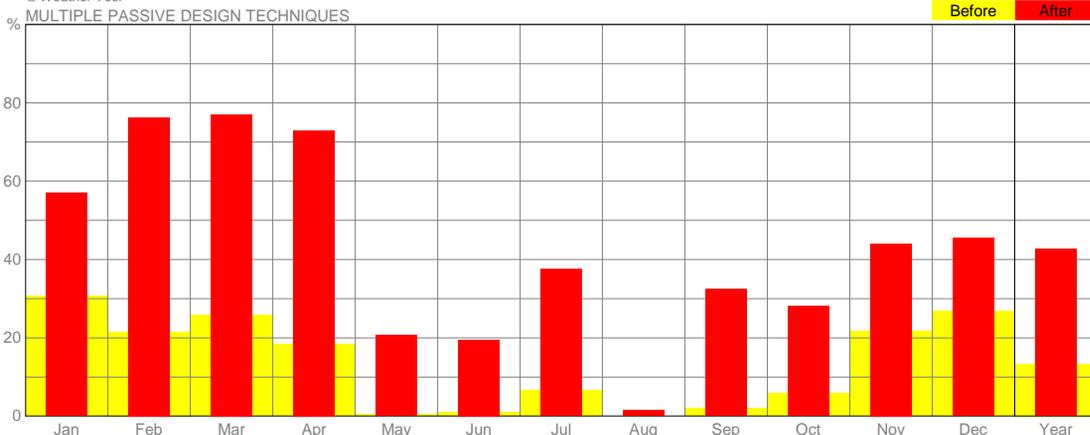
La note est basse, car on pourrait émettre l'hypothèse que, si l'architecte avait visé sur des systèmes de rafraîchissement différents, il aurait probablement obtenu des résultats meilleurs. Pour mieux exploiter la ventilation naturelle il aurait du réaliser des ouvertures entre la pièce et la cheminée en partie haute, pour éliminer l'air chaud.

### Comfort Percentages

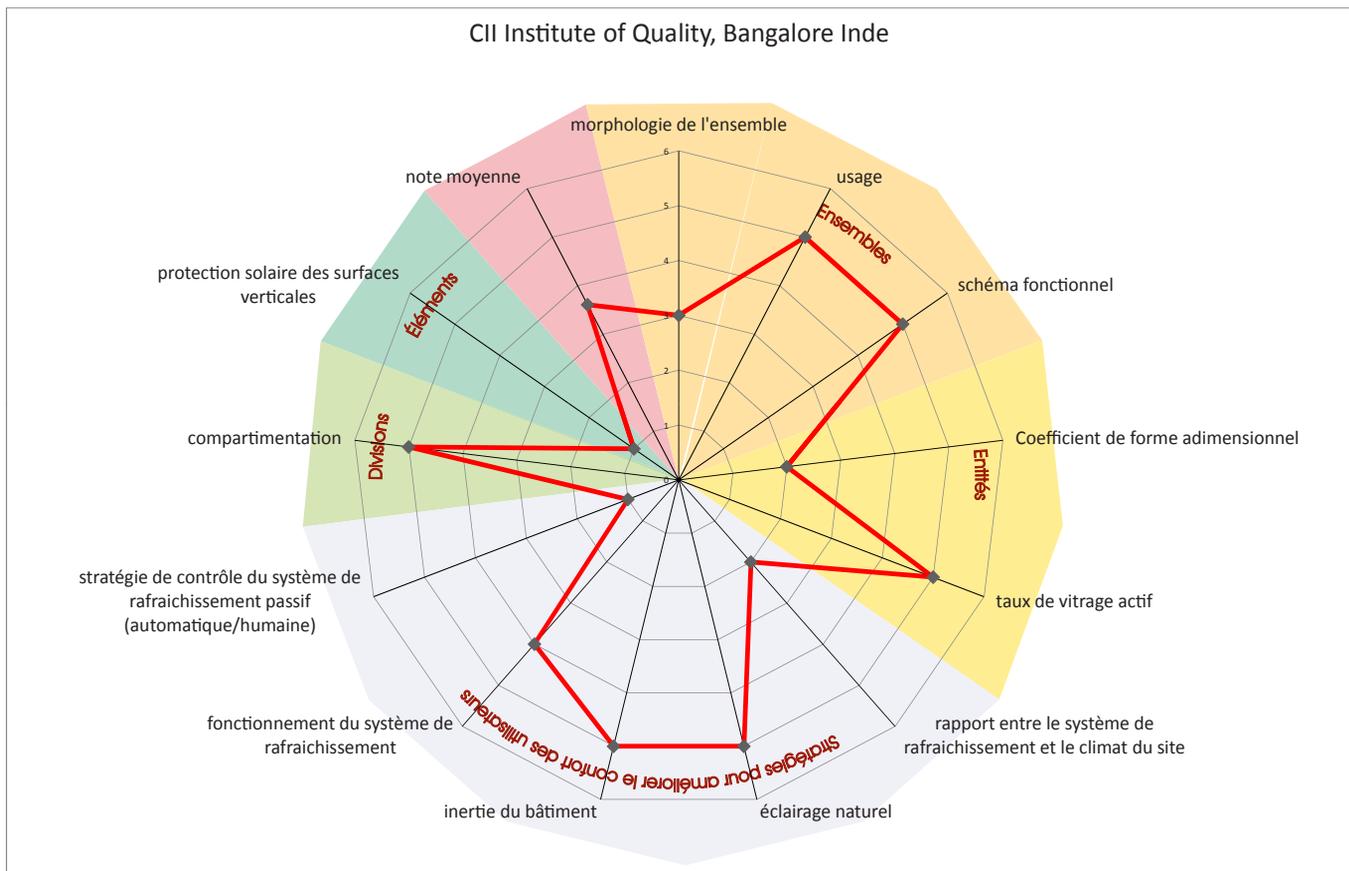
NAME: Bangalore  
 LOCATION: IND  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 13.0°, 77.6°  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. direct evaporative cooling



## Graphe synthétique des dispositifs critiques



07 (10)

Deux dispositifs critiques ont une note de 1 et cela est dû au fait que la stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif est défectueuse et les protections solaires ne sont pas suffisantes. Aux deux dispositifs critiques avec une note de 1 il faut rajouter encore un dispositif avec une note de 2, c'est-à-dire le rapport entre le rafraîchissement passif et le climat du site. La stratégie de contrôle du bâtiment est le talon d'Achille de tout le système. En phase de projet avait été prévue une centrale automatique de contrôle, mais à cause des coûts de ce type de technologie il a été décidé de passer à l'usage manuel. Ce type de contrôle s'adapte mal à l'usage bureaux et salle de conférence et au climat du site. Les usagers mettent en fonction le système de brumiseurs quand ils ont déjà chaud, mais le système passif n'arrive pas à compenser et éliminer les surchauffes trop élevées. Il faudrait faire démarrer les brumiseurs bien avant que la température d'inconfort ne soit atteinte. Une autre cause des surchauffes est due aux mauvaises protections solaires. Le bâtiment est mal exposé, à cause de la conformation du terrain, la façade principale est exposée à l'ouest, et elle est protégée par des casquettes, efficacement en milieu de journée, mais le soir la radiation directe du soleil touche directement les grandes baies vitrées. La radiation directe cause des surchauffes trop élevées pour être compensées par des systèmes de rafraîchissement passifs. De plus, les systèmes choisis ne s'adaptent pas parfaitement au climat du site, pour rafraîchir pendant les mois les plus chauds, il aurait fallu exploiter la ventilation naturelle. Les cheminées auraient pu être très utiles pour éliminer l'air chaud et favoriser la ventilation naturelle, mais l'architecte aurait dû prévoir des passages d'air en partie haute entre la cheminée et la pièce, pour extraire l'air chaud.

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se situe sur une parcelle aménagée de 16 000 m<sup>2</sup>. C'est une construction contemporaine intégrée dans le paysage. Le projet est étudié pour être le plus possible 'ecofriendly', dans la banlieue OUEST de la ville.

Il est difficile d'en définir l'implantation, car le projet est très fragmenté. Nous pouvons dire que le bâtiment est orienté nord-sud, sauf la barre pour des bureaux qui est orientée est-ouest, implanté dans une parcelle en légère pente il exploite la déclivité du terrain pour s'appuyer le long des courbes de niveau. L'architecte exploite la masse thermique en encastrant une partie du bâtiment dans le terrain, cela nécessite que la plus grande partie des façades soient exposées à l'ouest. Cette orientation est la moins favorable pour les apports solaires.

### Usage

Le bâtiment accueille un centre d'excellence des entreprises. C'est le lieu de rencontre et de conférence au sujet de la qualité et de l'environnement. Les entreprises qui présentent leurs produits dans ce centre sont souvent liées à l'éco-économie. Ils ont rafraîchis des bureaux ainsi qu'un auditorium de 200 places. Le bâtiment accueille une fonction clairement liée à l'écologie. Étant un lieu de représentation pour les entreprises du secteur il est clair que la conception bioclimatique faisait expressément partie du cahier des charges pour l'architecte. Le bâtiment a aussi une fonction pédagogique envers les visiteurs. De plus, les visiteurs du centre sont un public sensible capable d'apprécier le fonctionnement bioclimatique du bâtiment.

### Schéma fonctionnel

Le bâtiment a une disposition longitudinale, au RDC sont disposés l'auditorium la bibliothèque et les lieux publics. Au premier étage on trouve les bureaux. Le schéma fonctionnel est une conséquence de l'intégration du bâtiment dans le site. Les espaces paysagés entre les deux barres construites sont assimilables à un patio. Cette zone est une petite oasis de rencontre entre les usagers du centre



### Morphologie du bâtiment

L'ensemble est composé par trois barres, deux qui suivent les courbes de niveau et une qui coupe les autres de manière transversale, formant un pont entre les deux barres plus basses.

Surface: 2.500 m<sup>2</sup>

Volume: 8.800 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 8,46

taux de vitrage actif : 0.12 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0.08 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Le bâtiment est de forme semi-compacte et le coefficient de forme n'est pas excellent.

Le rapport surface vitrée / surface opaque est optimal. Le bâtiment est peu vitré, mais la lumière du jour a une bonne pénétration.





### Éclairage naturel

Le bâtiment est conçu pour améliorer au maximum la pénétration de la lumière naturelle. Cela comporte un confort très élevé pour les usagers et une réduction des apports thermiques internes, ainsi, naturellement, que des réductions de consommation électrique.



### Système de rafraîchissement

Le bâtiment est rafraîchi passivement avec des tours évaporatives qui réduisent la température de l'air. La nuit le flux d'air est inversé et le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne.

Le rafraîchissement par évaporation couplé à la ventilation naturelle nocturne s'adapte à l'usage du bâtiment, mais les systèmes choisis risquent d'être sous-dimensionnés pendant une bonne partie de l'année. L'architecte aurait dû étudier des stratégies pour améliorer la ventilation naturelle traversante. Cela est naturellement prévu, mais la position et la conformation des cheminées ne sont pas optimales pour extraire l'air chaud des pièces.



### Fonctionnement du système de rafraîchissement

L'air rafraîchi est «stocké» dans un plénum et ensuite introduit dans les pièces. L'auditorium, contenant 200 personnes, est rafraîchi par une tour évaporative, l'air est extrait par des ouvertures dans la partie haute à l'ouest. Les 3 break-rooms sont rafraîchis par 3 tours évaporatives et la librairie de la même manière que l'auditorium. Une seule tour évaporative garantit le rafraîchissement, l'air «stocké» est introduit par des ouvertures en partie basse du mur à l'est et extraite par des ouvertures à l'ouest. Les bureaux sont rafraîchis par une seule tour évaporative. La position de la tour cause une mauvaise distribution de l'air frais. De plus, les bureaux, en partie par leur conception et en partie par l'usage, sont plus sujets aux surchauffes. Cette condition peut être cause de d'inconfort. Pendant la saison des moussons et la nuit, le flux d'air est inversé et le confort thermique est garanti par la ventilation naturelle.

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Le projet prévoyait d'automatiser ou semi-automatiser le système de rafraîchissement passif. Pour des raisons budgétaires le système est aujourd'hui manuel. Dans chaque zone les utilisateurs doivent activer ou éteindre les brumisateur d'eau. Ce mode de fonctionnement peut comporter des problèmes. Les utilisateurs souvent activent le système de rafraîchissement quand la température de d'inconfort est déjà atteinte. Les tours évaporatives arrivent difficilement à réduire la température de d'inconfort dans des temps réduits. Il faudrait prévoir une automatisation qui permette aux tours de s'activer à temps et de maintenir une température optimale. Le problème dû au fonctionnement manuel du système de rafraîchissement peut compromettre tout le système

## Analyse systémique

### Inertie du bâtiment

L'architecte a exploité l'inertie thermique du terrain, le bâtiment est positionné contre le flanc de la colline, l'air frais des tours évaporatives passe par un espace entre le terrain et la pièce à rafraîchir. De plus, le bâtiment est rafraîchi par ventilation nocturne. Pendant la nuit les parois de la zone de 'stockage' de fraîcheur se refroidissent et pendant la journée l'air qui passe par cet espace récupère la fraîcheur. Les cheminées entre les deux bâtiments sont séparées des bâtiments à rafraîchir, la liaison se fait par un conduit enterré. Cette astuce sert à augmenter la masse thermique et améliorer le stockage de la fraîcheur.



### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Le cloisonnement vertical est de type standard. La plus grande partie des matériaux utilisés vient des filières locales ou est recyclée.



### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Une bonne partie des toitures est végétalisée. Cela garantit une bonne masse thermique. Les toitures végétalisées permettent une bonne protection des apports solaires des toitures. Toutes les plantations de la toiture et de la parcelle sont réalisées avec des plantes locales, adaptées au climat.



### Compartimentation

Les parties du bâtiment rafraîchies passivement ne sont pas compartimentées. Les locaux open-espace permettent un bon passage de l'air et facilitent le rafraîchissement.





### Protection solaire

Une autre cause des surchauffes est due aux mauvaises protections solaires. Le bâtiment est mal exposé, à cause de la conformation du terrain, la façade principale est exposée à l'ouest, et elle est protégée par des casquettes, efficacement en milieu de journée, mais le soir la radiation directe du soleil touche directement les grandes baies vitrées. La radiation directe cause des surchauffes trop élevées pour être compensées par des systèmes de rafraîchissement passifs. Comme on l'a vu, les surfaces horizontales sont végétalisées, cela est assimilable à une bonne protection solaire.



### Surfaces vitrées

Les surfaces vitrées sont bien étudiées, le rapport entre surfaces opaques et surfaces vitrées est favorable, sans renoncer à une bonne pénétration de la lumière du jour. Cela apporte un confort très élevé pour les usagers et une réduction des apports thermiques internes, ainsi, naturellement, que des réductions de consommation électrique.  
Taux de vitrage actif :  $0.12 \text{ m}^2/\text{m}^2$   
Rapport S vitrées/S opaques :  $0.08 \text{ m}^2/\text{m}^2$   
Les parties vitrées ont des doubles vitrages.

### Surfaces opaques

Le cloisonnement vertical est de type standard. Les matériaux utilisés en grande partie viennent des filières locales ou sont recyclés. Les parties vitrées ont des doubles vitrages. Les toitures végétalisées permettent une bonne protection des apports solaires. Les choix de l'architecte visent à améliorer le confort thermique des usagers. En particulier les toitures végétalisées garantissent des très bonnes prestations thermiques, donnent un apport à la masse thermique et en même temps constituent un écran contre l'ensoleillement.



### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Les tours, ainsi que des prises d'air présentes favorisent la ventilation nocturne. Elles fonctionnent selon le même principe que les bagdirs iraniens. Pendant la journée le flux d'air se dirige vers l'intérieur, dans notre cas grâce à l'eau brumisée en partie haute de la tour. Pendant la nuit le processus s'inverse et les tours ont fonction de cheminées d'extraction d'air. Cela permet une bonne ventilation nocturne, qui comme on l'a vu est très efficace à Bangalore. Nous n'avons pas de données au sujet des flux d'air, mais il paraît évident que cette fonction de tirage de l'air chaud et rafraîchissement nocturne, ainsi que le rafraîchissement par ventilation pendant les mois les plus humides, aurait été beaucoup plus efficace si les cheminées avaient eu une liaison avec la pièce en partie haute et non seulement près du sol.

## État actuel et condition d'utilisation

La post occupancy évaluation menée par le groupe PHDC nous montre que :

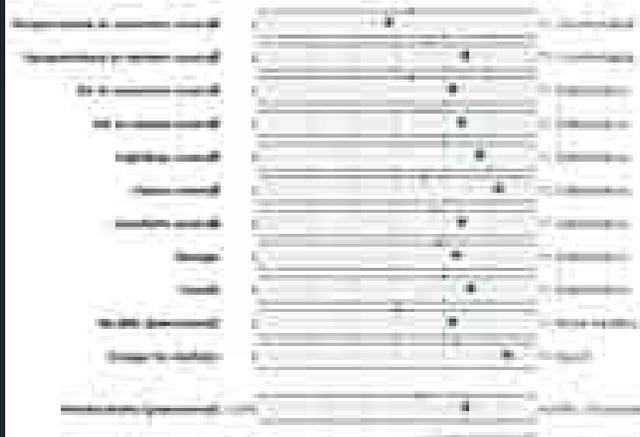
Les employés qui travaillent dans le centre sont satisfaits par l'architecture et les températures en hiver, mais les températures en été dépassent le seuil de confort. Un autre problème rencontré est dû aux variations de température pendant la journée.

Ces avis des usagers confirment en partie notre analyse. Les problèmes de ce projet sont dus, d'une part au système de contrôle du rafraîchissement. Un système automatique permettrait d'anticiper la mise en route des bruisseurs, afin de mieux rafraîchir les espaces.

D'autre part, les problèmes des protections solaires causent des surchauffes, l'après-midi, qui ne sont pas contrastées par le système de rafraîchissement. Les murs sont déjà chauds, à cause des apports thermiques de toute la journée et la chaleur du soleil est immédiatement perçue par les usagers.

Des écrans solaires et un système de contrôle automatique pourraient résoudre facilement une partie des problèmes de ce projet.

Nous pouvons remarquer que les usagers du bâtiment considèrent optimal le niveau des nuisances sonores, cela est néanmoins étrange dans un bureau open-space.



21 (8)

## Analyse architecturale

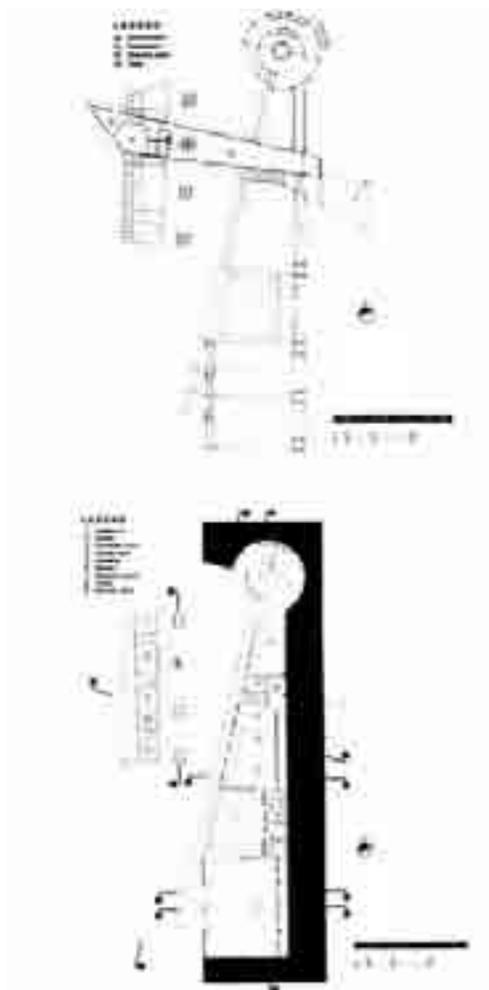
Le bâtiment se présente avec une 'veste' architecturale contemporaine et des éléments de rappel à la culture traditionnelle indienne.

L'architecte a cherché à marier les deux architectures, traditionnelle et contemporaine, la réinterprétation des éléments symboliques de l'architecture et de la religion caractérise la forme architecturale définitive du bâtiment.

Les systèmes de rafraîchissement sont clairement reconnaissables et mis en valeur. L'architecte a choisi d'utiliser les systèmes de rafraîchissement comme éléments architecturaux. Les tours de rafraîchissement posées dans le patio central ont nettement une fonction esthétique et font partie de l'aménagement du patio.

Le niveau de prégnance des systèmes de rafraîchissement pour ce bâtiment est de 5.

La position des tours n'est pas optimale par rapport aux nécessités de rafraîchissement, elles sauraient été plus efficaces si elles avaient été plus hautes, mais pour garder des proportions agréables dans le patio paysagé l'architecte a décidé de conserver leurs tailles réduites et de les positionner un peu en retrait par rapport au bâtiment. Ces choix nous montrent que la posture de l'architecte était claire, son objectif était de rendre visibles les tours évaporatives.



22 (3)

## Aspects positifs et leçons à retenir



Le projet dans son ensemble est bien conçu et réalisé. L'architecte a réussi à rafraîchir le bâtiment sans utiliser la climatisation, même si nous avons pu remarquer des défaillances. Le climat de Bangalore est assez sévère, comme nous l'avons vu sur le diagramme psychométrique avec une alternance de saisons sèches et de saisons de moussons. Les conditions climatiques rendent difficile le rafraîchissement passif. Le projet peut-être considéré comme un succès, car les problèmes principaux pourraient être résolus très facilement. Une fois résolus les problèmes de protection solaire et de système de contrôle, nous pensons, que le bâtiment peut garantir le confort des usagers toute l'année.

Aspects les plus importants :

Les tours de rafraîchissement exploitent la masse thermique du sol, cela est très utile, en particulier si les tours ont une fonction de ventilation nocturne.

La masse thermique des tours permet d'exploiter au mieux la fonction de rafraîchissement nocturne. Comme dans les Bagdir, la masse thermique des tours pendant la journée accumule la chaleur qui pendant la nuit favorise l'effet cheminée et permet d'inverser le flux d'air.

Les toitures végétalisées constituent une protection solaire, de plus l'arrosage des plantes pendant la saison sèche favorise le rafraîchissement. Les toitures végétalisées ont aussi une fonction de stockage, de la fraîcheur.

Les espaces aménagés et le patio paysagé riches en végétation créent un microclimat, qui permet le rafraîchissement passif.

## Aspects négatifs et leçons à retenir

Le système bâtiment ne garantit pas complètement le confort thermique des usagers à cause d'erreurs, qui auraient pu être facilement évitées.

Les maîtres d'ouvrage ont préféré éliminer du programme la centrale de contrôle automatique des systèmes de rafraîchissement. Cela a été une erreur très grave et pour économiser quelques milliers d'euros, tout le bâtiment risque de ne pas fonctionner. Comme nous l'avons vu l'usage du bâtiment et le système de contrôle employé n'est pas compatible, en particulier dans un lieu, comme Bangalore, où les conditions climatiques sont assez sévères.

L'autre erreur commise par l'architecte, concerne les mauvaises protections solaires sur les façades ouest, qui permettent des surchauffes non équilibrées par le système de rafraîchissement.

Aspects les plus importants :

Le système de contrôle manuel s'adapte mal à un usage de bureaux. Il aurait été nécessaire d'installer une centrale de contrôle, qui aurait permis de faire démarrer les systèmes de rafraîchissement par évaporation avant que la température de confort ne soit dépassée.

La centrale automatique aurait pu résoudre également les fluctuations de la température journalière. Les ouvrants nocturnes, sans une centrale automatisée, restent ouverts toute la nuit, à l'arrivée des employés la température peut être basse et pendant la journée elle monte trop rapidement. Une bonne gestion de la ventilation nocturne et de la brumisation aurait réduit ces problèmes.

Les protections solaires des façades ouest sont nécessaires.

## Bibliographie

---

Aga Khan Trust for Culture CII Institute of Quality [Online] // archnet. - MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture . - 04 10, 2010. - [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=9721](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=9721).

CII INSTITUTE OF QUALITY About the Building [Online] // CII INSTITUTE OF QUALITY. - CII,- IQ All Rights Reserved, 2007. - 04 10, 2010. - [http://www.cii-iq.in/aboutiq07\\_building.html](http://www.cii-iq.in/aboutiq07_building.html).

CII Institute of Quality Annual Report [Online] // CII Institute of Quality. - CII Institute of Quality, 2008. - 04 15, 2010. - [http://www.cii-iq.in/pdfs/iq/Annual\\_Report\\_2008.pdf](http://www.cii-iq.in/pdfs/iq/Annual_Report_2008.pdf).

Er. Avantika Praveen K Verma Sustainable Development through Green Design in India [Online] // NBM Media / ed. NBM CW. - NBM Media, 08 2010. - 04 10, 2010. - <http://www.nbmcw.com/articles/green-construction/17831-sustainable-development-through-green-design-in-india.html>.

FORD Brian [et al.] The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book [Book]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.

Google Google Maps [Online] // Google. - Google, 2011. - 04 10, 2011. - <http://maps.google.fr/maps?q=12.975795,+77.47640&ie=UTF8&hl=fr&t=h&z=16>.

GROSSO Mario Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato [Book] / ed. Editore Maggioli. - San Marino : Maggioli Editore, 2008. - p. 648 . - ISBN 978-88-387-3963-3.

MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis and co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.

Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [Online] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 04 15, 2011. - <http://www.bing.com/maps>.

MNRE and IREDA Examples [Online] // Green Buildings / ed. IREDA MNRE and. - MNRE and IREDA, 2010. - 04 15, 2010. - <http://ncict.net/Examples/Examples.aspx>.

MOLINA Félix José Luis phdc.eu/uploads/media/PHDC\_BOLOGNA\_AICIA\_Climatic\_Applicability\_and\_components\_performance.pdf [Online] // phdc.eu. - 11 12, 2009. - 03 23, 2010. - [http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC\\_BOLOGNA\\_AICIA\\_Climatic\\_Applicability\\_and\\_components\\_performance.pdf](http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC_BOLOGNA_AICIA_Climatic_Applicability_and_components_performance.pdf).

PHDC Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC Draught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 10 29, 2009. - Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.

Pinge Ar. Roopa Sabnis indian insite [Online] // insiteindia. - insiteindia, 2008. - 04 16, 2010. - <http://www.insiteindia.in/pdf/2008/inatural/Indian%20Insite.pdf>.

Schiano-Phan Rosa and Ford Brian Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling: Case studies in the US [Conference] // PLEA 2008 – 25<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / ed. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [Online] // EnergyPlus. - 03 11, 2011. - 01 25, 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

Wikipedia Bangalore [Online] // Wikipedia. - Wikipedia, 04 18, 2011. - 04 25, 2011. - <http://en.wikipedia.org/wiki/Bangalore#Geography>.

Wikipedia Bangalore [Online] // Wikipedia. - Wikipedia, 02 27, 2011. - 04 20, 2011. - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Bangalore>.

## Sources des illustrations

---

1. MNRE and IREDA. Examples. Green Buildings. [Online] 2010. [Cited: 04 15, 2010.] <http://ncict.net/Examples/Examples.aspx>.
2. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis and co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
3. Aga Khan Trust for Culture . CII Institute of Quality. archnet. [Online] MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture . [Cited: 04 10, 2010.] [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=9721](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=9721).
4. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [Online] 03 11, 2011. [Cited: 01 25, 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
5. Google. Google Maps. Google. [Online] Google, 2011. [Cited: 04 10, 2011.] <http://maps.google.fr/maps?q=12.975795,+77.47640&ie=UTF8&hl=fr&t=h&z=16>.
6. PHDC. Cooling Without Air-Conditioning. 01\_02-PHDC\_Downdraught Cooling a Primer P47. [CD-ROM]. Bologna, Italie : s.n., 10 29, 2009. Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. P10006183248.
7. Pinge, Ar. Roopa Sabnis. indian insite. insiteindia. [Online] 2008. [Cited: 04 16, 2010.] <http://www.insiteindia.in/pdf/2008/inaugural/Indian%20insite.pdf>.
8. FORD, Brian, et al. The Architecture and Engineering of Downdraught Cooling; A Design Source Book. UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. p. 199. ISBN 978-0956579003.
9. CII INSTITUTE OF QUALITY. About the Building. CII INSTITUTE OF QUALITY. [Online] CII, - IQ All Rights Reserved, 2007. [Cited: 04 10, 2010.] [http://www.cii-iq.in/aboutiq07\\_building.html](http://www.cii-iq.in/aboutiq07_building.html).
10. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Bedok Court, Singapore, SINGAPORE

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par l'architecte Cheng Fenn. Les bâtiments se trouvent dans la zone Est la ville de Singapour. L'ensemble occupe une parcelle de 3,4Ha, il est composé par trois blocs de hauteur variable, entre 4 et 20 étages. L'opération comprend 280 logements. La partie non bâtie de la parcelle comprend des jardins paysagés, piscines et des parkings. L'objectif de l'architecte était d'imiter, dans un immeuble de grande hauteur, les concepts de l'architecture vernaculaire. Cela a donné lieu à un bâtiment bien conçu par rapport au climat du site. Le bâtiment est effectivement conçu pour améliorer la ventilation naturelle, tout en s'inspirant des constructions vernaculaires de la zone. Il est surtout intéressant de remarquer la fonction de la véranda, qui pousse l'usager à «vivre» dans un espace semi-privé, exposé aux regards des autres usagers, mais ventilé et protégé du soleil. La plantation aussi a une fonction climatique et sociale. Les usagers qui possèdent les vérandas les plus verdoyantes sont les plus ouverts aux rapports sociaux avec les voisins et la température de l'air dans la véranda est inférieure de quelques degrés. Nous pouvons affirmer que la vraie stratégie de rafraîchissement de ce bâtiment est la «modification» des façons d'utiliser les espaces privés et semi-privés de la part des usagers.

Latitude N 1.322383, Longitude 103.944813



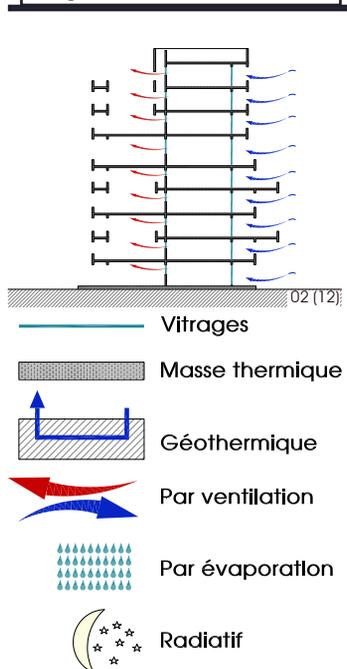
### Données climatiques de la zone

Le climat du site est de type équatorial, avec des températures stables, une pluviosité très élevée toute l'année et une augmentation des précipitations pendant la saison des moussons de novembre à janvier. L'humidité relative est toujours élevée. DJU hiver = 0,00, DJU été = 2630,21

### Groupe analytique

|  |  |                                    |                    |   |
|--|--|------------------------------------|--------------------|---|
| Semi-compacte<br>(Morphologie)                         | Habitation<br>(Typologie)                | Immeuble d'habitation<br>(Usage)   | 1985<br>(Datation) | Intégrés niveau 1<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 65.500 - 136.213<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 40m p;162m l;63m h<br>(Dimensions) |                    | Ventilation continue<br>(Stratégie de rafraîchissement)           |

### Logo synthétique



### Formes du type

Logo typo/topologique

- Ouvertures
- Structures de figures à bases identiques
- Contact surfacique
- Structures tramées

02 (12)

03 (2)

04 (3)

05 (4)

06 (5)

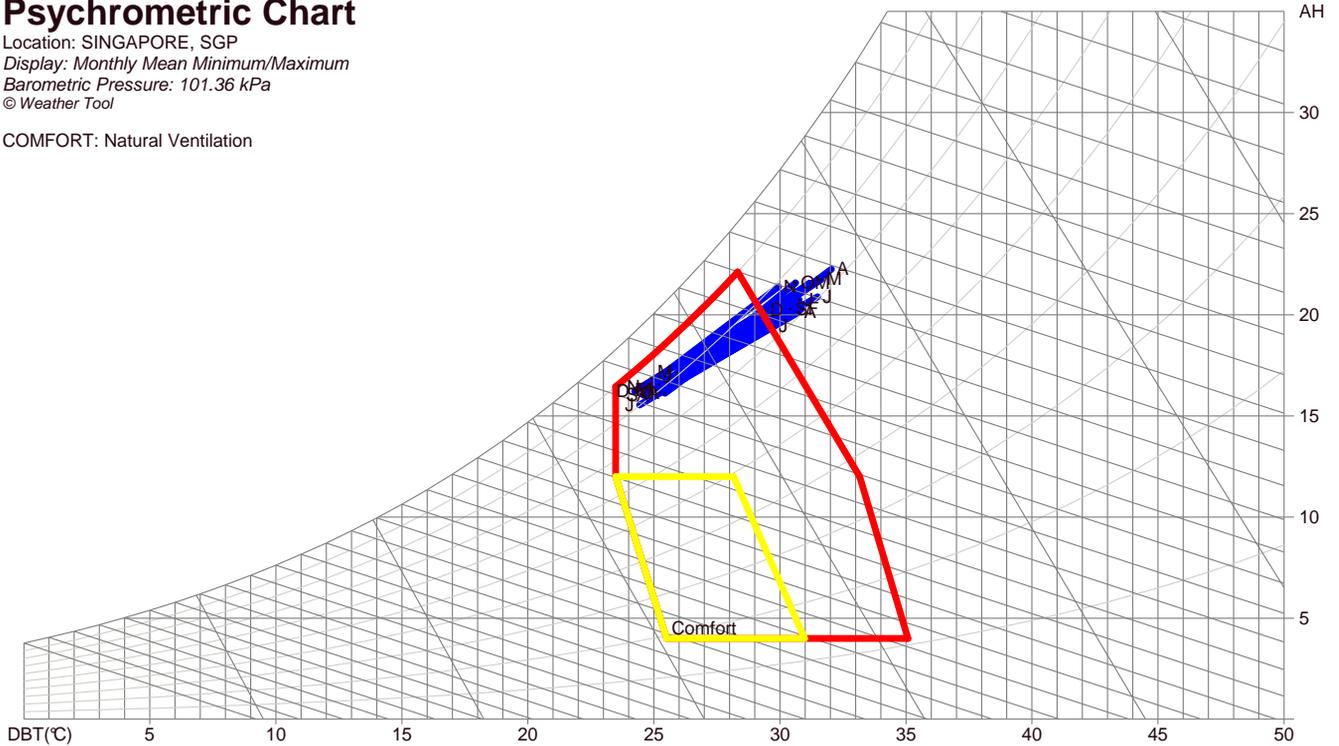
Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

**Psychrometric Chart**

Location: SINGAPORE, SGP  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

COMFORT: Natural Ventilation



Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraîchissement choisi (ventilation continue) est le seul système possible par rapport aux conditions climatiques de Singapour, tout en restant en dehors de la zone de confort pendant presque toute l'année. Les conditions climatiques sont telles que sans l'utilisation de systèmes mécaniques il est très difficile d'atteindre les conditions de confort.

Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site. L'ensemble du bâtiment est réalisé pour favoriser la protection solaire et la ventilation naturelle traversante.

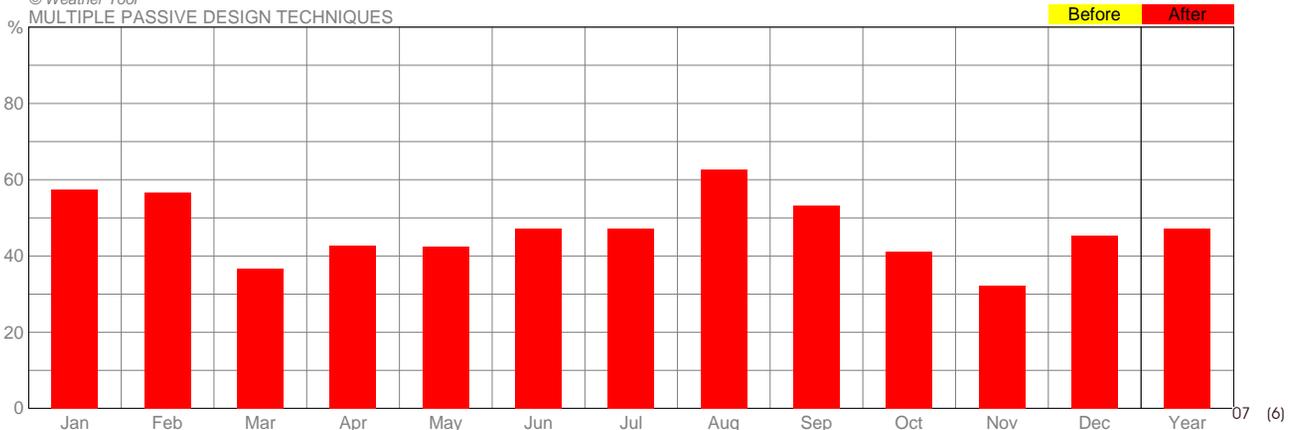
Il est à remarquer dans le graphe ci-dessous que sans l'apport de la ventilation naturelle les heures de confort dans un climat équatorial, comme à Singapour, seraient égales à 0.

Cela peut être vu dans le graphe psychrométrique ci-dessus

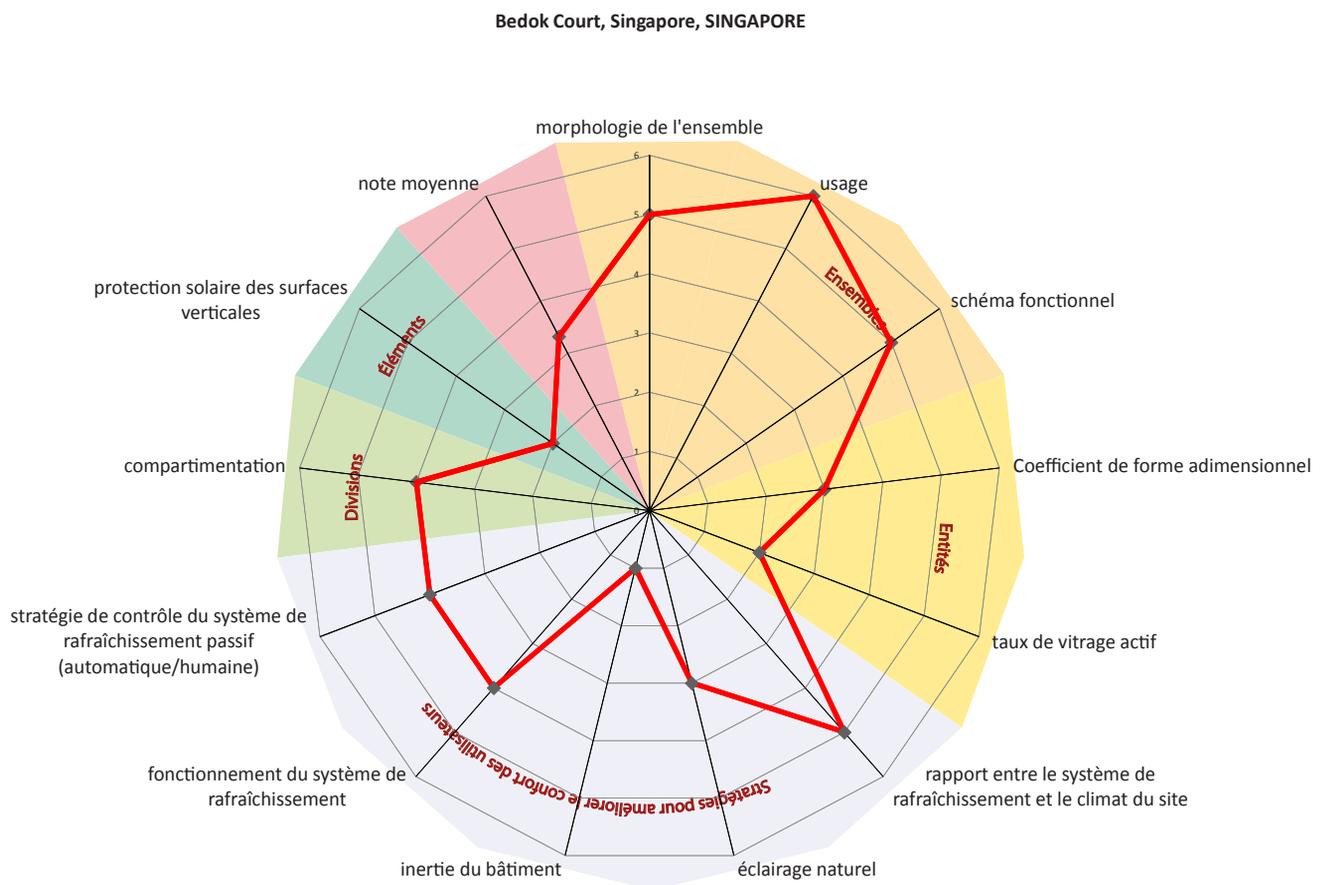
**Comfort Percentages**

NAME: SINGAPORE  
 LOCATION: SGP  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 1.4°, 104.0°  
 © Weather Tool

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:  
 1. natural ventilation



## Graphe synthétique des dispositifs critiques



Le graphe radar des indicateurs critiques montre les points faibles de ce bâtiment.

D'une part nous pouvons voir que certains indicateurs ont des notes très élevées : la morphologie de l'ensemble, l'usage, le schéma fonctionnel et le rapport entre le site et le système de rafraîchissement. Le dernier de ces indicateurs, rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site, a une note élevée, même si nous sommes conscients que la ventilation naturelle ne peut pas garantir toute l'année le confort thermique des usagers. Par contre dans un bâtiment d'habitation, où la simplicité des systèmes est nécessaire et la capacité des usagers à s'adapter au climat est très élevée, il nous semble être presque le seul système facilement adaptable à la situation.

Les points faibles de ce bâtiment, comme nous pourrions le vérifier dans les analyses suivantes, sont l'inertie du bâtiment, le taux de vitrage actif et les protections solaires.

Le taux de vitrage actif est un peu trop élevé. Les protections solaires ne sont pas suffisantes, mais le problème le plus important est dû à la masse thermique. Dans ce cas la masse thermique des dalles en béton joue un rôle négatif pour le confort thermique des usagers, car les dalles des corridors sont exposées au soleil et accumulent de la chaleur pendant la journée causant l'inconfort thermique des usagers.

Dans la perspective climatique ce bâtiment n'est pas un vrai succès, mais d'un aspect social la création des vérandas comme espace de rencontre entre les usagers a eu un succès considérable.

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se trouve dans la zone Est de la ville, très près de la mer.

Les façades principales sont orientées Nord/Sud avec une petite inclinaison. Le bâtiment occupe une parcelle de 3,4Ha, il est composé par trois blocs de hauteur variable, entre 4 et 20 étages. L'opération comprend 280 logements. La partie non bâtie de la parcelle intègre des jardins paysagés, piscines, terrains de tennis et des parkings.

Le bâtiment est bien orienté. En milieu urbain, son orientation est donc dictée par les axes routiers, mais les choix clairs des architectes ont permis de développer les façades et les ouvertures au nord et au sud. Le corps des bâtiments sont des parallélépipèdes avec un axe est/ouest.

### Usage

Résidentiel.

Le bâtiment a été bien étudié et il est un cas d'école de conception socio climatique.

Les appartements sont tous reliés aux corridors ouverts à travers un espace véranda, qui est utilisé comme cour semi-privée par les habitants. Cet espace ouvert, protégé du soleil direct, ventilé et sécurisé est rapidement devenu l'espace de vie principale des habitants de l'immeuble. La conception s'est inspirée des habitations vernaculaires des villages Malaisiens et ce concept a été transféré directement à un bâtiment de grande hauteur. Le confort thermique dans ce type de climat doit être recherché dans la ventilation continue et la protection solaire, ces espaces ventilés sont très bien adaptés aux nécessités.

### Schéma fonctionnel

Les appartements sont desservis par des corridors disposés sur la façade sud. Des corridors, les usagers accèdent à la «véranda cour» qui simule la véranda des habitations traditionnelles. Cet espace ouvert sur la «voie publique» a la fonction d'accueil, d'espace de plantation, jeux des enfants, socialisation avec les voisins, etc. Les appartements sont traversants et ont des loggias et balcons sur la façade nord.

La typologie des appartements, ainsi que des loggias favorisent la ventilation traversante et la protection solaire. Seule remarque : des protections des corridors ouverts auraient dû être prévues, car les corridors accumulent la chaleur pendant la journée et les températures sont trop élevées.

### Morphologie du bâtiment

Le bâtiment n'est pas très compact. L'ensemble est formé par des barres en parallélépipède fragmentées. Les balcons, loggias, corridors ouverts et les caractéristiques de vérandas semi-ouvertes, fragmentent la surface exposée du bâtiment. Cela favorise la protection solaire, qui dans un climat équatorial est très imposante. Considérant le type de climat, la solution morphologique adoptée est favorable.

Surface: 65.500 m<sup>2</sup>

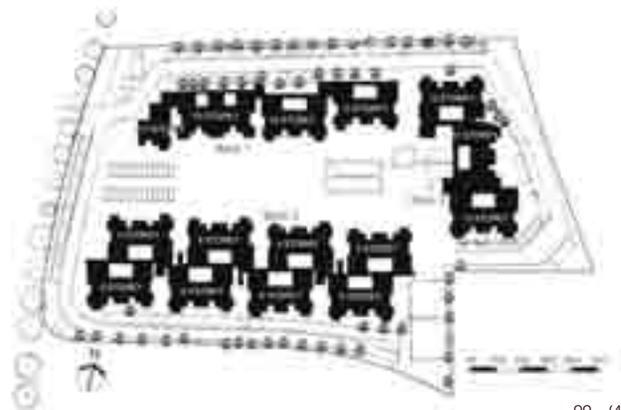
Volume: 136 .213 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 8,06

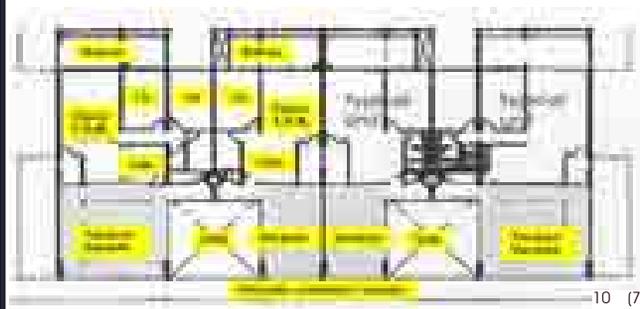
taux de vitrage actif : 0,33 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,41 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

La morphologie n'est pas très compacte, mais vu les conditions climatiques il est important de se protéger du soleil et de favoriser la ventilation continue.



09 (4)



10 (7)



11 (8)



12 (3)



13 (9)

### Éclairage naturel

Les appartements traversants sont bien éclairés, les seules pièces noires sont pour les services.

Avec un éclairage naturel suffisant, toutes les pièces de vie ont une ou deux ouvertures.

Il faut quand même dire qu'une partie des ouvertures restera très souvent à l'ombre derrière les coursives, ce qui pourrait réduire l'apport de lumière naturelle.

### Système de rafraîchissement

Il est difficile de parler d'un vrai système de rafraîchissement passif pour ce bâtiment des années 80. Le bâtiment est effectivement conçu pour améliorer la ventilation naturelle, tout en s'inspirant des constructions vernaculaires de la zone. Il est surtout intéressant de remarquer la fonction de la véranda, qui pousse l'utilisateur à «vivre» dans un espace semi-privé, exposé aux regards des autres usagers, mais ventilé et protégé du soleil. La plantation aussi a une fonction climatique et sociale. Les usagers qui possèdent les vérandas les plus verdoyantes sont les plus ouverts aux rapports sociaux avec les voisins et la température de l'air dans la véranda est inférieure de quelques degrés. Nous pouvons affirmer que la vraie stratégie de rafraîchissement de ce bâtiment est la «modification» des façons d'utiliser les espaces privés et semi-privés de la part des usagers. Les appartements sont rafraîchis par ventilation naturelle. Le plan des appartements est traversant, de plus, la disposition des pièces permet de ventiler les pièces de vie, tout en gardant les chambres indépendantes. Ce type d'aménagement favorise la ventilation traversante.

### Fonctionnement du système de rafraîchissement

Ventilation traversante des appartements et des cours-vérandas. La gestion est laissée complètement aux usagers. La conception architecturale pousse les habitants à utiliser le plus possible les vérandas semi-privées, qui sont les espaces les mieux ventilés et protégés.



14 (2)

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Il n'existe pas de vraie stratégie de contrôle, l'ouverture des fenêtres est gérée par les usagers selon leurs besoins.

Nous ne pouvons pas parler de stratégie de contrôle du système de rafraîchissement, mais nous pouvons quand même signaler que l'architecte a conçu le bâtiment pour favoriser les vérandas comme pièces principales de vie. Cela permet aux habitants d'exploiter une «pièce» ventilée naturellement et rafraîchie par la présence de végétaux. Il s'agit d'une stratégie adoptée par l'architecte pour favoriser le confort thermique des usagers.



15 (2)

### Inertie du bâtiment

L'inertie du bâtiment ne faisait pas partie des exigences recherchées par l'architecte. Dans certains cas l'inertie n'est pas favorable pour garantir les conditions de confort des usagers. Les corridors de service accumulent la chaleur et cela est malencontreux. Si les corridors avaient été mieux protégés et avaient eu une inertie thermique inférieure, cet effet de restitution de chaleur aurait été beaucoup moins important. Dans un climat équatorial, l'inertie d'un bâtiment pourrait être un problème, en particulier s'il est exposé au rayonnement solaire. Dans ce cas on retrouve cette problématique pour les corridors. Ces espaces sont exposés au rayonnement et ayant une grande inertie ils accumulent la chaleur et la restituent dans les heures plus fraîches, ce qui est à éviter.



### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Les parois sont en maçonnerie et non isolées.



### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

toiture en tuiles

### Compartimentation

Appartements traversants sans clôture sur l'axe de passage de l'air





### Protection solaire

Les surfaces verticales vitrées sont toujours en saillie et bien protégées du soleil.

Protections pas suffisantes, les corridors ouverts sont exposés au soleil et les usagers sont dérangés par les températures élevées.

### Surfaces vitrées

Fenêtres des appartements, contrôle manuel.

Taux de vitrage actif :  $0,33 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Rapport S vitrées/S opaques :  $0,41 \text{ m}^2/\text{m}^2$

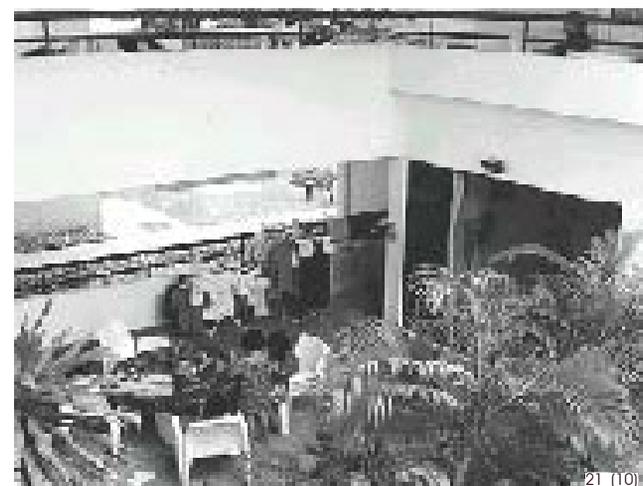
Le rapport surface vitrée/ surface active est un peu élevé.

Le rapport surface vitrée/ surface opaque est un peu élevé



### Surfaces opaques

Nous avons très peu d'information sur les matériaux utilisés, mais il semble que les murs soient en maçonnerie non isolée et les menuiseries aient des doubles vitrages.



### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Fenêtres des appartements, avec contrôle manuel.

## État actuel et condition d'utilisation

Les post occupancy evaluations que nous avons trouvées au sujet du Bedok Court sont principalement orientées sur des analyses de type social.

La seule analyse du confort thermique que nous avons trouvée concerne le confort des usagers dans les terrasses/véranda (voir ci de côté). Ci-contre nous pouvons voir comment les usagers perçoivent la température de l'air par rapport à la vitesse du vent. À partir d'une vitesse de l'air comprise entre 0,5 et 1m/s la température de l'air est perçue comme fraîche. Cela justifie le fait que ces espaces soient très utilisés et appréciés par les usagers.

L'analyse climatique est confirmée par les analyses sociales de l'usage des espaces véranda.

Nous pouvons voir ci-contre les réponses des usagers au sujet de leur façon de vivre ces espaces.

Il est à remarquer que 86% des usagers perçoivent la véranda comme l'espace le plus important de l'appartement. Les usagers ne ressentent pas de manque de vie privée et trouvent que ces espaces sont très adaptés aux jeux des enfants et au jardinage. Les deux derniers points que nous voulons remarquer sont : le 96% des usagers perçoivent la véranda comme un espace sûr et le 80% des usagers affirment que c'est le lieu où l'on rencontre le plus souvent les voisins. Ce qui renvoie à une bonne socialisation entre les usagers, ce qui l'architecte souhaitait.

## Analyse architecturale

L'ensemble des bâtiments qui occupent la parcelle de 3,4Ha a différentes formes et dimensions.

Le complexe est composé par trois blocs de hauteur variable, entre 4 et 20 étages. L'opération comprend 280 logements. La partie non bâtie de la parcelle intègre des jardins paysagés, piscines, terrains de tennis et des parkings.

L'architecte a cherché à réunir les qualités de l'architecture vernaculaire avec la densité d'un bâtiment de plusieurs étages. Son objectif était de créer des logements, d'une part adaptés au climat, d'autre part favorisant la socialisation entre les usagers.

L'architecte a cherché à donner à chaque appartement un espace de vie semi-privée s'ouvrant sur les coursives de distribution, cette même fonction dans l'architecture vernaculaire était remplie par la véranda.

L'alternance entre loggias, 'vérandas' et logements donne aux bâtiments un aspect très fragmenté.

Dans l'usage courant les vérandas auraient dû avoir aussi la fonction de délimiter un espace semi-privé et de favoriser l'ouverture des fenêtres pour ventiler les logements.

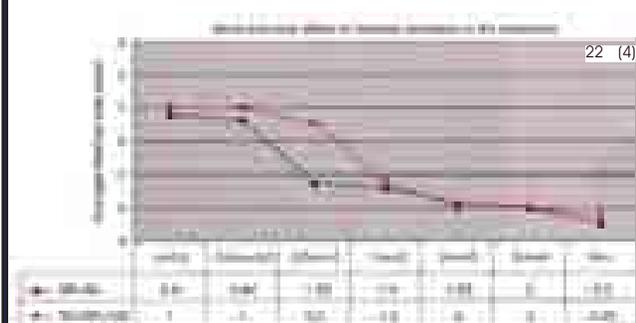
La ventilation aurait dû être le seul moyen de rafraîchissement des logements.

Bien sûr les pratiques d'usage n'ont pas toujours été un succès, mais nous pouvons tout de même constater que les usagers apprécient beaucoup les espaces semi-privés et déclarent être satisfaits du confort de leurs appartements.

Aujourd'hui les logements ont souvent été équipés de climatiseurs, mais les espaces semi-privés continuent à être appréciés et utilisés.

Nous ne pouvons pas déclarer si ce bâtiment a réellement contribué à favoriser la socialisation entre ses usagers, mais sont appréciables son objectif et son interprétation de l'architecture vernaculaire.

Nous pensons qu'il faut tout de même contextualiser cet expérience, le même modèle pourrait difficilement être exporté dans d'autres contextes socio-culturels. Mais l'approche architecturale reste très intéressante et efficace.



| Responses about the veranda space  | % of respondents |
|--|------------------|
| Conscious of and chose the veranda area as the most desirable physical design space compared to the interior, balcony, lift, lobby, playground, swimming pool, car-parks | 86%              |
| The verandas were the spaces with the highest frequency of seeing other neighbours   | 80%              |
| Used more than once a week   | 86%              |
| Used as extended living area including receiving guests  | 52%              |
| Giving parties   | 56%              |
| Gardening  | 80%              |
| Children's play  | 72%              |
| Laundry  | 72%              |
| Felt more in touch with nature   | 80%              |
| Good environment to bring up children  | 84%              |
| Greet each other more than once a week   | 64%              |
| Visited each other at least once a week  | 60%              |
| Did not feel a lack of privacy   | 90%              |
| Felt a high sense of security  | 96%              |
| Strong sense of belonging and ownership  | 90%              |



## Aspects positifs et leçons à retenir



L'ensemble du Bedok Court est le seul bâtiment résidentiel que nous ayons analysé, car il a été très difficile de trouver des bâtiments résidentiels contemporains rafraîchis passivement. Aussi dans le cas du Bedok Court nous ne pouvons pas vraiment parler d'un système de rafraîchissement passif mis en place par l'architecte. Tout de même, il a essayé de recréer dans ce grand ensemble les conditions sociales et microclimatiques des villages vernaculaires Malaisiens. En particulier il a cherché à répondre aux contraintes climatiques, assez difficiles d'ailleurs, avec les mêmes solutions que l'architecture vernaculaire. Cette approche est appréciable, mais les changements intervenus dans les exigences de confort n'ont pas été assez pris en considération, de plus, ont été commises quelques erreurs de conception bioclimatique. Ces problèmes sont à la base de la 'prolifération' d'appareils de climatisation sur la façade des bâtiments. Nous pensons tout de même que l'approche dans sa globalité est correcte et avec un peu plus d'attention, poussant un peu plus loin la conception bioclimatique, le bâtiment aurait pu garantir l'état de confort des usagers.

Les aspects les plus significatifs sont :

Le schéma fonctionnel des immeubles, avec les grandes coursives permet, non seulement de réaliser les espaces caractéristiques de transition semi-privés, mais aussi de garantir une bonne ventilation transversale des appartements. De plus, le plan des appartements permet aux usagers de ventiler toute la nuit, pouvant choisir d'isoler les chambres. Cela est très important, car une ventilation nocturne qui passe par les chambres n'est presque jamais efficace. Très souvent les usagers n'aiment pas les courants d'air pendant les heures de sommeil et souvent il fait trop frais la nuit pour rafraîchir les chambres de cette manière.

L'usage d'habitation. Nous pensons que les bâtiments à usage d'habitation sont les plus adaptés à être rafraîchis passivement. D'une part, la demande de 'prestations' est inférieure, les apports thermiques sont aussi inférieurs et l'utilisateur est toujours le même, normalement, plus motivé à apprendre la façon dont son logement doit être utilisé pour garantir son état de confort. Un dernier point c'est le fait que l'utilisateur paye ses charges de chauffage et de rafraîchissement, ce qui est un facteur très important. Pour des motifs financiers et d'attention à la consommation, nous avons observé, que les habitants sont prêts à adapter leurs mode de vie au climat et à leurs logement.



## Aspects négatifs et leçons à retenir

Le projet, comme nous l'avons remarqué, est intéressant et l'approche, efficace selon nous, mais l'architecte a tout de même commis des erreurs importantes qui peuvent empêcher le système bâtiment de fonctionner.

Les aspects les plus significatifs sont :

Les protections solaires ne sont pas efficaces, la dalle des corridors est en partie exposée à la radiation solaire. De plus, la dalle est en béton armé, ce qui permet une grande accumulation de calories qui sont rendues pendant l'après-midi. Cela est source d'inconfort pour les usagers.

Le système de rafraîchissement choisi n'est pas assez efficace. L'architecte aurait dû trouver des solutions plus performantes.

L'inertie du bâtiment. Dans le cas du Bedok la grande inertie n'est pas favorable pour garantir le confort thermique des usagers, à cause de l'absence d'isolation et l'exposition trop grande au rayonnement solaire. Les murs et dalles se chargent en calories, qui sont rendues quand la température de l'air est inférieure dans un climat équatorial cela est absolument à éviter.



## Bibliographie

---

...framed... Bedok Court [En ligne] // Panoramio. - Panoramio, 14 01 2008. - 12 08 2011. - <http://www.panoramio.com/photo/18079606>.

A.R.MOHAMMADI M.M. TAHIR, I.M.S. USMAN, N.A.G. ABDULLAH, A.I. CHE-ANI, N. UTABERTA The Effect of Balcony to Enhance the Natural Ventilation of Terrace Houses in the Tropical Climate of Malaysia [En ligne] // wseas. - 04 06 2010. - 12 08 2011. - <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/Japan/POWREM/POWREM-44.pdf>.

Bay Joo Hwa Towards a Fourth Ecology: Social and Environmental Sustainability with Architecture and Urban Design [En ligne] // Green Buildings. - Green Buildings, 2010. - 05 08 2011. - <http://www.journalofgreenbuilding.com/doi/abs/10.3992/jgb.5.4.176>.

Bay Joo-Hwa et Ong Boon-Lay Tropical Sustainable Architecture [Livre]. - Bangalore : Architectural Press, 2006. - p. 292. - 978-0750667975.

BAY Joo-Hwa Socio-climatic design for high-rise dwellings [En ligne] // University of Cambridge. - 19 09 2004. - 12 08 2011. - <http://www.arct.cam.ac.uk/PLEA/ConferenceResources/PLEA2004/Proceedings/p1147final.pdf>.

Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.

Hurlbut Benjamin High-rise neighborhood: Rethinking community in the residential tower [En ligne] // Scholar Commons. - University of South Florida, 06 01 2008. - 12 08 2011. - <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1308&context=etd>.

IZARD Jean-Louis CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT REUNIONNAIS [En ligne] // envirobat-reunion. - envirobat-reunion. - 03 08 2011. - [http://www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf\\_Construire\\_partie8.pdf](http://www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf_Construire_partie8.pdf).

jasongan1978 Bedok Court [En ligne] // flickr. - flickr, 12 01 2008. - 06 05 2011. - <http://www.flickr.com/photos/23169698@N05/2220708543/in/photostream/>.

Kiechle Horst Bedok Court [En ligne] // flickr. - flickr, 14 01 2008. - 06 05 2011. - <http://www.flickr.com/photos/archisculpture/3270145897/>.

MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.

Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.

Na Le Thi Hong et Park Jin-Ho An Application fo Eco-design Feature in Traditional Folk [En ligne] // iasdr2009. - 18 10 2009. - 12 08 2011. - <http://www.iasdr2009.org/ap/Papers/Orally%20Presented%20Papers/Sustainability/An%20Application%20of%20Eco-Design%20Feature%20in%20Traditional%20Folk%20Housing%20to%20High-Rise%20Housing%20of%20Vietnam.pdf>.

Onorati Justin A greener vertical habitat: Creating a naturally cohesive sense of community in a vertical multifamily housing structure [En ligne] // Scholar Commons. - University of South Florida, 06 01 2009. - 12 08 2011. - <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3123&context=etd>.

streetdirectory streetdirectory [En ligne] // streetdirectory. - streetdirectory. - 06 08 2011. - [http://www.streetdirectory.com/asia\\_travel/travel/travel\\_id\\_683/travel\\_site\\_75865/](http://www.streetdirectory.com/asia_travel/travel/travel_id_683/travel_site_75865/).

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

Victor Bedok Court : residential avant garde or ? [En ligne] // PLY Studio. - PLY Studio, 18 12 2008. - 06 08 2011. - <http://ply-studio.blogspot.com/2008/12/bedok-court-residential-avant-garde-or.html>.

Wang Na et BAY Joo-Hwa Parametric Simulation and Pre-parametric Design Thinking: Guidelines for Socio-climatic Design of High-Rise Semi-open Spaces [En ligne] // University of Cambridge. - 19 09 2004. - 12 08 2011. - <http://www.arct.cam.ac.uk/PLEA/ConferenceResources/PLEA2004/Proceedings/p1149final.pdf>.

worldflicks Bedok Court [En ligne] // WorldFlicks. - WorldFlicks. - 13 08 2011. - [http://wiki.worldflicks.org/bedok\\_court.html](http://wiki.worldflicks.org/bedok_court.html).

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [En ligne] Google, 2011. [Citation : 10 04 2011.] <http://maps.google.fr>.
2. Kiechle, Horst. Bedok Court. flickr. [En ligne] 14 01 2008. [Citation : 06 05 2011.] <http://www.flickr.com/photos/archisculpture/3270145897/>.
3. ...framed... Bedok Court. Panoramio. [En ligne] 14 01 2008. [Citation : 12 08 2011.] <http://www.panoramio.com/photo/18079606>.
4. Bay, Joo-Hwa et Ong, Boon-Lay. Tropical Sustainable Architecture. Bangalore : Architectural Press, 2006. p. 292. 978-0750667975.
5. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
6. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [En ligne] 11 03 2011. [Citation : 25 01 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
7. IZARD, Jean-Louis. CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT REUNIONNAIS. envirobat-reunion. [En ligne] [Citation : 03 08 2011.] [http://www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf\\_Construire\\_partie8.pdf](http://www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf_Construire_partie8.pdf).
8. Onorati, Justin. A greener vertical habitat: Creating a naturally cohesive sense of community in a vertical multifamily housing structure. Scholar Commons. [En ligne] 06 01 2009. [Citation : 12 08 2011.] <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3123&context=etd>.
9. Victor. Bedok Court : residential avant garde or ? PLY Studio. [En ligne] PLY Studio, 18 12 2008. [Citation : 06 08 2011.] <http://ply-studio.blogspot.com/2008/12/bedok-court-residential-avant-garde-or.html>.
10. BAY, Joo-Hwa. Socio-climatic design for high-rise dwellings. University of Cambridge. [En ligne] 19 09 2004. [Citation : 12 08 2011.] <http://www.arct.cam.ac.uk/PLEA/ConferenceResources/PLEA2004/Proceedings/p1147final.pdf>.
11. jasongan1978. Bedok Court. flickr. [En ligne] 12 01 2008. [Citation : 06 05 2011.] <http://www.flickr.com/photos/23169698@N05/2220708543/in/photostream/>.
12. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Malta stock exchange, La Valetta, MALTA

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par l'agence Architecture Project. Le bâtiment se trouve dans la zone sud-ouest de la ville, extrêmement exposée sur les remparts, très près de la mer. C'était une ancienne église de la garnison. Il se trouve sur les bastions et surplombe le grand port. Le site est très exposé aux intempéries et au rayonnement solaire. La bourse de Malte est un exemple de bâtiment sur lequel les systèmes de rafraîchissement ont été adaptés, sans une réelle volonté du maître d'ouvrage, ni du maître d'oeuvre. Le projet aurait pu fonctionner mais des erreurs dans la réalisation, ainsi que dans le contrôle et la maintenance ont rendu le système de rafraîchissement passif inutile. Probablement à ce jour le rafraîchissement de ce bâtiment est plus demandeur en énergie qu'un simple bâtiment conventionnel bien conçu. De plus, cet ancien bâtiment aux murs très épais aurait pu être rafraîchi passivement ou de manière hybride, mais malheureusement nous nous retrouvons dans le typique cas de bâtiment non réussi. La bourse de Malte est intéressante, car les erreurs commises pourraient être un catalogue d'exemples à ne pas suivre, ou de détails empêchant le fonctionnement de l'ensemble d'un système globalement bien conçu.

Latitude N 35.895167, Longitude 14.511622



01 (1)

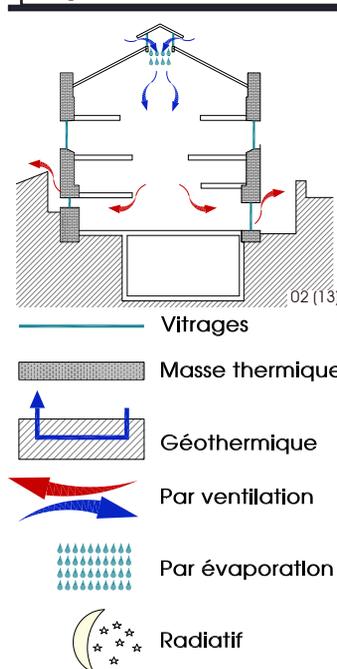
### Données climatiques de la zone

L'île de Malte se trouve près des côtes d'Afrique du nord, environ à 290 km. Le mois le plus froid est janvier, avec des températures moyennes de 12°C et le mois le plus chaud est août avec des températures moyennes de 26,3°C. A remarquer : le grand ensoleillement, environ 3000 h par an. DJU hiver = 794,79, DJU été = 535,78 (données climatiques de Cozzo Spadaro, Sicile.)

### Groupe analytique

|   |  |                                   |   |   |
|---|--|-----------------------------------|---|---|
| Compacte<br>(Morphologie)                           | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Bourse<br>(Usage)                 | 2001<br>(Datation)  | Intégrés niveau 1<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 1.271 - 7.600<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 17m p;32m l;14m h<br>(Dimensions) | Evaporation / Ventilation nocturne<br>(Stratégie de rafraîchissement) |   |

### Logo synthétique

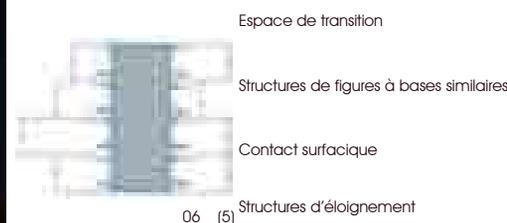


### Formes du type

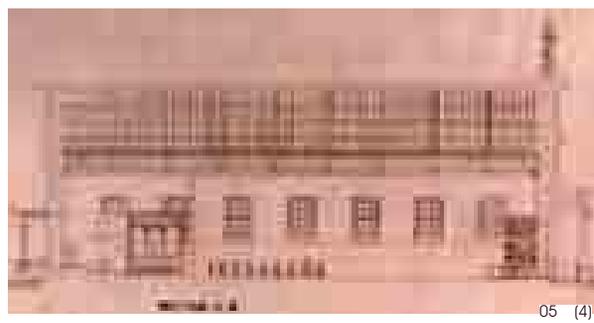


03 (2)

Logo typo/topologique



04 (3)



05 (4)

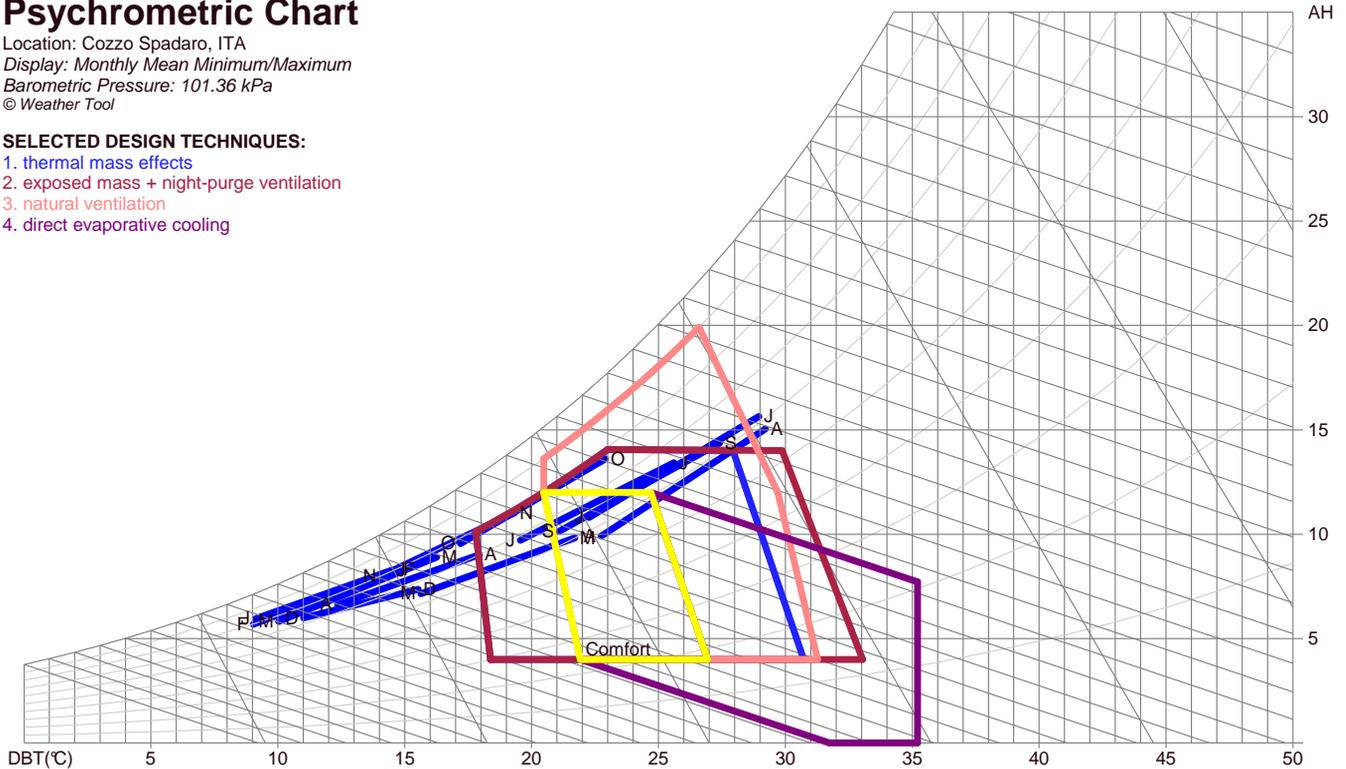
Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: Cozzo Spadaro, ITA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

- SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**
- 1. thermal mass effects
  - 2. exposed mass + night-purge ventilation
  - 3. natural ventilation
  - 4. direct evaporative cooling



Pour analyser le climat de Malte nous avons dû utiliser les données climatiques de la ville de Cozzo Spadaro, en Sicile. Après avoir confronté les données des deux villes il apparaît que les deux sites sont presque identiques. Le diagramme psychrométrique signale que les systèmes de rafraîchissement choisis (ventilation nocturne et évaporative directe) ne sont pas parfaitement adaptés au climat de Malte. La ventilation nocturne est effectivement efficace, surtout si couplée à une grande masse thermique. Les vents trop forts peuvent être source d'inconfort car ils réduisent la possibilité d'ouverture des fenestrons en hauteur. Vu le site et l'exposition du bâtiment, le vent sera constant presque continu. Le rafraîchissement par évaporation directe ne s'adapte pas à l'humidité relative du site, qui n'est presque jamais inférieure à 65%. L'utilisation de ce type de système de rafraîchissement devient alors peu rentable.

C'est pour ce motif que l'atrium a été aussi rafraîchi par des serpentines d'eau réfrigérée. Le rafraîchissement nocturne, au contraire s'adapte bien au climat de Malte, même si les écarts de température entre la nuit et le jour ne sont pas aussi élevés que dans d'autres zones de la Méditerranée, mais il aurait fallu trouver des solutions pour pouvoir exploiter ce système de rafraîchissement même en présence de vent soutenu.

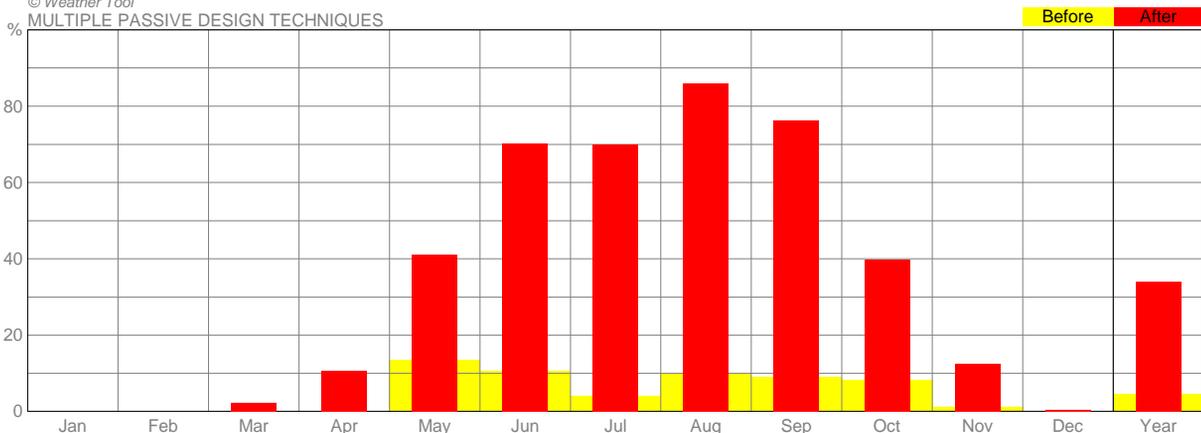
### Comfort Percentages

NAME: Cozzo Spadaro  
 LOCATION: ITA  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 36.7°, 15.1°  
 © Weather Tool

### SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

- 1. thermal mass effects
- 2. exposed mass + night-purge ventilation
- 3. natural ventilation
- 4. direct evaporative cooling

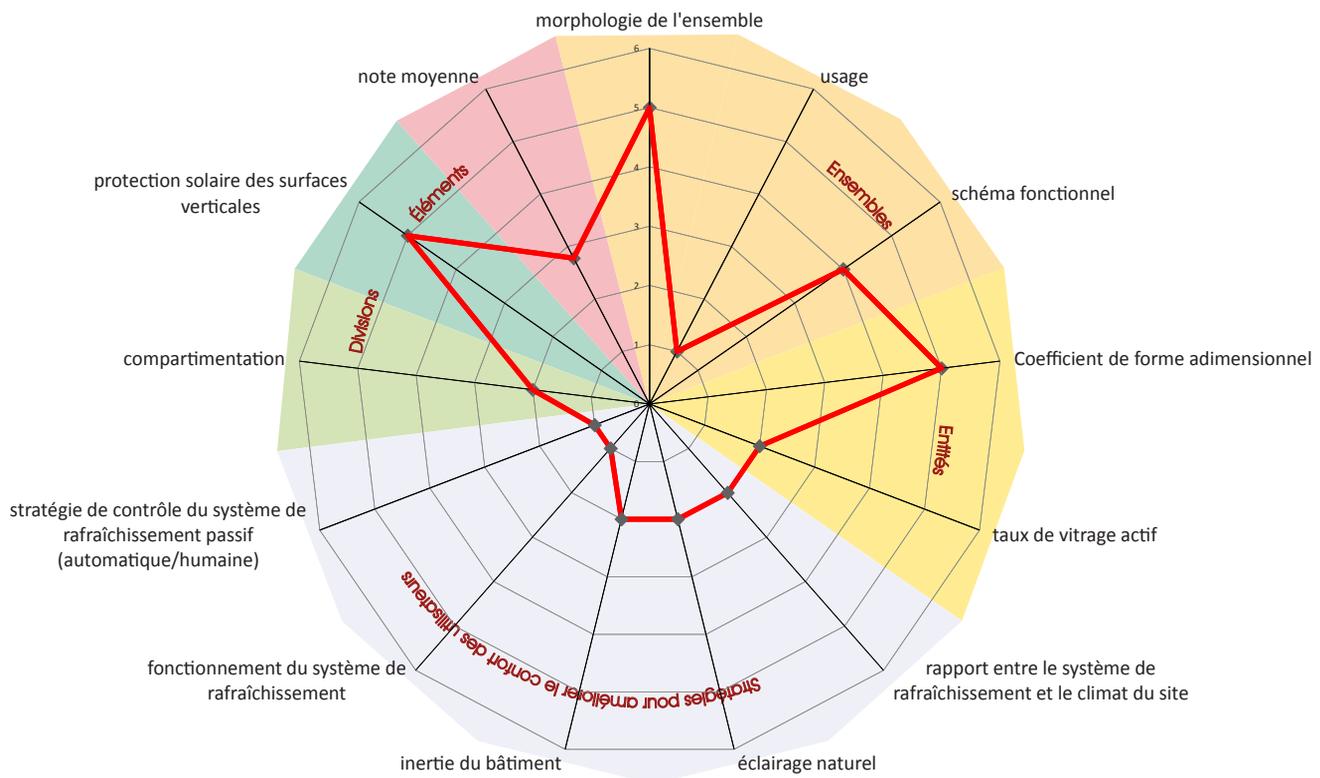
MULTIPLE PASSIVE DESIGN TECHNIQUES



07 (6)

## Graphe synthétique des dispositifs critiques

Malta stock exchange, La Valetta, MALTA



08 (13)

Le graphe radar des indicateurs critiques montre les points faibles de ce bâtiment.

La bourse de Malte est un exemple de bâtiment sur lequel les systèmes de rafraîchissement ont été adaptés, sans une réelle volonté du maître d'ouvrage, ni du maître d'oeuvre. Le projet aurait pu fonctionner mais des erreurs dans la réalisation, ainsi que dans le contrôle et la maintenance ont rendu le système inutile. Probablement à ce jour le rafraîchissement de ce bâtiment est plus demandeur en énergie qu'un simple bâtiment conventionnel bien conçu.

Les nombreux problèmes de ce bâtiment sont mis en évidence sur le graphique ci-dessus. Plusieurs dispositifs critiques ont des mauvaises notes et la note moyenne n'est pas élevée.

Grâce à l'analyse plus approfondie, que nous irons décrire dans les pages suivantes, nous pourrions voir combien de simples détails peuvent empêcher les dispositifs de fonctionner et par conséquent c'est le système bâtiment qui ne pourra pas garantir le confort des usagers.

C'est encore plus intéressant dans un bâtiment qui a été bien étudié en phase de projet, d'ailleurs les simulations démontraient que le bâtiment aurait dû garantir le confort thermique des usagers. Malheureusement, la malfaçon dans la réalisation, un entretien problématique et l'aptitude des usagers ont empêché le bon fonctionnement du système bâtiment.

Nous verrons comme le système de rafraîchissement évaporatif n'a jamais été mis en fonction et aussi les autres systèmes de rafraîchissement passif ne marchent presque pas du tout.

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se trouve dans la zone sud-ouest de la ville. C'était une ancienne église de garnison. Il se trouve sur les bastions et surplombe le grand port. Le site est très exposé aux intempéries et au rayonnement solaire.

S'agissant d'une réhabilitation, l'architecte n'a pas pu choisir l'orientation du bâtiment. C'est un parallépipède avec l'axe long orienté sud-est/ nord-ouest.

Il n'est pas orienté parfaitement, mais l'orientation n'est pas très loin de la meilleure possible.

### Usage

Bourse de Malte.

Le bâtiment abrite la bourse de Malte. Ce type d'institution n'est pas forcément le plus adapté aux techniques de rafraîchissement passif qui ont été installées. D'une part, pour toute grande institution il est plus difficile de s'adapter à l'usage des systèmes passifs. D'autre part, dans ce cas il y a eu de graves soucis de communication entre les concepteurs, les utilisateurs et les personnes chargées de l'entretien. Ces problèmes, comme nous le verrons, ont mené à une mauvaise utilisation des systèmes passifs. La demande de prestations dans ce type de locaux était très élevée et les usagers n'étaient pas prêts à s'adapter aux contraintes dues aux systèmes de rafraîchissement utilisés par l'architecte. Le choix des systèmes passifs de rafraîchissement était dû surtout à un problème de conception architecturale, les architectes voulaient éviter les conduits de ventilation, considérés trop grands et encombrants. Pour éviter cela, ils ont choisi de rafraîchir par brumisation d'eau. Ces choix ne sont pas d'un engagement à réduire la consommation du bâtiment, ni de la part du concepteur, ni de la part du maître d'ouvrage.

### Schéma fonctionnel

À l'intérieur de l'ancienne église ont été réalisés trois étages hors terre et trois étages enterrés. La distribution se fait par le grand atrium central. Les petits bureaux sont climatisés mécaniquement, les seules parties climatisées avec des systèmes passifs et hybrides sont l'atrium de 14m de haut et les espaces de travail ouverts.

La distribution interne avec l'atrium qui récolte les circulations verticales et les espaces ouverts sur l'atrium est idéale pour la bonne circulation de l'air et le rafraîchissement passif. Ce type de distribution est source de bruit, car aucun filtre n'existe entre les circulations et les espaces de travail. Cela ressort sur l'évaluation après occupation, faite par le groupe de recherche EULEB (EULEB, 2006)

### Morphologie du bâtiment

Le bâtiment a la forme d'un parallépipède pas très haut avec une toiture à deux pentes.

Bien sûr s'agissant de la réhabilitation d'un bâtiment historique l'architecte n'a pas pu modifier la volumétrie, mais il a pu travailler à l'intérieur en créant trois étages pour mieux exploiter le volume interne du bâtiment.

Surface: 1.271 m<sup>2</sup>

Volume: 7 .600 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 4,50

Taux de vitrage actif : 0,35 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,05 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Les surfaces vitrées sont réduites par rapport aux surfaces opaques. À ce sujet, nous devons rappeler que le bâtiment était pour un usage religieux et que le volume et les surfaces vitrées n'ont pas été changés. Le taux de vitrage actif est très difficile à calculer, car les seules surfaces directement influencées par les fenêtres sont celles du 1<sup>er</sup> étage. De plus, à cet étage sur le périmètre du bâtiment des bureaux fermés ont été installés. Cela empêche la lumière de passer et réduit la surface influencée. Nous avons, donc, un bâtiment avec très peu de fenêtres, mais elles influencent une surface de plancher très réduite. Cela donne à notre indicateur une valeur légèrement négative.



09 (4)



10 (4)



11 (7)



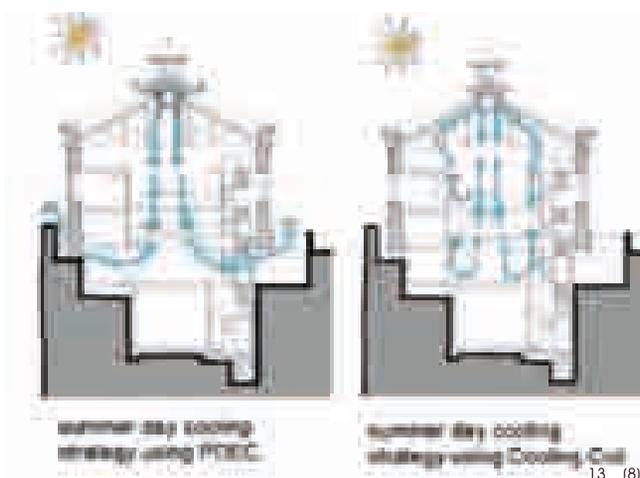
Eclairage naturel insuffisant

L'éclairage naturel est homogène, mais pas suffisant, à cause des écrans de protection solaire nécessaires pour éviter des surchauffes.

## Éclairage naturel

### Système de rafraîchissement

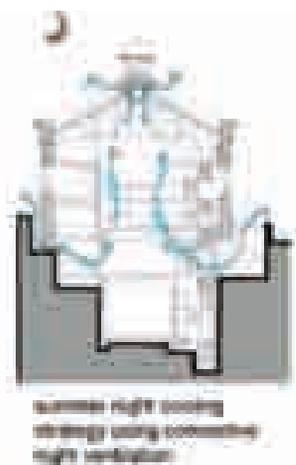
L'atrium et les espaces de bureaux ouverts sont rafraîchis de trois différentes manières. Tout d'abord le rafraîchissement mécanique, deux circuits d'eau glacée passent en partie haute du toit, l'air chaud qui s'accumule en cette partie passe à travers les vanelles et il est refroidi. La densité majeure de l'air froid permet le mouvement descendant de l'air. Puis, le rafraîchissement par évaporation directe où en partie haute du toit sont positionnés des brumisateurs à haute pression (80 l/h d'eau 25 bar de pression). Les brumisateurs fonctionnent en parallèle avec les ouvertures en partie haute et en partie basse de l'immeuble. Enfin, le rafraîchissement par ventilation nocturne: quand la température de l'air est inférieure à 23°C et la vitesse du vent n'est pas trop élevée, les 18 ouvrants en partie haute sont ouverts pour permettre de pré-rafraîchir la masse thermique du bâtiment (Euleb 2006). Les systèmes de rafraîchissement fonctionnent en alternance et devraient garantir le confort thermique des usagers. Malheureusement, des problèmes se sont présentés presque immédiatement. Le système de rafraîchissement par évaporation et la ventilation nocturne n'a presque jamais fonctionné. Le premier problème a été la mise en service du bâtiment avant de pouvoir vérifier le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement. Ensuite la mise en œuvre et la maintenance ordinaire et extraordinaire ont empêché les systèmes de rafraîchissement de fonctionner. Il s'agit principalement d'une mauvaise étanchéité des ouvrants en partie basse, comportant des courants d'air froid et du mauvais positionnement des brumisateurs. Pour se protéger des courants d'air, les usagers ont mis des objets devant les ouvrants, cela a réduit le passage de l'air pendant l'utilisation des systèmes de rafraîchissement et a causé la stagnation de l'air humide. Les brumisateurs ont été positionnés à quelques centimètres des poteaux verticaux de la passerelle. Bien sûr l'eau s'est condensée sur le poteau et les gouttes d'eau sont tombées sur les usagers en partie basse. À cause de tout cela, les systèmes de rafraîchissement ont été presque immédiatement mis hors circuit.



summer day cooling strategy using PDEC

summer day cooling strategy using Cooling Cell

13 (8)



summer night cooling strategy using controlled night ventilation

14 (8)

### Fonctionnement du système de rafraîchissement

Les trois systèmes de rafraîchissement s'alternent selon les conditions climatiques. Les fenêtres en partie haute et en partie basse sont ouvertes et contrôlées par des moteurs électriques. Les brumisateurs d'eau à haute pression, sont activés par la centrale de contrôle. La consommation d'eau est d'environ 90 l/h. Le système de purification de l'eau, pour éviter la prolifération de la légionellose, répond aux standards australiens (AZ/NZ 3666).

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Le système devrait être contrôlé par une centrale automatique de contrôle qui aurait dû synchroniser les trois modes de rafraîchissement, mais les défaillances de l'ensemble ont rendu le système encore moins performant, jusqu'à la complète désactivation. Suite à une entrevue avec l'architecte Anna Gallo, qui travaille dans l'agence Architecture Project, des détails intéressants ont été relevés. Le problème au début a été l'inexpérience des usagers, qui ont demandé à pouvoir manoeuvrer manuellement les ouvrants en façade. L'utilisation des ouvrants a donc été incorrecte et asynchrone par rapport aux autres systèmes de rafraîchissement. La maintenance et les contrôles sur le système de brumisation n'ont jamais été faits, cela aurait permis de relever les malfaçons de réalisation, qui étaient la cause des problèmes de condensation et qui ont été découvertes seulement après deux ans. Ces problèmes liés à une attitude très peu conciliante des usagers ont mené au mauvais fonctionnement du système bâtiment.



15 (4)

## Analyse systémique

### Inertie du bâtiment

Le bâtiment original est très inerte, mais les planchers et les murs intérieurs sont en métal et en bois. Cela n'offre pas une grande inertie sur les surfaces les plus « importantes ». Les planchers auraient dû être plus inertes et exposés aux flux d'air.

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Murs en maçonnerie de grande épaisseur  
Les murs anciens offrent une énorme inertie qui aurait pu être mieux exploitée pour améliorer le confort des usagers.

### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Toiture en tuiles et charpente en bois.  
«La valeur U du toit est de 2.5 W/m<sup>2</sup>K» (EULEB, 2006), ce qui est très faible.

### Compartmentation

Pas de compartimentations dans les parties rafraîchies passivement.

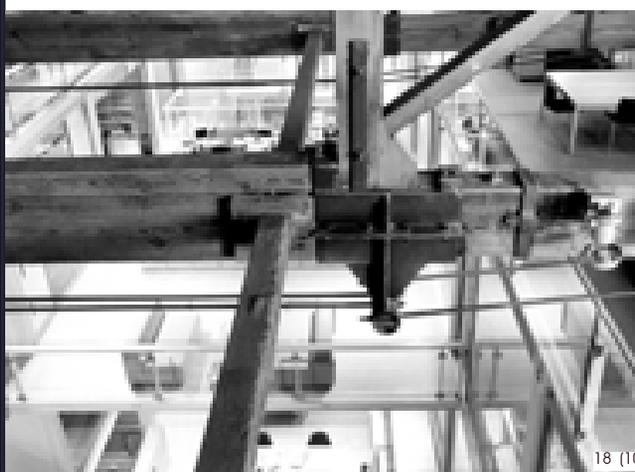
L'absence de compartimentation favorise les flux d'air, sans devoir utiliser de ventilateurs mécaniques, ce qui est très favorable pour le rafraîchissement passif. Les locaux open-space, par contre, souffrent du bruit. L'architecte qui choisit ce type de solution devrait se poser la question de l'atténuation de la nuisance sonore. Dans le cas de la bourse de Malte le problème du bruit est très ressenti par les usagers, cela ressort de manière assez évidente dans les analyses faites par le groupe de recherche EULEB (EULEB, 2006)



16 (4)



17 (4)



18 (10)



### Protection solaire

Les surfaces verticales vitrées sont toujours protégées par des brise-soleil en bois.  
Les protections solaires sont très efficaces, mais malheureusement les lames des brises soleil sont assez serrées et empêchent aussi l'éclairage naturel.



### Surfaces vitrées

Fenêtres à contrôle manuel.

Taux de vitrage actif :  $0,35 \text{ m}^2/\text{m}^2$   
Rapport S vitrées/S opaques :  $0,05 \text{ m}^2/\text{m}^2$

### Surfaces opaques

Murs en maçonnerie de grande épaisseur. Les murs ont une épaisseur qui peut atteindre 130 cm.



### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Fenêtres automatiques  
Les ouvrants sont présents mais malheureusement ne fonctionnent pas. Le problème est dû à la mauvaise étanchéité des fenêtres en hiver : à cause des courants d'air, les usagers les ont bloquées avec des cartons, ou autre chose, ce qui empêche le fonctionnement du rafraîchissement passif.

## État actuel et condition d'utilisation

Les post occupancy evaluation réalisées par le groupe de recherche Euleb (EULEB, 2006) nous montrent, si cela était encore nécessaire, les défauts de construction de ce bâtiment.

Les températures en été, comme en hiver, ont une note neutre, mais cela est normal vu qu'elles sont induites mécaniquement. Les perceptions des usagers, qui au contraire ont des notes négatives, sont : la qualité de l'air en été et en hiver, le confort acoustique, les besoins du bâtiment et l'hygiène. Les autres notes ont toujours une valeur neutre 0. La seule note avec une valeur positive est l'image du bâtiment au regard des visiteurs.

Ce qui est étonnant est la perception de la basse qualité de l'air en été, dans un bâtiment qui aurait dû être rafraîchi par ventilation continue et ventilation nocturne. Malheureusement, comme nous l'avons vu dans les analyses, les ouvrants en partie basse du bâtiment ont été bouchés par les usagers, à cause des courants d'air hivernal et empêchent le fonctionnement de la ventilation naturelle, nocturne et diurne.

Nous sommes aussi conscients du fait que les usagers de ce bâtiment n'ont pas été 'formés' à un usage correct du bâtiment même. Cette lacune liée aux évidents problèmes de construction du bâtiment ont mené aux graves défaillances que nous avons analysées.

## Analyse architecturale

Le bâtiment se trouve dans la zone sud-ouest de la ville. C'était une ancienne église de garnison. Il se trouve sur les bastions et surplombe le grand port. Le site est très exposé aux intempéries et au rayonnement solaire.

S'agissant d'une réhabilitation, l'architecte n'a pas pu choisir l'orientation et la forme du bâtiment, qui est un parallélogramme avec l'axe long orienté sud-est/ nord-ouest.

Les travaux les plus importants ont été réalisés à l'intérieur, les façades et la volumétrie n'ont pas été modifiées. La seule modification dans la volumétrie a été la petite tourelle tout le long du faitage réalisée pour permettre l'extraction de l'air chaud et l'accès de la lumière dans la partie centrale du bâtiment.

L'intérieur du bâtiment a été largement modifié. Deux étages ont été créés en sous-sol, l'espace a été divisé en 5 étages. Le langage architectural à l'intérieur est très contemporain, il rappelle la modernité d'un espace logeant la bourse centrale de Malte.

Nous avons attribué un niveau de 1 à l'intégration des systèmes de rafraîchissement. Les systèmes de rafraîchissement passifs ne sont pas visibles et l'architecte a décidé de mettre en évidence d'autres aspects architecturaux. D'ailleurs, de la conférence de Anna Gallo, architecte au sein de l'agence Architecture Project, à Bologna (Gallo, 2009) il ressort que la posture de l'architecte était de cacher les systèmes techniques du bâtiment. Cela n'aurait pas été possible avec des systèmes de rafraîchissement traditionnels, car il aurait dû réaliser des conduits d'aération très encombrants. C'est d'ailleurs pour ce motif qu'il a été décidé de rafraîchir le bâtiment par rafraîchissement passif évaporatif. Nous pensons que la genèse des problèmes de ce bâtiment vient de la détermination modérée du maître d'œuvre et du maître d'ouvrage pour choisir un système de rafraîchissement efficace et de la réponse inappropriée à un problème technique et esthétique. Comme nous l'avons souligné plusieurs fois les systèmes de rafraîchissement passif pour bien fonctionner nécessitent d'utiliser correctement le bâtiment et l'affinage des systèmes de contrôle environnementaux. Les bâtiments de ce type ont toujours besoin d'une période de 'rodage', pendant lequel les manières d'utiliser le bâtiment et les systèmes de contrôle doivent être testés, afin d'atteindre l'optimisation nécessaire.

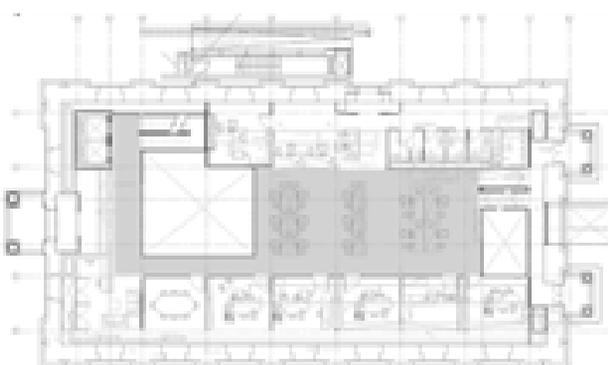
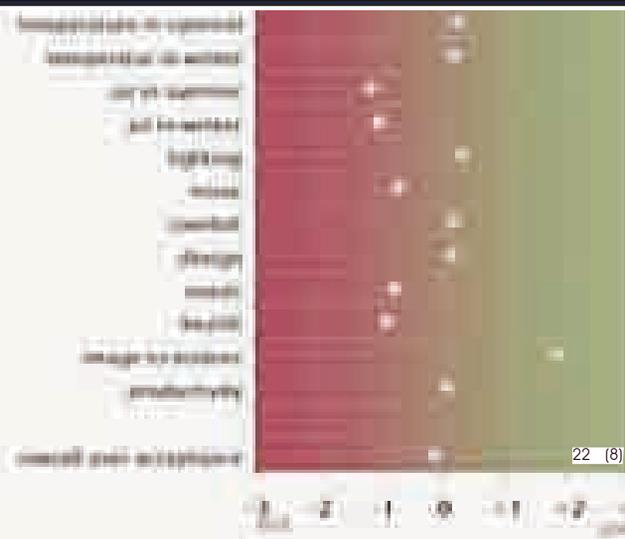


Fig. T-4 - (Plan of upper ground floor (Architecture Project))

25 (12)

## Aspects positifs et leçons à retenir



La bourse de Malte est un bâtiment un peu particulier. Comme nous l'avons vu dans les analyses précédentes le bâtiment a été bien étudié, des simulations assez approfondies ont été réalisées sur la possibilité de garantir le confort thermique des usagers à travers les systèmes de rafraîchissement passif et en cas d'extrême chaleur le rafraîchissement mécanique aurait du être utilisé. Malheureusement, le rafraîchissement passif n'a pas été mis en service et à ce jour le bâtiment est rafraîchi presque exclusivement mécaniquement.

Les aspects les plus significatifs sont :

Il est difficile de trouver des aspects vraiment positifs dans ce bâtiment, sauf le fait de réussir à utiliser des systèmes de rafraîchissement passifs dans une opération de réhabilitation très complexe. Mais les défaillances n'ont pas été de 'projet', mais plutôt de réalisation et mis en route du bâtiment.

## Aspects négatifs et leçons à retenir

La bourse de Malte est un exemple de bâtiment bien conçu, mais des défauts de réalisation ne permettent pas au système bâtiment de fonctionner. Cela est d'ailleurs un des aspects principaux qui nous a convaincu de choisir ce bâtiment, parmi les bâtiments analysés.

Nous pourrions le définir comme un cas-école. Les erreurs faites font partie des détails auxquels l'architecte devrait faire le plus attention dans son travail.

Une conception attentive et très poussée n'est pas suffisante pour le succès d'un système complexe, le bâtiment de Malte en est un exemple.

Les aspects les plus significatifs sont :

Les défauts de construction.

Suite à notre analyse, il semble évident que des petits défauts de construction, qui pourraient être résolus facilement, ont conduit au mauvais fonctionnement du bâtiment.

Le premier défaut est la mauvaise position des brumisateurs de l'installation de rafraîchissement par évaporation. Des brumisateurs ont été posés très près de certains obstacles. Cela génère de la condensation sur l'obstacle et par conséquent des gouttes d'eau tombent dans l'espace de travail des usagers.

Les fenêtres en partie basse, mouvementées par la centrale de contrôle, qui permettent le rafraîchissement par évaporation et la ventilation nocturne, ne sont pas assez étanches à l'air. C'est un problème très grave, surtout dans un emplacement extrêmement exposé au vent. Les usagers pour résoudre l'inconfort du aux courants d'air ont posé des objets et des cartons devant les fenêtres. Ce comportement, compréhensible en hiver, empêche le fonctionnement du rafraîchissement passif du bâtiment en été.

Ces deux entraves seules ne permettent pas au système bâtiment de fonctionner. La solution serait simple et une opération de maintenance extraordinaire permettrait de changer les fenêtres et déplacer les brumisateurs.

Les problèmes liés à l'usage.

Il est simple d'imaginer que les traders de la bourse de Malte n'auront pas la même conscience 'écologique' des étudiants et chercheurs du département of global ecology de Stanford. Dans un bâtiment rafraîchi passivement il faut considérer une période de rodage, pendant laquelle il doit y avoir un suivi technique apte à affiner les paramètres de fonctionnement du système. Naturellement de leur côté les usagers doivent faire un effort et eux même fait partie du système bâtiment. L'ouverture et la fermeture aux mauvaises heures des fenêtres peut comporter des défaillances de l'ensemble du système. Les usagers devraient être formés pour comprendre au mieux les conséquences de leurs actions sur le bâtiment. Cette phase de 'formation' n'a pas été faite. De plus, le bâtiment a été occupé alors que le système de rafraîchissement n'avait pas été mis en route.

L'absence de suivi technique, la livraison du bâtiment quand le système de rafraîchissement n'avait pas encore été testé et la demande de prestations élevées, empêchent le système bâtiment de fonctionner.



## Bibliographie

---

- anspics Malta Stock Exchange - Valletta [En ligne] // flickr. - flickr, 04 10 2008. - 08 01 2011. - <http://www.flickr.com/photos/bomba08/2950263876/in/set-72157624827372420>.
- Architecture Project STOCK EXCHANGE [En ligne] // Architecture Project. - Architecture Project. - 15 02 2012. - <http://www.ap.com.mt/projects.asp?c=11&p=60>.
- Dalli Lawrence MALTA STOCK EXCHANGE [En ligne] // MaltaShipPhotos. - 19 08 2009. - 12 08 2010. - <http://www.maltashipphotos.com/productfile.asp?ProductID1=3257&PRODUCTCAT1=Yachts#>.
- EULEB EULEB HOME [En ligne] // EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique / éd. Europe Intelligent Energy. - 2006. - 19 04 2010. - <http://learn.greenlux.org/packages/euleb/fr/home/index.html>.
- FORD Brian [et al.] The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book [Livre]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors, 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.
- Ford Brian Passive Draught Evaporative Cooling (PDEC) applied to the central atrium space within the New Stock Exchange in Malta [En ligne]. - 28 11 2002. - 12 10 2011. - <http://www.managenergy.net/download/nr35.pdf>.
- Gallo Anna PHDC\_BOLOGNA\_AP\_Stock Exchange Malta [En ligne] // PHDC. - 28 10 2009. - 15 05 2010. - [http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC\\_BOLOGNA\\_AP\\_Stock\\_Exchange\\_Malta.pdf](http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC_BOLOGNA_AP_Stock_Exchange_Malta.pdf).
- Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.
- Gvern Halib Tal valletta [En ligne] // whatsinmalta. - 19 10 2011. - <http://whatsinmalta.com/media/p/596.htm#596,2237,5>.
- leslievella64 Malta Stock Exchange, Valletta, Malta [En ligne] // flickr. - flickr, 14 01 2010. - 08 01 2011. - <http://www.flickr.com/photos/leslievella64/4275112584/>.
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.
- Monde1 Le Malta - Valletta Former 19th Cent Garrison Chapel Now Stock Exchange [En ligne] // flickr. - flickr, 23 04 2010. - 10 01 2011. - <http://www.flickr.com/photos/31068574@N05/4724174315/in/set-72157623820454561/>.
- PHDC Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC\_Draught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 29 10 2009. - Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.
- SCHIANO PHAN Rosa et FORD Brian Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling: Case studies in the US [Conférence] // PLEA 2008 – 25° Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / éd. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.
- Tom\_van\_Malderen MALTA STOCK EXCHANGE [En ligne] // Mirmoa. - 09 10 2010. - <http://mirmoa.eu/projects/Malta/Valletta/Malta%20Stock%20Exchange>.
- U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
- Vassallo Builders Office Blocks [En ligne] // Vassallo Builders. - 2009. - 15 02 2010. - [http://www.vbgl.com/content/index.php?option=com\\_content&view=article&id=104](http://www.vbgl.com/content/index.php?option=com_content&view=article&id=104).
- World Architecture COMMUNITY Malta Stock Exchange, Valletta 1994-2001 [En ligne] // worldarchitecture. - 12 02 2011. - <http://www.worldarchitecture.org/world-buildings/cfvn/malta-stock-exchange-valletta-building-page.html>.
- WSP ENVIRONMENTAL LTD FINAL TECHNICAL REPORT [En ligne] // CORDIS. - European Community, 30 08 2003. - 15 12 2011. - <http://cordis.europa.eu/documents/documentlibrary/67366441EN6.pdf>

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [En ligne] Google, 2011. [Citation : 10 04 2011.] <http://maps.google.fr>.
2. Dalli, Lawrence. MALTA STOCK EXCHANGE . MaltaShipPhotos. [En ligne] 19 08 2009. [Citation : 12 08 2010.] <http://www.maltaship-photos.com/productfile.asp?ProductID1=3257&PRODUCTCAT1=Yachts#>.
3. Gvern, Halib Tal. valletta. whatsinmalta. [En ligne] [Citation : 19 10 2011.] [http://whatsinmalta.com/media/p/596.htm#\\_596,2237,5,](http://whatsinmalta.com/media/p/596.htm#_596,2237,5,)
4. Gallo, Anna. PHDC\_BOLOGNA\_AP\_Stock Exchange Malta. PHDC. [En ligne] 28 10 2009. [Citation : 15 05 2010.] [http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC\\_BOLOGNA\\_AP\\_Stock\\_Exchange\\_Malta.pdf](http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC_BOLOGNA_AP_Stock_Exchange_Malta.pdf).
5. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
6. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [En ligne] 11 03 2011. [Citation : 25 01 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
7. Vassallo Builders. Office Blocks. Vassallo Builders. [En ligne] 2009. [Citation : 15 02 2010.] [http://www.vbgl.com/content/index.php?option=com\\_content&view=article&id=104](http://www.vbgl.com/content/index.php?option=com_content&view=article&id=104).
8. EULEB. EULEB HOME. EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique. [En ligne] 2006. [Citation : 19 04 2010.] <http://learn.greenlux.org/packages/euleb/fr/home/index.html>.
9. Architecture Project. STOCK EXCHANGE. Architecture Project. [En ligne] [Citation : 15 02 2012.] <http://www.ap.com.mt/projects.asp?c=11&p=60>.
10. Monde1, Le. Malta - Valletta Former 19th Cent Garrison Chapel Now Stock Exchange. flickr. [En ligne] 23 04 2010. [Citation : 10 01 2011.] <http://www.flickr.com/photos/31068574@N05/4724174315/in/set-72157623820454561/>.
11. Tom van Malderen. MALTA STOCK EXCHANGE. Mimoo. [En ligne] [Citation : 09 10 2010.] <http://mimoo.eu/projects/Malta/Valletta/Malta%20Stock%20Exchange>.
12. PHDC. Cooling Without Air-Conditioning. 01\_02-PHDC\_Downdraught Cooling a Primer P47. [CD-ROM]. Bologna, Italie : s.n., 29 10 2009. Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. P10006183248.
13. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Le Queens Building, Monfort University à Leicester, England

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Le projet a été réalisé par l'agence Ford & Short. C'est le nouveau bâtiment de l'université d'ingénierie à Leicester, Angleterre. Le projet a été conçu avec le but déclaré de réaliser un bâtiment d'une grande efficacité énergétique, à travers l'utilisation des technologies pour le rafraîchissement passif, pour exploiter la lumière naturelle et pour favoriser la ventilation naturelle, sans oublier les choix des matériaux et des structures qui garantissent une grande masse thermique. La présence dans la zone de nombreux bâtiments industriels abandonnés en briques a inspiré les architectes. Les caractéristiques climatiques sont telles que les températures dépassent rarement le seuil d'inconfort, mais le bâtiment est soumis à des nécessités de rafraîchissement dues aux apports thermiques internes. Il a été un cas d'école sur le rafraîchissement passif pendant très longtemps. Des recherches récentes ont démontré que le projet aurait pu être plus performant, car les économies d'énergie ne sont pas énormes. Il en ressort que les usagers sont prêts à s'adapter aux conditions d'inconfort, car ils perçoivent le bâtiment comme 'écologique'. Cela a démontré qu'il est souvent plus important de communiquer et de faire comprendre le fonctionnement d'un bâtiment à ses usagers que de réaliser des systèmes très performants, mais mal utilisés.

Latitude N 52.629737, Longitude -1.140268



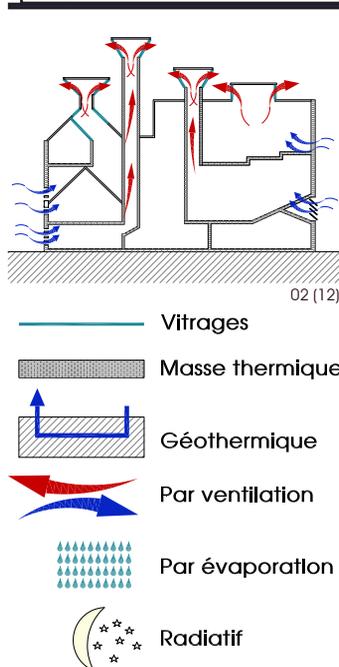
### Données climatiques de la zone

La référence a été la station météorologique de Birmingham. L'été est chaud, sans forte chaleur. Le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne de 17,1°C. L'hiver est froid, mais rarement glacial. Le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de 4,5°C. DJU hiver = 5916,08, DJU été = 55,92

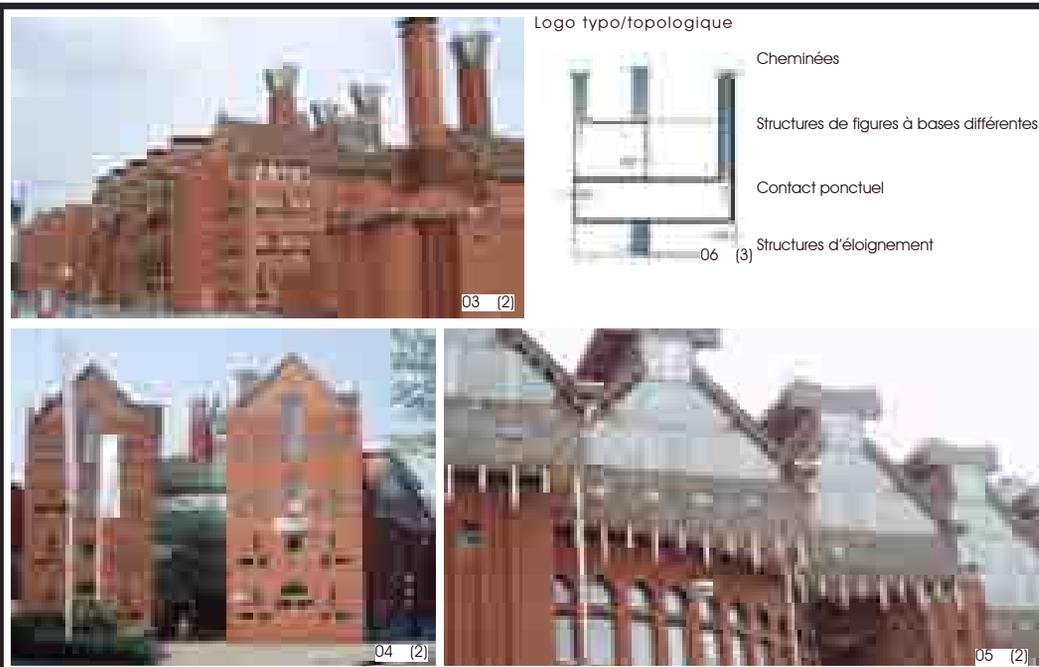
### Groupe analytique

|   |  |  |  |   |
|---|--|--|--|---|
| Semi-compacte<br>(Morphologie)                        | Tertiaire<br>(Typologie)                 | Université d'ingénierie et laboratoires<br>(Usage) | 1993<br>(Datation)   | Visibles niveau 4<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 10.000 - 44.000<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 27m p; 104m l; 14m h<br>(Dimensions)               | Ventilation nocturne/Ventilation continue<br>(Stratégie de rafraîchissement) |   |

### Logo synthétique



### Formes du type



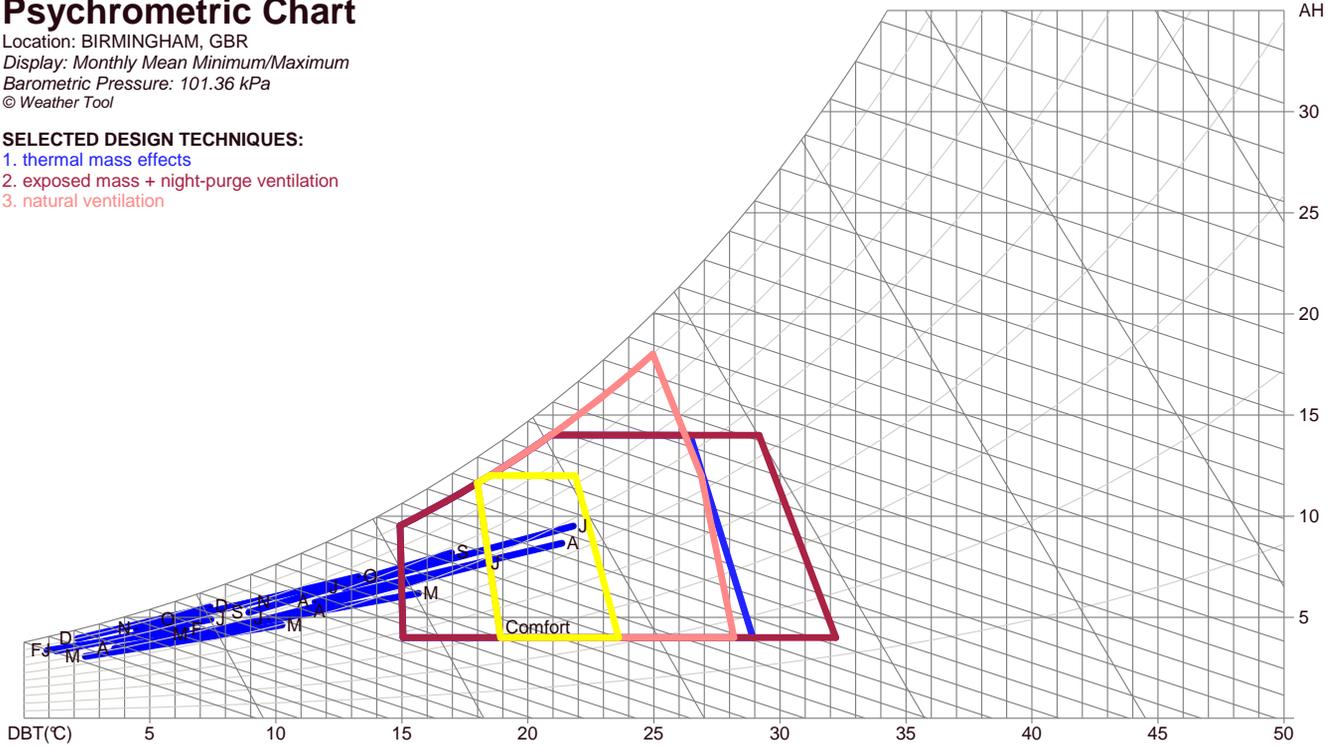
Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

**Psychrometric Chart**

Location: BIRMINGHAM, GBR  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

- SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**
- 1. thermal mass effects
  - 2. exposed mass + night-purge ventilation
  - 3. natural ventilation



La référence a été la station météorologique de Birmingham.

L'été est chaud, sans forte chaleur. Le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne de 17,1°C. L'hiver est froid, mais rarement glacial. Le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de 4,5°C.

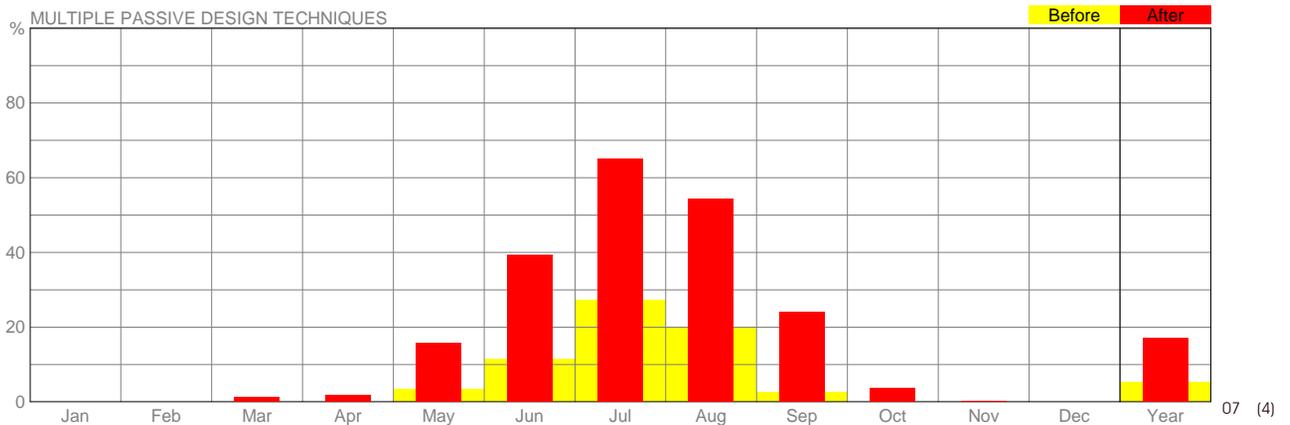
Selon le diagramme psychrométrique dans la ville de Leicester il ne serait pas primordial d'utiliser des systèmes de rafraîchissement, mais c'est devenu indispensable à cause des apports thermiques internes des laboratoires et des auditoriums. Le choix d'exploiter la masse thermique des murs et la ventilation naturelle pour évacuer la chaleur en excès a été le choix le plus simple et le plus fonctionnel.

Suite aux maintenances extraordinaires la ventilation nocturne a été introduite aussi et elle a permis de résoudre en bonne partie les problèmes de sur-échauffement enregistrés dans l'immeuble.

**Comfort Percentages**

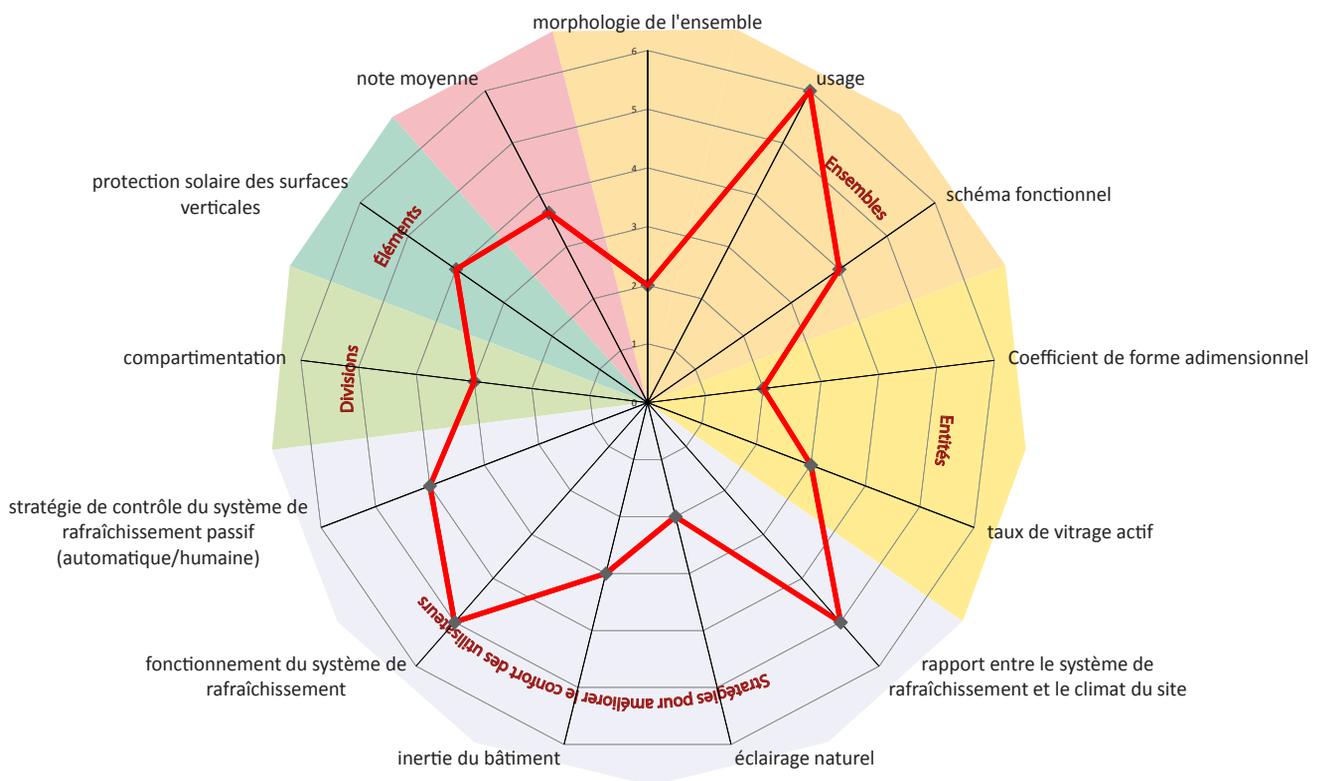
NAME: BIRMINGHAM  
 LOCATION: GBR  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 52.5°, -1.7°  
 © Weather Tool

- SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**
- 1. thermal mass effects
  - 2. exposed mass + night-purge ventilation
  - 3. natural ventilation



## Graphe synthétique des dispositifs critiques

Le nouveau bâtiment de l'université d'ingénierie à Leicester, England



08 (12)

Le graphe radar des indicateurs critiques montre les caractéristiques principales de ce bâtiment.

Il est assez bien conçu et réalisé, sauf quelque point négatif, comme la morphologie, l'éclairage naturel insuffisant et le coefficient de forme.

Nous voudrions par contre faire remarquer que, dans un bâtiment où l'inertie thermique est très élevée et elle fait partie des stratégies étudiées par l'architecte pour améliorer le confort des usagers, nous avons donné une note de trois à cet indicateur car le bâtiment est très inerte et performant, sauf la toiture métallique. Le problème est que le manque de masse thermique aux derniers étages ne permet pas de maintenir stable la température et les derniers étages sont ainsi sujets à des problèmes de surchauffe.

Nous voudrions aussi donner des précisions pour la note très élevée sur l'usage. Cela est particulier vu que le bâtiment loge des laboratoires universitaires, des classes, des départements et des auditoriums. Toutes ces fonctions sont différentes et peu compatibles. De plus, les laboratoires mécaniques et les laboratoires électriques produisent des apports thermiques importants. Nous avons, par contre, remarqué que les usagers des universités sont bien disposés envers des bâtiments avec des caractéristiques bioclimatiques.

Dans ce cas en particulier des recherches ont démontré que les usagers perçoivent le bâtiment comme écologique et ils sont prêts à supporter des périodes d'inconfort suite à cette perception. Cette attitude des usagers permet de suppléer aux défaillances du bâtiment.

## Analyse systémique

### Implantation

Le bâtiment se trouve à Leicester sur le campus universitaire près du centre-ville. La ville de Leicester se trouve à environ 160 kms au nord de Londres. Le bâtiment a une forme en L et la façade sur rue est orientée au nord-ouest. La forme en L de l'École suit le contour de la parcelle.

### Usage

Laboratoires universitaires d'ingénierie mécanique et électrique. Dans le bâtiment on trouve aussi deux auditoriums de 150 places assises. Les activités menées dans le bâtiment sont variées et difficilement compatibles. La faculté de Leicester vise à développer la recherche dans l'innovation de la production assistée par ordinateur. Dans le bâtiment sont présents les laboratoires mécaniques et électriques. Les premiers ont besoin de grands espaces pour les expérimentations hydrauliques et thermodynamiques. Ces laboratoires nécessitent une grande luminosité 1000lx et induisent du bruit (110 dBA) et de grands apports de chaleur (100W/m). Les laboratoires électriques sont généralement silencieux et ont besoin de seulement 300lx. Les apports en chaleur des laboratoires électriques sont aussi élevés (85W/m). Le modèle d'usage est bien adapté à un bâtiment conçu pour être rafraîchi passivement, ce qui est étonnant si l'on considère les énormes apports thermiques dus aux laboratoires mécaniques et électriques. Nous avons pu constater à quel point les bâtiments universitaires s'adaptent bien à diffuser ce que nous pouvons définir comme une conscience écologique. Nous pouvons aussi remarquer que les usagers des derniers étages, qui sont souvent en condition d'inconfort thermique, affirment pouvoir accepter cette condition parce qu'ils travaillent dans un bâtiment «écologique» et qu'ils sont prêts à modifier leurs comportements et améliorer le fonctionnement du bâtiment. Ce «crédit» dont «profite» le bâtiment est lié à des considérations sociales, associées à un type d'usagers et à l'histoire du bâtiment.

### Schéma fonctionnel

Le bâtiment a la forme d'un L. La surface est d'environ 10.000 m<sup>2</sup>, dans la partie centrale du bâtiment on trouve un atrium, nœud de toutes les circulations verticales et horizontales. L'atrium, ainsi que les tours en forme d'aile de chauve-souris ont une fonction d'extraction de l'air. Le schéma fonctionnel a été étudié depuis le début pour permettre la cohabitation de laboratoires et de fonctions complètement différentes et non compatibles à cause des nuisances sonores. Selon une recherche récente, malheureusement, souvent les usagers se sont trouvés en condition d'inconfort acoustique. Il faut tout de même constater la difficulté à faire cohabiter des laboratoires de mécanique, très bruyants, et des fonctions qui demandent des niveaux sonores très faibles.

### Morphologie du bâtiment

Le bâtiment se présente en forme de L. Des corps de bâtiment forment des «extrusions» en différents points lui donnant un aspect fragmenté. Le bâtiment se compose de trois éléments principaux : La partie qui abrite le laboratoire mécanique de double-hauteur, une partie de quatre étages qui contient des laboratoires généraux, deux auditoriums de 150 places chacun, des classes et des logements pour le personnel. Une dernière partie a la forme d'un U de quatre étages contenant les laboratoires électriques. La forme du bâtiment suit les limites du site, mais résulte aussi de considérations environnementales.

Surface: 10.000 m<sup>2</sup>

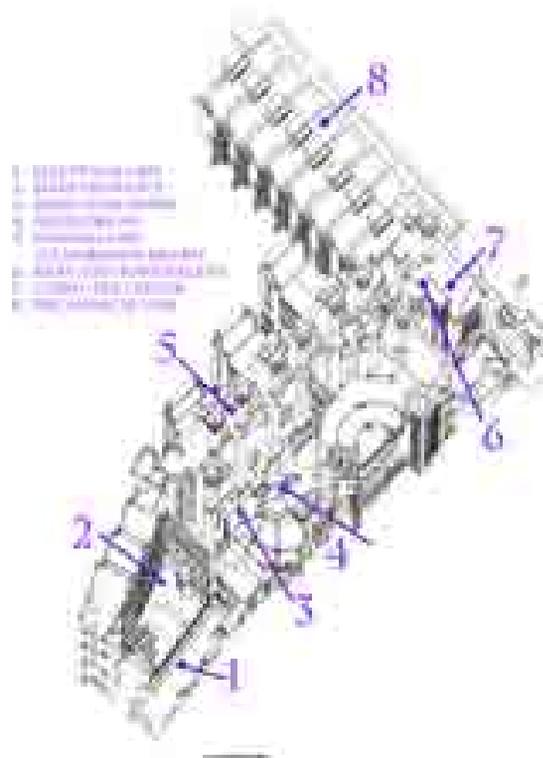
Volume: 44.000 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 8,30

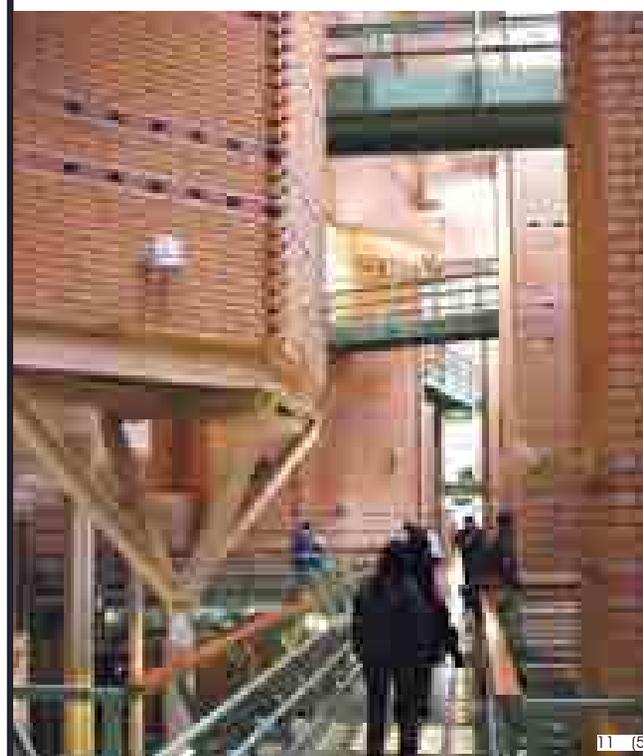
Taux de vitrage actif : \*\*\* m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : \*\*\* m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

La morphologie est liée aux exigences d'utilisation des espaces et à leurs nécessités de rafraîchissement. La zone des laboratoires mécaniques a une double hauteur et des lucarnes pour l'extraction de l'air chaud. La zone des laboratoires électriques et des amphithéâtres est plus sombre et rafraîchie par la tour d'extraction d'air. Il demeure le problème que le bâtiment est très fragmenté.



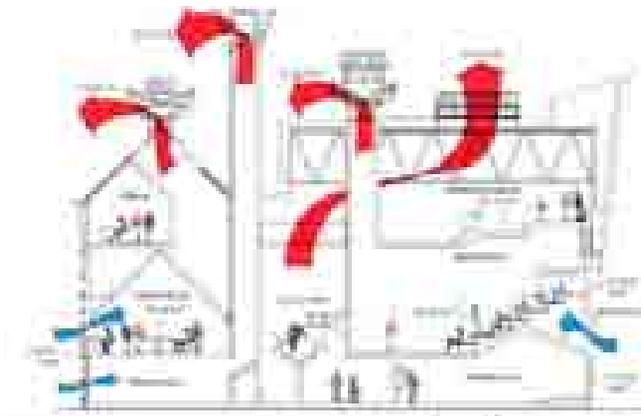
10 (6)



11 (5)

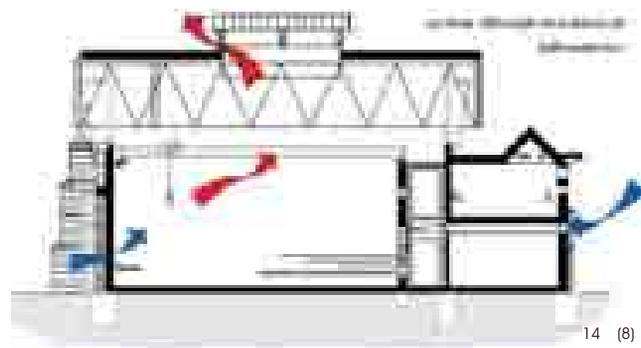


12 (7)

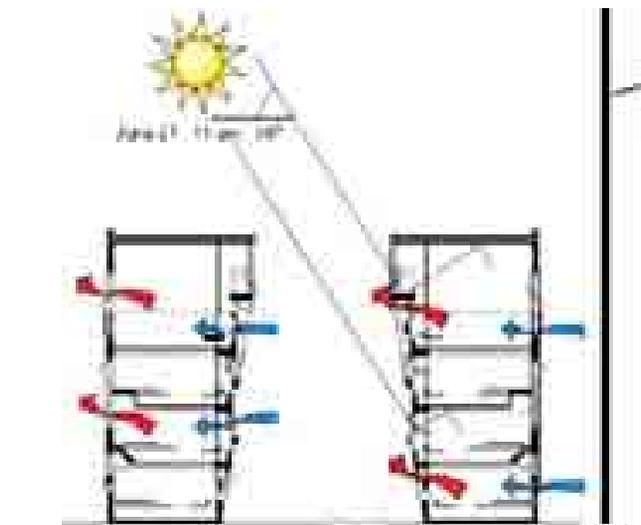


Intelligent Energy

13 (8)



14 (8)



15 (8)

## Éclairage naturel

Le bâtiment a été étudié pour garantir le plus possible une bonne pénétration de la lumière du jour. Le système aurait dû être contrôlé par des capteurs automatiques, mais ce mode de régulation a été désactivé à cause de problèmes aux capteurs. Par la suite il a été installé un mode mixte humain et automatique, cela a posé des problèmes de confusion, provoquant une consommation d'énergie qui n'était pas nécessaire.

L'objectif des concepteurs était de garantir un éclairage naturel optimal, sans utiliser d'apports artificiels. Cet objectif a été partiellement atteint, en particulier dans certains espaces d'étude et de travail où la lumière du jour n'a pas été suffisante. Le problème d'avoir marié un contrôle automatique à un contrôle manuel a entraîné une grande confusion pour les usagers, à la base du mauvais fonctionnement. Une nouvelle stratégie de contrôle devrait être mise en œuvre. De plus, les corps lumineux n'étaient souvent pas performants, avec une consommation électrique excessive. Pour résoudre ce problème, les ampoules ont été changées. Il faut cependant souligner que la plus grande partie des espaces a un accès direct à la lumière du jour et que seulement certains espaces nécessitent un usage continu de l'éclairage artificiel.

## Système de rafraîchissement

Système de ventilation naturelle contrôlée.

Le système de VNC s'adapte bien au type de fonctions qui sont présentes dans l'immeuble. Les apports internes sont très élevés, mais les températures extérieures et la ventilation naturelle devraient permettre de garantir l'état de confort aux usagers.

Le système de VNC utilise l'effet cheminée, pour l'extraction de l'air, des tours et des lucarnes en forme d'aile de chauve-souris qui garantissent l'étanchéité à l'eau et donnent la possibilité de régler le flux d'air. Le système de rafraîchissement est très simple. L'air est introduit dans le bâtiment en partie basse, dans des zones protégées du soleil et de la pollution des rues adjacentes et extrait par effet cheminée en partie haute. Le système d'extraction fonctionne soit par les cheminées, soit par des ouvrants en toiture. Certains espaces ont été conçus pour être ventilés par simple ventilation traversant.

## Fonctionnement du système de rafraîchissement

Le système de VNC fonctionne de la manière la plus simple possible. Les fenêtres qui peuvent être atteintes sont manipulées manuellement, celles en partie haute sont motorisées. Dans un premier temps, les moteurs qui manœuvrent les fenêtres ont eu des problèmes de fonctionnement qui ont été résolus par le changement des moteurs, permettant une meilleure liaison à un système de contrôle. Cette maintenance extraordinaire a permis d'introduire dans certains espaces de la ventilation nocturne qui a amélioré les prestations du système.

## Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

La stratégie de contrôle est mixte. Dans certains espaces le contrôle est humain et dans d'autres espaces il est mixte, humain et automatique, en particulier après les travaux de substitution des ouvrants motorisés pour les fenêtres en toiture.

Dans des conditions climatiques non prohibitives, comme celles de Leicester, le système de contrôle humain aurait pu suffire. Par contre il est impossible, par simple contrôle humain, d'envisager la ventilation nocturne d'où l'introduction des nouveaux moteurs pour cette ventilation de nuit.

### Inertie du bâtiment

Le projet a été conçu pour exploiter l'éclairage naturel et pour favoriser la ventilation naturelle, sans oublier les matériaux et les structures choisis qui garantissent une grande masse thermique. La structure principale du bâtiment en béton, les parois et les planchers des auditoriums en béton à haute densité augmentent la masse thermique. L'inertie du bâtiment est très élevée et fait partie de la stratégie de conception bioclimatique. Le bâtiment est effectivement très bien isolé. Le seul problème remarqué aux derniers étages est la toiture réalisée dans une structure métallique et très peu inerte. Cela est source de l'inconfort thermique des usagers sédentaires du dernier étage.



16 (9)

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Les murs ont été réalisés avec des matériaux facilement repérables sur le marché local. L'objectif était d'exposer la masse thermique du bâtiment au système de ventilation continue. Les arrivées d'air se font à travers les murs en briques, cela pour exposer la masse thermique à la ventilation.

Masse thermique très satisfaisante. Les passages d'air dans les murs garantissent une exposition optimale de la masse thermique du bâtiment au flux d'air. Seul défaut à remarquer : la rigidité du système. D'après une étude récente il s'avère que dans certains cas des modifications auraient été nécessaires, suite d'une part à des changements internes intervenus dans le bâtiment, d'autre part à des turbulences dans le flux d'air, en particulier dans l'un des auditoriums. Des améliorations n'ont pas pu être apportées à cause de la rigidité du système.

### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Toiture métallique inclinée et en partie vitrée.  
La toiture métallique est bien isolée, mais elle manque de masse thermique à l'endroit le plus sensible

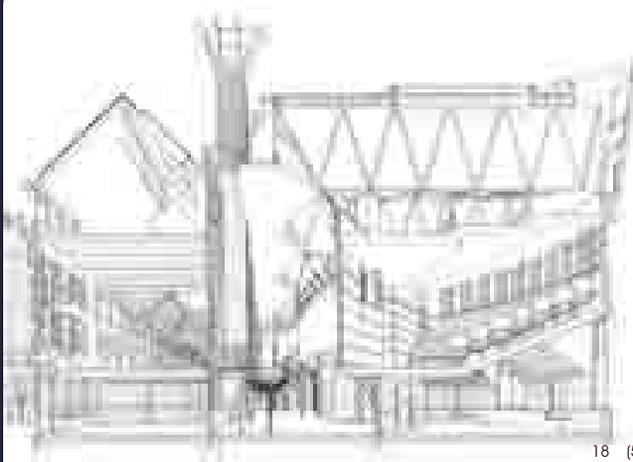


17 (11)

### Compartimentation

Les différentes parties de l'immeuble ont été divisées, en même temps il reste des grands espaces rafraîchis, indépendamment les uns des autres.

Les locaux en open-espace permettent un bon passage de l'air et facilitent le rafraîchissement par VNC, mais il y a des nuisances sonores qui se marient difficilement à certaines activités.



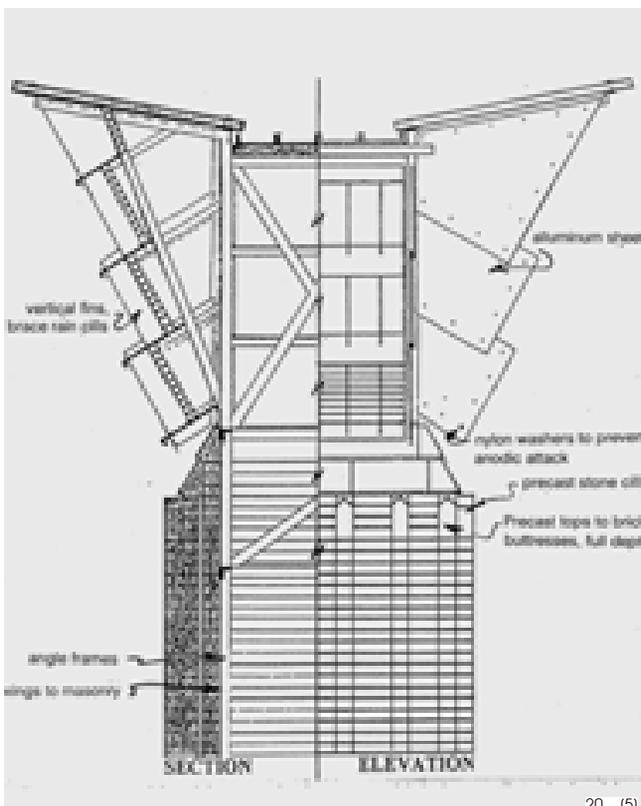
18 (5)



19 (5)

### Protection solaire

Les fenêtres et les toitures vitrées sont étudiées pour être protégées des rayonnements solaires directs en été et pour faire passer la lumière du jour.  
Les protections solaires sont efficaces et bien étudiées.



20 (5)

### Surfaces vitrées

Il a été impossible d'être précis sur le rapport S vitrées/surfaces opaques et sur le taux de vitrages actifs, à cause de la fragmentation des façades et de l'absence de dessins techniques précis. Nous avons essayé de demander à l'architecte Ford des dessins des façades à l'échelle, mais malheureusement à l'époque de la conception de ce bâtiment son agence n'utilisait pas encore les logiciels de CAO et aujourd'hui il est impossible de retrouver dans les archives les anciennes façades. Nous émettons une hypothèse à partir des photos d'un rapport relativement bas entre les surfaces vitrées et la surface de sol. Nous avons appliqué une note de 3 (suffisant), ne sachant pas être très précis.

Taux de vitrage actif : \*\*\* m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
Rapport S vitrées/S opaques : \*\*\* m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

### Surfaces opaques

Murs en béton et briques avec une épaisseur de laine minérale de 100 mm.

Très bonne masse thermique des parois opaques, une bonne isolation thermique par rapport aux standards de l'époque.  
Les dalles sont en béton à haute densité, pour augmenter la masse thermique. Planchers et dalles font partie de la stratégie de rafraîchissement de l'immeuble. La grande masse thermique est garantie par ces éléments.



21 (6)

### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Ouvrants présents, reliés au système de ventilation. En réalité ce mode de ventilation a été introduit lors du changement des moteurs pour l'ouverture des fenêtres car les précédents moteurs n'étaient pas performants.  
Suite à cette introduction, une bonne partie du bâtiment peut être pré rafraîchi, grâce à la ventilation nocturne.

## État actuel et condition d'utilisation

Les post occupancy evaluations montrent que la perception du bâtiment par les usagers est très positive. Le seul point d'inconfort important est dû à la température de l'air en été. Ce qui est normal, car les interviews sont réalisées sur les usagers sédentaires et les bureaux sont souvent aux derniers étages. Comme nous l'avons vu, le dernier étage est sujet à d'importants problèmes de sur chauffe.

Les points les plus importants à remarquer, à notre avis, sont le confort acoustique et l'image du bâtiment.

Le confort acoustique dans un bâtiment rafraîchi passivement par ventilation n'est pas facile à obtenir, surtout si le bâtiment loge des laboratoires de mécanique très bruyants et d'autres activités qui demandent un niveau acoustique très bas.

La vitrine que l'on veut exposer aux visiteurs dépend aussi de l'image qu'on se fait du bâtiment. C'est un paramètre très important, car si notre perception d'un bâtiment est positive et si nous sommes enclins à utiliser un bâtiment écologique, nous serons prêts à nous adapter à des petites périodes d'inconfort.

Selon plusieurs recherches faites sur ce bâtiment, le 'crédit' que les usagers lui font est supérieur à la réalité même, qui présente plusieurs problèmes réels (Bunn, 2006). Est la démonstration que la réalité perçue est souvent plus importante que la réalité même.

## Analyse architecturale

Le projet des architectes Ford & Short a été conçu avec l'objectif déclaré de réaliser un bâtiment avec une grande efficacité énergétique, à travers l'utilisation des technologies pour le rafraîchissement passif. Le projet a été conçu pour exploiter la lumière naturelle et favoriser la ventilation naturelle. Le bâtiment est de trois étages et le nœud de toutes les circulations verticales et horizontales est l'atrium central. Les matériaux qui ont été choisis pour le revêtement sont les briques et le bois. Le système de VNC (ventilation naturelle contrôlée) utilise l'effet de cheminée, pour l'extraction de l'air à travers des tours et des lucarnes.

Les architectes se sont inspirés des anciennes usines existantes dans la même zone, d'une part pour le langage architectural, d'autre part pour le choix des matériaux.

Le bâtiment est caractérisé par ses tours de rafraîchissement et ses lucarnes, qui ont été définis en aile de chauve-souris. Aussi le style un peu gothique a été souvent critiqué dans les revues d'architecture contemporaine du bâtiment.

Le choix des architectes est de rendre visibles les systèmes de rafraîchissement et de les rendre esthétiques. Pour ces motifs nous avons attribué un niveau de 4 à l'intégration des systèmes de rafraîchissement.

Ce que nous voudrions souligner est le fait que ces tours et lucarnes en aile de chauve-souris, effectivement pas très élégants, ont tout de même contribué à donner une forte identité à ce bâtiment. C'est d'ailleurs grâce à ces caractéristiques qu'encore aujourd'hui le bâtiment profite du 'crédit' dont nous avons parlé précédemment.

Cela ne signifie pas qu'il suffit de mettre des tours de ventilation dans un bâtiment pour que les usagers s'y adaptent, même si le système ne fonctionne. Dans plusieurs cas nous avons vu que dépassé un seuil d'inconfort, les usagers, non seulement ne s'adaptent plus, mais il se crée une certaine idiosyncrasie envers le bâtiment qui est souvent la vraie cause d'inconfort.

Nous avons voulu souligner que dans le cas du Queens Building de Leicester sa forte identité est un des facteurs qui contribuent au fonctionnement du système bâtiment.



22 (9)



23 (5)



24 (5)



25 (5)

## Aspects positifs et leçons à retenir



Le bâtiment de Leicester est un exemple très important pour les architectes qui veulent rafraîchir passivement leurs projets. Ce bâtiment réalisé vers 1993 permet de bien comprendre les contraintes et les éventuelles erreurs à ne pas faire dans la même situation et il nous permet aussi de voir quels choix ont été particulièrement fructueux et peuvent un bon exemple à suivre.

Les aspects les plus significatifs sont :

La grande masse thermique. Tout le bâtiment, sauf la toiture, a été conçu pour exploiter au mieux la grande masse thermique. Cela permet de stabiliser de manière très efficace les températures intérieures. Selon certaines analyses la manière dont l'air est introduit dans le bâtiment (à travers les dalles) est très 'figée' et ne permet pas aujourd'hui d'apporter les modifications qui seraient nécessaires. Nous ne sommes pas complètement d'accord avec cet avis, cela voudrait dire que dans tous les bâtiments qui exploitent la masse thermique des conduits ou dalles le système de rafraîchissement ne peut pas être amélioré. D'ailleurs, cela est contredit par la modification du système qui a permis d'introduire la ventilation nocturne dans ce bâtiment. D'ailleurs l'exposition de la masse thermique se révèle fondamentale pour la ventilation nocturne.

Les ouvrants pour la ventilation nocturne. Les ouvrants n'avaient pas été prévus dans le projet initial et ils ont été changés par des opérations de maintenance extraordinaire. Cela confirme le suivi et la volonté du maître d'ouvrage à améliorer le fonctionnement du système bâtiment. De plus, l'introduction des ouvrants mécaniques, permettant la ventilation nocturne, a résolu beaucoup de problèmes liés au rafraîchissement du bâtiment.

## Aspects négatifs et leçons à retenir

Nous pouvons dire qu'aussi les aspects négatifs de ce bâtiment peuvent être considérés comme un cas d'école. Le système de VNC garantit le confort thermique des usagers, à l'exception des usagers sédentaires des derniers étages et d'un des deux auditoriums.

Un auditorium présente aussi des problèmes de stratification de l'air et entre la partie basse et la partie haute de l'auditorium il peut y avoir 8°C de différence. Au final, le système de VNC devrait être amélioré, mais à cause de sa conception cela est très difficile. L'introduction de nouveaux moteurs ouvrants et du système de contrôle permettant la ventilation nocturne a déjà résolu une partie des problèmes, mais pas en totalité.

Les aspects les plus significatifs sont :

L'absence de masse thermique en toiture.

La toiture de structure métallique est bien isolée, mais la carence de masse thermique ne garantit pas un déphasage assez long. Les usagers des derniers étages sont souvent en condition d'inconfort. Les problèmes de stratification de l'air dans un auditorium.

C'est un problème difficile à découvrir en phase de projet, même quand ont été réalisés des simulations très performantes, il existe le risque que des turbulences inattendues modifient la circulation de l'air et empêchent le système de fonctionner. Il existe par contre des solutions à ce problème qui est cause d'inconfort pour les usagers. La différence de température enregistrée entre la partie basse de l'auditorium et la partie haute peut atteindre les 8°C, ce qui est énorme. De simples ventilateurs pourraient réduire l'effet de la stratification de l'air.

Certains systèmes techniques ont été défectueux.

En particulier, le système de chauffage, qui ne permettait pas au début de partialiser les zones à chauffer, a été une des causes majeures de consommation énergétique élevée. Cela a été résolu seulement en partie. Un autre problème concerne les capteurs de lumière, qui auraient dû modifier la puissance de l'éclairage artificiel. Ces capteurs étaient défectueux, de plus, le système de contrôle de l'éclairage mixte a posé des problèmes de compréhension aux usagers qui ont préféré by-passer les contrôles automatiques en gardant les lumières toujours allumées. Pour finir, les ouvrants en toiture ne marchaient pas bien, mais cela a été résolu définitivement.



## Bibliographie

---

- Asbridge R and Cohen R Probe 4 [Online] // usablebuildings.co.uk. - usablebuildings.co.uk, 04 1996. - 05 26, 2010. - <http://www.usablebuildings.co.uk/Probe/DMQ/DMQDegraded.pdf>.
- Bamrah Charanjeev The Queens Building - De Montfort University [Online] // Arch-ive.net. - Arch-ive.net, 12 01, 2009. - 05 12, 2011. - <http://www.arch-ive.net/project/73/The+Queens+Building+De+Montfort+University+Tech/summary/>.
- BBC Fifty innovative modern buildings in Leicestershire [Online] // BBC. - BBC, 01 04, 2011. - 02 06, 2011. - [http://news.bbc.co.uk/local/leicester/hi/people\\_and\\_places/history/newsid\\_8937000/8937396.stm](http://news.bbc.co.uk/local/leicester/hi/people_and_places/history/newsid_8937000/8937396.stm).
- BORDASS BILL, COHEN ROBERT and STANDEVEN MARK PROBE 9 [Online] // usablebuildings. - BUILDING SERVICES JOURNAL, 04 1997. - 06 23, 2010. - <http://www.usablebuildings.co.uk/Probe/ProbePDFs/Probe9Apr97.pdf>.
- BRAID George The Architectural Expression of Environmental Control Systems [Book]. - London : Spon Press, 2001. - p. 264. - ISBN 0-419-24430-1.
- building.co.uk Live and learn [Online] // building.co.uk. - building.co.uk, 04 03, 2007. - 06 12, 2010. - <http://www.building.co.uk/live-and-learn/3084181.article>.
- Bunn Roderic Queens Building [Online] // BSRIA. - BSRIA, 10 2006. - 05 06, 2010. - <http://www.bsria.co.uk/news/1906/>.
- Compton C. Megan Queen's Building, DeMontfort University [Online] // University of Idaho. - University of Idaho, spring 2006. - 05 23, 2010. - <http://www.caa.uidaho.edu/arch504ukgreenarch/CaseStudies/QueensBldg-DeMontfortU.pdf>.
- CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität SiegenFachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique idea [Online] // idea-architecture.org. - idea-architecture.org, 01 2003, 9. - 25 05, 2010. - [http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm_one.htm).
- D.G.Boyce D.G.Boyce [Online] // D.G.Boyce. - D.G.Boyce. - 05 26, 2010. - <http://www.d-boyce.co.uk/>.
- Dean Brian N. Queens Building – Leicester, England [Online] // MIT. - 09 23, 2011. - <http://cmiserver.mit.edu/natvent/Europe/queens.htm>.
- DGO4 ; Architecture et Climat Le Queen's Building de l'université de Montfort [Online] // energieplus. - Université catholique de Louvain. - 09 22, 2011. - [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10882.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10882.htm).
- DUALL Blog Baseline evaluation – Queens building [Online] // DUALL Blog. - 10 2010. - 08 29, 2011. - <http://duall.dmu.ac.uk/blog/2010/10/08/baseline-evaluation-queens-building/>.
- Google Google Maps [Online] // Google. - Google, 2011. - 04 10, 2011. - <http://maps.google.fr>.
- GROSSO Mario Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato [Book] / ed. Editore Maggioli. - San Marino : Maggioli Editore, 2008. - II : p. 648. - ISBN 978-88-387-3963-3.
- Intelligent Energy Europe University Rebuilding Using Natural Ventilation [Online] // Scribd. - Scribd, 2003. - 06 25, 2010. - <http://www.scribd.com/doc/77152439/Best-Practice-10>.
- Leicester City Council Leicester [Online] // Leicester City Council. - Leicester City Council. - 02 15, 2012. - [http://citystreatz.leicester.gov.uk/leicester\\_internet/neapoljs.htm?thematic%3D1111%26resolution%3Dmedium%26usrType%3D0%26;gst%3DLeicester\\_Internet](http://citystreatz.leicester.gov.uk/leicester_internet/neapoljs.htm?thematic%3D1111%26resolution%3Dmedium%26usrType%3D0%26;gst%3DLeicester_Internet).
- Leicester Environment City The Queens Building, De Montfort University [Online] // The Queens Building, De Montfort University. - The Queens Building, De Montfort University. - 05 23, 2010. - <http://www.environmentcity.org.uk/article.asp?articleID=16&parentID=1>.
- MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis and co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.
- Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [Online] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 04 15, 2011. - <http://www.bing.com/maps>.
- Monfort University Leicester The Queens Building De Montfort University [Online] // Institute of Energy and Sustainable Development. - 06 1997. - 06 16, 2010. - [http://www.iesd.dmu.ac.uk/msc/EEBPP\\_NPCS\\_102.pdf](http://www.iesd.dmu.ac.uk/msc/EEBPP_NPCS_102.pdf).
- Owen A. Rose and Ramiraz Santiago Ventilation [Online] // ecosensuel. - ecosensuel, 2002. - 06 04, 2010. - <http://www.ecosensuel.net/drm/eco/ecovent1.html>.
- SCHIANO PHAN Rosa and FORD Brian Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling: Case studies in the US [Conference] // PLEA 2008 – 25<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / ed. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.
- Short and Associates The Queens Building, De Montfort University [Online] // Short and Associates. - Short and Associates. - 06 12,

2010. - <http://www.shortandassociates.co.uk/page.asp?pi=28>.

stevacadman Queens Building [Online] // flickr. - flickr, 08 18, 2005. - 06 08, 2010. - <http://www.flickr.com/photos/stevacadman/47963796/>.

Stok Gavin Leicester: De Montfort University [Online] // dpreview. - dpreview, 30 01, 2010. - 02 23, 2011. - <http://www.dpreview.com/galleries/2538720207/photos/677087/leicester-de-montfort-university-3-of-3?inalbum=uk-other>.

ty.ro Queens Building - Short And Associates - De Montfort University, Leicester - 1993 [Online] // BRICK BLOG. - 11 23, 2010. - 02 05, 2011. - <http://brickmasonry.blogspot.com/2010/11/queens-building-short-and-associates-de.html>.

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [Online] // EnergyPlus. - 03 11, 2011. - 01 25, 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

Wikipedia De Montfort University [Online] // wikipedia. - 03 09, 2012. - 03 15, 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/De\\_Montfort\\_University](http://en.wikipedia.org/wiki/De_Montfort_University).

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [Online] Google, 2011. [Cited: 04 10, 2011.] <http://maps.google.fr>.

2. D.G.Boyce. D.G.Boyce. D.G.Boyce. [Online] D.G.Boyce. [Cited: 05 26, 2010.] <http://www.d-boyce.co.uk/>.

3. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis and co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.

4. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [Online] 03 11, 2011. [Cited: 01 25, 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

5. CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität SiegenFachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique. idea. idea-architecture.org. [Online] idea-architecture.org, 01 2003, 9. [Cited: 25 05, 2010.] [http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm_one.htm).

6. Compton, C. Megan. Queen's Building, DeMontfort University. University of Idaho. [Online] spring 2006. [Cited: 05 23, 2010.] <http://www.caa.uidaho.edu/arch504ukgreenarch/CaseStudies/QueensBldg-DeMontfortU.pdf>.

7. Dean, Brian N. Queens Building – Leicester, England. MIT. [Online] [Cited: 09 23, 2011.] <http://cmiserver.mit.edu/natvent/Europe/queens.htm>.

8. Intelligent Energy Europe. University Rebuilding Using Natural Ventilation. Scribd. [Online] 2003. [Cited: 06 25, 2010.] <http://www.scribd.com/doc/77152439/Best-Practice-10>.

9. Stok, Gavin. Leicester: De Montfort University . dpreview. [Online] 30 01, 2010. [Cited: 02 23, 2011.] <http://www.dpreview.com/galleries/2538720207/photos/677087/leicester-de-montfort-university-3-of-3?inalbum=uk-other>.

10. ty.ro. Queens Building - Short And Associates - De Montfort University, Leicester - 1993. BRICK BLOG. [Online] 11 23, 2010. [Cited: 02 05, 2011.] <http://brickmasonry.blogspot.com/2010/11/queens-building-short-and-associates-de.html>.

11. Bunn, Roderic. Queens Building. BSRIA. [Online] BSRIA, 10 2006. [Cited: 05 06, 2010.] <http://www.bsria.co.uk/news/1906/>.

12. CADONI, Gianluca. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## Projet d'habitation à Pattada, Sardaigne, Italie

### Contenu de la fiche

- Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type
- État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Projet d'extension écologique d'un bâtiment d'habitation à Pattada en Italie. Le bâtiment se trouve en Sardaigne, île de la méditerranée, dans la ville de Pattada à 800m NGF. Il s'agit d'une habitation unifamiliale d'environ 400m. Le bâtiment sera rafraîchi par ventilation continue, ventilation nocturne et le salon 'd'été' par évaporation directe (ce système a été abandonné à cause des difficultés de mise en place). Lors du début de ce travail de recherche nous aurions voulu essayer de construire un bâtiment exemple pour réaliser des mesures. Cela était possible, car dans mon agence d'architecture il y avait une commande de clients privés qui désiraient réaliser un bâtiment écologique et expérimental pour leur habitation. De plus, ils étaient disposés à nous permettre de réaliser des mesures, suite à la construction de l'habitation. Pour des motifs personnels des clients, ce projet est resté sur le papier, nous étions à la phase de projet définitif. Suite à cet échec, nous avons décidé de modifier l'objectif de cette recherche et d'étudier des bâtiments existants, contemporains, pour évaluer l'efficacité et la prégnance des systèmes de rafraîchissement. Cela a donné lieu à la base des données et à la méthodologie d'évaluation mise en place. Par la suite nous avons décidé d'essayer de soumettre le projet en question à l'évaluation. Cette fiche en est le résultat.

Latitude N 40.581359, Longitude 9.113545



01 (1)

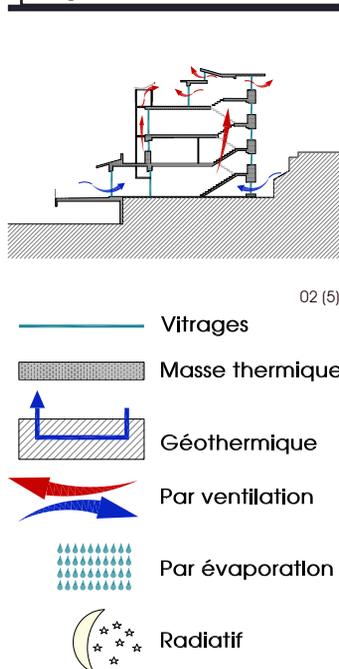
### Données climatiques de la zone

Le climat est typiquement méditerranéen. Les pluies sont concentrées entre l'automne et l'hiver. Les étés sont chauds et secs et les hivers sont tempérés. Pattada se trouve dans le centre de la Sardaigne à 800m NGF. Nous avons dû utiliser les données climatiques des villes voisines : Alghero et Olbia. DJU hiver = 1189,38, DJU été = 332,17

### Groupe analytique

|   |  |                                     |   |   |
|---|--|-------------------------------------|---|---|
| Compacte<br>(Morphologie)                         | Habitation<br>(Typologie)                | Maison unifamiliale<br>(Usage)      | *****<br>(Datation)                       | Visibles niveau 4<br>(Prégnance des systèmes de rafraîchissement) |
| 420 - 1.760<br>(m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> ) | Contemporaine<br>(Langage architectural) | 15m p; 12m l; 12m h<br>(Dimensions) | Ventilation nocturne/Ventilation continue | (Stratégie de rafraîchissement)                                   |

### Logo synthétique



### Formes du type



Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

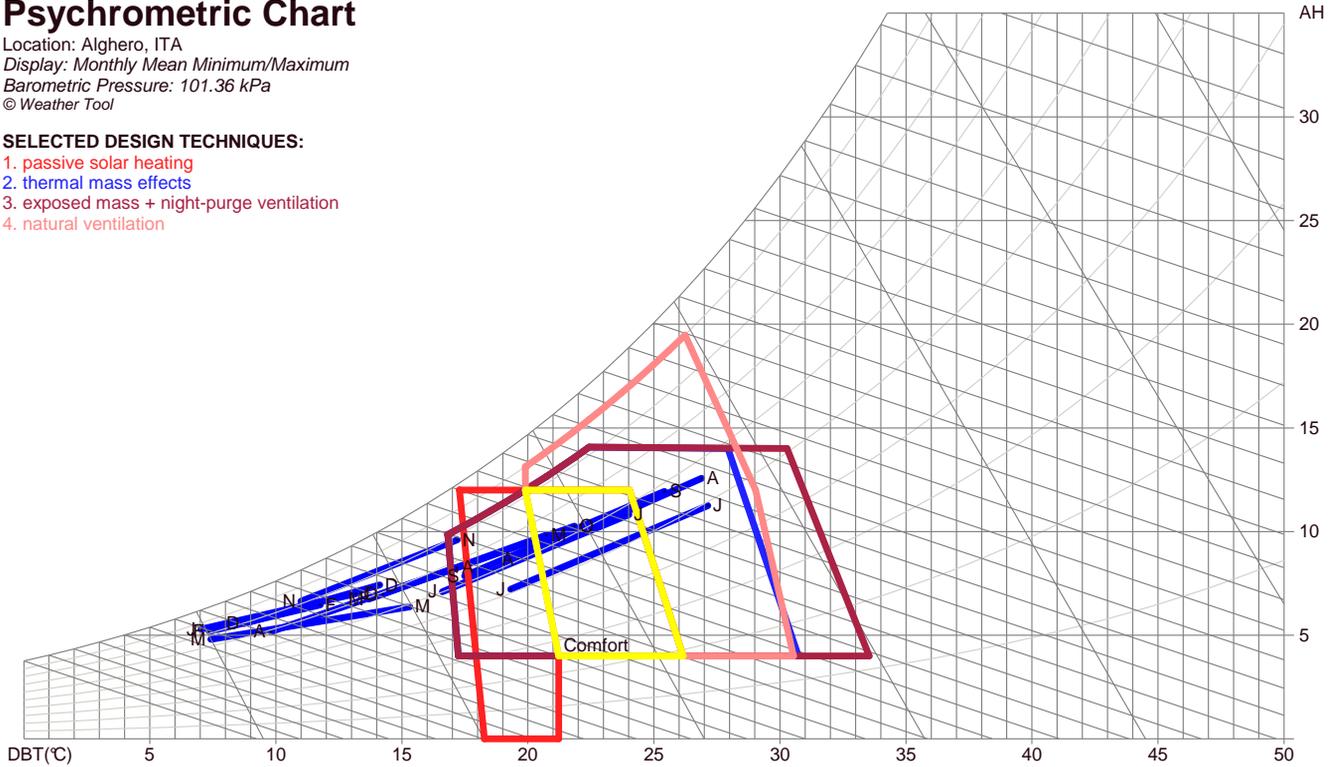
Diagramme psychrométrique de Bangalore, zones de confort et potentiels de rafraîchissement

### Psychrometric Chart

Location: Alghero, ITA  
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum  
 Barometric Pressure: 101.36 kPa  
 © Weather Tool

**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. passive solar heating
- 2. thermal mass effects
- 3. exposed mass + night-purge ventilation
- 4. natural ventilation



Le climat est typiquement méditerranéen. Les pluies sont concentrées entre l'automne et l'hiver. Les étés sont chauds et secs et les hivers sont tempérés. La localité de Pattada se trouve dans le centre de la Sardaigne à 800m NGF. La présence d'un grand lac artificiel à côté de la ville influence le microclimat du site. Pour nos analyses climatiques, nous avons dû utiliser les données climatiques des villes voisines : Alghero et Olbia, deux villes côtières. On peut supposer que le climat de Pattada, sera plus froid en hiver. Les températures maximales estivales sont légèrement plus élevées et les nuits plus fraîches. Pour finir, l'humidité relative de la ville est légèrement moins élevée qu'à Olbia et Alghero.

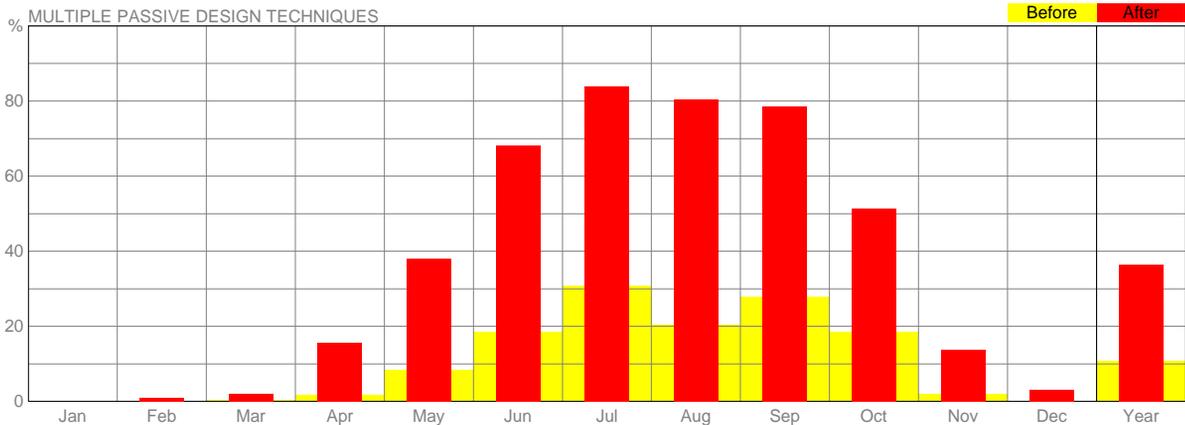
Le diagramme psychrométrique signale que les systèmes de rafraîchissement choisis (ventilation nocturne et exposition de la masse thermique) devraient bien s'adapter au climat du site. En réalité au début du projet il avait été prévu d'utiliser un système évaporatif direct. Ce système aurait comporté des investissements pour la centrale de contrôle et aussi en phase de projet il aurait été très difficile pour le bureau d'étude de simuler les flux d'air. Pour cette raison, la préférence a été d'utiliser un système plus simple et éventuellement contrôlable sans centrale climatique. De plus, vu le climat de Pattada et l'humidité relative du site, un système de rafraîchissement par ventilation nocturne contrôlé est plus adapté.

#### Comfort Percentages

NAME: Alghero  
 LOCATION: ITA  
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs  
 POSITION: 40.6°, 8.3°  
 © Weather Tool

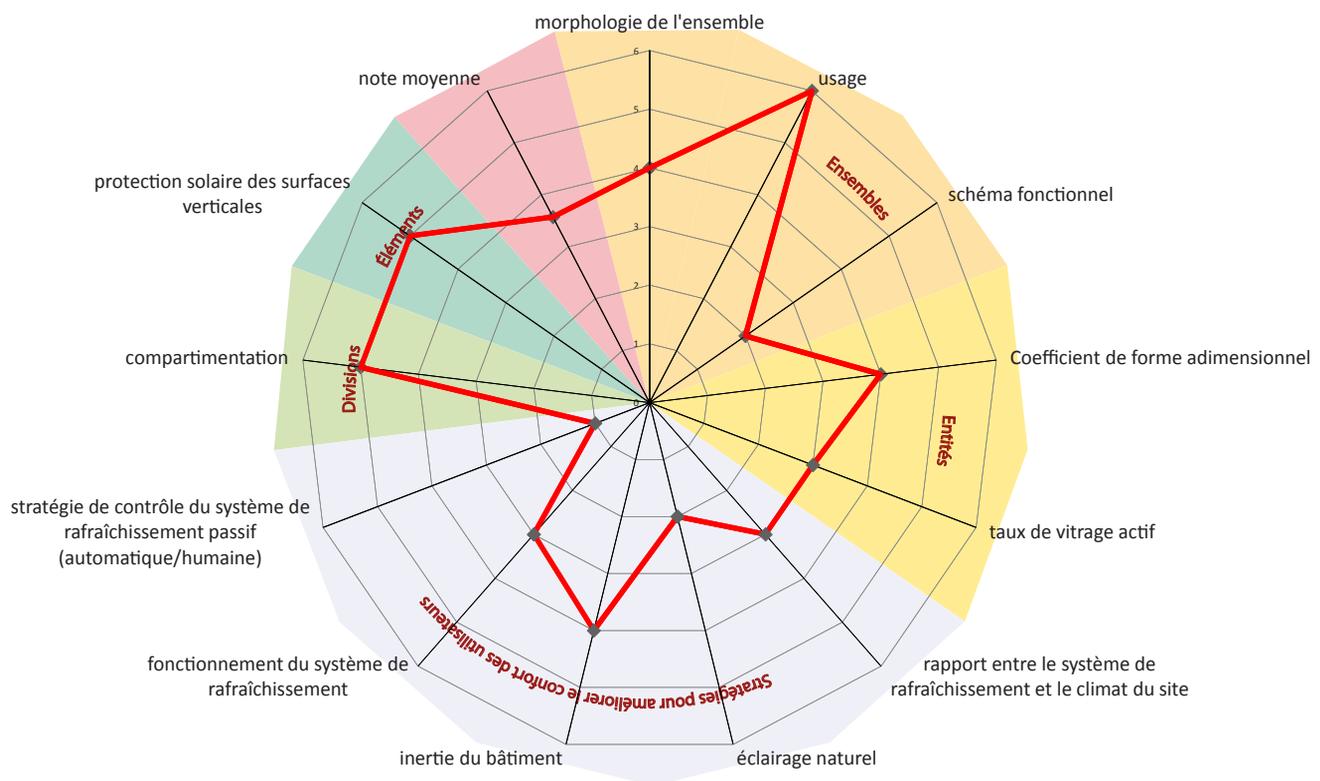
**SELECTED DESIGN TECHNIQUES:**

- 1. passive solar heating
- 2. thermal mass effects
- 3. exposed mass + night-purge ventilation
- 4. natural ventilation



## Graphe synthétique des dispositifs critiques

Projet d'habitation à Pattada, Sardaigne, Italie.



08 (5)

Il a été un peu difficile d'évaluer un projet qui n'existe que sur le papier, d'une part car toutes les erreurs possibles de la phase de réalisation ne sont pas évaluables, d'autre part car le projet est resté un simple APD et attend d'être développé dans sa partie d'exécution. Il est intéressant de souligner que suite à cette analyse le projet devrait être modifié. L'éclairage est déficitaire et plusieurs autres détails peuvent être problématiques. Ainsi, il en ressort surtout des points auxquels il faudra faire attention en phase d'exécution.

Les points critiques qui ressortent de nos analyses sont au nombre de deux : le schéma fonctionnel et la stratégie de contrôle des systèmes de rafraîchissement.

Le problème du schéma fonctionnel a été la volonté des clients d'avoir deux chambres au dernier étage, sous la toiture. Nous pouvons comprendre cette nécessité, mais les chambres en été ne seront pas confortables. Leur position trop en haut et la difficulté de rafraîchir par ventilation nocturne des chambres sera cause de surchauffes. Le problème du rafraîchissement nocturne pour une chambre à Pattada est que les températures la nuit peuvent descendre de plusieurs °C. La température minimale absolue en juillet peut atteindre les 6°C et la moyenne des minimales est d'environ 15,6°C, tandis que les températures maximales absolues dans la journée peuvent atteindre les 40°C et les moyennes des maximales est de 29,7°C (températures enregistrées à Ala dei Sardi, village voisin.) (MENNELLA, 1973). Des températures aussi basses sont source d'inconfort pour une personne qui dort dans la chambre. De plus, les courants d'air peuvent nuire au sommeil. Ces problèmes rendent les chambres presque impossibles à rafraîchir.

Un deuxième problème très important a été le changement du système de contrôle. Par volonté de simplification, il a été prévu de passer d'un système de contrôle automatique à un système de contrôle manuel. Ce changement comporte des nouvelles contraintes. Les ouvrants actuellement prévus dans le projet ne sont pas complètement protégés de la pluie, ni du vent qui peut être assez violent. Vu ce changement il faudrait ré étudier complètement la position et le mode de fonctionnement des ouvrants pour la ventilation nocturne. Ces changements n'ont pas été apportés et ils seraient extrêmement nécessaires, faute de quoi le système de rafraîchissement nocturne ne pourra pas fonctionner.

# Analyse systémique

## Implantation

Le bâtiment se trouve dans la ville de Pattada, à une altitude de 800m environ. Le site est sur un terrain en grande pente. La façade sur rue est exposée au nord et celle qui s'ouvre sur la vallée est exposée au sud.

Le bâtiment se trouve à flanc de colline. Le projet de réhabilitation ne peut pas influencer l'implantation. Le bâtiment s'ouvre sur la vallée et la campagne au sud. La petite façade au nord donne sur une rue à grande circulation. Entre la rue au nord et la façade au sud, le dénivelé est de 5 mètres environ.

L'orientation est optimale, avec la façade principale exposée au sud et la façade sur rue exposée au nord.

## Usage

Le bâtiment abrite une famille composée de 5 membres. Les usagers sont très sensibles aux problèmes environnementaux et ont demandé de réaliser une réhabilitation/extension «écologique» de leur habitation. Ce type d'usage s'il s'accompagne d'une bonne stratégie de rafraîchissement et d'une sensibilité de ses occupants s'avère très adapté aux systèmes de rafraîchissement passifs.

Le seul obstacle pourrait venir des besoins de sécurité des usagers. Il est toujours délicat de proposer l'ouverture nocturne des fenêtres pour le rafraîchissement.

À ce sujet, il faudrait trouver des solutions techniques performantes et sécurisantes.

## Schéma fonctionnel

Suite à différentes réunions avec les clients, le programme a été modifié à plusieurs reprises. Les clients ont accepté l'idée de créer deux zones de jour, l'une au 2° étage et l'autre au RDC de manière à créer un salon d'été et un salon d'hiver. L'habitation était déjà en partie utilisée de cette manière, avec une grande cuisine/salle à manger au RDC et un salon au 1° étage. Les chambres sont concentrées au 1° étage, plus deux chambres sur la mezzanine du 2° étage. Cette conformation devrait favoriser la séparation «climatique» des espaces et la position des chambres dans la zone centrale garantit une bonne protection thermique.

La distribution interne a été étudiée pour permettre à la famille de profiter le plus possible de différents espaces «climatiques». Le plus difficile a été de convaincre les clients de changer leurs idées préconçues. Leur demande était de garder l'entrée de l'habitation inchangée et d'utiliser le RDC et le 1° étage pour les espaces de vie. D'une part, ils y étaient habitués, d'autre part ils souhaitaient avoir leurs chambres en hauteur. Suite à plusieurs réunions, nous avons trouvé un compromis plaçant les deux chambres au dernier étage. Cette solution n'est pas optimale, les deux chambres au dernier étage ne garantiront pas le confort en été, ni en hiver. Ce problème a été évoqué, mais cela n'a pas fait changer d'avis les clients.

## Morphologie du bâtiment

Le bâtiment sera très compact, avec une forme de parallélépipède.

Surface: 420 m<sup>2</sup>

Volume: 1.760 m<sup>3</sup>

Coefficient de forme adimensionnel : 4,27

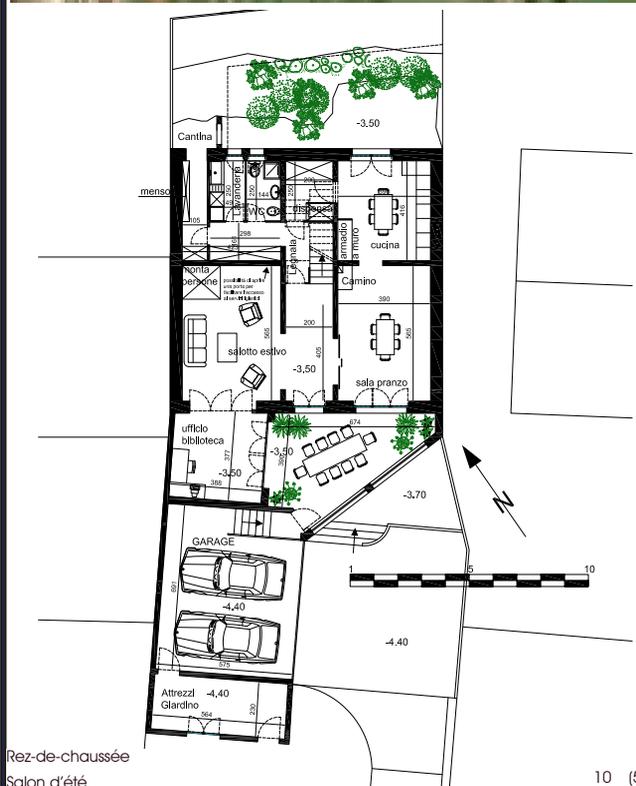
Taux de vitrage actif : 0,20 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Rapport S vitrées/S opaques : 0,15 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Les surfaces vitrées sont réduites par rapport aux surfaces opaques. À ce sujet, nous devons rappeler que le bâtiment a usage d'habitation et le besoin en lumière du jour est réduit par rapport à d'autres types d'activités.

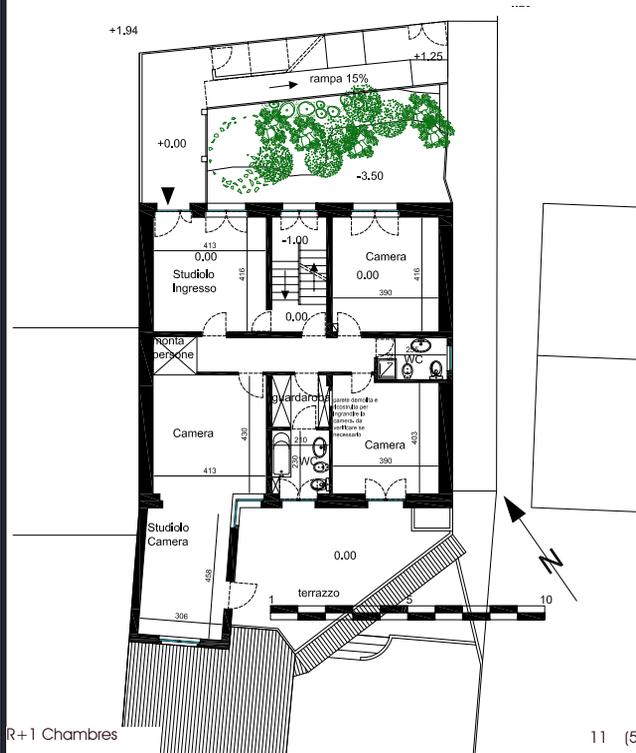


09 (1)



Rez-de-chaussée  
Salon d'été

10 (5)

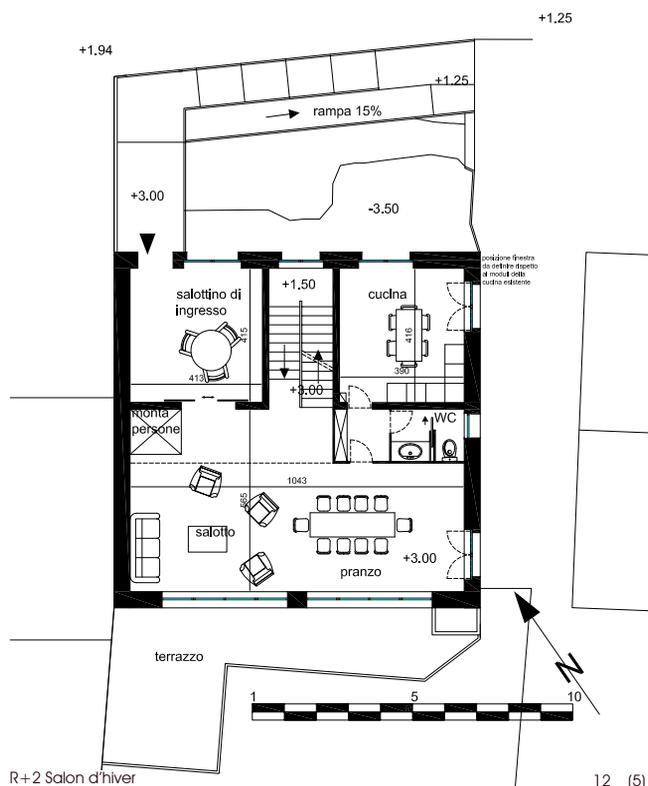


R+1 Chambres

11 (5)

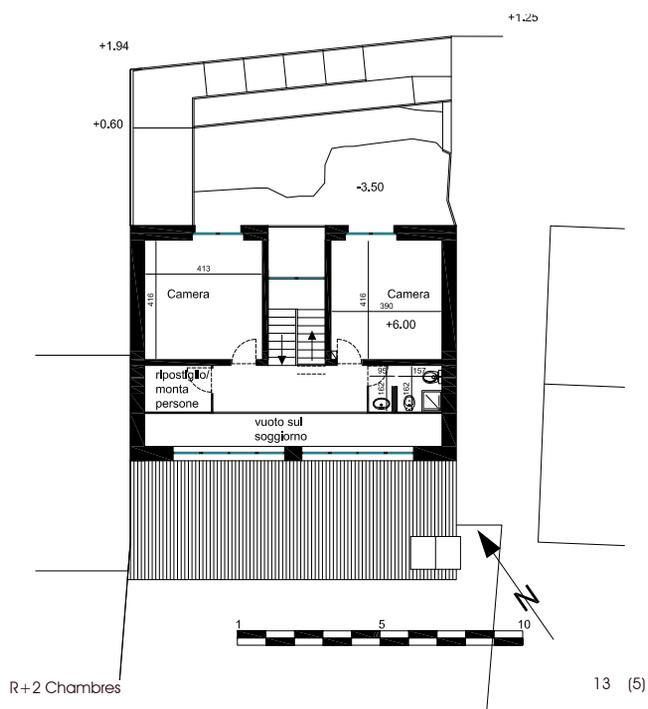
Ensembles

Entités



R+2 Salon d'hiver

12 (5)



R+2 Chambres

13 (5)



14 (5)

### Éclairage naturel

L'éclairage naturel est plus que suffisant aux 1° et 2° étage, mais au RDC il est déficitaire, à cause de la serre bioclimatique, qui devrait donner de bons apports solaires en hiver mais qui crée un double filtre entre l'extérieur et le salon-cuisine. C'est pour cette raison que des propositions étaient à l'étude pour installer des capteurs de lumière qui éclairent le salon au RDC.

### Système de rafraîchissement

Le système de rafraîchissement prévu était la ventilation naturelle et, quand nécessaire la ventilation nocturne contrôlée avec exposition de la masse thermique. La trémie de la cage escalier a été étudiée pour créer une cheminée verticale pour le tirage de l'air. Il a été prévu aussi la réalisation d'une cheminée évaporative, pour rafraîchir le salon du RDC, mais à cause des difficultés de réalisation et de contrôle de ce type de technologie le projet a été modifié et simplifié. L'air frais est capté sur la façade nord dans la zone où le terrain a été décaissé et par tirage naturel l'air est extrait par deux grands ouvrants dans la zone plus haute de l'immeuble, par des fenêtrons en position haute du salon du dernier étage. Les fenêtrons et les ouvrants devraient être contrôlés par une centrale, mais les clients préfèrent que ces systèmes d'ouverture aient un contrôle manuel. Cela pourrait induire un mauvais fonctionnement de tout le système. Le problème principal est de sécuriser et rendre inaccessibles les ouvrants nocturnes pour rassurer les clients et permettre une bonne utilisation du rafraîchissement passif.

Un autre souci est la volonté des clients de rajouter encore deux chambres au dernier étage. Ces chambres seront plus difficiles à rafraîchir surtout pendant les journées les plus chaudes et ensoleillées où le confort thermique ne sera pas maintenu. Étant un petit projet d'habitation, les clients pourront difficilement payer des simulations de fluides aptes à vérifier le fonctionnement du système, ce qui peut nuire à la réussite du projet. Un autre problème pour notre évaluation est que le projet n'est pas encore réalisé. Nous avons remarqué que très souvent les bâtiments terminés rencontrent des problèmes suite à l'achèvement des différents dispositifs : étanchéité faible, problèmes aux ouvrants, ... ce qui ne peut pas vraiment être évalué.

### Fonctionnement du système de rafraîchissement

Le système de rafraîchissement fonctionne grâce aux ouvrants bas au nord et aux ouvrants motorisés haut au sud.

Le fonctionnement nocturne est très simple, mais il est impératif de soigner l'aspect technique, en particulier l'étanchéité à l'air et le fonctionnement des ouvrants motorisés.

De plus, il faut bien travailler sur l'impact psychologique pour les clients. Souvent l'idée de laisser des fenêtres ouvertes toute la nuit peut faire peur aux usagers. Il faut prendre en considération ces craintes et trouver des solutions techniques rassurantes.

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Le système devrait être contrôlé par une centrale de contrôle automatique, mais les clients préfèrent un système de contrôle manuel.

Le contrôle manuel ne pose aucun problème quand il s'agit d'utiliser la ventilation directe, mais si on veut rafraîchir par ventilation nocturne, une centrale de contrôle serait nécessaire. Les conditions météo nocturnes peuvent changer (vent, pluie ...) et imposeraient au client de veiller à ce qu'il ne se passe rien de spécial. Ces problèmes vont sûrement conduire à une utilisation du système de rafraîchissement de manière incorrecte, ou bien il aurait fallu changer le projet des ouvertures permettant la ventilation nocturne.

### Inertie du bâtiment

Le bâtiment original est très inerte, l'objectif est de garder et d'exposer l'inertie thermique au flux d'air. Le bâtiment sera isolé par l'extérieur, sauf sur le côté est où c'est impossible à cause de la route adjacente trop étroite.

L'isolation thermique par l'extérieur permet de conserver au mieux la masse thermique.

### Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Murs en maçonnerie de grande épaisseur et isolation par l'extérieur quand c'est possible.

Les murs sont en pierre calcaire, ce qui donne une bonne masse thermique, mais une mauvaise résistance. Pour résoudre ce problème, il a été prévu d'isoler le bâtiment par l'extérieur.

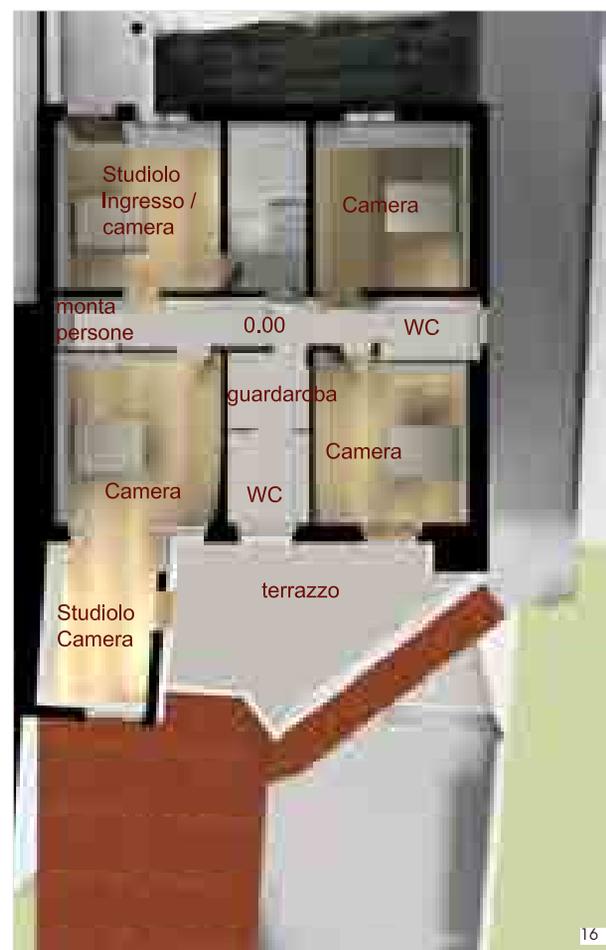
### Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Toiture en tuiles et charpente en maçonnerie

Pour réduire les apports thermiques et réduire les déperditions, il a été prévu d'isoler la toiture avec 30cm d'isolant en fibres naturelles, avec deux densités différentes pour améliorer le confort d'été. De plus, il a été décidé de réaliser la toiture avec une dalle maçonnée isolée par l'extérieur, pour augmenter la masse thermique.

### Compartimentation

Les chambres sont cloisonnées. Les salons sont directement ouverts vers la cage d'escalier.





### Protection solaire

Les surfaces verticales vitrées sont toujours protégées par des volets persiennes en bois.  
Il a été choisi ce type de protection solaire pour éviter les apports dus à la radiation solaire indirecte. Le problème rencontré est que ce type de protection réduit, quand les volets coulissants sont fermés, énormément l'éclairage.

### Surfaces vitrées

Double vitrage basse émissivité.  
Toutes les menuiseries seront changées et des double vitrage seront installés.  
Le problème de l'étanchéité devra être traité avec grand soin.

Taux de vitrage actif :  $0,20 \text{ m}^2/\text{m}^2$   
Rapport S vitrées/S opaques :  $0,15 \text{ m}^2/\text{m}^2$

### Surfaces opaques

Les murs en blocs de pierre calcaire seront isolés par l'extérieur.  
L'isolation en fibres de bois traitées sera protégée par un mur en bricks habillé avec de la pierre. Cette technique un peu coûteuse et compliquée a été demandée expressément par les clients.

Le problème de ce type de matériel est sa capillarité qui favorise les remontées d'humidité. Pour éviter ce problème, l'actuelle dalle du RDC sera modifiée et aérée. Cela devrait réduire les nuisances dues à l'humidité. Malheureusement, ces travaux réduiront la masse thermique de la dalle du RDC.

### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Il sera prévu des ouvrants au RDC et au dernier étage pour réaliser la ventilation nocturne.  
Le problème le plus important est de travailler sur l'impact psychologique pour les clients. Souvent l'idée de laisser des fenêtres ouvertes toute la nuit peut faire peur aux usagers. Il faut prendre en considération ces craintes et trouver des solutions techniques rassurantes.

De plus dans le projet il faut pouvoir isoler les chambres du flux d'air. Pattada est à 800m de hauteur et souvent la nuit la température en été descend en dessous du seuil d'inconfort.



## État actuel et condition d'utilisation

Nous ne pouvons pas apporter des informations à ce sujet, par contre vu l'état actuel du projet nous pouvons imaginer que les systèmes de rafraîchissement devraient garantir le confort thermique des usagers, mais il risque de ne pas fonctionner du tout à cause de la composante humaine.

Vu la difficulté à faire fonctionner ce système de contrôle du rafraîchissement, il ne sera pas simple de l'utiliser, car le refus des clients d'utiliser un contrôle automatique rend l'usage assez laborieux.

Pour pouvoir adapter le projet, prévu pour un contrôle automatique des ouvrants, à un projet avec un contrôle manuel il faudrait changer complètement le type d'ouvrants, car avec un contrôle automatique le système générerait les mutations climatiques extérieures, vent, pluie, etc. et ouvrirait et fermerait les fenêtres selon la nécessité.

Avec un contrôle manuel les ouvrants doivent être protégés mieux, pour éviter que la pluie puisse causer des dégâts et le vent, assez violent en Sardaigne, puisse engendrer de l'inconfort et du bruit.

## Analyse architecturale

Le projet a été conçu avec l'objectif déclaré de réaliser un bâtiment avec une grande efficacité énergétique, à travers l'utilisation des technologies pour le rafraîchissement passif.

L'idée à la base du projet était de réduire la grande consommation énergétique actuelle, assainir la maison existante, qui souffrait d'importants problèmes, changer l'aspect de la maison et en augmenter la surface.

Les matériaux devront être naturels et écologiques. Le cahier des charges réalisé avec les clients prévoyait aussi de réaliser des nouvelles chambres et rendre plus confortables les escaliers de la maison.

L'idée était aussi d'utiliser des matériaux locaux, comme le granite en façade. Le bâtiment aurait dû avoir un aspect contemporain, mais pas trop poussé, en particulier la volonté des clients était d'utiliser les tuiles rouges pour la toiture, la façade aurait dû être traitée avec l'usage de la pierre et les menuiseries et volets en bois. Ces choix très clairs ont mené à un projet d'extension avec un langage architectural simple et assez classique. Pour ce qui regarde le schéma fonctionnel, il a été décidé de s'inspirer de l'architecture vernaculaire méditerranéenne. Il a été créé un salon d'hiver au dernier étage et un salon d'été au RDC. Cette configuration permet de 'vivre' la maison selon la saison. Les chambres auraient dû être toutes à l'étage intermédiaire, mais la volonté des clients d'avoir des chambres dans la partie la plus haute de la maison a comporté des changements, non résolus du point de vue bioclimatique.

Pour ce qui regarde l'intégration des systèmes de rafraîchissement il a été choisi de réaliser une cheminée de rafraîchissement par évaporation visible sur la façade sud du bâtiment.

La cheminée a été intégrée dès le début de la conception architecturale. Ensuite, la préférence a été de ne plus se servir du système évaporatif, mais la cheminée a été conservée pour garantir l'extraction d'air dans le salon d'été. De plus, nous avons cherché à donner la possibilité de ventiler la nuit seulement le salon d'été, isolant le reste de la maison, pour permettre aux usagers de mieux moduler les zones à rafraîchir.

La volonté de garder la cheminée d'extraction d'air et de l'habiller de manière particulière pour la souligner dans le design de l'ensemble nous a permis de donner un niveau de 4 par rapport à l'intégration des systèmes de rafraîchissement.



## Aspects positifs et leçons à retenir



Il est presque impossible de donner une réponse sur les aspects positifs d'un bâtiment non réalisé. Un bon projet ne suffit pas pour définir un succès. Nous avons souvent vu comme des détails mal réalisés peuvent empêcher le système bâtiment de fonctionner.



## Aspects négatifs et leçons à retenir

Au contraire des aspects positifs qui ne sont pas évaluable, nous pouvons en partie répondre à des aspects négatifs, des erreurs du projet qu'il faudrait revoir ou réétudier.

Comme nous l'avons vu dans l'analyse au-dessus il y a principalement deux aspects qu'il faudrait corriger : le schéma fonctionnel et le système de ventilation nocturne.

Les aspects les plus significatifs sont :

Le schéma fonctionnel. Le choix des clients de vouloir des chambres en mezzanine au dernier étage amènera sans doute des problèmes d'inconfort. Ces deux chambres ne pourront pas être rafraîchies par ventilation nocturne. Le problème aurait dû être résolu de manière différente. La ventilation n'est pas la meilleure solution pour rafraîchir des chambres, cela impose de changer de système de rafraîchissement pour ces deux pièces. Le choix est vaste, mais il ne demeure pas simple de trouver une solution à ce problème. L'idéal serait de rafraîchir les chambres par un sol rafraîchissant, mais la question se poserait sur la 'nécessité' de réaliser un système de rafraîchissement complexe pour seulement deux chambres. La seule solution envisageable serait de ne pas positionner des chambres au dernier étage.

Ouvrants pour la ventilation nocturne. Le projet a été pensé pour être rafraîchi par ventilation nocturne. Les ouvrants auraient dû être contrôlés par une centrale de contrôle reliée à une centrale météo. Ce n'est pas une technologie très compliquée, mais la centrale est un appareil délicat qui a besoin d'un minimum de suivi. Les clients ont donc demandé de passer à un contrôle manuel. Pour un tel changement, il aurait fallu modifier complètement les ouvrants pour la ventilation nocturne. Les nouveaux ouvrants auraient dû être protégés du vent et de la pluie. Si ces modifications n'étaient pas apportées, tout le système ne fonctionnera pas. Les usagers n'ouvriront pas les fenestrons le soir s'il existe un risque de dégâts causés par l'eau ou d'inconfort dû au vent violent.



## Bibliographie

---

Google Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.

MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.

MENNELLA Cristofaro Il Clima D'italia [Livre]. - Napoli : Fratelli Conte Editori, 1973. - Vol. III : 3 : p. 832.

Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.

U.S. Department of Energy EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

Wikipedia Pattada [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 31 12 2010. - 20 04 2011. - <http://it.wikipedia.org/wiki/Pattada>.

## Sources des illustrations

---

1. Google. Google Maps. Google. [En ligne] Google, 2011. [Citation : 10 04 2011.] <http://maps.google.fr>.
2. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
3. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data. EnergyPlus. [En ligne] 11 03 2011. [Citation : 25 01 2011.] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
5. CADONI, Gianluca Architecte. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.



### **1.1 Les bâtiments analysés**

Nous avons réuni dans une grande planche graphique la synthèse des analyses faites. Cela d'une part permet de voir d'un seul regard tous les bâtiments analysés, d'autre part, nous permet de donner des premières évaluations et prescriptions au concepteur.

Comme nous pourrons voir dans cette planche nous ferons apparaître les 14 bâtiments, les analyses architecturales et les analyses des dispositifs critiques. Cela sera une synthèse du travail, le lecteur qui voudra avoir des informations plus détaillées pourra les trouver dans la base des données et dans les fiches des bâtiments.

Cette synthèse nous a permis de souligner les solutions positives remarquables, ainsi que les erreurs à éviter. Cela permet au concepteur de découvrir rapidement les erreurs commises par d'autres architectes, qui ont réalisé des bâtiments rafraîchis passivement et de découvrir des idées innovantes ou des simples astuces, desquelles prendre inspiration.

De plus, cette planche nous permet de voir la grande variété des langages architecturaux des bâtiments analysés.

Cette vision d'ensemble nous permet aussi de faire une remarque très importante : il semble clair, de l'analyse des logos typo/topologiques et des logos synthétiques, qu'il n'existe pas une 'forme' architecturale ou une morphologie des systèmes de rafraîchissement qui pourrait garantir un succès majeur, par rapport aux autres. Nous remarquons que c'est toujours fondamental que l'ensemble du système bâtiment soit équilibré, pour réaliser un projet qui fonctionne.

Il est clair, au contraire, que certaines typologies de systèmes de rafraîchissement permettent une plus grande liberté au concepteur. Cela ressort des images des projets et des logos typo/topologiques. Des systèmes de rafraîchissement qui exploitent des cheminées par espace rafraîchi accordent au concepteur une liberté 'formelle' accrue par rapport à des systèmes qui exploitent les espaces de transition. D'autre part, réaliser des cheminées pour rafraîchir chaque espace rafraîchi comporte sans aucun doute des frais supplémentaires, par rapport à l'utilisation de l'effet cheminée de la trémie de la cage escalier (espace de transition) pour améliorer la ventilation.

Cette grande planche nous donne une vision d'ensemble sur notre travail avant de démarrer le paragraphe suivant : l'analyse des résultats.

## Règles

Il n'existe pas une 'forme' architecturale ou une morphologie des systèmes de rafraîchissement qui pourrait garantir un succès majeur, par rapport aux autres.

Certaines typologies de systèmes de rafraîchissement donnent au concepteur une plus grande liberté, mais elles entraînent des frais supplémentaires.

Il est fondamental que l'ensemble du système bâtiment soit équilibré, pour réaliser un projet qui fonctionne.

# Légende

## Notes des dispositifs

- 6 Optimisé
- 5 Performant
- 4 Actif
- 3 Neutre
- 2 Pénalisant
- 1 Critique

## Détails remarquables

Solutions innovantes à réemployer

Incohérences graves à ne pas répéter

\* Les notes ont été attribuées suivant la méthodologie systématique précédemment énoncée. C'est-à-dire que chaque dispositif a été évalué selon son contribution au fonctionnement du système bâtiment. Un dispositif identique, ou presque, pourra recevoir une note négative dans un bâtiment ou positive dans un autre.

\*\* Nous avons souligné les solutions les plus remarquables, positives ou négatives. Nous voudrions donner au concepteur des instruments pour éviter des erreurs banales et pour lui permettre de s'inspirer des solutions innovantes que nous avons rencontrées.

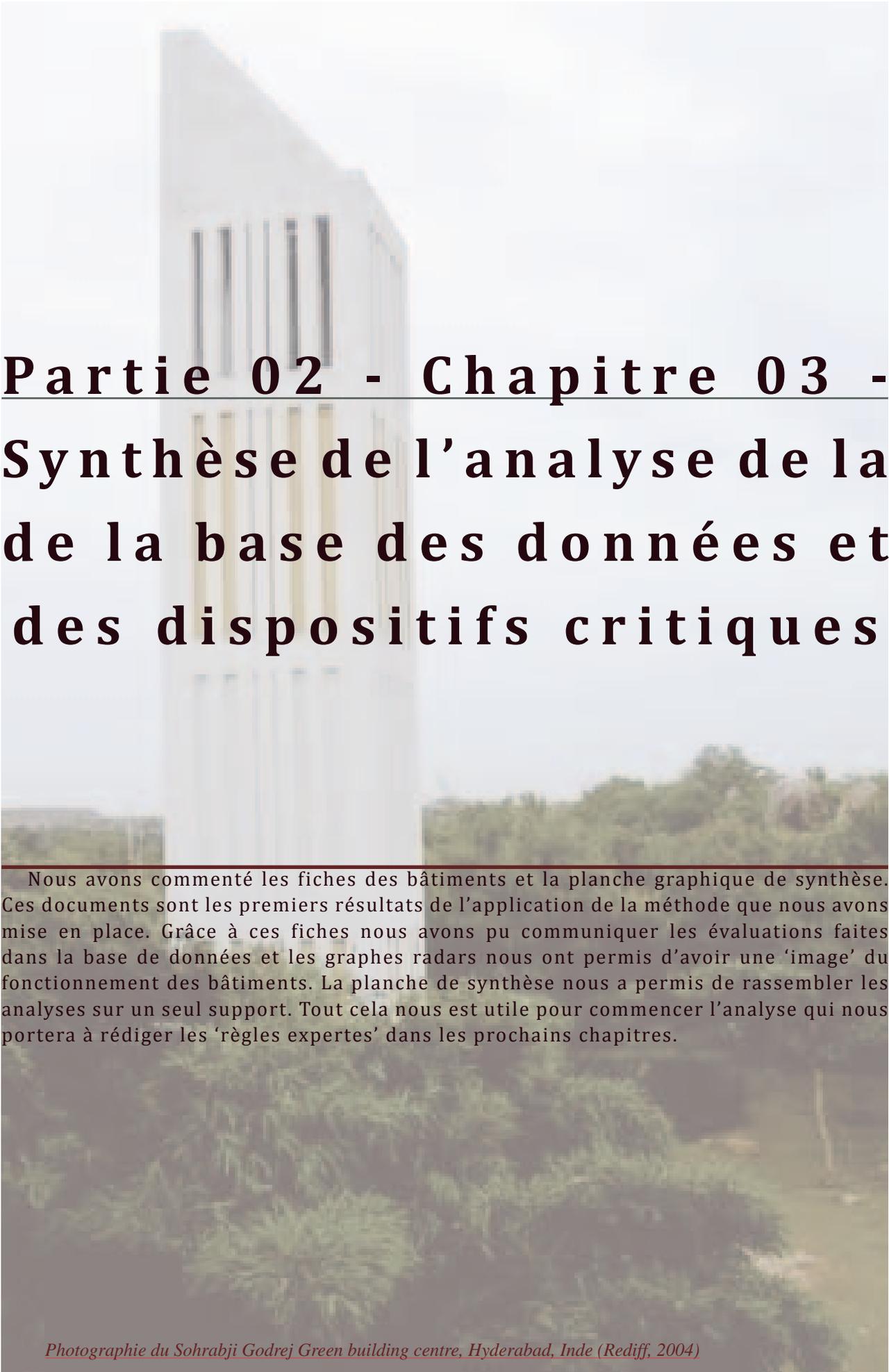
# Bâtiments

|  | Analyse architecturale et morphologique  | Ensembles  | Entités  | Stratégies pour améliorer le confort des utilisateurs  | Divisions  | Éléments   | Remarques  |   |  |  |   |  |   |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|---|--|---|--|--|
| <b>Bâtiment pour les bureaux (Guzzini &amp; Recanatì)</b><br>Intégrés niveau 1. L'objectif de l'architecte est de créer une ballistima architectura (Elisabeth Francis MC A)   | Niveau d'intégration visible des systèmes de rafraichissement dans l'architecture<br>Logo hypo/topologique<br>Logo synthétique | Morphologie de l'ensemble<br>L'ensemble est composé d'un seul bâtiment en forme de parallélépipède.  | Usage<br>La fonction, comprise des nécessités de représentation qui sont en contradiction avec les stratégies bioclimatiques.                                      | Schéma fonctionnel<br>Le schéma fonctionnel est très efficace. Le patio, autour duquel se développent toutes les circulations, fait fonction de cheminée.                              | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le bâtiment est très compact.  | Taux de vitrage actif<br>Les grandes surfaces vitrées peuvent rendre nulles les stratégies bioclimatiques adoptées par l'architecte.                     | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système choisi s'adapte au climat. De plus, le diagramme ne tient pas compte des apports internes.   | Éclairage naturel<br>Les façades vitrées orientées nord-sud permettent l'utilisation de la lumière du jour dans les bureaux.  | Inertie du bâtiment<br>La masse thermique est localisée sur les planchers et plafonds qui sont directement exposés au flux d'air.  | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>L'air rentre par des ouvertures dans la partie basse sur la façade. L'ouverture est automatique.  | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de VNC est géré par une centrale de contrôle. L'ouverture et la fermeture des fenêtres sont automatiques.   | Compartimentation<br>Les parties du bâtiment rafraichies passivement ne sont pas compartimentées.  | Protection solaire des surfaces verticales<br>Le bâtiment est protégé du rayonnement solaire par les brises soleil. La forme et la position des brises soleil ont été bien étudiées.                          | Aspects positifs<br>In autre aspect positif est le schéma fonctionnel. L'architecte utilise le patio central comme lieu de circulations verticales et horizontales.  | Aspects négatifs<br>L'usage, bâtiment de direction, la demande de performances est trop élevée pour le système de rafraichissement. L'autre point noir est la taille des parois vitrées.                         |
| <b>Lycée français Charles de GAULLE à Damas</b><br>Appareillés niveau 3. Le système de ventilation a un objectif pédagogique et demande la participation active des élèves.  | Cheminées<br>Espace de transition  | Morphologie<br>Épars. Le bâtiment se présente comme une série de pavillons de deux niveaux.  | Usage<br>La fonction scolaire est très adaptée à un bâtiment rafraichi passivement pendant les mois les plus chauds, le bâtiment est ferme.                        | Schéma fonctionnel<br>Il se peut qu'en hiver les galeries couvertes, mais ouvertes vers l'extérieur puissent causer de l'inconfort.  | Coefficient de forme adimensionnel<br>Les petits pavillons sont en forme de parallélépipède. Nous avons calculé le coefficient d'un pavillon.  | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré.   | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraichissement devrait garantir le confort des usagers toute l'année.  | Éclairage naturel<br>Les fenêtres à est sont bien protégées par les grands rideaux extérieurs qui couvrent les patios.  | Inertie du bâtiment<br>Le bâtiment est très inerte. Les arrivées d'air se font par des tuyaux intégrés dans la dalle.  | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Les cheminées solaires garantissent l'extraction de l'air, les armées d'air se font par les patios ombragés et riches en végétation.                                | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Humaine. La fonction pédagogique adoptée par l'architecte convient bien à l'usage scolaire du bâtiment.  | Compartimentation<br>Les parties du bâtiment rafraichies passivement ne sont pas compartimentées.  | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les protections solaires sont efficaces et bien étudiées. La seule remarque est la nécessité d'entretien des stores extérieurs.                                 | Aspects positifs<br>Les tous de rafraichissement exploitant la masse thermique du sol. Les usagers sont invités à utiliser les cheminées de ventilation, la double toiture.  | Aspects négatifs<br>L'absence d'isolation thermique dans les murs. La durabilité des stores extérieurs qui servent de protections solaires des façades et des patios.  |
| <b>Sandra Day O'Connor Fédéral Courthouse, Phoenix, Arizona</b><br>Intégrés niveau 1. Le projet de R. MEIER est l'un en symbole de transparence, la grande place au fond de laquelle on trouve le tribunal fédéral...                        | Espace de transition<br>Cheminées  | Morphologie de l'ensemble<br>La morphologie du bâtiment est compacte, mais le volume couvert n'est pas véritablement compact, obligeant à rafraichir un volume énorme.                     | Usage<br>L'usage, avec une certaine élasticité, peut être adapté à d'autres systèmes de rafraichissement passifs.  | Schéma fonctionnel<br>L'entrée se situe sur la façade Est. La grande place vitrée (107mX46m) crée un lieu très présentatif, mais sujet à des apports solaires énormes.                 | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le bâtiment est très compact, mais la plus grande partie du volume n'est pas utilisé.  | Taux de vitrage actif<br>La quantité des surfaces vitrées est énorme.  | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système de rafraichissement choisi n'est pas suffisant pour garantir le confort des usagers. Le système utilise environ 13 000 l/d'eau.  | Éclairage naturel<br>L'un des objectifs de l'architecte était de maximiser la lumière du jour. Les parois vitrées comportent des apports thermiques trop élevés.  | Inertie du bâtiment<br>Les concepts de rafraichissement sont introduits tardivement. Il n'apparaît nulle part les choix faits pour améliorer l'inertie du bâtiment.  | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Les systèmes à haute pression d'air sont utilisés pour assurer un grand débit d'air et entretenir. De plus, les filtres doivent être changés chaque année.          | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de rafraichissement choisi est lié à la température et de humidité.   | Compartimentation<br>Les parties du bâtiment rafraichies passivement ne sont pas compartimentées.  | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les protections solaires ne sont pas adaptées pour résoudre le rapport aux grandes surfaces vitrées.  | Aspects positifs<br>Neantes  | Aspects négatifs<br>Le projet n'est pas du tout adapté au climat du site. Les solutions passives adoptées pour résoudre ce problème, non seulement ne constituent pas une solution réelle.                       |
| <b>Sohrabji Godrej Green building center, Hyderabad Inde</b><br>Visible niveau 4. Le bâtiment se présente comme un mélange entre esthétique traditionnelle indienne et un langage contemporain.  | Cheminées<br>Espace de transition  | Morphologie de l'ensemble<br>Semi-compacte. Le bâtiment est constitué d'un seul corps, mais il s'articule en plusieurs parties exposant des surfaces importantes vers l'extérieur.         | Usage<br>Le bâtiment a une fonction qui demande l'expression de concevoir un bâtiment bioclimatique. Le bâtiment a aussi une fonction pédagogique.                 | Schéma fonctionnel<br>Le bâtiment se développe avec un schéma radical à partir du patio central.   | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le coefficient de forme n'est pas très favorable.  | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré, tout en garantissant un bon éclairage naturel.                        | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système choisi, hybride avec la possibilité de rafraichir par évaporation ou par un système mécanique, est déterminé par les températures du site.                               | Éclairage naturel<br>Le bâtiment est conçu pour améliorer la pénétration de la lumière naturelle dans les usagers.  | Inertie du bâtiment<br>Tout le système de rafraichissement du bâtiment est basé sur la masse des inertes qui accumulent la chaleur pendant les heures fraîches. Les toitures végétalisées aident aussi.                    | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Le système peut fonctionner en pré-cooling combiné au rafraichissement direct.  | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de rafraichissement est géré par une centrale de contrôle. Cela est lié à la température et de l'humidité.  | Compartimentation<br>Vu la complexité du système de rafraichissement hybride utilisé, les compartimentations ne jouent pas un rôle négatif pour le rafraichissement.   | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les parties vitrées sont toujours protégées, soit par des casquettes, soit par les "Machabraya" réalisées en bois.  | Aspects positifs<br>Le principal aspect positif que nous pouvons remarquer c'est la grande flexibilité du système de rafraichissement choisi par l'architecte pour la perception des usagers.  | Aspects négatifs<br>Le coefficient de forme n'est pas très favorable, mais cela n'a pas une grande influence sur le fonctionnement du bâtiment.  |
| <b>Kenilworth Junior High School, Petaluma, CA, USA</b><br>Visible niveau 4. L'architecte a cherché à créer un campus avec des grands espaces entre les différents pavillons. L'aménagement paysager est assez classique.                    | Cheminées<br>Espace de transition  | Morphologie de l'ensemble<br>Pavillonnaire. L'ensemble est composé de différents pavillons reliés par des passages couverts extérieurs.  | Usage<br>Le bâtiment accueille une école. Les parties rafraichies passivement, par contre, ne s'adaptent pas très bien au rafraichissement évaporatif.             | Schéma fonctionnel<br>Le schéma fonctionnel est efficace surtout au printemps et à l'automne, mais en hiver et pendant les parcours extérieurs ne sont véritablement pas confortables. | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le coefficient de forme n'est pas favorable. De plus, nous avons pu calculer ce coefficient seulement en fonction aux bâtiments rafraichies passivement.   | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré.   | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système de rafraichissement choisi devrait garantir le confort des usagers. Le système utilise environ 13 000 l/d'eau.   | Éclairage naturel<br>L'éclairage a été optimisé pour ce qui regarde les classes. L'architecte a prévu des ouvrants de toiture exposés plein sud, ce qui est défavorable en d'été.                       | Inertie du bâtiment<br>La technique constructive utilisée pour réaliser les bâtiments rafraichies passivement ne garantit pas une masse thermique suffisante.  | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Le système de fermeture et d'ouverture des volets est très bruyant et dérange les utilisateurs des pièces. Les tours évaporatives ne s'adaptent pas à l'usage.      | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le problème réside dans le fait que les utilisateurs n'étaient pas informés des paramètres d'ouverture et fermeture des tours.                                   | Compartimentation<br>Les espaces rafraichies passivement ne sont pas compartimentés.   | Protection solaire des surfaces verticales<br>Présence de casquettes, mais les grandes fenêtres de toit exposées au sud ne sont pas du tout protégées.  | Aspects positifs<br>Il est très difficile de faire ressortir de vrais points positifs dans ce bâtiment. Nous pouvons dire est que le bâtiment est un bon exemple de mauvais projet.  | Aspects négatifs<br>D'une part, les problèmes techniques sont évidents. D'autre part, on trouve des problèmes d'adhésion de la part des usagers des systèmes de rafraichissement imposés.                        |
| <b>Department of Global Ecology, Stanford University, Stanford, CA, USA</b><br>Visible niveau 5. L'architecture est contemporaine et sobre. L'objectif de l'architecte était de réaliser une 'machine bioclimatique'.                        | Cheminées<br>Espace de transition  | Morphologie de l'ensemble<br>D'une part, les usagers sont très sensibles à l'adaptabilité du bâtiment. D'autre part, ce type de architecture comporte des apports thermiques élevés.       | Usage<br>D'une part, les usagers sont très sensibles à l'adaptabilité du bâtiment. D'autre part, ce type de architecture comporte des apports thermiques élevés.   | Schéma fonctionnel<br>Le schéma fonctionnel est bien adapté à l'usage et à la fonction de rafraichissement. Les causes de surchauffes ont été positionnées à l'extérieur.              | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le coefficient de forme est très favorable.  | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré, tout en garantissant un bon éclairage naturel.                        | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site et à l'usage. La contrainte est que la pénétration de la lumière du jour et réduire les apports thermiques estivaux.        | Éclairage naturel<br>L'usage a été étudié de manière très attentive pour améliorer le rafraichissement radiatif. La toiture aurait pu être réalisée avec des matériaux plus 'froids'.                   | Inertie du bâtiment<br>La masse thermique est bien répartie dans les murs. L'approche choisie pour améliorer la masse thermique pendant la nuit fût une brumée sur la toiture du bâtiment.                                 | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Le système de rafraichissement radiatif fonctionne de la même manière que pendant la nuit fût une brumée sur la toiture du bâtiment.                                | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de rafraichissement est géré par une centrale de contrôle. Cela est lié à la température et de l'humidité.  | Compartimentation<br>Au RDC les différents espaces sont divisés selon leur fonction. Au premier étage la présence de divisions réduit dans les bureaux la ventilation. | Protection solaire des surfaces verticales<br>Présence de casquettes et de réflecteurs. Les écrans solaires ont une double fonction d'améliorer la pénétration de la lumière et réduire la radiation directe. | Aspects positifs<br>Le département de global ecology est l'un des bâtiments les plus intéressants rencontrés. Le système de rafraichissement radiatif, schéma fonctionnel et éclairage sont exemplaires.                                     | Aspects négatifs<br>Les aspects négatifs sont très peu significatifs. Nous pouvons citer la technique constructive de la toiture et les bases masse thermique des murs extérieurs.                               |
| <b>BRE Office, Watford, England</b><br>Visible niveau 4. Certains matériaux renvoient à la 'tradition' industrielle de la parcelle. L'usage de matériaux de récupération est une fait partie de la communication du projet.                  | Cheminées<br>Espace de transition  | Morphologie de l'ensemble<br>L'ensemble est composé de deux barres. Une contenant les bureaux et l'autre contenant la salle des séminaires et la cafétéria.                                | Usage<br>L'usage s'adapte très bien à ce type de bâtiment. Les bureaux du BRE sont le lieu le plus adapté à la création d'un bâtiment expérimental.                | Schéma fonctionnel<br>La distribution interne est étudiée pour améliorer la flexibilité des espaces et garantir un bon confort thermique.  | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le bâtiment est semi-compact.  | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré.   | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Les systèmes de rafraichissement choisis par l'architecte sont adaptés pour garantir le confort des usagers même dans les périodes les plus chaudes.                                | Éclairage naturel<br>Le système mis en place est efficace. Par contre, selon les déclarations des usagers l'usage d'éclairage est trop faible.  | Inertie du bâtiment<br>Les dalles sinusoidales, la position des installations techniques ... tout a été étudié pour améliorer la masse thermique et exposer au flux d'air.   | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Tous les systèmes du bâtiment sont reliés à une centrale de contrôle qui ouvre les fenêtres, règle la température dans les pièces et oriente les brise-soleil, etc. | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de contrôle est extrêmement bien conçu et efficace. Il donne la possibilité aux usagers de contrôler la température et oriente les brise-soleil, etc. | Compartimentation<br>Pas de compartimentation dans les parties rafraichies passivement. Bien pour le rafraichissement, mais pas bon pour le bruit.                     | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les surfaces verticales vitrées sont toujours protégées par des brise-soleil venant orientable, gérés par la centrale de contrôle et manuellement.              | Aspects positifs<br>Le système de contrôle du bâtiment, qui est non seulement très efficace, mais aussi très astucieux. Les dalles sinusoidales, qui permettent d'exposer de la masse thermique.   | Aspects négatifs<br>L'isolation thermique ne nous semble pas être suffisante. La qualité de l'air. Les usagers ont une mauvaise perception de la qualité de l'air. La désinfection des nouveaux usagers.         |
| <b>Zion National Park Visitor Center, Zion National Park, UTH, USA</b><br>Visible niveau 4. Le visiteur perçoit immédiatement les caractéristiques du bâtiment, grâce aux tours de rafraichissement et l'usage de matériaux.                 | Cheminées<br>Espace de transition  | Morphologie de l'ensemble<br>Le centre et les tours sont rafraichies par des tours évaporatives. Les usagers de ces structures sont sensibles aux problèmes environnementaux.              | Usage<br>L'accès se fait dans le grand hall qui regroupe toutes les fonctions 'publiques'. Les deux tours encadrent l'entrée et ont une fonction de signalisation. | Schéma fonctionnel<br>Le schéma fonctionnel est bien adapté à l'usage et à la fonction de rafraichissement.  | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le coefficient de forme n'est pas très favorable. La forme du visitor center n'est pas régulière. L'division en deux bâtiments, n'est pas favorable à rafraichir un bâtiment avec ce type d'usage. | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré.   | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site et à l'usage. La contrainte est que la pénétration de la lumière du jour et réduire les apports thermiques estivaux.        | Éclairage naturel<br>Le système de rafraichissement choisi est très efficace. Le système mis en place est efficace. Par contre, selon les déclarations des usagers l'usage d'éclairage est trop faible. | Inertie du bâtiment<br>Les dalles sinusoidales, la position des installations techniques ... tout a été étudié pour améliorer la masse thermique et exposer au flux d'air.   | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Les tours évaporatives ne s'adaptent pas à l'usage.   | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de contrôle est extrêmement bien conçu et efficace. Il donne la possibilité aux usagers de contrôler la température et oriente les brise-soleil, etc. | Compartimentation<br>L'espace central 'public' open space favorise le rafraichissement, mais comporte aussi des problèmes de nuisances sonores.                        | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les casquettes sont efficaces, mais on n'a pas pris en considération la radiation diffuse solaire sur le mur trombe. Cela a causé des surchauffes.              | Aspects positifs<br>L'aspect le plus important dans ce bâtiment est le suivi des progrès de la réalisation de la partie d'un bureau d'étude, ce qui a permis de résoudre les problèmes et d'affiner les réglages du système.                 | Aspects négatifs<br>Les protections solaires sont inefficaces, ce qui provoque la réalisation de la radiation diffuse. Le sol de la grande pièce a été réalisé en béton, qui cause une réverbération très forte. |
| <b>Eastgate Center, Harare, ZIMBABWE</b><br>Visible niveau 4. L'architecte dans des entrevues a déclaré son 'goût' un peu gothique. Nous pouvons bien constater les aspects décoratifs dans ce bâtiment.                                     | Conduits<br>Espace de transition   | Morphologie de l'ensemble<br>Le bâtiment est très compact, pour amener la lumière au centre l'architecte a conçu une 'toute couverte' et ferme.  | Usage<br>Le centre et les tours sont rafraichies par des tours évaporatives. Les usagers de ces structures sont sensibles aux problèmes environnementaux.          | Schéma fonctionnel<br>Le schéma fonctionnel s'adapte bien à un système de ventilation. Les tours évaporatives des bureaux sont 'lourdes' et garantissent la masse thermique.           | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le coefficient de forme est favorable.   | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré.   | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site. Un détail à considérer est que pendant les heures d'usage, les heures du soir, la plus exposée au soleil, est très fermée. | Éclairage naturel<br>Le système de rafraichissement choisi est très efficace. Le système mis en place est efficace. Par contre, selon les déclarations des usagers l'usage d'éclairage est trop faible. | Inertie du bâtiment<br>Le bâtiment est conçu pour améliorer la pénétration de la lumière naturelle. Cela comporte un petit oiseau de rencontre entre les usages du centre.   | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Le système de rafraichissement est géré par une centrale de contrôle. Cela est lié à la température et de l'humidité.   | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de rafraichissement est géré par une centrale de contrôle. Cela est lié à la température et de l'humidité.  | Compartimentation<br>Les bureaux sont divisés par des consolutions d'air, il n'est pas nécessaire de passer des portes pour aller d'un bureau à l'autre.               | Protection solaire des surfaces verticales<br>Présence de casquettes sur toutes les faces exposées au soleil. Sur la façade principale les brise-soleil en béton sont étudiés pour éliminer l'apport solaire. | Aspects positifs<br>Le rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site. Le bâtiment utilise des apports thermiques très peu éclairés naturellement. L'absence de contrôle de la part des usagers des ouvertures en façade. | Aspects négatifs<br>L'isolation thermique ne nous semble pas être suffisante. La qualité de l'air. Les usagers ont une mauvaise perception de la qualité de l'air. La désinfection des nouveaux usagers.         |
| <b>CII Institute of Quality, Bangalore Inde</b><br>Visible niveau 5. Les systèmes de rafraichissement sont clairement reconnaissables. L'architecte a cherché à marier la tradition et la contemporanéité.                                   | Cheminées<br>Espace de transition  | Morphologie de l'ensemble<br>L'ensemble est composé par trois barres, deux le long des courbes de niveau et une qui coupe de manière transversale. Le bâtiment est de type semi-compact.   | Usage<br>Le bâtiment a une fonction qui nécessite de concevoir un bâtiment bioclimatique, il a aussi une fonction pédagogique envers les visiteurs.                | Schéma fonctionnel<br>Les espaces paysagés entre les deux barres sont assimilables à un patio. Cette zone est une petite oasis de rencontre entre les usages du centre.                | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le coefficient de forme n'est pas favorable.   | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré.   | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système choisi s'adapte assez bien au climat du site, mais, dans ces conditions climatiques, il aurait été plus intéressant d'exploiter aussi d'autres systèmes.                 | Éclairage naturel<br>Le système de rafraichissement choisi est très efficace. Le système mis en place est efficace. Par contre, selon les déclarations des usagers l'usage d'éclairage est trop faible. | Inertie du bâtiment<br>Le bâtiment est conçu pour améliorer la pénétration de la lumière naturelle. Cela comporte un petit oiseau de rencontre entre les usages du centre.   | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Le système de rafraichissement est géré par une centrale de contrôle. Cela est lié à la température et de l'humidité.   | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de rafraichissement est géré par une centrale de contrôle. Cela est lié à la température et de l'humidité.  | Compartimentation<br>Les parties du bâtiment rafraichies passivement ne sont pas compartimentées. Les locaux open-space permettent un bon passage de l'air.            | Protection solaire des surfaces verticales<br>Une autre cause des surchauffes est due aux mauvaises protections solaires. Le bâtiment est mal exposé, la façade principale est mal protégée.                  | Aspects positifs<br>Les tous de rafraichissement exploitant la masse thermique du sol. Les toitures végétalisées, les espaces aménagés et le patio paysagés riches en végétation.  | Aspects négatifs<br>Le système de contrôle manuel s'adapte mal à un usage de bureaux. Les protections solaires des façades ouest sont nécessaires.   |
| <b>Bedok Court, Singapore, SINGAPORE</b><br>Visible niveau 1. L'architecte a cherché à réunir les qualités de confort, de ventilation naturelle avec la densité d'un bâtiment de plusieurs étages.   | Ouvertures<br>Espace de transition   | Morphologie de l'ensemble<br>Le bâtiment n'est pas très compact. L'ensemble est formé par des barres en fragments. Considérant le type de climat, la solution morphologique est favorable. | Usage<br>Résidentiel. Le bâtiment a été conçu à partir d'un projet de conception socio climatique. Les appartements sont tous reliés aux corridors ouverts.        | Schéma fonctionnel<br>La typologie des appartements, ainsi que les loggias favorisent la ventilation transversale et la protection solaire.  | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le coefficient de forme est un peu élevé, cela est dû à la fragmentation des bâtiments et à la réalisation de plusieurs corps de bâtiments.  | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est un peu élevé.  | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le diagramme psychrométrique signale que le système de rafraichissement choisi est le plus système possible par rapport aux conditions climatiques.                                 | Éclairage naturel<br>Éclairage naturel suffisant, toutes les pièces ont une ou deux ouvertures.   | Inertie du bâtiment<br>Dans un climat équatorial, l'inertie du bâtiment est un problème, en particulier s'il est exposé au rayonnement solaire.  | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>La gestion est laissée complètement aux usagers. La conception architecturale pousse les usagers à utiliser le plus possible les vérandas.                          | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Il n'existe pas de vraie stratégie de contrôle. L'ouverture des fenêtres est gérée par les usagers selon leurs nécessités d'usage d'habitation.                  | Compartimentation<br>Les appartements traversent sans passage de l'air.  | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les surfaces verticales vitrées sont protégées du soleil. Protections pas suffisantes, les corridors ouverts sont exposés au soleil.                            | Aspects positifs<br>Le schéma fonctionnel des immeubles et des appartements, avec les grandes courbes permet de garantir une bonne ventilation. L'usage d'habitation.  | Aspects négatifs<br>Les protections solaires ne sont pas efficaces, la dalle des corridors est en partie exposée à la radiation solaire. Le système de rafraichissement choisi n'est pas assez efficace.         |
| <b>Malta Stock Exchange, La Valetta, MALTA</b><br>Visible niveau 4. Le langage architectural a l'intérieur est très contemporain, il rappelle la modernité d'un espace d'agence la bourse centrale de Malte.                                 | Espace de transition<br>Cheminées  | Morphologie de l'ensemble<br>Le bâtiment a la forme d'un parallélépipède pas très haut avec une toiture à deux pentes. Il est un bâtiment bioclimatique qui a pu modifier la volumétrie.   | Usage<br>Le bâtiment abrite la bourse de Malte. Ce type d'installation des circulations verticales et des espaces ouverts sur la circulation de l'air.             | Schéma fonctionnel<br>La distribution interne avec l'atrium qui recueille les circulations verticales et les espaces ouverts sur la circulation de l'air.                              | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le bâtiment est très compact.  | Taux de vitrage actif<br>Très difficile à calculer, car les surfaces sont directement influencées par les fenêtres sont celles du 11 <sup>e</sup> étage. | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Il est impossible d'être précis sur le taux de vitrage.   | Éclairage naturel<br>L'éclairage naturel est homogène, mais pas suffisant, à cause des écrans de protection solaire nécessaires pour éviter des surchauffes.  | Inertie du bâtiment<br>Le bâtiment original est très inerte, mais les planchers et les murs intérieurs, mus intermédiaires en métal et en bois. Cela n'offre pas une grande inertie sur les surfaces les plus importantes. | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Les problèmes de mauvaise réalisation et de maintenance ne nous permettent pas d'évaluer le système de rafraichissement.  | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>La centrale de contrôle automatique aurait dû synchroniser les trois modes de rafraichissement, mais le système n'a jamais fonctionné.                           | Compartimentation<br>Pas de compartimentation dans les parties rafraichies passivement, mais le problème du bruit est essentiel pour les usagers.                      | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les surfaces verticales vitrées sont toujours protégées par des brise-soleil en bois.   | Aspects positifs<br>Suite à notre analyse, il semble évident que des défauts de construction, qui auraient été résolus au moment de la construction, ont conduit au mauvais fonctionnement du bâtiment.                                      | Aspects négatifs<br>L'absence de masse thermique en toiture. Ce crédit d'impôt pour la réalisation de la stratification de l'air dans un auditorium. Des systèmes techniques ont été détaillés.                  |
| <b>Le nouveau bâtiment de l'université d'Ingénierie à Leicester, England</b><br>Visible niveau 4. Le projet des architectes Ford & Short a été conçu avec l'objectif déclaré de réaliser un bâtiment avec une grande efficacité énergétique. | Cheminées<br>Espace de transition  | Morphologie de l'ensemble<br>Mêle le bâtiment se présente en forme de parallélépipède.   | Usage<br>Nous avons pu constater à quel point les bâtiments universitaires s'adaptent bien à diffuser ce que nous pouvons définir comme une conscience écologique. | Schéma fonctionnel<br>Le schéma fonctionnel a été étudié depuis le début pour permettre la cohabitation de laboratoires et de fonctions complètement différentes.                      | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le coefficient de forme est un peu élevé, cela est dû à la fragmentation des bâtiments et à la réalisation de plusieurs corps de bâtiments.  | Taux de vitrage actif<br>Il est impossible d'être précis sur le taux de vitrage.   | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>La solution adoptée, les chambres au-dessus des bureaux, a été choisie car elle est la plus simple et la plus fonctionnelle.  | Éclairage naturel<br>Dans certains espaces de travail la lumière n'a pas été suffisante. Avoir mis un contrôle automatique à un contrôle manuel a entraîné une grande confusion.                        | Inertie du bâtiment<br>L'inertie du bâtiment est très inerte, l'objectif est de garder et de maintenir l'aspect bioclimatique de la serre bioclimatique.   | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Le système de VNC fonctionne de la manière la plus simple possible. Les fenêtres qui peuvent être ouvertes sont manuelles, celles en partie hautes sont motorisées. | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de VNC est géré par une centrale de contrôle. Cela est lié à la température et de l'humidité.   | Compartimentation<br>Les chambres sont cloisonnées. Les salons sont directement ouverts vers la salle à manger.  | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les surfaces verticales vitrées sont toujours protégées par des volets persiennés en bois.  | Aspects positifs<br>Usage est l'aspect traditionnel du succès de ce bâtiment. Ce crédit d'impôt pour la réalisation de la stratification de l'air dans un auditorium. Des systèmes techniques ont été détaillés.                             | Aspects négatifs<br>L'absence de masse thermique en toiture. Ce crédit d'impôt pour la réalisation de la stratification de l'air dans un auditorium. Des systèmes techniques ont été détaillés.                  |
| <b>Projet d'habitation à Pattada, Sardaigne, Italie.</b><br>Visible niveau 4. L'idée était d'utiliser des matériaux locaux, naturels et écologiques, comme le granite en façade. Le bâtiment aurait dû avoir un aspect contemporain.         | Espace de transition<br>Cheminées  | Morphologie de l'ensemble<br>Le bâtiment sera très compact, avec une forme de parallélépipède.   | Usage<br>Le bâtiment abrite une famille composée de 5 personnes. Les usagers sont très sensibles aux problèmes environnementaux.                                   | Schéma fonctionnel<br>La solution adoptée, les chambres au-dessus des bureaux, a été choisie car elle est la plus simple et la plus fonctionnelle.                                     | Coefficient de forme adimensionnel<br>Le bâtiment est compact.   | Taux de vitrage actif<br>Le rapport surface vitrée / surface active est équilibré.   | Rapport entre le système de rafraichissement et le climat du site<br>Le système de ventilation naturelle a été étudié pour éliminer le besoin de refroidissement. La ventilation nocturne pourrait être très performante.                                | Éclairage naturel<br>L'éclairage naturel est suffisant au 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>e</sup> étage. L'usage d'éclairage naturel est défavorable, à cause de la serre bioclimatique.                      | Inertie du bâtiment<br>Le bâtiment original est très inerte, l'objectif est de garder et de maintenir l'aspect bioclimatique de la serre bioclimatique.  | Fonctionnement du système de rafraichissement<br>Le système de VNC fonctionne de la manière la plus simple possible. Les fenêtres qui peuvent être ouvertes sont manuelles, celles en partie hautes sont motorisées. | Stratégie de contrôle du système de rafraichissement passif (automatique/humaine)<br>Le système de VNC est géré par une centrale de contrôle. Cela est lié à la température et de l'humidité.   | Compartimentation<br>Les chambres sont cloisonnées. Les salons sont directement ouverts vers la salle à manger.  | Protection solaire des surfaces verticales<br>Les surfaces verticales vitrées sont toujours protégées par des volets persiennés en bois.  | Aspects positifs<br>Il est presque impossible de donner une réponse sur les aspects positifs d'un bâtiment non réalisé. Un bon projet ne suffit pas pour définir un succès.  | Aspects négatifs<br>L'absence de masse thermique en toiture. Ce crédit d'impôt pour la réalisation de la stratification de l'air dans un auditorium. Des systèmes techniques ont été détaillés.                  |

# Sources des images

1. kicocomunicazione, MC Architects, 'Guzzini Headquarters building'. [En ligne] HBO, 2010. [Citation : 12 05 2010]. <http://www.kicocomunicazione.it/index.php?id=19&page=100>
2. OZ KM 817, Lycée Charles de Gaulle, Ateliers Lion. [En ligne] 20 03 2010. [Citation : 20 03 2010]. <http://www.dreiteil.com/charles-de-gaulle-lyon-swf/>
3. Richard MEIER, & partners architects LLP, et al. United States Courthouse, Phoenix, Richard MEIER & partners architects LLP. [En ligne] Richard MEIER & partners architects LLP [Citation : 05 12 2010]. <http://www.wichardmeier.com/www/#/projects/architecture/location/americas/united-states/1131/3/>
4. Indian Green Building Council (IGBC), Green Building - LEED - emt-India. [Online] 05 16, 2008. [Cited: 05 03, 2011]. <http://www.igbc.com/India/Presentations/2008/Indo-German-Symposium-15-16-May-2008/16-05-08-Presentations/MINDA.pdf>





## **Partie 02 - Chapitre 03 - Synthèse de l'analyse de la de la base des données et des dispositifs critiques**

Nous avons commenté les fiches des bâtiments et la planche graphique de synthèse. Ces documents sont les premiers résultats de l'application de la méthode que nous avons mise en place. Grâce à ces fiches nous avons pu communiquer les évaluations faites dans la base de données et les graphes radars nous ont permis d'avoir une 'image' du fonctionnement des bâtiments. La planche de synthèse nous a permis de rassembler les analyses sur un seul support. Tout cela nous est utile pour commencer l'analyse qui nous portera à rédiger les 'règles expertes' dans les prochains chapitres.



# 3. Synthèse du travail d'analyse de la base des données et des dispositifs critiques

## 1.1 *Méthode d'analyse des dispositifs*

Après avoir vu les fiches des quatorze bâtiments, nous allons analyser les différents dispositifs afin de faire ressortir les règles expertes, qui tireront leurs origines directement des analyses des motifs d'échec et de succès des bâtiments.

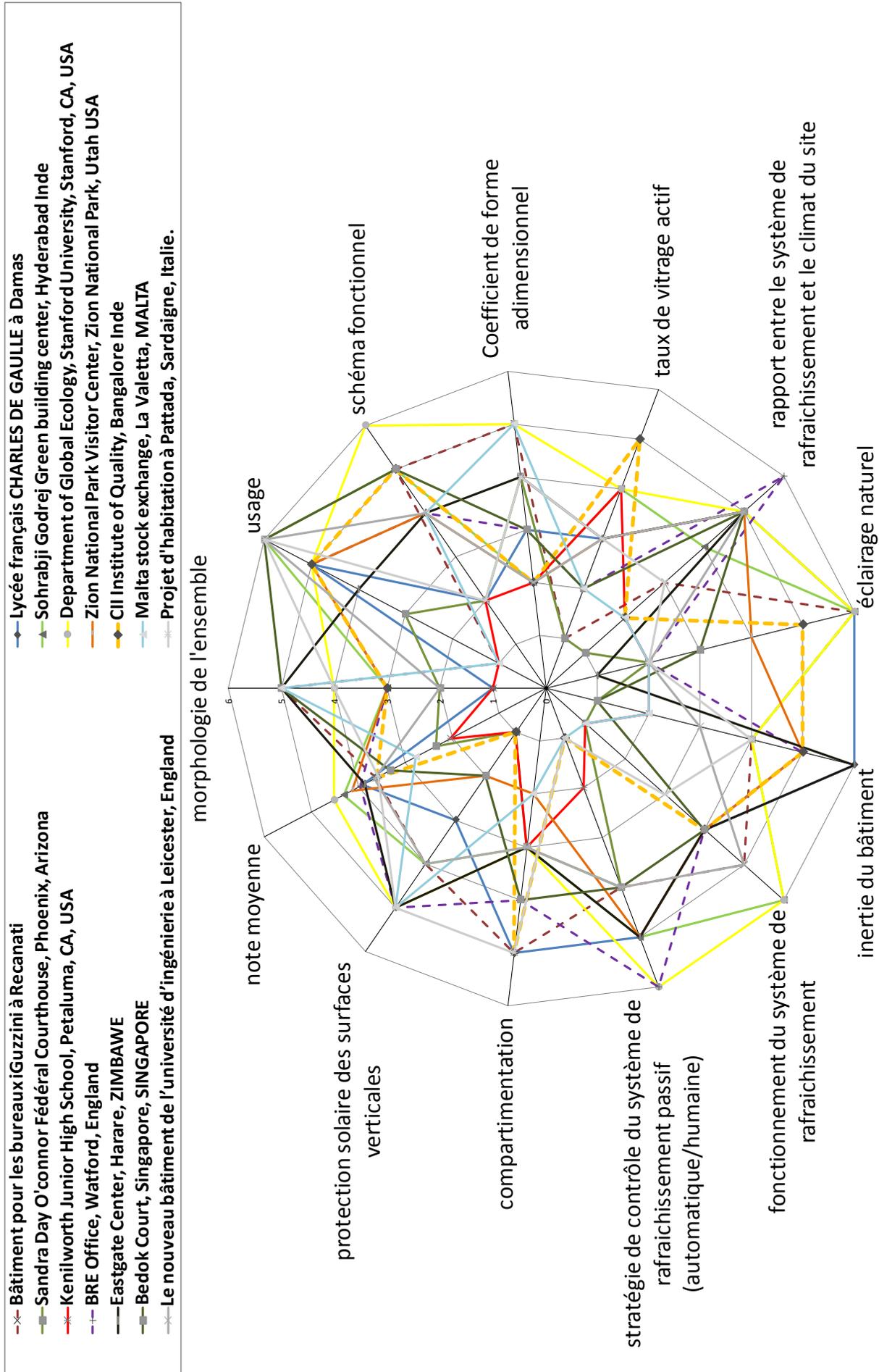
Le nombre de bâtiments est réduit, d'une part car il est très difficile de trouver des bâtiments à étudier qui respectent les caractéristiques que nous avons énoncées, d'autre part, car nous avons préféré étudier de manière très approfondie peu de bâtiments plutôt que de réaliser des études sommaires de nombreux bâtiments. Nous sommes conscients que l'échantillon de bâtiments analysés ne pourra pas donner lieu à des résultats valides pour les statistiques, mais nous pensons que cet échantillon est plus que suffisant pour nous permettre de comprendre les principaux motifs de défaillance et de réussite des systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture contemporaine.

L'évaluation des résultats sera toujours réfléchi en pensant au système bâtiment inséré dans son 'écosystème' avec des 'input' et des 'output' qui influencent les réponses.

Nous chercherons à analyser l'ensemble des résultats obtenus et à expliquer les raisons de succès et d'échec des différents bâtiments.

A partir de notre méthode d'évaluation nous avons réalisé des graphes radars, qui nous donnent rapidement un avis sur la façon dont le système bâtiment fonctionne.

En comparant les graphes radars par superposition nous obtenons quelques indications, mais le résultat est tellement désordonné qu'il est difficile à interpréter et presque illisible, comme nous pouvons le constater ci-dessous.



1. Superposition des graphes radars des 14 bâtiments

De plus, nous pouvons voir dans le graphe ci-dessous que la moyenne des différents dispositifs critiques étudiés ne nous donne pas vraiment de résultats exploitables.

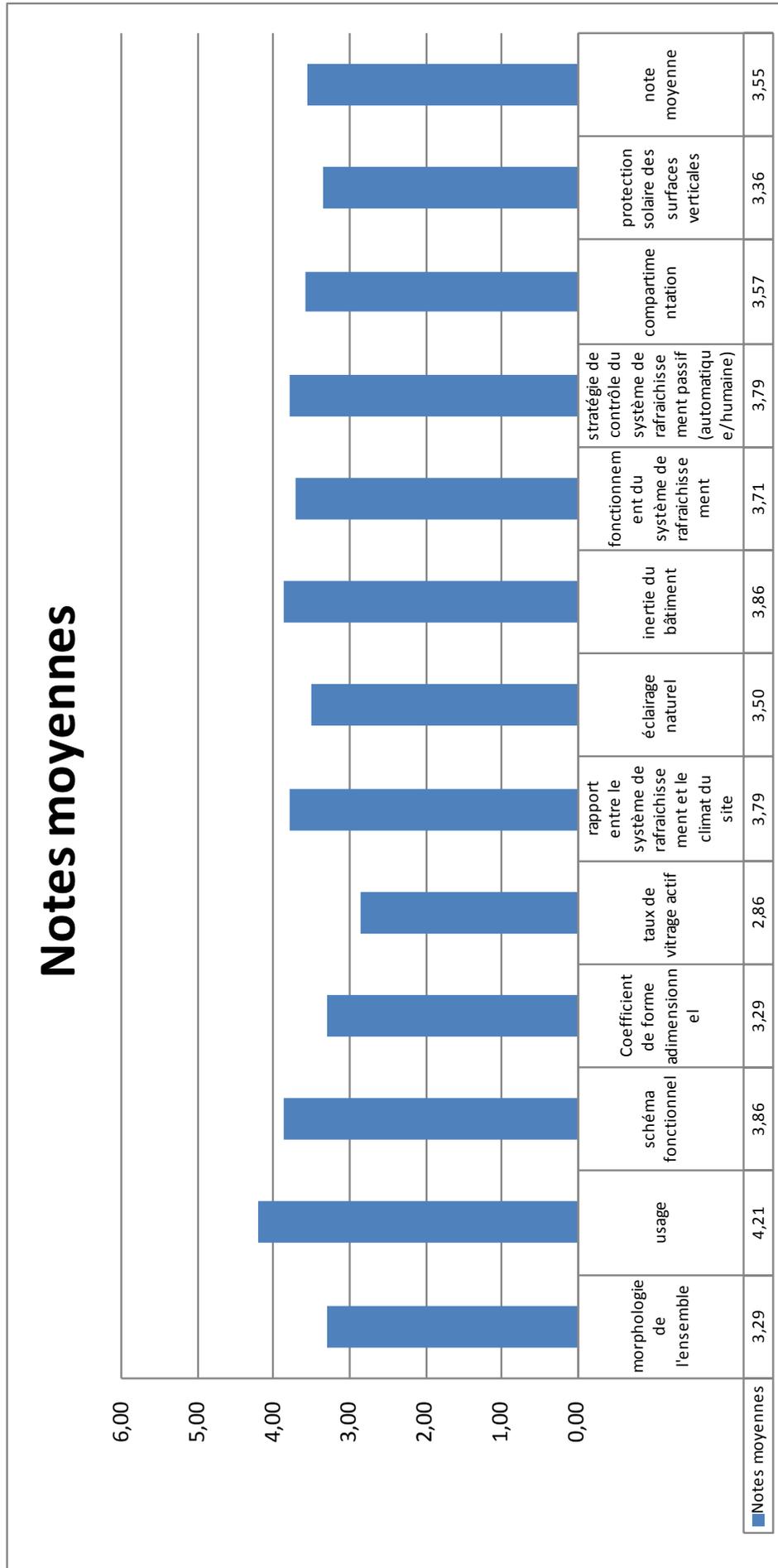
Il en ressort, tout de même des premières indications grâce au graphe des écarts type des différents indicateurs. Nous allons analyser le paramètre usage et nous l'utiliserons pour expliquer notre manière d'interpréter les différents résultats.

Avec le premier graphe (les moyennes), il semblerait que le paramètre 'usage' soit l'un des points forts dans l'ensemble des bâtiments (note de 4,21), mais l'écart type très élevé (1,93) indique que dans certains cas ce paramètre a été très bien évalué, et dans d'autres cas que la note a été très négative.

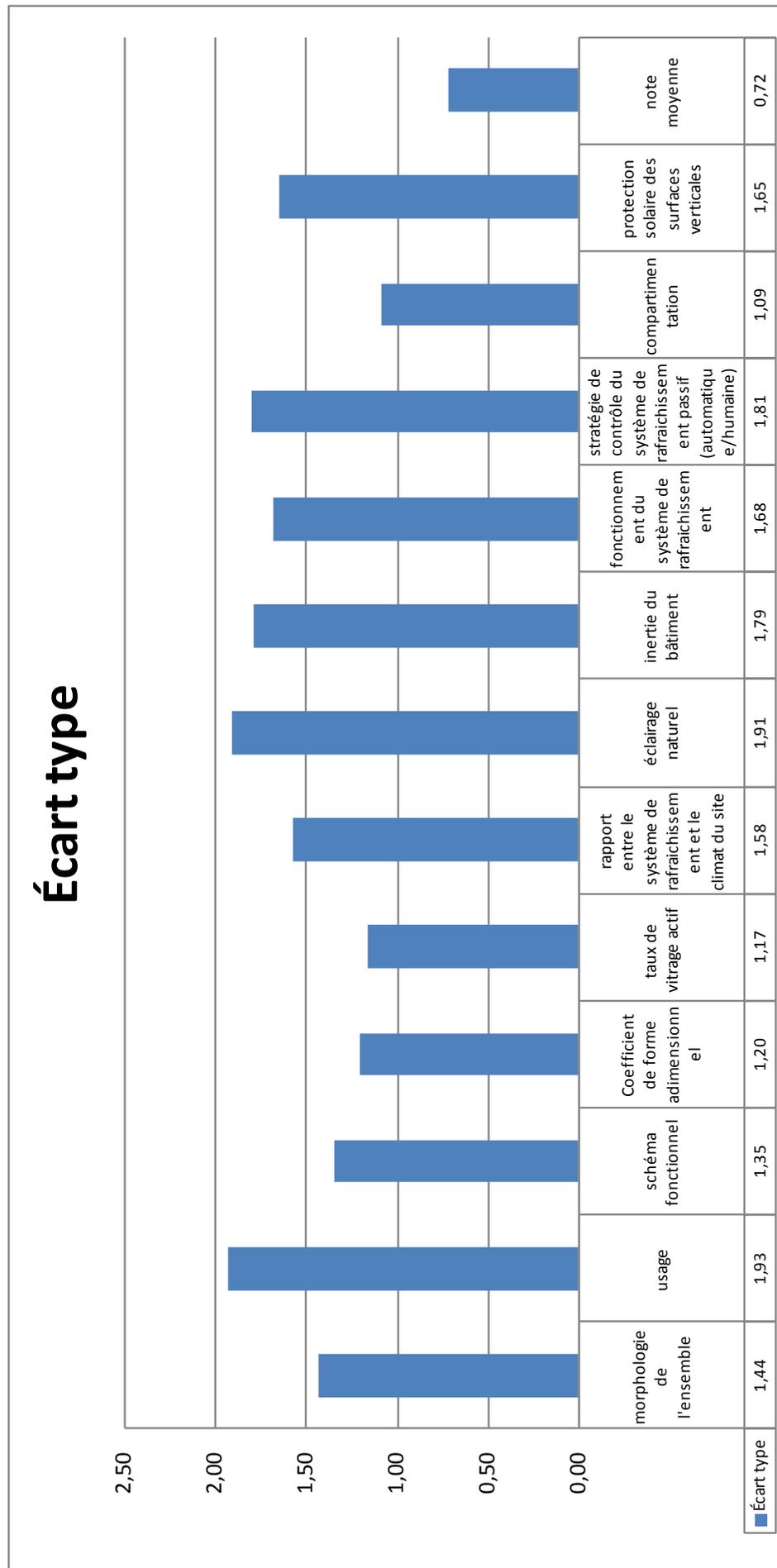
Cela est explicable : nous avons rappelé qu'il existe peu de bâtiments au monde rafraîchis passivement. Chaque projet étudié peut être défini comme expérimental. Il est clair que ces projets sont supportés par une volonté forte du maître d'ouvrage, qui s'expose à des risques d'échec. L'utilisateur est une composante fondamentale du système et souvent les concepteurs sous-évaluent ce dispositif. Quand ce dispositif est mal géré, il peut engendrer le refus des systèmes de rafraîchissement par les usagers.

Nous avons rencontré à ce sujet des situations opposées, dans le Department of Global Ecology à Stanford ou dans la Montfort University de Leicester, où les usagers sont prêts à s'adapter' au bâtiment rafraîchi passivement. Cela dépend de leur disposition à utiliser un bâtiment 'écologique', même si ce n'est pas tout à fait vrai.

Au contraire dans des bâtiments comme l'école Kenilworth à Petaluma, USA, ou le bâtiment de la Bourse de Malte, les usagers non seulement n'ont pas connaissance de la façon dont devraient fonctionner les systèmes de rafraîchissement, mais ils ne sont prêts, ni à s'adapter, ni à accepter des situations exceptionnelles d'inconfort. Dans les deux cas, les motivations sont différentes, mais le résultat est le même : les systèmes de rafraîchissement sont à l'arrêt et les bâtiments sont mal rafraîchis de manière mécanique.



2. Graphe des notes moyennes



3. Graphe des écarts type

L'analyse sur les moyennes et les écarts type nous donnent des pistes, mais ces données ne suffisent pas pour nous permettre d'établir les règles expertes auxquelles nous voudrions arriver.

Nous voulons tout de même analyser point par point les graphes ci-dessus.

- Morphologie de l'ensemble : nous avons remarqué que normalement la morphologie des ensembles est assez adaptée aux systèmes et, sauf dans quelques cas, elle ne présente pas de problèmes. Cela est confirmé par une bonne note moyenne (3,29), l'écart type (1,44) révèle parfois des problèmes.
- Usage : ce dispositif est caractérisé par des notes très élevées ou très faibles, moyenne de 4,21 et écart de 1,93. C'est un des paramètres que le concepteur doit soigner le plus, avant de démarrer un projet de bâtiment rafraîchi passivement.
- Schéma fonctionnel : les schémas fonctionnels sont globalement bien conçus en, moyenne de 3,86 et écart de 1,35, mais l'écart type fait, tout de même apparaître que dans certains cas les architectes ont fait aussi des graves erreurs dans ce domaine.
- Coefficient de forme adimensionnel : la moyenne des notes n'est pas très élevée (3,29), et l'écart type n'est pas très élevé (1,20). Cela signifie que les architectes ont réalisé rarement des bâtiments très compacts, mais aussi que le fonctionnement du système n'a pas souvent été affecté par ce dispositif. Le paramètre coefficient de forme est très délicat, car, comme dans plusieurs autres dispositifs, il faut considérer que son évaluation tient compte de la compensation due à l'ensemble du système bâtiment et du climat du site.
- Taux de vitrage actif : c'est la note la plus faible, et elle est inférieure à 3 (2,86), c'est-à-dire négative. L'écart type par contre est quant à lui, pas très élevé (1,17). Cela indique que la grande quantité de surfaces vitrées utilisées par les architectes est souvent une cause de mauvais fonctionnement du système bâtiment. De plus, presque tous les architectes ont fait cette erreur. Pour le comprendre, il faut dire que presque tous les bâtiments analysés abritent des activités qui ont besoin d'un éclairage très important, et que souvent les architectes ont essayé de réduire ou contrôler l'éclairage, créant des situations d'inconfort. Il faut remarquer que la plus grande partie des bâtiments analysés sont des bâtiments du tertiaire. Ce type de bâtiment est très vitré partout dans le monde, ce qui va au détriment de ce dispositif.
- Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site : cela peut paraître étrange, mais nous remarquons que ce dispositif a une note élevée (3,79), et aussi un écart type élevé (1,58). Les architectes ont souvent utilisé le système le plus adapté par rapport à son potentiel de rafraîchissement dans un climat déterminé, mais parfois ce choix n'est pas adapté et cela devient une source d'échec du système bâtiment.
- Éclairage naturel, inertie du bâtiment, fonctionnement du système de rafraîchissement, stratégie de contrôle du système de rafraîchissement,

protection solaire : tous ces dispositifs peuvent être regroupés, car l'interprétation du graphe est similaire. Dans tous ces cas, la note moyenne est élevée, mais aussi l'écart type. Cela montre que dans la plus grande partie des projets il n'y a pas une incohérence typique (sauf peut-être le taux de vitrages actifs), mais une alternance de cas de conception réfléchi et de cas d'échec du système bâtiment. Cela nous confirme une fois de plus que l'analyse des moyennes ne nous donnera pas de résultats acceptables, mais nous permet de faire les premières évaluations.

- Compartimentation : c'est le dispositif avec l'écart type le plus faible (1,09) et une bonne note moyenne (3,57). Ces résultats nous confirment l'attention des concepteurs à ne pas empêcher le passage des flux d'air, tout en garantissant le confort acoustique des usagers.

Cette première analyse basée sur les moyennes et les écarts type ne nous donne pas de résultats assez précis et nous inspire une première réflexion : il n'existe pas une incohérence typique de la part des architectes, mis à part les surfaces vitrées un peu trop grandes. Presque toutes les moyennes des notes que nous avons attribuées dépassent la note 3 et elles sont donc en 'terrain positif'.

Une deuxième considération, beaucoup plus importante, est que les bâtiments rafraîchis passivement sont des systèmes 'délicats'. Le système bâtiment peut ne pas fonctionner simplement à cause de dispositifs mal conçus ou mal utilisés. Les systèmes de rafraîchissement n'ont pas de prestations si élevées qui puissent atténuer une éventuelle incohérence de conception ou d'usage. Le succès des bâtiments rafraîchis de cette manière est donné par un ensemble de caractéristiques positives.

La comparaison des moyennes ne nous donne que des lignes générales. A partir de là, nous avons pu faire une première évaluation et énoncer une première 'règle', mais cela reste encore trop flou.

Pour nous permettre d'avoir une vision d'ensemble des bâtiments analysés, nous devons encore simplifier le graphe radar afin de le rendre davantage lisible. Parmi les bâtiments que nous avons analysés, nous essaierons de mettre en avant l'existence de bâtiments qui ont été réalisés sans commettre d'incohérences graves et qui pourraient permettre de garantir le confort d'été des usagers.

### Règles

Les bâtiments rafraîchis passivement sont des systèmes 'délicats', ils exploitent, presque toujours, la plus grande partie du potentiel de rafraîchissement des puits thermiques utilisés, mais à cause de plusieurs facteurs souvent ils n'arrivent pas à garantir le confort thermique des usagers.

Toute augmentation de la charge thermique peut mettre en crise l'ensemble du système.

La première règle doit être de réduire les charges internes et les apports externes.

## 1.1 L'évaluation des bâtiments

Nous avons la nécessité d'avoir une vision d'ensemble des bâtiments étudiés. Cela devrait nous donner une première réponse à une des questions que nous nous posons : « Est-il possible de rafraîchir passivement un bâtiment ? »

Pour réaliser un graphe 'lisible' nous devons regrouper les différents dispositifs évalués.

Les bâtiments avaient été 'démembrés' en dispositifs par niveau de définition.

Pour simplifier la lecture des résultats déjà présentés nous avons décidé d'analyser les données à travers un 'point de vue bioclimatique' (Cf. le chapitre '1.2.1.4 Les niveaux de définition et l'évaluation des dispositifs architecturaux').

Nous avons regroupé les dispositifs selon leur appartenance à cinq familles :

1. La morphologie
2. La conception bioclimatique
3. L'usage
4. Le système de rafraîchissement
5. L'éclairage naturel

Nous allons analyser les différents 'groupes' et voir comment nous les avons interprétés.

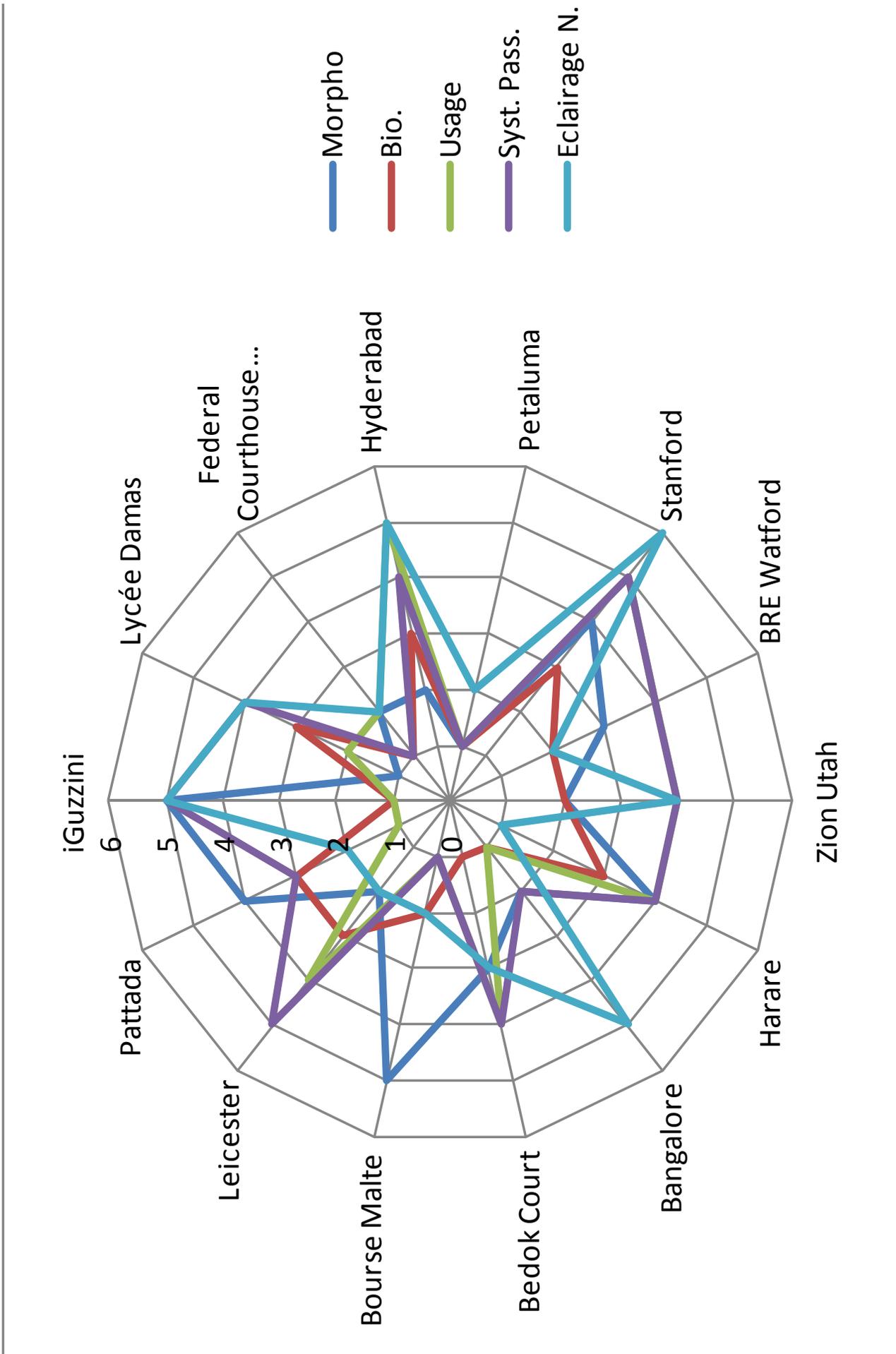
1. La morphologie est le dispositif évaluant la forme du bâtiment et de l'ensemble. Nous avons décidé de regrouper les dispositifs critiques, morphologie de l'ensemble et coefficient de forme adimensionnelle.
2. La conception bioclimatique regroupe les dispositifs suivants : taux de vitrage actif, inertie du bâtiment, compartimentation, protection solaire des surfaces verticales. Ces quatre dispositifs composent la chaîne de la conception bioclimatique du bâtiment. Il suffirait d'un anneau faible, pour mettre en crise tout le système.
3. L'usage regroupe les dispositifs suivants : usage, schéma fonctionnel et stratégie de contrôle du système de rafraîchissement. Comme pour le 'groupe' précédent il suffirait d'un anneau faible de la chaîne pour qu'elle se casse.
4. Le système de rafraîchissement passif regroupe les deux dispositifs définissant le système lui-même : le rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site et le fonctionnement du système de rafraîchissement.
5. Nous avons voulu isoler des autres l'éclairage naturel, car ce dispositif est souvent en 'conflit' avec les autres dispositifs. Nous considérons ce dispositif comme fondamental pour le confort des usagers, mais souvent,

meilleur sera l'éclairage naturel, majeures seront les surfaces vitrées et les possibles apports thermiques solaires.

Les dispositifs critiques peuvent être imaginés comme une chaîne, qui soumise à un grand effort risque de se casser. Cela adviendra là où les mailles de la chaîne sont plus faibles. Pour définir la note de chaque groupe nous avons décidé d'adopter la note la plus basse des dispositifs du groupement. C'est-à-dire, que si un dispositif dans un groupement avait une note de 1, et tous les autres une note de 6, le groupement aura une note de 1. Bien sûr ce cas hypothétique ne s'est jamais vérifié, car rarement les bâtiments ont un seul point faible. Si un concepteur a mal conçu le bâtiment, cela transparait à plusieurs reprises.

### **1.1.1 Objectif du groupement des dispositifs**

Le graphe ci-dessous montre l'ensemble des bâtiments analysés et nous permet d'en faire ressortir les faiblesses.



4. Graphe de synthèse du comportement des 14 bâtiments

Nous allons analyser les bâtiments un à un :

Bâtiment pour les bureaux iGuzzini à Recanati : nous avons remarqué des problèmes dans la conception bioclimatique et l'usage. Nous avons remarqué que les grandes parois vitrées de ce bâtiment sont la cause d'inconfort et que les attentes des usagers d'un bâtiment de ce type sont très élevées. Les réglages faits pour améliorer la capacité d'adaptation des usagers n'ont pas donné les résultats escomptés. C'est pour ces raisons que ce bâtiment est rafraîchi mécaniquement 3 mois par an.

Lycée français CHARLES DE GAULLE à Damas : le problème principal du bâtiment de Damas est la morphologie pavillonnaire. Cela complique la vie des usagers et rend plus difficile le rafraîchissement.

Sandra Day O'Connor Fédéral Courthouse, Phoenix, Arizona : ce bâtiment présente des problèmes presque dans tous ses aspects, mais particulièrement en ce qui concerne la conception bioclimatique et le système de rafraîchissement.

Sohrabji Godrej Green building center, Hyderabad Inde : Le bâtiment de Hyderabad est l'un des bâtiments les mieux conçus et réalisés pour un climat très dur. Le bâtiment est rafraîchi pendant les périodes les plus chaudes de manière hybride.

Kenilworth Junior High School, Petaluma, CA, USA : l'école Kenilworth de Petaluma est un des bâtiments les moins réussis. Presque dans toutes ces composantes nous trouvons des notes critiques. La morphologie pavillonnaire, la conception bioclimatique, l'usage et le système passif de rafraîchissement, n'ont pas été bien conçus et réalisés.

Department of Global Ecology, Stanford University, Stanford, CA, USA : le bâtiment a été réalisé pour être un symbole de bâtiment 'écologique' et il est effectivement l'un des meilleurs projets que nous avons rencontré. Dans ce cas également, pendant les jours les plus chauds, on a dû utiliser un système mécanique pour rafraîchir.

BRE Office, Watford, England : Les bureaux du BRE avaient été réalisés pour être le modèle pour la réalisation des futurs bâtiments de bureaux écologiques. Aucun des dispositifs critiques n'a une note de 1, mais nous pouvons voir que les notes de conception bioclimatique et d'éclairage naturel sont légèrement négatives.

Zion National Park Visitor Center, Zion National Park, Utah USA : comme pour le bâtiment du BRE le Visitor Parck est un bâtiment symbole, avec des objectifs pédagogiques envers les visiteurs. Nous n'avons pas remarqué des incohérences majeures qui auraient pu empêcher le fonctionnement du système bâtiment. Nous remarquons, par contre, des problèmes en ce qui concerne la morphologie et la conception bioclimatique.

Eastgate Center, Harare, ZIMBAWE : le seul point faible de l'Eastgate Center est l'éclairage naturel, les usagers sont obligés de garder l'éclairage artificiel en fonction toute la journée, ce qui pourrait causer des problèmes dus aux charges thermiques supplémentaires. Ce bâtiment est rafraîchi de manière

hybride, il n'existe aucune pompe de chaleur, mais pendant la nuit, des ventilateurs favorisent le tirage des cheminées et les échanges d'air pour améliorer la cumulation de frigorifiques.

CII Institute of Quality, Bangalore Inde : Ce bâtiment présente deux problèmes graves qui en empêchent le fonctionnement. Le premier concerne les protections solaires (conception bioclimatique) et le deuxième la stratégie de contrôle (Usage). Ces problèmes sont à la base de l'échec de ce bâtiment.

Bedok Court, Singapore, SINGAPORE : ce bâtiment représente le seul ensemble résidentiel que nous avons pu analyser. Nous pouvons remarquer qu'une grave incohérence de conception bioclimatique est cause d'inconfort pour les usagers. La masse thermique des coursives non protégées de l'ensoleillement est une cause de surchauffe importante.

Malta stock exchange, La Valetta, MALTA: le bâtiment de la bourse de Malte présente plusieurs problèmes. Les principaux sont dus non seulement au système de rafraîchissement passif et à l'usage, mais aussi à la conception bioclimatique ; Ce qui donne une note négative.

Le nouveau bâtiment de l'université d'ingénierie à Leicester, England : ce bâtiment est un exemple de bâtiment non parfait, mais réussi, grâce à la capacité de s'adapter des usagers.

Projet d'habitation à Pattada, Sardaigne, Italie : nous avons testé notre méthodologie sur un projet d'architecture Cela n'a pas été un succès complet mais nous avons pu tout de même trouver des incohérences graves, qui auraient empêché le système bâtiment de fonctionner, s'il avait été réalisé sans des modifications importantes. Le problème principal est dans l'usage.

Naturellement cette méthode d'analyse ne nous donne pas des résultats sur la qualité des bâtiments. Il s'agit davantage d'une approche catégorique : ou bien ça marche ou bien ça ne marche pas.

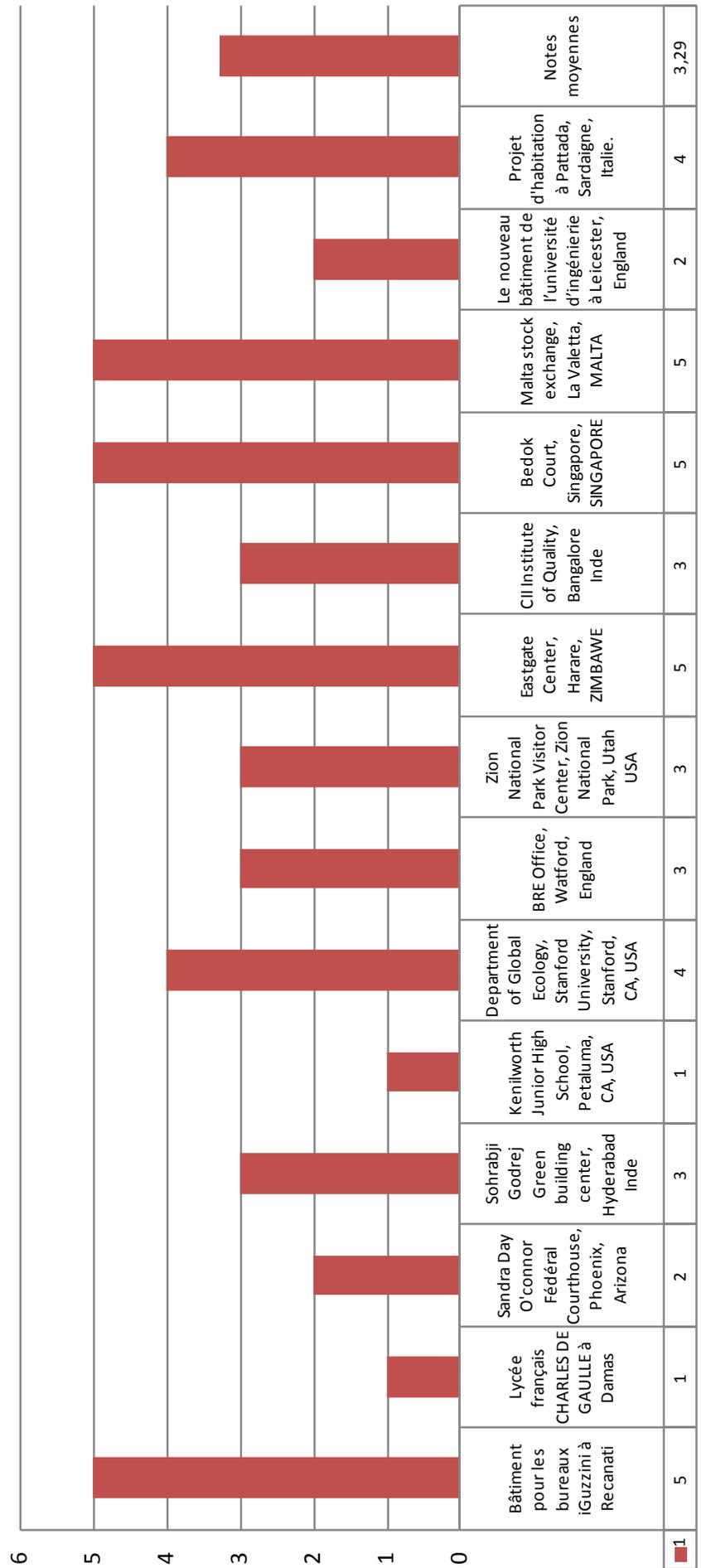
Nous pouvons tout de même voir comment un certain nombre de bâtiments ont été rafraîchis sans commettre d'incohérences majeures. Parmi ces bâtiments, trois sont rafraîchis de manière hybride. Les bâtiments de Hyderabad et de Stanford ont des pompes à chaleur, qui en cas de nécessité baissent la température de l'air de quelques degrés supplémentaires. Le troisième est rafraîchi naturellement, mais la ventilation nocturne naturelle est amplifiée par de grands ventilateurs, qui garantissent le débit d'échange d'air nécessaire à pré-rafraîchir le bâtiment.

Grâce aux cinq groupes de dispositifs que nous avons créés nous avons pu avoir une vision d'ensemble des bâtiments et les motifs principaux de leur échec.

Maintenant, afin d'affiner l'étude, nous analyserons systématiquement par comparaison les dispositifs critiques des différents bâtiments et nous chercherons à mettre en évidence les incohérences principales rencontrées et les solutions les plus performantes.

*la morphologie de l'ensemble*

Morphologie de l'ensemble



5. Graphe de synthèse du dispositif Morphologie de l'ensemble

Dans le graphe ci-dessus il apparaît que dans deux des bâtiments la morphologie de l'ensemble a été cause d'échec. Nous trouvons en plus des notes négatives pour plusieurs bâtiments. Pour ce qui concerne le Lycée français de Damas et la Kenilworth School de Petaluma la note négative dépend du choix des architectes de réaliser des bâtiments pavillonnaires. Cela expose de grandes surfaces aux agents atmosphériques. De plus dans les deux cas une bonne partie des circulations est extérieure. Cela ne pose pas d'énormes problèmes en été (nous rappelons toujours que notre analyse regarde principalement le comportement 'estival' des bâtiments) mais il faut tout de même évaluer le comportement hivernal de ces deux bâtiments et cela est une incohérence très grave.

Par ailleurs, les murs du bâtiment de Damas ne sont pas isolés, une simple chambre d'air à l'intérieur des murs. Ce choix de bâtiment pavillonnaire est très peu performant. Naturellement dans ces évaluations nous avons aussi considéré le climat des deux villes. Petaluma a un climat méditerranéen, comme Damas, sauf que Damas est à 700 m NGF environ, avec des hivers assez frais.

De plus, les espaces extérieurs de liaison entre les pavillons, comme la cour pour la récréation, sont très 'minéraux', ce qui n'aide pas du tout au confort thermique d'été des usagers. Par contre, rappelons que dans le cas de Damas les différents pavillons, très rapprochés, forment de petits patios ombragés, faisant partie de la stratégie de rafraîchissement. Mais les façades des petits pavillons sont exposées à l'est, ce qui pour une école est peu recommandé. C'est pour ce motif que le Lycée français a reçu une note de 1.

Un autre cas dont la note a été négative est le Queens Building à Leicester. Ce bâtiment, de forme très articulée, expose aux agents atmosphériques des surfaces très importantes. Cela est plus grave considérant que Leicester est au nord de Londres et il faut surtout se protéger du froid.

Le dernier bâtiment qui a une mauvaise note est le Sandra O'Connor Federal Courthouse à Phoenix. Cela pourrait paraître étrange vu que ce bâtiment est un énorme parallélépipède, mais le problème est dû au fait que cette énorme bâtisse est presque complètement vide. Le grand atrium est utilisé seulement comme espace de distribution horizontale. De plus, le choix qui a été fait de complètement le vitrer, est la raison pour laquelle a été installé un système de rafraîchissement passif, soit le comportement inverse de l'optimum. Nous pensons qu'il est absurde de réaliser une grande volumétrie compacte, si elle est inutilisée.

En ce qui regarde les solutions positives, nous allons citer le bâtiment iGuzzini à Reccanati et l'Eastgate Building à Harare. Dans les deux cas, les bâtiments ont une morphologie compacte et une grande volumétrie, et ils ont des patios internes, pour ramener la lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment. Ils font partie des systèmes de rafraîchissement et des schémas fonctionnels, logeant les circulations horizontales et verticales. Dans le bâtiment iGuzzini le patio central a la fonction de cheminée d'extraction de l'air. Cela est particulièrement efficace pour la ventilation nocturne. Cet espace sécurisé permet de créer les courants d'air qui pré-rafraîchissent tout le bâtiment. L'atrium de l'Eastgate de Harare a la fonction inverse, il est utilisé comme lieu

de captation de l'air 'propre', est dans une zone de la ville très polluée par la grande circulation de voitures. L'architecte a décidé d'utiliser l'air provenant des ouvertures sur la toiture du patio pour ventiler l'ensemble. Dans ce cas aussi l'air passant par le patio est utilisé pour le pré-rafraîchissement nocturne.

Nous pouvons conclure en disant que les solutions plus compactes sont les plus favorables grâce au bon rapport entre la surface habitable et les surfaces exposées aux intempéries.

Bien sûr ces avantages sont relatifs au climat du site et aux protections solaires choisies. De plus, dans un bâtiment de très grand volume et très compact, se posera le problème de la pénétration de la lumière naturelle. La solution ne doit pas réduire de manière excessive la surface habitable et si possible, doit optimiser la perte de surface, les 'puits de lumière' devront être exploités pour d'autres fonctions.

### **Incohérences à éviter**

Les solutions plus fragmentées ou pavillonnaires sont presque toujours à éviter puisque les surfaces exposées aux intempéries sont trop importantes. Ces solutions morphologiques sont justifiées seulement dans certaines conditions climatiques et avec des objectifs précis, par exemple en climat équatorial où cela pourrait améliorer la ventilation naturelle.

Les surfaces couvertes devraient être exploitées et il faudrait éviter de créer d'énormes volumes difficiles à rafraîchir et énergivores.

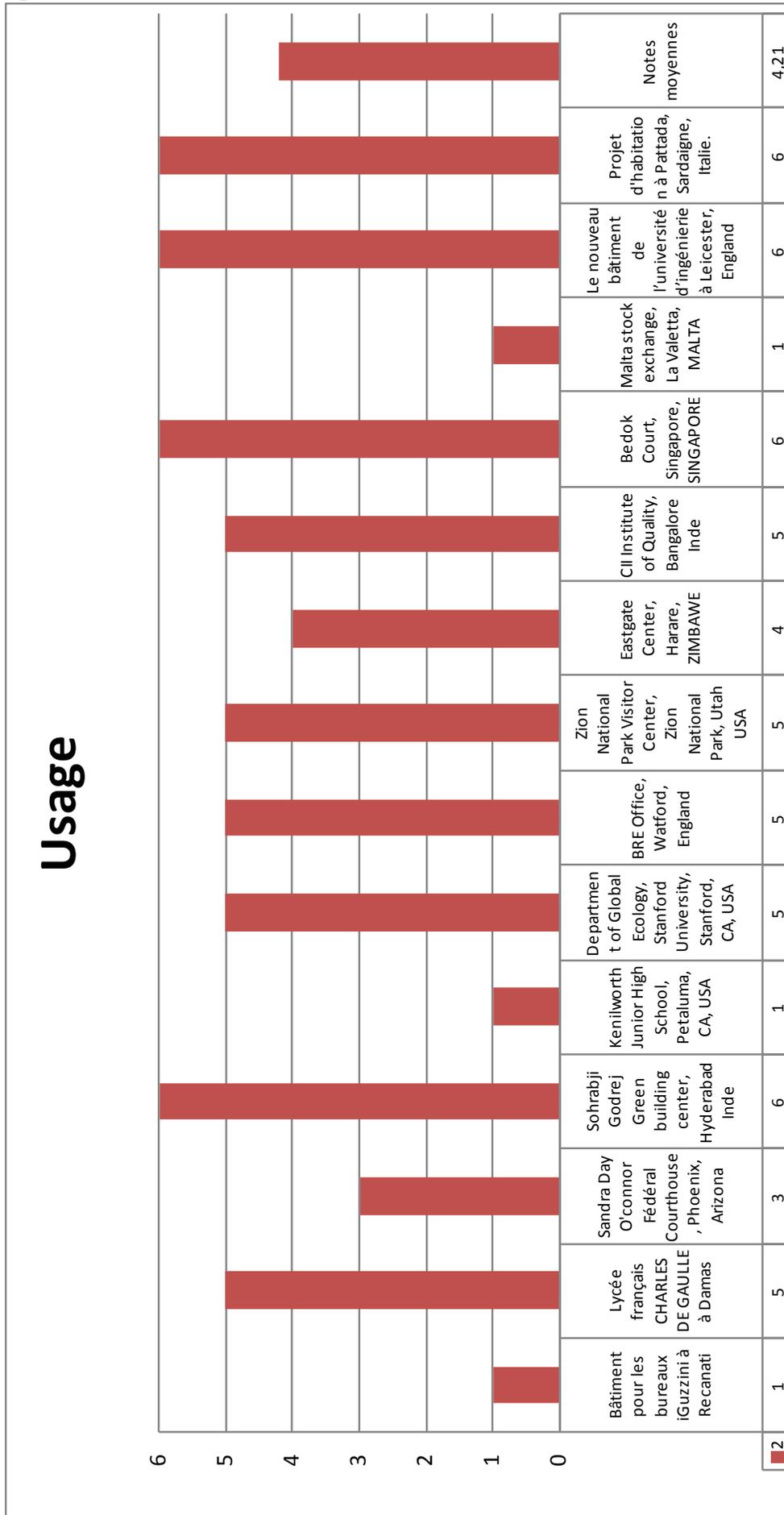
### **Règles positives**

Les solutions compactes sont les plus favorables grâce au bon rapport entre la surface habitable et les surfaces exposées aux intempéries, même si nous avons déjà évoqué d'éventuelles exceptions climatiques.

Dans un bâtiment de très grand volume et très compact, se posera le problème de la pénétration de la lumière naturelle. Cela doit être résolu sans réduire de manière excessive la surface habitable et, si possible, les 'puits de lumière' doivent être exploités pour d'autres fonctions.

De plus, quand un bâtiment est compact on aura aussi du mal à faire circuler de l'air frais, les concepteurs devront faire attention à la ventilation naturelle traversant.

L'usage



6. Graphe de synthèse du dispositif Usage

L'usage est un des dispositifs les plus difficiles à gérer pour un architecte. A travers notre analyse il apparaît que trois bâtiments ont des notes 'critiques' par rapport à l'usage.

Les bâtiments iGuzzini et la Bourse de Malte ont le même problème : les usagers ne sont pas prêts à changer leurs habitudes et à s'adapter au bâtiment. De plus, la demande de prestations dépasse les possibilités de rafraîchissement des systèmes choisis par l'architecte. Le résultat est que le bâtiment de direction d'iGuzzini est rafraîchi mécaniquement pendant les trois mois les plus chauds de l'année, tandis que le bâtiment de Malte est rafraîchi exclusivement par rafraîchissement mécanique. Dans les deux cas, le comportement et les habitudes vestimentaires des usagers sont en contradiction avec les systèmes de rafraîchissement, nous pourrions aussi dire qu'elles sont en contradiction avec le climat même. Cela aurait pu être prévu : les traders de la bourse de Malte ou les commerciaux de l'importante firme des luminaires de design acceptent difficilement d'utiliser des vêtements adaptés garantissant le confort thermique à des températures dépassant les 25°/26°C., c'est-à-dire, vêtus en t-shirt à manches courtes et pantalon court !

L'usage scolaire de la Kenilworth School pourrait paraître approprié au rafraîchissement passif, mais le problème vient du choix de l'architecte de rafraîchir passivement des locaux qui ne s'y prêtent pas. Les pavillons rafraîchis par évaporation directe sont : la bibliothèque, le gymnase et la salle multifonction. Les livres de la bibliothèque ont souffert des changements d'humidité dus à ce type de rafraîchissement et le système de contrôle, n'ayant pas pris en considération l'humidité relative interne. Dans le gymnase les usagers désiraient un sol en parquet, mais à cause de l'hygrométrie trop variable un sol en PVC a été mis en place. De plus, ce sol a été mal posé et il n'est pas du tout apprécié des usagers. Naturellement dans l'esprit des utilisateurs la cause de ces défaillances est le système de rafraîchissement. Pour finir, dans la salle multifonction le système de rafraîchissement semble fonctionner correctement, sauf au cours des spectacles qui demandent le silence, car l'architecte a choisi d'ouvrir et fermer les tours évaporatives avec des rideaux métalliques motorisés, c'est-à-dire ceux que nous sommes habitués de voir dans les garages. Le bruit produit par ces systèmes d'ouverture est important et dérange les usagers dans les trois espaces rafraîchis, un motif de plus pour lequel il a été décidé d'arrêter définitivement les tours évaporatives, sauf celle de la salle multifonction.

Concernant les aspects positifs, nous avons décidé de donner des notes très élevées aux bâtiments l'habitation, car nous pensons que cet usage est très adapté à un usage d'habitation. Naturellement, l'adaptation dépend du type de système de rafraîchissement choisi et du type de climat, mais nous demeurons convaincus que dans ce type de bâtiment il est plus simple d'adapter sa façon de vivre au bâtiment et de porter des vêtements adaptés au climat.

D'autres notes très élevées ont été données au Queens Building de l'université de Leicester et au Godrej Busines Center. Dans ces deux cas, l'image du bâtiment est tellement positive que les usagers sont prêts à accepter des périodes d'inconfort, car les bâtiments en question sont 'écologiques'. Cette aptitude des usagers est très favorable au système de rafraîchissement, si

l'inconfort est une exception limitée dans le temps.

D'autres bâtiments ont des usages très près de l'optimum, comme le Department of Global Ecology de Stanford, le BRE offices de Watford, le Zion Natural Park Visitor Center et l'Institute of Quality de Bangalore, car les usagers sont globalement très sensibles aux questions environnementales et ils travaillent dans ce domaine. Les usagers sont plus ouverts à la compréhension et application de manières dont le bâtiment fonctionne. Pour différents motifs, nous n'avons pas donné la note la plus élevée à ces bâtiments, car tout en restant des usages très adaptés aux systèmes de rafraîchissement il y a toujours quelques détails qui restent négatifs. Pour exemple le Department of Global Ecology loge des laboratoires 'humides' ce qui pour la norme locale impose un taux très élevé d'échanges d'air horaires. Cela n'est pas adapté à un bâtiment rafraîchi passivement. Un discours à part doit être fait pour le Lycée français de Damas. Nous pensons que les bâtiments scolaires sont très adaptés au rafraîchissement passif, d'une part car les écoles sont fermées pendant les mois les plus chauds, d'autre part, car dans ce type de bâtiment il peut être mené une campagne de sensibilisation pour favoriser la bonne utilisation des bâtiments comme dans le bâtiment de Damas. Les usagers doivent manœuvrer les ventelles qui favorisent la ventilation nocturne, afin d'être en confort thermique le jour suivant. Dans ce bâtiment des instructions sont affichées dans chaque classe pour expliquer le mode de fonctionnement le plus adapté au climat.

Nous pouvons dire que certains types d'usages s'adaptent par leur nature même aux bâtiments rafraîchis passivement, spécialement les locaux scolaires et d'habitation. Dans les deux cas, il faut que le système de rafraîchissement soit adapté aux espaces à rafraîchir et au climat. De plus, dans les bâtiments d'habitation la charge thermique est inférieure et les horaires d'utilisation sont favorables, mais il faut que le système de rafraîchissement soit réfléchi de manière à être simple et facilement manipulable par les usagers même. Il est difficile d'imaginer des systèmes très complexes et performants, qui aient besoin d'un suivi technique continu par des techniciens, pour rafraîchir une maison ou un appartement. De la même manière, dans des bâtiments à usage de bureaux avec des demandes de prestations supérieures il sera nécessaire d'avoir un suivi important de la mise en route des systèmes de rafraîchissement et il faudra prévoir une période de 'rodage'.

Dans certains cas les usagers apprécient tellement le fait d'habiter dans un bâtiment «écologique» qu'ils sont prêts à accepter des situations d'inconfort, grâce à une campagne d'information et de sensibilisation. De plus, en général dans ces bâtiments on reconnaît facilement le caractère 'écologique'.

Pour permettre aux usagers d'exploiter au mieux le bâtiment, le concepteur doit chercher à communiquer avec les usagers et expliquer les raisons des choix, la manière dont il faut utiliser le bâtiment et dont il est paramétré.

Pour conclure, nous pouvons affirmer que la communication entre le concepteur et l'utilisateur est toujours fondamentale. Il faut mettre l'utilisateur en mesure de comprendre les avantages, mais surtout les inconvénients d'un bâtiment rafraîchi passivement.

Il est important de prévoir que le bâtiment a une durée de vie de plusieurs décennies, bien supérieure aux années qu'un usager passera, en moyenne, dans un seul bâtiment. Le passage d'informations entre le premier usager et l'usager suivant n'est presque jamais suffisant. Il faut donc laisser des 'traces' sur le mode d'utilisation du bâtiment et si nécessaire il faut prévoir des systèmes 'd'avertissement' pour prévenir l'usager de la bonne manière d'utiliser un dispositif. Par exemple un LED rouge et un LED vert à côté des fenêtres seraient déjà une bonne source d'information.

L'usager ne doit pas se sentir 'dépassé' par la manière dont fonctionne le bâtiment, souvent l'un des points d'inconfort les plus importants que nous avons rencontré c'est le manque de connaissance et d'information sur le modus operandi des centrales de contrôle. De plus, l'usager qui n'a aucun contrôle sur les systèmes environnementaux (éclairage, chauffage, rafraîchissement, etc.) se sentira difficilement en condition de confort.

De plus, il faut rappeler que la perception du confort peut varier énormément par rapport au type de bâtiment, aux attentes des usagers et au type de ventilation prévue par l'architecte. Les usagers d'un bâtiment qui répond aux prescriptions du confort adaptatif<sup>1</sup> auront une perception de la température bien différente par rapport aux usagers d'un bâtiment complètement géré par une station de contrôle automatique.

Il est certain qu'il est bien plus simple de réaliser, selon les prescriptions du confort adaptatif, des bâtiments d'habitation que des bâtiments du tertiaire.

Il faut dire que ces indications ne sont pas simples à mettre en place. Aujourd'hui le concepteur n'a presque jamais le contact direct avec les usagers finaux, néanmoins les bâtiments de grande taille présentent une distance importante et une difficulté de passage des informations. Souvent la seule manière de résoudre des problèmes de ce type serait d'écrire des guides pratiques pour l'utilisation et éventuellement des plaques fixées dans le bâtiment, qui puissent informer les usagers successifs.

### Incohérences à éviter

Eviter d'utiliser des systèmes de rafraîchissement passif si les usagers ne sont pas prêts à s'adapter au mode d'utilisation du bâtiment, imposé par les dispositifs prévus. Cela est de plus en plus vrai si le concepteur n'a pas la possibilité de communiquer de manière directe sur les raisons des choix faits et sur les modes de fonctionnement.

Eviter d'irriter les usagers envers les systèmes de rafraîchissement passif, comme nous l'avons vu dans la Kenilworth School.

Eviter d'imposer des dispositifs non adaptés à l'usage, dans l'espoir que les usagers s'adaptent car cela n'arrive presque jamais.

1 Voir le chapitre 3, partie 1 de cette thèse

Eviter des solutions alambiquées, quand il serait possible d'obtenir les mêmes résultats avec des solutions simples. Les systèmes compliqués ont pour résultat de rendre difficile la compréhension du fonctionnement du bâtiment par les usagers, qui se sentent alors dépassés.

Ne pas d'oublier que les usagers sont le vrai 'moteur' qui permet au bâtiment de fonctionner.

L'architecte doit communiquer sur la limite du système, mais il doit être précis au regard des désavantages dus aux systèmes de rafraîchissement passif.

### Règles positives

Nous voudrions tout d'abord dire qu'il n'existe pas d'utilisateur 'idéal'. Il est par contre fondamental que celui-ci soit impliqué dans le fonctionnement du bâtiment. Pour le permettre, il est important qu'il soit informé. Si cela n'est pas évident dans le langage architectural, il faut que l'architecte trouve des dispositifs qui puissent informer et aider à bien utiliser le bâtiment.

Nous pouvons dire que certains types d'usages s'adaptent par leur nature même aux bâtiments rafraîchis passivement, spécialement les bâtiments scolaires et d'habitation, mais il est aussi possible de rafraîchir des ensembles aux charges thermiques importantes.

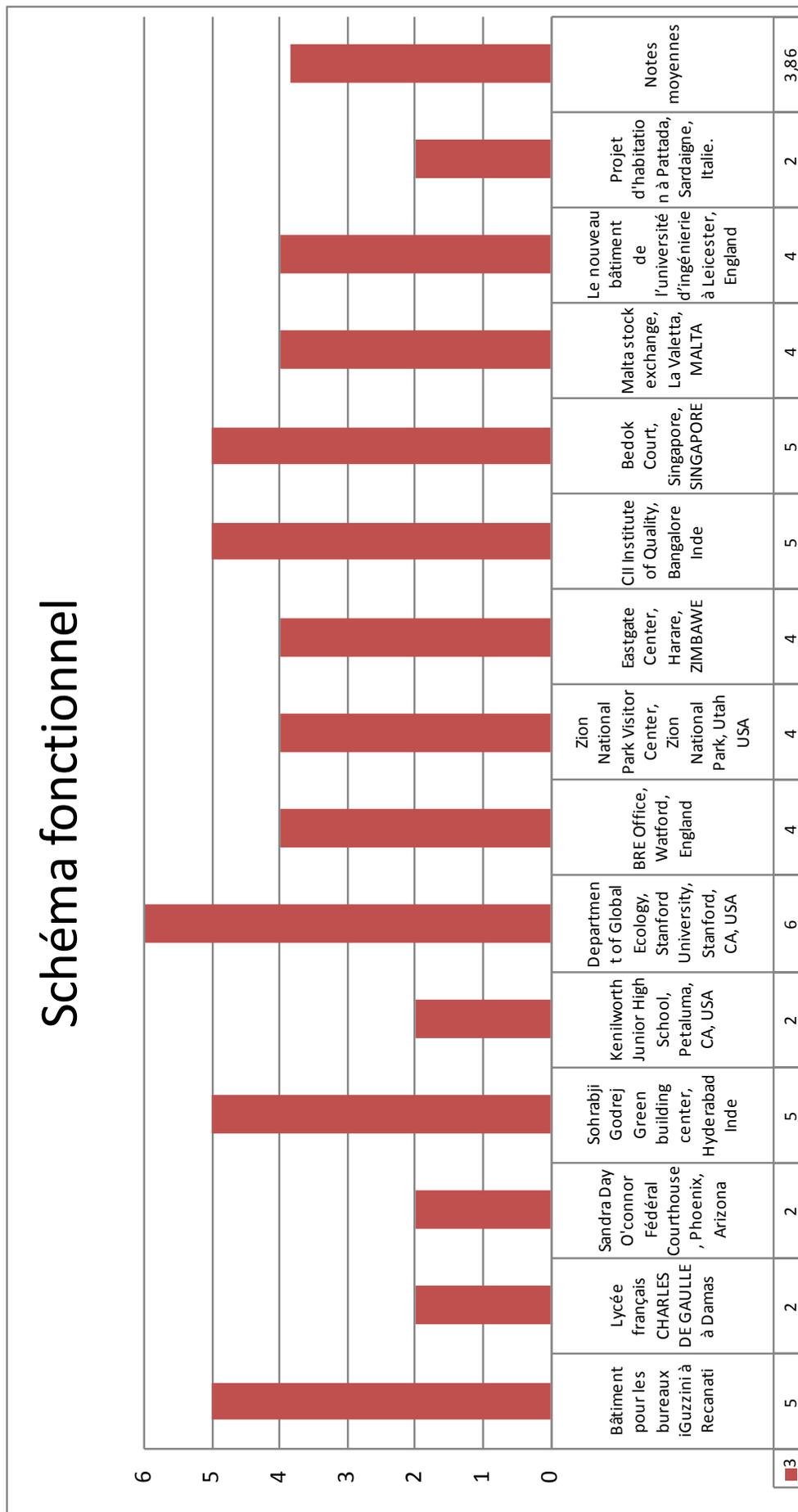
Il est très important de communiquer avec les usagers pour leur faire comprendre les avantages et les désavantages d'un bâtiment rafraîchi passivement, ainsi ils se sentiront partie prenante du projet, ressentiront l'importance de travailler/vivre dans un bâtiment respectueux de l'environnement et s'identifieront aux choix faits par l'architecte.

Il est fondamental que l'architecte explique aux usagers que la mise en route de ces systèmes demande une période de 'rodage'.

Il ne faut pas oublier que les usagers changeront et que le passage d'information aux nouveaux arrivants n'est pas automatique. Il faut prévoir des dispositifs de communication qui resteront visibles pendant toute la durée de vie du bâtiment.

Plus se développera une conscience positive du bâtiment, plus les usagers auront la possibilité d'accepter de petites défaillances. Par conséquent, il faut chercher à impliquer les usagers pour atteindre un comportement optimal du bâtiment.

## Le schéma fonctionnel



7. Graphe de synthèse du dispositif Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel est à la base du fonctionnement du système bâtiment. Comme nous pouvons voir, il n'y a pas de bâtiments dont le mauvais schéma fonctionnel ait conduit à l'échec de l'ensemble. Nous remarquons tout de même des notes négatives.

L'architecte Maier a prévu, pour la Sandra Day O'Connor Courthouse d'utiliser la grande place couverte comme lieu de distribution horizontale, malheureusement les usagers sont obligés d'atteindre la salle du tribunal à travers la place qui avoisine 100 m de long, dans une ambiance très lumineuse et trop chaude. Cette exposition à la chaleur contraste avec les salles du tribunal et les bureaux, qui sont rafraîchis mécaniquement. Cela fait ressentir l'inconfort thermique de manière encore plus importante. Mais, les vrais problèmes de ce bâtiment sont autres, comme le système de rafraîchissement choisi, le grand taux de vitrages et les protections solaires. Le schéma fonctionnel décidé par l'architecte les rend encore plus évidents.

Dans le cas de la Kenilworth School à Petaluma, comme pour le Lycée français de Damas, le choix de l'architecte de réaliser un bâtiment pavillonnaire ne facilite pas non plus l'usage, car il faut se déplacer sur des parcours extérieurs mal protégés des intempéries et du soleil. De plus, le choix de grands espaces extérieurs peu verdoyants et très minéraux n'est pas très adapté. Concernant le projet d'habitation de Pattada, le grand problème a été la volonté des clients d'avoir deux chambres en mezzanine au dernier étage, ce qui rend ces pièces impossibles à rafraîchir et sûrement très inconfortables pendant les périodes de canicule estivale.

Pour les autres bâtiments, le schéma fonctionnel est presque toujours bien adapté aux usages et aux systèmes de rafraîchissement mis en place. De plus, souvent les parcours verticaux et horizontaux ont des fonctions importantes pour les stratégies de rafraîchissement mises en place.

Nous voudrions signaler de ce point de vue le Department of Global Ecology de Stanford, où le concepteur a réussi à trouver des solutions très simples pour des problèmes importants. Il fallait créer un espace pour 80 réfrigérateurs/congélateurs pour les laboratoires, cela comporte des charges thermiques importantes, comme c'est souvent le cas des serveurs. Le concepteur a réussi à réaliser un espace indépendant, très ventilé pour loger les réfrigérateurs. C'est simple et banal, mais c'est rare de le voir mis en œuvre.

Le schéma fonctionnel d'un bâtiment doit nécessairement être réfléchi sur l'usage, mais pas seulement. Les circulations verticales et horizontales sont des opportunités pour les passages d'air et le concepteur devrait les exploiter de la manière la plus optimisée possible au système de rafraîchissement mis en place. De plus, la grande difficulté dans un bâtiment rafraîchi passivement est de réduire les charges thermiques internes. Il faut impérativement que l'architecte réfléchisse à ce problème en isolant les composantes qui sont à la base des charges internes les plus importantes, en général la salle contenant les serveurs, l'appareillage technique, etc. Cela doit être fait en garantissant toujours une accessibilité simple et confortable de ces espaces, en pensant toujours à mettre un sas entre deux espaces à températures différentes. De plus, comme les appareils produisant de la chaleur ont naturellement besoin de dissiper cette chaleur en excès, il faut toujours ventiler ces espaces.

### Incohérences à éviter

Eviter de rendre inconfortables les déplacements des usagers dans le bâtiment, comme nous l'avons remarqué dans les exemples de Damas et Petaluma. Le Lycée Français de Damas, comme la Kenilworth School de Petaluma, sont des bâtiments pavillonnaires et les usagers sont obligés de se déplacer dans des coursives extérieures peu protégées du froid et de la chaleur. De plus, la cour de récréation extérieure du bâtiment de Damas est très 'minérale' et la grande dalle en béton clair, avec très peu d'arbres est presque inutilisable en été. De plus son albédo élevé éblouit les usagers.

Eviter des dispositions qui empêchent le bon fonctionnement du rafraîchissement dans le bâtiment, pourrait paraître banal, mais souvent les incohérences que nous avons rencontrées sont 'banales'. Nous pouvons citer les systèmes d'ouverture bruyants des tours de rafraîchissement de l'école Kenilworth à Petaluma. Ce dispositif lié au schéma fonctionnel des espaces rafraîchis, ne permet pas d'utiliser les systèmes de rafraîchissement.

### Règles positives

Le schéma fonctionnel doit être étudié pour desservir au mieux les fonctions du bâtiment, avec une attention particulière aux systèmes de rafraîchissement prévus.

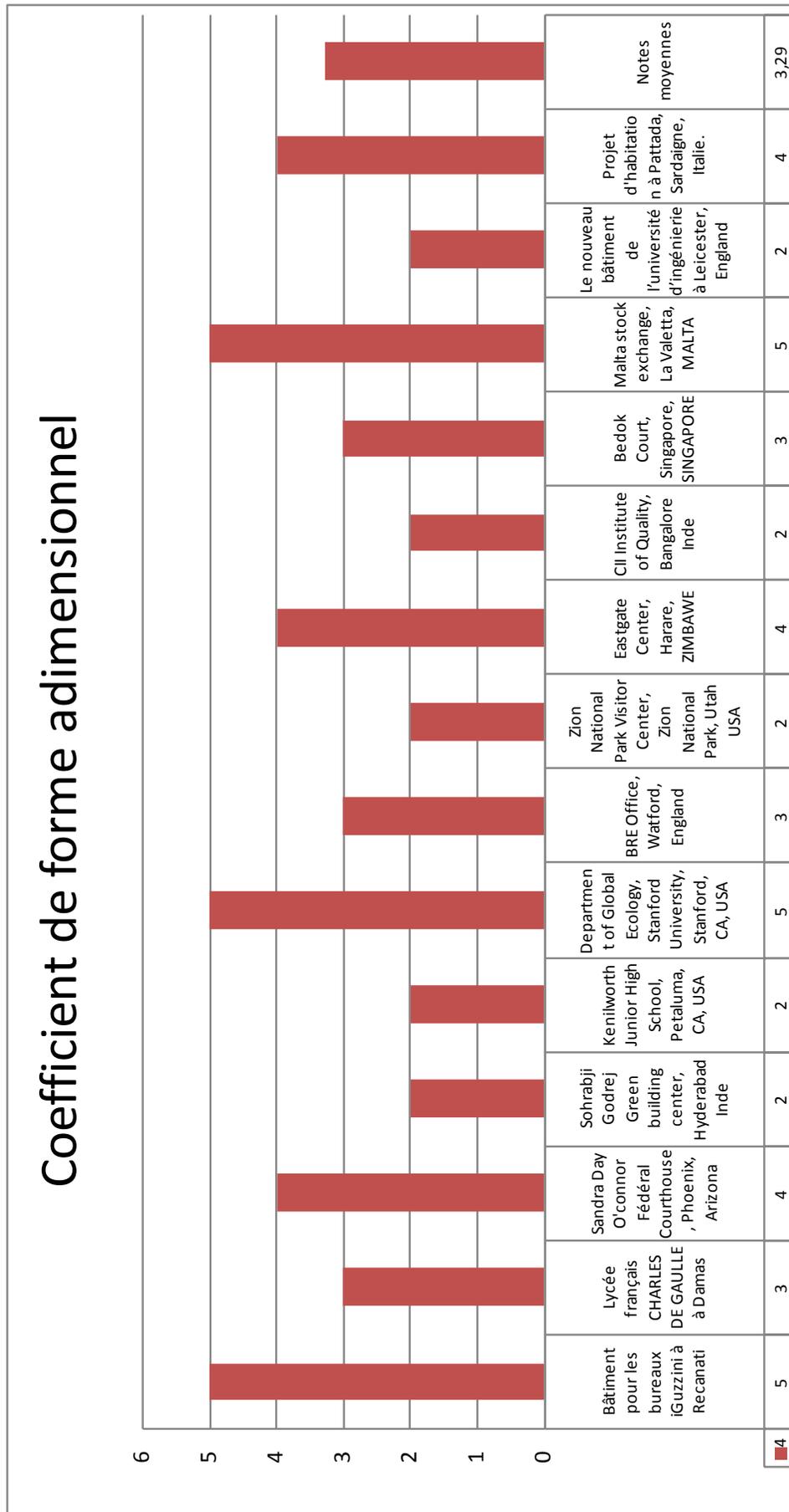
Il est fondamental d'exploiter toutes les 'occasions' possibles pour améliorer les mouvements de l'air en fonction des nécessités : trémies, puits de lumière, cages d'escaliers, ...

Le concepteur devrait essayer de prévoir des espaces verts extérieurs et intérieurs qui pourraient être d'une aide appréciable au rafraîchissement.

Toutes les sources de chaleur internes devraient être isolées. Nous citons deux exemples intéressants. D'une part, le Department of Global Ecology de Stanford, où les 80 réfrigérateurs nécessaires aux laboratoires ont été placés dans une pièce ventilée, séparée de la zone d'usage. D'autre part, l'Eastgate de Harare où les transformateurs des luminaires ont été placés dans les conduits d'extraction de l'air. C'est grâce à des détails et des attentions de ce type qu'un concepteur peut réaliser un bâtiment réussi.

Prévoir toujours des sas pour séparer des espaces avec des températures différentes.

## Le coefficient de forme adimensionnel



8. Graphe de synthèse du dispositif Coefficient de forme adimensionnel

Le coefficient de forme adimensionnel nous donne des indications sur la forme pure du bâtiment, c'est-à-dire sur la forme, mais pas sur l'échelle.

A propos des bâtiments analysés, nous pouvons voir combien les notes les plus basses sont réservées aux bâtiments les plus fragmentés, le bâtiment de Leicester, le Sohrabbji Center, le Zion Visitor Center et le CII Institute of Quality, caractérisés par des formes irrégulières et fragmentées. Pour l'école Kenilworth le problème est qu'elle n'est pas seulement pavillonnaire, dans son ensemble, mais que les pavillons ont des toitures mal orientées et des formes pas parfaitement régulières, ce qui nous a poussés à donner une note de 2.

Dans tous les cas, nous avons remarqué que ce dispositif n'est pas l'origine principale des éventuelles défaillances des bâtiments analysés, mais c'est plutôt une cause contributive qui fait ressortir des problèmes déjà existants.

Il apparait que plus un bâtiment est compact, plus il sera simple d'éviter les apports solaires. De plus, si la forme est régulière, il est aussi plus simple de contrôler les apports solaires. Nous ne voulons pas dire que chaque bâtiment rafraîchi passivement doit être en forme de parallélépipède, mais plus la surface extérieure sera exposée, plus l'attention de l'architecte devra être importante pour la protéger et l'isoler de l'extérieur. Dans certains cas un peu spéciaux une forme irrégulière pourrait même apporter des avantages, nous pensons là où la ventilation est importante, la forme du bâtiment pourrait être une façon de ramener l'air.

En conclusion, le concepteur doit évaluer avec une extrême attention la nécessité au moins de réaliser un bâtiment irrégulier et il doit toujours avoir présent à l'esprit que plus la surface est exposée, plus les difficultés de protéger le bâtiment et de réussir à le rafraîchir passivement seront grandes.

### **Incohérences à éviter**

Eviter d'exposer des grandes surfaces aux intempéries est important, cela est de plus en plus vrai dans les climats froids, mais il demeure valable dans des climats tempérés et chauds.

Les formes trop fragmentées rendent moins simple le contrôle de la radiation solaire.

### **Règles positives**

Créer un bâtiment compact permet de réduire les surfaces exposées aux intempéries et facilite le contrôle solaire et des charges externes.

Cette règle n'est pas toujours valable car une forme irrégulière peut amener des avantages si elle est bien étudiée et dans des conditions climatiques particulières.

Créer un bâtiment irrégulier, ou peu compact, demande un effort supplémentaire au concepteur pour tenir compte des contraintes supplémentaires.

Attention, plus un bâtiment est compact, plus il est difficile à éclairer par la lumière du jour.

## Le taux de vitrage actif



9. Graphe de synthèse du dispositif Taux de vitrage actif

Le taux de vitrage actif est l'un des indicateurs les plus problématiques pour les bâtiments que nous avons étudiés. Nous avons construit cet indicateur pour analyser l'inconfort thermique des usagers les plus proches des surfaces vitrées, car souvent les architectes protègent les surfaces vitrées de la radiation directe du soleil, en oubliant les deux problèmes des parois vitrées : l'effet de paroi fine, faible résistance thermique, et les apports thermiques dus à la radiation diffuse. De plus, souvent dans la même saison il est nécessaire d'exploiter les apports solaires, tandis qu'à d'autres moments il faut s'en protéger. Cela rend très difficile la réalisation d'une protection solaire efficace des parois vitrées, qui puisse satisfaire les besoins en éclairage naturelle, tout en protégeant efficacement du rayonnement solaire, en particulier si elle est statique.

Ces problèmes peuvent être à la base d'inconfort des usagers. La réduction des surfaces vitrées ne doit pas non plus être excessive, l'éclairage naturel est un paramètre très important, car il est nécessaire d'optimiser le taux de surfaces vitrées en fonction des besoins en éclairage naturel, l'optimum est dans l'équilibre.

Nous avons remarqué que presque toujours les bâtiments que nous avons analysés ont des surfaces vitrées trop importantes, qui sont des problèmes pour les systèmes de rafraîchissement passif.

Nous pensons que cela dépend en particulier de la typologie des bâtiments étudiés. En général les bâtiments de bureaux sont très vitrés, à cause des choix architecturaux, ou par la volonté des clients. Nous savons que souvent par la recherche de la transparence les architectes veulent donner une idée de clarté à l'entreprise représentée, comme dans le cas du bâtiment de direction de l'entreprise iGuzzini. Il est caractérisé par deux grandes façades vitrées une au nord et une au sud. Même si la façade au sud est protégée du rayonnement solaire direct, cette paroi constitue une des causes de l'échec de ce bâtiment, qui aurait pu être bien plus performant. Les protections solaires statiques protègent le bâtiment pendant les mois les plus chauds et laissent passer la radiation solaire pendant l'hiver. Mais pendant le printemps et l'automne la radiation solaire directe touche la façade vitrée, ce qui peut engendrer des surchauffes. De plus, l'apport dû à la radiation diffuse est sans doute très important et engendre des surchauffes.

Un autre cas d'échec de bâtiment dû aux énormes surfaces vitrées exposées au soleil est la Sandra O'Connor Courthouse de Phoenix. C'est un exemple de ce qu'il faut éviter de reproduire, si nous voulons construire de manière bioclimatique, en employant des systèmes de rafraîchissement passifs. L'architecte R. Maier a réalisé un énorme parallélépipède de verre et il l'a positionné en plein désert de l'Arizona. Il est clair que ce bâtiment, avec ces caractéristiques, même avec tous les dispositifs mis en place par la suite pour protéger les surfaces vitrées du rayonnement solaire, n'aurait jamais dû être rafraîchi passivement. De plus, l'énorme place couverte a été rafraîchie par évaporation directe, ce qui dans un climat chaud et extrêmement sec est idéal, mais dans une région qui a de grands problèmes d'approvisionnement en eau c'est absurde. Pour le rafraîchissement de la Courthouse 6000 l/jour en moyenne pendant 6 mois sont nécessaires.

Le reste des bâtiments ont des notes acceptables ou légèrement négatives

par rapport à ce dispositif.

Nous pouvons dire que de toute façon les surfaces vitrées sont une source de charges thermiques, apportées par l'excès de perméabilité solaire des façades vitrées, pour un bâtiment rafraîchi passivement. En même temps il serait pire de réaliser des bâtiments sans apport de lumière du jour. Il est nécessaire, en réalisant un bâtiment rafraîchi passivement, d'optimiser les surfaces vitrées et d'en réduire la quantité au minimum. Comme nous avons déjà dit, la meilleure performance de ce dispositif, est l'équilibre entre la nécessité d'éclairer et la nécessité de rafraîchir.

### **Incohérences à éviter**

Nous pouvons dire que les surfaces vitrées sont une source de problèmes pour un bâtiment rafraîchi passivement, mais en même temps ce serait pire de réaliser des bâtiments sans apport de lumière du jour.

Eviter de réaliser de grandes parois vitrées qui comportent toujours des problèmes pour les systèmes de rafraîchissement passif, à cause de la radiation directe et diffuse.

Attention, la réduction des surfaces vitrées ne doit pas non plus être excessive, l'éclairage naturel est l'un des paramètres les plus importants, l'optimum est dans l'équilibre.

### **Règles positives**

La réduction des surfaces vitrées doit être effectuée avec attention car pour le confort des usagers il est nécessaire de bien éclairer les bâtiments par la lumière naturelle.

Le concepteur doit optimiser le plus possible les surfaces vitrées.

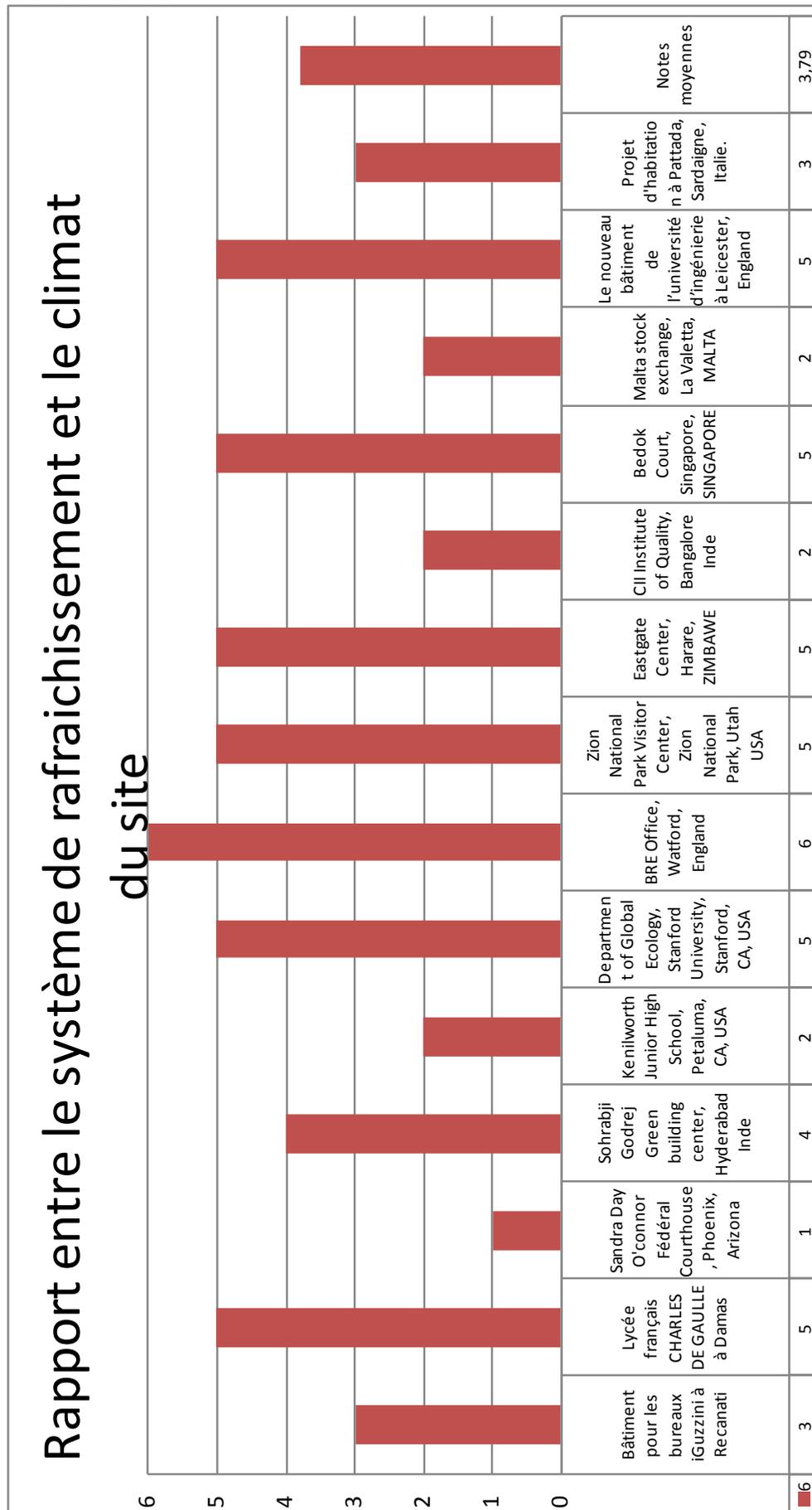
Les protections solaires doivent garantir le passage d'un minimum de lumière.

Il vaut mieux prévoir des protections solaires mobiles, même si cela pose toujours des problèmes de durée de vie, car souvent dans la même saison il est nécessaire d'exploiter les apports solaires ou de s'en protéger. Il est très difficile de réaliser une protection solaire efficace, en particulier si elle est statique.

Les surfaces vitrées doivent avoir des caractéristiques de résistance thermique, facteur solaire, facteur lumineux 'performantes'.

Comme déjà affirmé, l'idéal est dans l'équilibre : une bonne pénétration de l'éclairage naturel, une bonne vision de l'extérieur pour les usagers et la réduction au minimum des surfaces vitrées.

## Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site



10. Graphe de synthèse du dispositif Rapport entre le système de rafraîchissement et le climat du site

Ce dispositif nous donne une image du potentiel de rafraîchissement du système choisi par l'architecte par rapport au le climat du site. Comme nous pouvons le voir, rares sont les bâtiments qui ont des notes négatives. En premier lieu, nous trouvons une note de 1 pour la Sandra O'Connor Federal Courthouse. Ce bâtiment exploite le système de rafraîchissement par évaporation directe, ce qui est l'idéal dans un climat désertique, mais notre évaluation prend aussi en compte le fait que le bâtiment exploite un système de rafraîchissement très gaspilleur en eau (6000l/jour en moyenne pendant 6 mois et 13000 l/jours en été) ce qui ne nous semble pas acceptable en plein désert. De plus, cette énorme consommation en eau n'est pas justifiable, car le bâtiment à cause de sa conception est impossible à rafraîchir.

D'autres bâtiments ont des notes négatives, le premier est la Kenilworth School de Petaluma, où l'architecte a choisi un système de rafraîchissement un peu trop compliqué et inadapté à ce climat. Pour garantir le confort des usagers, un bon rafraîchissement par ventilation nocturne et une protection solaire efficace auraient été suffisants. De plus, une des causes de l'échec de ce bâtiment est le système de rafraîchissement choisi, inadapté à l'usage et aux fonctions des pièces rafraîchies.

Dans le cas de la bourse de Malte et du CII Institute of Quality de Bangalore, les deux bâtiments sont rafraîchis par évaporation directe, mais dans les deux cas l'humidité relative est souvent trop élevée pour pouvoir exploiter au mieux ce type de rafraîchissement.

Les autres bâtiments ont presque toujours des notes positives, car les systèmes de rafraîchissement choisis s'adaptent bien aux climats et aux systèmes bâtiments.

Nous voudrions citer un cas un peu particulier, c'est le Department of Global Ecology de Stanford. Ce bâtiment exploite le système de rafraîchissement radiatif nocturne, il est le seul réalisé et utilisé que nous connaissons qui utilise ce système de rafraîchissement. De plus sur les logiciels d'analyse climatique (nous avons utilisé Ecotect de Autodesk, mais le problème existe pour presque tous les logiciels) il n'existe pas de possibilité d'évaluer le potentiel de rafraîchissement par radiation de la voûte céleste.

Cependant, ce système de rafraîchissement nous semble très astucieux et adapté à tous les climats qui peuvent profiter de ciels nocturnes peu nuageux.

Pour conclure nous pouvons dire qu'il ne suffit pas que le système de rafraîchissement choisi par l'architecte soit le plus performant dans un climat déterminé, ce qui est fondamental est l'harmonie entre le système choisi, le climat, l'usage et le système bâtiment. Bien sûr plus fort sera le potentiel de rafraîchissement, plus larges seront les possibilités de réussir garantir le confort thermique des usagers.

Nous sommes tout de même convaincus que le choix du système de rafraîchissement à installer doit être donné par un équilibre entre usage et climat. Nous pourrions difficilement imaginer de rafraîchir une habitation, en climat méditerranéen, par des systèmes très complexes, demandant des centrales de contrôle délicates et coûteuses. De la même manière, il sera presque impossible de rafraîchir un bâtiment de bureaux, toujours dans un climat

méditerranéen, aux apports internes très importants, par la simple ventilation directe ou ventilation nocturne. De plus, dans ce deuxième cas il s'agira de prévoir des technologies qui permettront d'optimiser le fonctionnement du bâtiment et améliorer les prestations des systèmes de rafraîchissement mis en place.

### **Incohérences à éviter**

Eviter de choisir un système de rafraîchissement sans considérer les problèmes environnementaux du site et les problématiques liées à l'usage. Les exemples que nous avons présentés : La Sandra O'connor Courthouse de Phoenix et la Kennilworth School de Petaluma nous montrent que souvent ces aspects sont sous-évalués par les concepteurs.

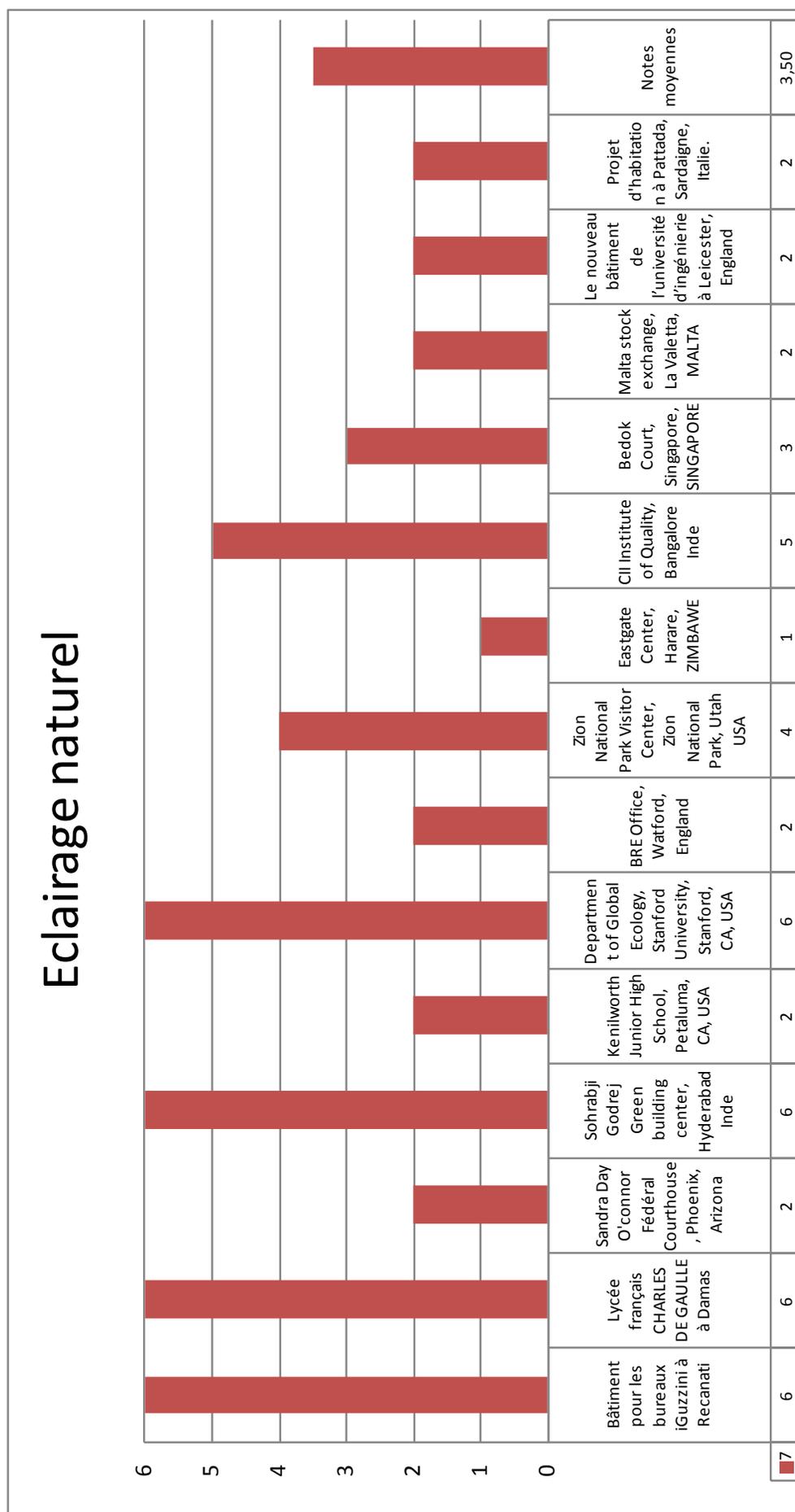
Eviter de choisir des systèmes compliqués, qui ne s'adaptent pas parfaitement à l'usage, même s'ils sont les plus performants dans un climat déterminé.

### **Règles positives**

Plus fort sera le potentiel de rafraîchissement, plus larges seront les possibilités de réussir à garantir le confort thermique des usagers.

Le système de rafraîchissement devra être choisi par rapport au climat du site, le schéma fonctionnel et l'architecture du bâtiment en seront fortement influencés. Le système de rafraîchissement choisi par l'architecte doit être le plus performant possible et en harmonie avec l'usage et le système bâtiment

## L'éclairage naturel



11. Graphe de synthèse du dispositif Eclairage naturel

L'éclairage naturel est un dispositif presque à l'antithèse du taux de vitrage actif. Il ressort aussi dans quelques notes attribuées, mais comme nous l'avons déjà dit, l'optimum devrait être dans l'équilibre entre ces deux notes. De plus, la position et l'exposition des fenêtres doivent permettre d'avoir un bon éclairage naturel, sans pour autant avoir de grandes surfaces vitrées.

Parmi les bâtiments analysés, nous pouvons voir combien les notes sont très différentes. Le seul bâtiment qui a une note de 1 est l'Eastgate Center. Dans ce cas l'apport de la lumière du jour a été volontairement minimisé, pour réduire les apports thermiques. Selon les analyses faites par Ove Arup (parmi les plus connus des bureaux d'études du monde), en doublant la surface vitrée sur la façade nord, la température de pic aurait été 1°C supérieure. Vu le climat du site la préférence a été de réduire l'apport d'éclairage naturel et d'améliorer le confort thermique des usagers. Le résultat final a été que les luminaires restent allumés pendant tout le temps d'occupation. De plus, dans les bureaux les luminaires choisis sont à basse température, mais dans les commerces du RDC les luminaires choisis dépendent de l'aménagement. Nous pouvons émettre l'hypothèse que ce choix n'est pas très fructueux, les luminaires toujours allumés impliquent des charges thermiques importantes, sans oublier la consommation électrique.

D'autres bâtiments ont des notes négatives, nous allons les analyser en détail.

Concernant la Sandra O'connor Courthouse, la note est négative, car même si certains espaces sont très éclairés, peut-être trop, les couloirs et les bureaux ont besoin d'être éclairés artificiellement pendant les heures d'occupation. Cela est un peu étrange, dans un bâtiment où il est obligatoire d'utiliser les lunettes de soleil pour ne pas être ébloui dans la grande place couverte, selon le journaliste Coleman. L'éclairage est insuffisant pour les salles rafraîchies passivement aussi pour la Kenilworth School, ce qui oblige à garder toujours les éclairages artificiels allumés.

Un discours différent doit être fait pour les bâtiments du BRE à Watford et le Queens Building de l'université de Leicester. Dans ces deux cas, les concepteurs avaient étudié de manière très approfondie le problème de l'éclairage naturel et auraient souhaité réduire l'apport en éclairage artificiel au minimum nécessaire. Dans les deux bâtiments, ont été installés des capteurs de lumière qui auraient dû contrôler l'intensité de l'éclairage artificiel. Malheureusement pour le bâtiment du BRE le niveau d'éclairement prévu est trop faible. Pour être plus précis, le nombre de lux sur les surfaces horizontales est suffisant, mais pour ce qui regarde les surfaces verticales il est trop faible. Ce problème amène de l'inconfort visuel et dépend en partie des corps lumineux choisis et de leur position. Les usagers pour résoudre ce problème ont augmenté au maximum la puissance lumineuse et cela a été à la base d'une surconsommation importante, par rapport à ce qui était prévu. Le problème du Queens Building a été similaire, dans une première période les capteurs installés étaient défectueux, une fois substitués, le problème n'a pas été complètement résolu, car la difficulté de bien régler les systèmes de contrôle sur l'intensité lumineuse désirée a poussé les usagers à utiliser les lumières toujours à la puissance maximale. Dans ce cas aussi la consommation due à ces problèmes a été importante.

Pour le projet d'habitation de Pattada et la bourse de Malte, le problème est que tout simplement les fenêtres ne sont pas assez grandes. De plus, les volets persiennes utilisés pour le contrôle de la radiation solaire directe et diffuse ne laissent pas passer assez de lumière.

Il est assez difficile de trouver un compromis entre éclairage naturel et nécessité de réduire les apports thermiques, un exemple clair de ce point de vue est le bâtiment iGuzzini qui a une très mauvaise note pour le taux de vitrage actif et une très bonne note pour l'éclairage naturel. De plus, il est aussi très important de garantir un éclairage naturel de bonne qualité. La lumière directe du soleil même en hiver est souvent désagréable. Travailler devant l'écran de l'ordinateur dans une pièce trop éclairée est presque impossible. L'éblouissement est à éviter. De ce point de vue les écrans de réverbération de l'éclairage naturel du Department of Global Ecology de Stanford sont intéressants. C'est un dispositif simple et efficace, qui d'ailleurs a toujours été utilisé dans l'architecture vernaculaire.

Dans le cas du Department of Global Ecology, comme pour le Sohrabji Godrej Center, le Lycée Français et le bâtiment de direction d'iGuzzini les études pour optimiser l'éclairage naturel, réduire les nuisances d'éblouissement et réduire au minimum nécessaire l'utilisation d'éclairage artificiel ont été très poussées et réussies.

Le concepteur doit réfléchir à l'éclairage naturel comme quelque chose de fondamental pour le confort des usagers. Il apparaît que trop de surfaces vitrées ne sont pas acceptables dans un climat chaud. Les fenêtres doivent être étudiées de manière à être les plus protégées possible. La protection doit être 'flexible' car les apports thermiques sont à éviter en été, mais ils sont nécessaires en hiver. De plus, la position des fenêtres doit être optimisée pour garantir la plus grande pénétration de la lumière du jour, sans causer de problèmes d'éblouissement des usagers.

Des dispositifs comme volets, brises soleil, écrans de réverbération, rideaux, etc. doivent être utilisés avec attention et conscience.

Aujourd'hui les outils de simulation de l'éclairage naturel sont de plus en plus précis. L'architecte devrait employer de tels instruments pour valider le projet avant la réalisation. Cela permettrait de réduire les incohérences que nous avons constatées.

### Incohérences à éviter

Eviter de trop réduire l'éclairage naturel pour diminuer les apports thermiques.

Eviter l'éblouissement des usagers.

Eviter de sous ou sur éclairer : les systèmes de contrôle doivent être bien étudiés et efficaces.

Eviter des systèmes de contrôle de la radiation solaire qui empêchent complètement le passage de la lumière du jour.

Les systèmes de contrôle automatique de l'intensité de l'éclairage sont souvent difficiles à régler. Installer ce type de système seulement si cela est vraiment nécessaire et rentable.

### Règles positives

Il est aussi très important de garantir un éclairage naturel de bonne qualité. La lumière directe du soleil, même en hiver, est souvent désagréable et peut éblouir. Cela passe également par le choix des couleurs internes des espaces, pour améliorer la réfraction et la diffusion de la lumière.

Des dispositifs comme les volets, brise-soleil, rideaux ... doivent être utilisés avec attention et précision.

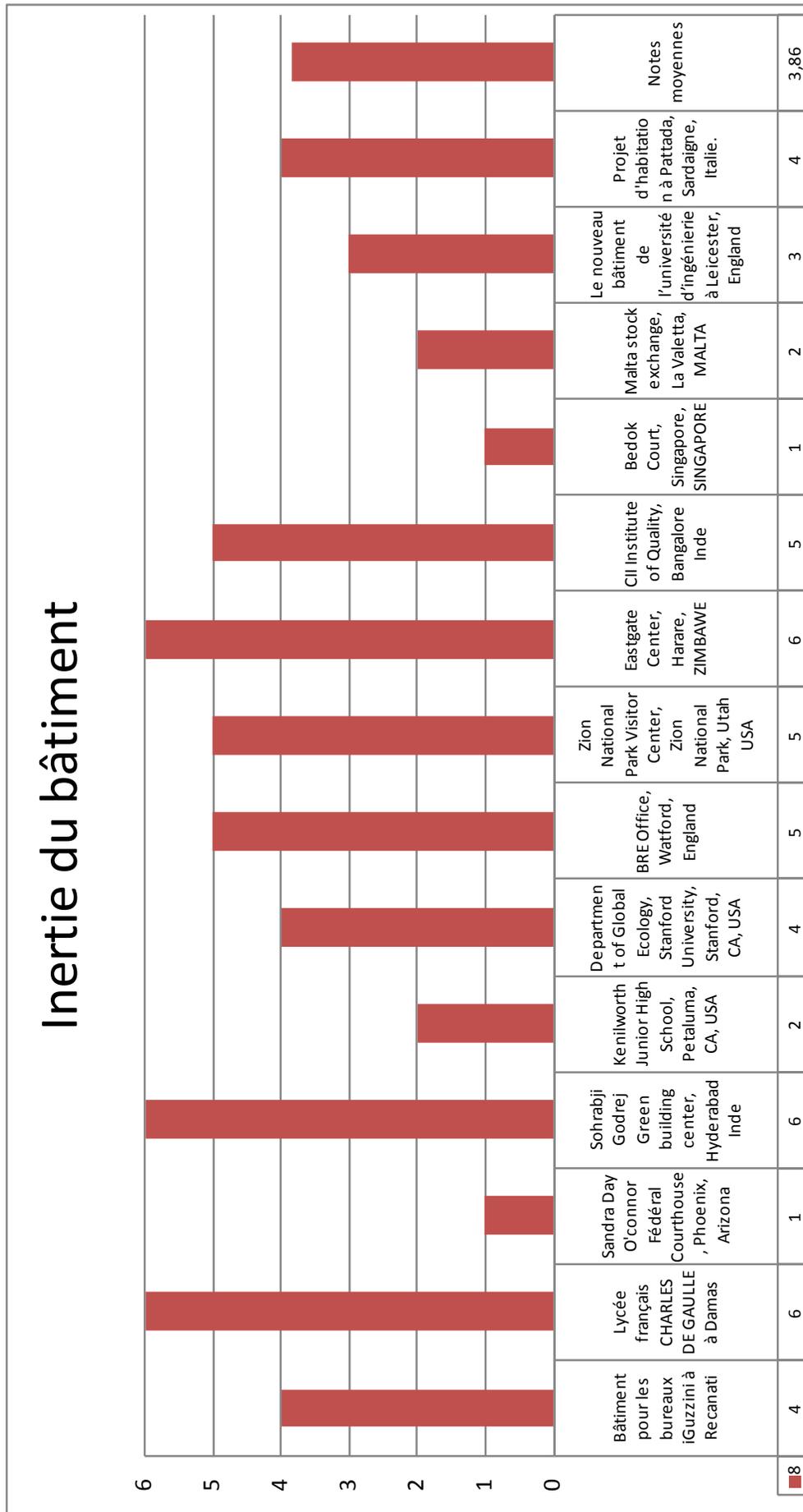
Utiliser des dispositifs de réfraction de la lumière pour améliorer l'éclairage indirect.

Prévoir des protections solaires et des protections contre l'éblouissement 'flexibles'.

La position des fenêtres doit être optimisée pour garantir la plus grande pénétration de la lumière du jour, sans causer de problèmes d'éblouissement des usagers.

Prévoir des simulations de l'éclairage naturel du projet. Ne jamais oublier que l'éclairage des surfaces horizontales est aussi important que l'éclairage des surfaces verticales, pour le confort des usagers.

## L'inertie du bâtiment



12. Graphe de synthèse du dispositif Inertie du bâtiment

La capacité d'un bâtiment à maintenir stable sa température dépend en bonne partie de son inertie. Souvent les bâtiments rafraîchis passivement exploitent l'inertie pour stocker les frigorifiques accumulés grâce à la ventilation nocturne, et pouvoir les rendre pendant la journée. Cette stratégie est une des plus simples et rentables à utiliser pour rafraîchir un bâtiment. Les bâtiments que nous avons analysés exploitent presque toujours bien la masse thermique des murs et planchers, pour réguler la température interne.

Les bâtiments qui ont une note négative sont au nombre de deux : la Sandra O'Connor Courthouse et le Bedok Court de Singapour. Le premier cas, comme nous l'avons vu, est un bâtiment mal conçu, même pour le dispositif masse thermique, il ne l'exploite pas du tout, au contraire, elle est mal exposée et peut donner lieu à des phénomènes d'accumulation de calories. Le bâtiment Bedok Court a été noté négativement, car dans ce cas la masse thermique a un rôle négatif pour le confort des usagers. D'une part, Singapour a un climat équatorial et la fluctuation des températures entre jour et nuit est faible et la masse thermique, dans ces cas extrêmes, risque d'être un accumulateur de calories plutôt que de frigorifiques, d'autre part, encore plus grave, le concepteur n'a pas assez bien protégé les coursives en béton, qui sont exposées au rayonnement direct. Cette incohérence est cause d'inconfort thermique pour les usagers et d'échec pour le système bâtiment.

La Kenilworth School exploite très peu sa masse thermique, dans un type de bâtiment où auraient été suffisants une bonne ventilation nocturne et la masse thermique pour garantir le confort des usagers.

Pour la bourse de Malte, nous avons donné une note de 2, car ce bâtiment, qui était à l'origine une église, a une masse thermique énorme dans les murs du périmètre, mais l'intervention de l'architecte en réalisant des planchers à structure métallique à l'intérieur et adossant les petits bureaux tout le long du périmètre du bâtiment en réduit l'efficacité et exploite mal la masse déjà présente.

D'autres bâtiments exploitent de manière excellente la masse thermique. Nous citons le Lycée Charles de Gaulle à Damas, avec les conduits d'arrivée d'air qui se trouvent sous la dalle, pour exploiter la masse thermique du sol. L'Eastgate Center avec ses planchers creux où passe l'air pendant la nuit pour les pré-rafraîchir de manière très efficace. Ce dispositif a été utilisé aussi dans le bâtiment iGuzzini et dans le bâtiment du BRE.

Presque toujours la masse thermique et la ventilation nocturne constituent la base des systèmes de rafraîchissement, parce que ce sont deux dispositifs faciles à mettre en œuvre et presque toujours très rentables. D'ailleurs dans tous les climats où il y a une réduction sensible de la température la nuit, ces dispositifs devraient être exploités au mieux. Il faut naturellement réfléchir à la mise en œuvre. Cela semble simple, mais il y a des difficultés dues aux systèmes de contrôle, la sécurisation du bâtiment pendant les heures nocturnes et, pour les bâtiments d'habitation, la ventilation nocturne ne peut pas être prévue dans les chambres. Le concepteur doit utiliser ce dispositif, mais il faut réfléchir avec attention à la manière dont cela est utilisé. Les protections solaires et la masse thermique peuvent produire des problèmes, si mal positionnés. De plus, la masse thermique des murs ne suffit pas, il est plus

important d'exploiter la masse thermique des sols et planchers.

### Incohérences à éviter

La masse thermique élevée dans les climats équatoriaux peut comporter plus de problèmes que de solutions.

Eviter d'exposer la masse thermique du bâtiment à la radiation directe du soleil dont le résultat serait d'accumuler des calories très difficiles à dissiper.

Ne pas oublier d'exploiter au maximum la masse thermique des planchers et plafonds, c'est là qu'elle est la plus efficace.

Eviter les faux plafonds, si possible.

### Règles positives

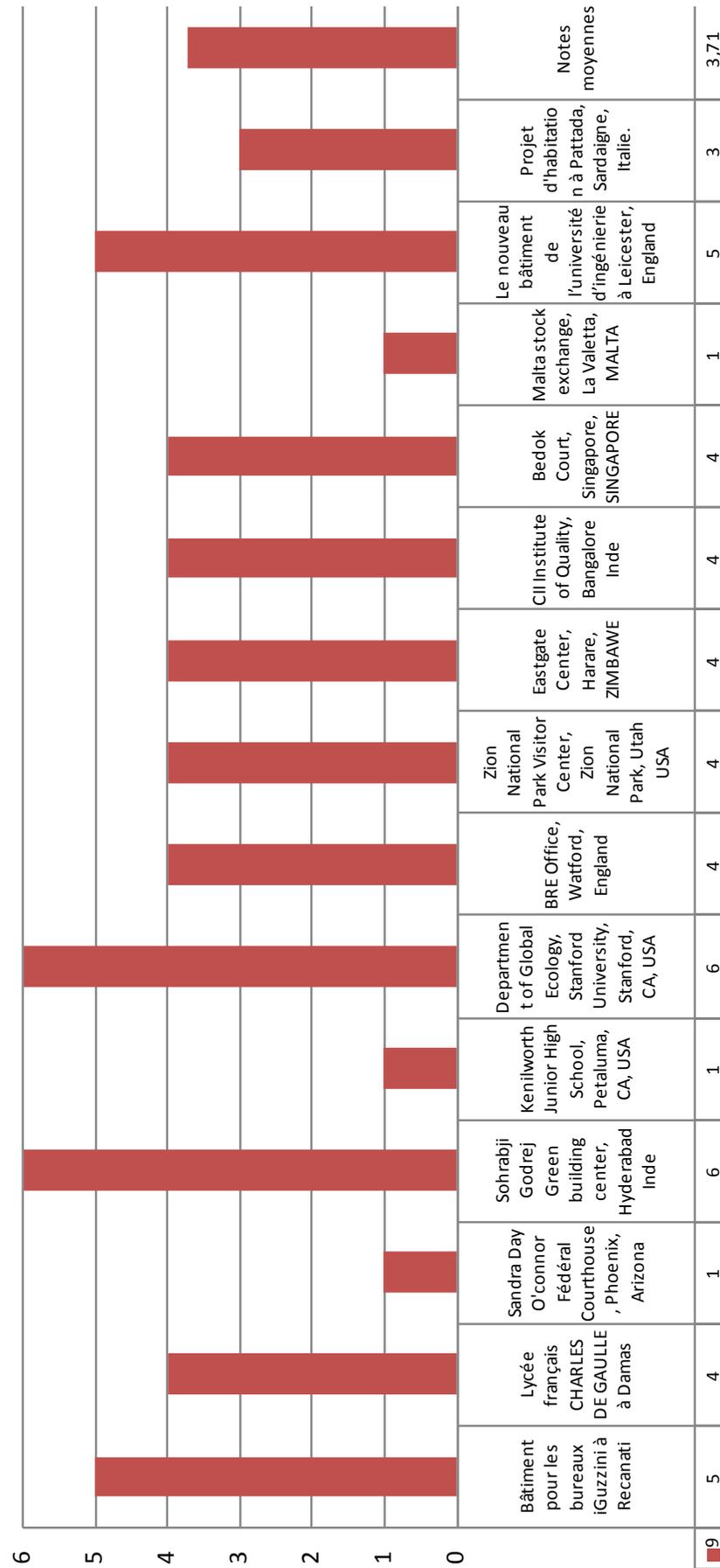
Un bâtiment avec une importante masse thermique garantit une stabilisation de la température et en réduit la fluctuation. Bien sûr, il faut que la masse thermique soit 'bien utilisée'. Une grande inertie thermique est presque toujours positive, sauf dans les climats où la température a des fluctuations journalières très faibles (climat équatorial), dans de telles conditions extrêmes, l'inertie thermique pourrait devenir un problème, plus qu'un avantage.

La masse thermique couplée à d'autres systèmes de rafraîchissement, comme la ventilation nocturne, peut garantir de bons apports de rafraîchissement, avec des dispositifs économiques et simples.

Parmi les bâtiments que nous avons étudiés nous voudrions citer des systèmes astucieux et reproductibles pour exploiter la masse thermique des planchers : l'Eastgate de Harare, le bâtiment du BRE à Watford et de manière un peu différente le Lycée Français de Damas.

## Le fonctionnement du système de rafraîchissement

### Fonctionnement du système de rafraîchissement



13. Graphe de synthèse du dispositif fonctionnement du système de rafraîchissement

Le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement est souvent typique du bâtiment et de ses caractéristiques architecturales.

Le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement passifs est très lié aux systèmes de contrôle et naturellement à l'usage des bâtiments. Nous avons remarqué que si ces deux dispositifs, sont mal conçus, inadaptés à l'usage ou mal gérés ils peuvent être la cause principale de défaillance de tout le système bâtiment.

De notre analyse, nous avons remarqué des défaillances importantes, mais aussi des projets intéressants et innovants.

Les défaillances les plus importantes concernent trois bâtiments. La Sandra O'Connor Courthouse est rafraîchie par un des brumiseurs à haute pression positionnés aux différents étages des coursives du bâtiment. Ce système comporte plusieurs problèmes : d'une part, il est très demandeur en eau et comme nous avons déjà dit. Dans une région désertique cette caractéristique est à considérer comme une erreur importante. De plus, les réservoirs d'eau à haute pression prévus dans le projet ont dû être changés, car trop petits par rapport aux nécessités réelles. D'autre part, ce système est aussi très demandeur en maintenance, les gicleurs doivent être nettoyés souvent, l'eau doit être purifiée de toute présence de calcaire et traitée contre la prolifération de bactéries (légiionnelles). Toutes ces contraintes en font un système très cher en entretien, exactement ce qui devrait être évité, et peu rentable au fil des années.

Pour la Kenilworth School, le choix de rafraîchir par évaporation directe des pièces non adaptées a été déjà commenté, mais en plus les tours évaporatives ont été très mal réalisées causant des problèmes supplémentaires qui en justifient l'échec complet. Les panneaux de cellulose n'ont pas été protégés du soleil, cela a entraîné une grande consommation d'eau à cause de l'évaporation, les panneaux n'ont pas été protégés des oiseaux non plus, naturellement ils sont rapidement devenus un lieu de nidification avec des problèmes de saleté et mauvaise odeur. Les rideaux métalliques qui ouvrent les tours sont bruyants, ce problème dans un gymnase, dans une bibliothèque ou une salle multi fonction est néanmoins désagréable.

La bourse de Malte aurait pu être un bâtiment réussi, mais la mauvaise réalisation de systèmes en fait un échec. Le premier problème rencontré a été dû au positionnement des brumiseurs d'eau. Certains d'entre eux ont été positionnés à quelques cm d'obstacles, comme un poteau. Naturellement l'eau brumisée mouille l'obstacle et les gouttes d'eau tombent sur les usagers. Deuxième problème, les ouvrants en partie basse, qui auraient dû garantir la ventilation nocturne et la sortie de l'air quand le système de brumisateurs est en fonction, ont été mal posés et laissent passer des courants d'air. Ce problème d'étanchéité à l'air, dans une zone de la ville extrêmement exposée aux vents, a poussé les usagers à bloquer les fenêtres avec des cartons et des meubles, en empêchant l'ouverture. Il apparaît évident que si l'air ne peut pas circuler le système de rafraîchissement ne fonctionnera pas.

Les autres bâtiments ont des notes positives. Nous allons analyser les notes très élevées du Department of Global Ecology et du Sohrabji Godrej Center.

Le Sohrabji Godrej Center est un bâtiment réalisé à Hyderabad. Le climat de cette ville est plus que difficile pour des systèmes de rafraîchissement passif, une saison sèche très chaude et une saison très humide de moussons s'alternent. Dans de telles conditions, l'architecte a décidé de rafraîchir le bâtiment avec plusieurs systèmes bien combinés. Pendant la nuit grâce à la ventilation nocturne et à deux tours évaporatives il pré-rafraîchit une pièce contenant des pierres, ayant fonction de stockage journalier de fraîcheur. Pendant la journée la fraîcheur est introduite dans les zones à rafraîchir. De plus, pendant la saison sèche le système évaporatif direct est mis en fonction pour augmenter le pouvoir rafraîchissant. Pendant la saison humide, il exploite la ventilation directe, en même temps que le stockage pré-rafraîchi. Quand les températures et l'humidité ne permettent plus aux systèmes passifs de garantir le confort des usagers le système de rafraîchissement mécanique prend le relais, aussi dans ce cas la rentabilité du système mécanique est améliorée en exploitant la masse thermique pré rafraîchie. Ce système de rafraîchissement est sans aucun doute un peu compliqué, mais dans la réalité il a été mis en place de manière simple et une centrale de contrôle qui gère les différents modes de fonctionnement. Cela a permis à l'architecte de réduire considérablement la taille des climatiseurs mécaniques et de réduire énormément la consommation électrique du bâtiment. C'est pour toutes ces raisons que ce bâtiment a reçu d'importants prix internationaux, comme le LEED award.

Un autre bâtiment très innovant est le Department of Global Ecology. Dans ce cas, le climat est un peu moins 'rude', mais les contraintes dues à l'usage sont très importantes. Les laboratoires humides ont besoin d'un taux de renouvellement d'air très élevé, ce qui pendant les périodes les plus chaudes de l'année est une grande contrainte.

Pour pouvoir rafraîchir le bâtiment, les concepteurs ont étudié un système de rafraîchissement très innovant. Pendant la nuit des sprinklers font couler une fine couche d'eau sur la toiture en zinc du bâtiment, l'eau est rafraîchie par son évaporation et par l'exposition à la radiation de la voûte céleste. L'eau ainsi rafraîchie est stockée dans un réservoir contenant 45 000 l. Cette réserve d'eau fraîche est utilisée pendant la journée pour rafraîchir les planchers et les panneaux radiants en plafond du bâtiment. Nous faisons remarquer qu'étant impossible de rafraîchir l'air, à cause des échanges d'air obligatoires, les concepteurs ont décidé de rafraîchir par radiation. De plus, en cas de période de canicule excessive une pompe à chaleur réduit de quelques degrés supplémentaires la température de l'eau. Cela est nécessaire pendant une ou deux semaines de l'année.

Ce type de choix, à l'apparence si simple, comme la décision de créer une pièce ventilée, mais non rafraîchie pour loger les 80 réfrigérateurs, font de ce projet un exemple très réussi et efficace.

Nous sommes convaincus qu'il est plus important de réduire au minimum la nécessité d'utiliser le rafraîchissement mécanique plutôt que de faire des choix extrêmes en essayant de ne pas l'utiliser, avec pour résultat que les usagers seront en inconfort thermique. Des choix extrêmes peuvent causer plus de problèmes que de réussites. Souvent les architectes oublient qu'ils travaillent pour réaliser un projet fonctionnel pour les usagers. Les projets

doivent être flexibles et permettre aux utilisateurs d'être en situation de confort. Malheureusement quand un projet est trop rigide les solutions adoptées par les usagers pour atteindre les températures de confort sont souvent très bricolées, comme installer des climatiseurs en façade. Il vaut mieux prévoir à l'avance et intégrer dans le projet des solutions alternatives aux systèmes passifs pour atteindre le confort pendant toute l'année. Cela dit, il n'est pas nécessaire de prévoir toujours des climatiseurs, mais si les conditions climatiques ne permettent pas d'atteindre le confort avec des systèmes passifs l'appoint d'un système mécanique ne doit pas être considéré comme impossible. De plus, le système mécanique peut très bien fonctionner en parallèle au système passif, ce qui permet de réduire la taille des machines et de les utiliser seulement comme appoint. Ces stratégies ont pour effet de réduire énormément la consommation électrique et garantir le confort des usagers.

Pour conclure, nous voudrions rappeler aux concepteurs que le fonctionnement du système de rafraîchissement doit nécessairement être réfléchi et pondéré en fonction de l'usage et du climat du site. Les incohérences, comme celles du bâtiment de Petaluma, sont graves et provoquent l'échec du système bâtiment.

Nous voudrions aussi signaler un point noir que nous avons remarqué à plusieurs reprises : il semble que réussir à réaliser des ouvrants mécaniques de bonne qualité et avec une bonne étanchéité soit particulièrement compliqué. Nous avons vu les anomalies rencontrées à Malte, mais d'autres bâtiments ont aussi souffert de ce type de problèmes (le Zion Visitor Center et le bâtiment de l'université de Leicester) et les maitres d'ouvrage ont été obligés de faire des opérations de maintenance lourdes, pour apporter des solutions.

### Incohérences à éviter

Eviter tous les systèmes très demandeurs en maintenance et les systèmes bruyants.

Ne pas oublier de protéger toujours les arrivées d'air de l'intrusion d'animaux, cela est particulièrement vrai pour les panneaux de cellulose dans les bâtiments rafraîchis par évaporation. Ces panneaux doivent aussi être protégés de la radiation solaire directe.

Ne pas oublier de protéger les bâtiments d'une effraction, en particulier si rafraîchis la nuit, cela doit être aussi une mesure pour rassurer l'utilisateur.

Ne pas réaliser de systèmes gaspilleurs en eau, ou autres ressources, dans des environnements où elles sont rares.

Eviter de réaliser des systèmes trop rigides, l'objectif doit être de le faire en garantissant le confort des usagers qui ne doivent pas être obligés de s'adapter au bâtiment. Cela devrait être le contraire.

Eviter d'être trop 'militant' dans la conception d'un bâtiment rafraîchi passivement car cela peut mener à des incohérences d'évaluation du comportement des usagers.

### Règles positives

Le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement doit être lié à l'usage, aux caractéristiques architecturales et au climat du site.

Vérifier soigneusement les phases de réalisation du projet, tous les détails doivent être contrôlés. Il ne suffit pas de faire un bon projet, il est nécessaire d'en garantir la bonne réalisation, avec beaucoup d'attention aux petits détails.

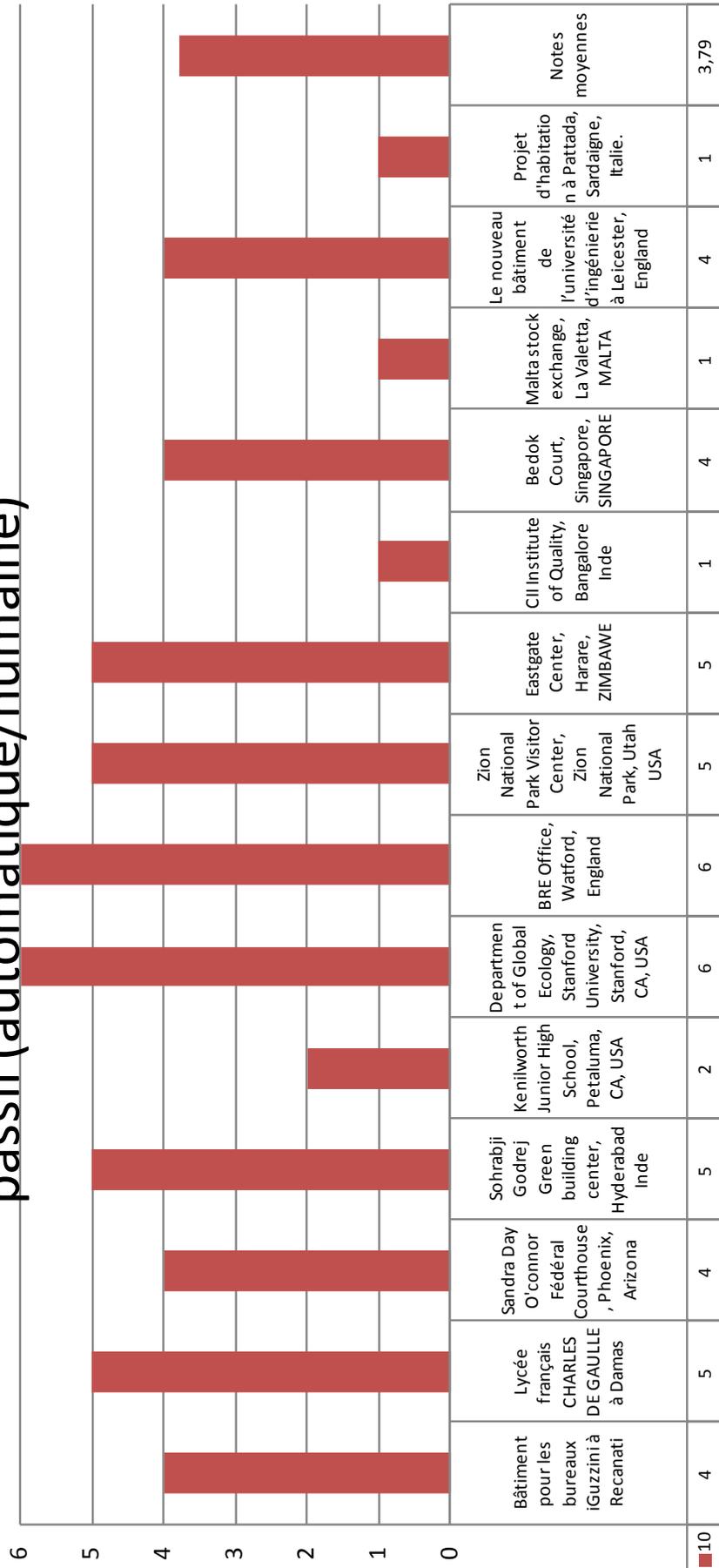
Dans des cas particuliers, il faut prévoir des systèmes hybrides qui peuvent garantir le confort quand le système passif ne suffit pas et éviter des solutions 'bricolées' par les usagers eux-mêmes. Il est naturellement préférable d'utiliser ces systèmes seulement en cas de réelle nécessité.

Il faut que le fonctionnement du système de rafraîchissement soit le plus flexible possible et doit pouvoir s'adapter à des modifications des conditions de départ.

Il est nécessaire de contrôler avec soin la qualité des ouvrants mécaniques et leur étanchéité à l'air.

## La stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

### Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif (automatique/humaine)



14. Graphe de synthèse du dispositif Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

La stratégie de contrôle des systèmes de rafraîchissement est un de points les plus difficiles à résoudre pour un architecte. Comme pour le fonctionnement des systèmes, leur contrôle est fondamental pour le succès du bâtiment.

Nous pouvons voir combien les défaillances des stratégies de contrôle peuvent engendrer des échecs.

Comme nous l'avons déjà dit, il est fondamental pour un bâtiment rafraîchi passivement d'observer une période de 'rodage' est presque une obligation. La stratégie de contrôle doit être affinée, pour adapter le comportement du système aux comportements des usagers. Il est aussi fondamental que les usagers soient au courant de la manière dont le contrôle des systèmes techniques du bâtiment fonctionne.

Suite à cette anticipation, qui est presque une conclusion, nous allons analyser les différents systèmes de contrôle mis en place dans les bâtiments étudiés.

Pour le CII Institute of Quality le problème principal a été le choix du maître d'ouvrage d'économiser sur l'achat d'une centrale de contrôle automatique et de passer à un système de contrôle humain. Ce choix dans le climat de Bangalore a été déterminant puisqu'il conduit à l'échec du système bâtiment, car le système de rafraîchissement par évaporation directe n'est pas en mesure de rafraîchir un bâtiment qui a déjà atteint la température d'inconfort. Les usagers font démarrer le rafraîchissement quand ils sont déjà en condition d'inconfort thermique, c'est-à-dire trop tard. Une centrale de contrôle programmée ferait démarrer le rafraîchissement bien avant, de manière à anticiper la hausse de la température au-delà du seuil d'inconfort. Il est néanmoins regrettable de réaliser un bâtiment avec ces caractéristiques et de chuter sur une décision si banale.

Le bâtiment de la Bourse de Malte a un souci différent. Le bâtiment a été livré sans que le système de rafraîchissement soit vraiment fini, nous ne savons pas si cela dépend d'un retard dans les travaux ou non, mais ce problème a empêché de faire différents tests et, comme déjà dit, le 'rodage' du système. Le résultat a été que dès la première mise en route se sont révélés des problèmes de condensation de l'eau brumisée, nous en avons déjà parlé. De plus, au début, vu que le système n'était pas utilisable, les usagers ont eu la possibilité de manoeuvrer les fenêtres, mais sans explication sur la manière optimale d'actionner l'ouverture et la fermeture. L'utilisation des ouvrants a donc été incorrecte et asynchrone par rapport aux autres systèmes de rafraîchissement. De plus, la maintenance et les contrôles sur le système de brumisation n'ont jamais été faits, cela aurait permis de relever la malfaçon dans la réalisation qui était cause dès le début des problèmes de condensation et qui a été découverte seulement après deux ans. Ces problèmes liés à une attitude très peu conciliante des usagers ont mené au mauvais fonctionnement du système bâtiment. Dans ce bâtiment le contrôle mixte des ouvrants a été l'une des causes d'échec.

Le projet d'habitation de Pattada a un problème similaire au CII Institute of Quality. Les clients ont décidé de changer le système de contrôle des ouvrants pour la ventilation nocturne. Cette décision aurait dû conduire à

un changement radical des systèmes d'ouverture, car les ouvrants actuels ne sont pas protégés de la pluie et du vent fort. Un système de contrôle automatique permettrait de résoudre ces problèmes, mais le contrôle manuel le rend impossible. Les usagers finiraient par ne jamais ouvrir les fenestrons hauts et les arrivées d'air en partie basse, s'ils devaient se lever en cas de fortes pluies nocturnes. Cette difficulté est très importante et demanderait de revoir complètement le projet.

Nous allons citer encore une fois la Kenilworth School. Dans ce cas la centrale de contrôle ne mesurait pas l'humidité dans les pièces rafraîchies, ce qui a entraîné des problèmes dans la bibliothèque. De plus, la centrale de contrôle était 'mal réglée' et les mouvements des rideaux métalliques étaient trop fréquents, ce qui a augmenté l'inconfort acoustique déjà perçu par les usagers.

Dans d'autres cas, nous avons rencontré des solutions efficaces. Pour le Department of Global Ecology, le système de contrôle est mixte. Cela a été possible, car le choix des concepteurs a été de rafraîchir par radiation, ce qui rend moins importante la température de l'air. Cette décision est très importante, car si d'une part les usagers peuvent faire un mauvais choix au regard du moment où ouvrir les fenêtres, en même temps il est très important pour le confort de leur laisser la possibilité de modifier les conditions environnementales. De plus, les usagers ont été sensibilisés sur la bonne manière d'ouvrir les fenêtres.

Un autre bâtiment qui a adopté une stratégie partiellement mixte est le BRE Office. Dans ce cas les fenêtres, les brises soleil et la ventilation sont contrôlées par une centrale, mais les usagers peuvent intervenir et manipuler tous ces paramètres. Chaque nuit à minuit la centrale de contrôle reprend le relais et ré-optimise tous les dispositifs. Cette stratégie est un peu risquée, mais elle nous semble très intéressante et potentiellement efficace. Ce qui est très dommage c'est le manque de sensibilisation des nouveaux usagers. Selon le groupe de recherche Architecture et Climat (DGO4 ; Architecture et Climat), les usagers au début étaient informés de la bonne manière d'utiliser le bâtiment, malheureusement cette habitude s'est perdue et les nouveaux arrivés reçoivent simplement un feuillet informatif avec les instructions pour manœuvrer les systèmes, mais sans expliquer ce qu'il serait l'usage optimal.

Nous voudrions aussi signaler le Lycée Français à Damas. L'architecte a décidé de laisser aux professeurs et élèves la possibilité de manœuvrer les ouvrants pour la ventilation nocturne. Dans chaque classe sont affichés des panneaux expliquant comment utiliser ces dispositifs et la meilleure façon de les utiliser. Naturellement cette stratégie de contrôle expose à des 'risques' de mauvaises manipulations, mais c'est un choix 'pédagogique' qui permet aux élèves d'apprendre les principes du rafraîchissement de leur classe.

Comme nous l'avons déjà dit, le concepteur doit adapter le système de rafraîchissement à la stratégie de contrôle qui doit être affinée pendant une certaine période, et vice versa. Nous demeurons convaincus que les stratégies de contrôle idéales sont celles qui permettent aux usagers une certaine liberté sans empêcher le système bâtiment de fonctionner. Ce dernier passage est particulièrement difficile à réaliser. Souvent la manipulation de

la part des usagers est risquée. En même temps nous sommes convaincus qu'une campagne d'information efficace et éventuellement des signaux d'avertissement (nous avons suggéré de mettre un LED vert et un LED rouge à côté des fenêtres) limiteraient le risque de mauvaise manipulation.

### **Incohérences à éviter**

Eviter de modifier la stratégie de contrôle, sans réétudier complètement le système de rafraîchissement et la mise en phase de l'ensemble.

Eviter de penser aux usagers comme de simples spectateurs passifs, ils font partie du système bâtiment et il faut en tenir compte.

Nous allons citer une incohérence que nous avons remarquée et qu'il faudrait éviter : dans le bâtiment du BRE, selon le groupe de recherche Architecture et Climat (DGO4 ; Architecture et Climat), les usagers au début étaient informés de la bonne manière d'utiliser le bâtiment, malheureusement cette habitude s'est perdue et les nouveaux arrivés reçoivent simplement un feuillet informatif avec les instructions pour l'usage des systèmes, mais sans expliquer quel serait l'usage optimal.

### **Règles positives**

La stratégie de contrôle des systèmes de rafraîchissement est liée à l'usage, aux caractéristiques architecturales et au climat du site. L'utilisateur doit être en mesure de bien les employer.

Il est fondamental que l'utilisateur puisse comprendre comment cela fonctionne, pour lui permettre de mieux s'adapter au fonctionnement du bâtiment. De plus, dans la psychologie de l'utilisateur, imposer sans expliquer peut conduire au rejet de ces systèmes, au contraire la compréhension et l'information peuvent mener à l'identification et l'acceptation des contraintes.

Prévoir une période de 'rodage' du bâtiment pendant laquelle la stratégie de contrôle sera affinée, pour adapter le comportement du système aux comportements des usagers.

Donner la possibilité aux usagers de modifier les conditions environnementales, sans les conduire à mettre en difficulté le fonctionnement du système bâtiment. Cette stratégie est très difficile à mettre en place, mais pas impossible. Nous l'avons vu dans le Department of Global Ecology, mais il existe d'autres voies possibles. L'une d'elles est de rendre les usagers conscients de leurs actions, de leur signaler quand une action est 'positive' ou 'négative' pour le comportement bioclimatique du bâtiment.

Prévoir des systèmes d'affichage et l'explication du fonctionnement de la stratégie de contrôle, cela doit avoir une durée de vie élevée, pour éviter que lors du changement d'utilisateurs cette connaissance soit perdue.

Il serait souhaitable d'impliquer les usagers de manière continue sur la perception du bâtiment. Ils doivent devenir les vrais acteurs du bâtiment (réunions autour du confort, chiffres de la consommation liée à la température, à l'humidité, ateliers de travail pour résoudre les problèmes ...). Une approche de ce type permettrait d'améliorer les performances de l'immeuble et la perception des usagers.

## La compartimentation



15. Graphe de synthèse du dispositif Compartimentation

La compartimentation est un dispositif qui nous donne des informations sur la facilité pour l'air frais d'atteindre tous les usagers, sans réduire leur confort (en particulier acoustique).

Cela semble un concept simple, mais il n'est pas facile de garantir la vie privée, le confort acoustique et en même temps le passage de l'air dans les différentes pièces.

C'est d'ailleurs pour ce motif que peu de bâtiments ont des notes excellentes. Nous ne trouvons pas non plus de notes très négatives, car les architectes ont toujours réussi à garantir la bonne circulation de l'air. Souvent des conditions d'inconfort acoustique apparaissent, mais cela n'a jamais été la cause de mauvais fonctionnement des systèmes de rafraîchissement.

Nous allons analyser les bâtiments avec une note négative.

Le Zion Natural Park Visitor Center a reçu une note négative pour deux motifs. Le projet a été modifié pendant la phase de réalisation, il a été rajouté un bureau. Cet espace rajouté a été cause d'inconfort pour les usagers, car les flux d'air ne pouvaient pas bien circuler à l'intérieur. De plus, tous les bureaux avaient des problèmes, moins importants, mais similaires. Cela a été résolu avec de petits ventilateurs qui poussent l'air dans les bureaux, ce qui favorise le rafraîchissement, mais qui a été source d'inconfort acoustique. L'air arrive de la pièce principale, rafraîchi par évaporation directe, là où les touristes trouvent les informations sur le parc. De plus, le sol très résonnant augmente l'inconfort acoustique de la grande pièce et des bureaux.

Dans la bourse de Malte, la partie des bureaux open-space est au milieu du bâtiment et tout le long du périmètre on trouve les bureaux fermés. Cette disposition réduit l'efficacité du système de rafraîchissement passif, car la masse thermique des murs n'est pas exposée au flux d'air. De plus, les usagers qui travaillent dans les bureaux open-space souffrent du bruit.

Nous voudrions faire remarquer la note basse que nous avons attribuée au Department of Global Ecology. Les usagers de ce bâtiment souffrent aussi de l'inconfort acoustique comme pour la bourse de Malte. Cette solution n'était pas du tout nécessaire, vu que le bâtiment est rafraîchi par le sol radiant. Il aurait été plus simple de diviser le bâtiment, de façon plus cohérente, sans faire entrave au système de rafraîchissement.

Le concepteur doit faire particulièrement attention au confort acoustique des usagers, surtout si le vecteur pour les frigories est l'air, car là où l'air peut passer, le bruit aussi est véhiculé.

Il faut par ailleurs considérer que si nous réduisons le bruit en utilisant des revêtements de sol comme la moquette, ou des faux plafonds acoustiques, cela va aussi réduire l'efficacité de la masse thermique. Le problème du confort acoustique est très difficile à résoudre.

### Incohérences à éviter

Eviter d'empêcher les flux d'air par des obstacles (portes, cloisons, etc.). Il faut prévoir que des installations de ce type pourraient être rajoutées par les usagers après la fin des travaux. L'architecte peut difficilement éviter ce problème, mais souvent cela dérive d'un mauvais schéma fonctionnel ou d'un changement d'utilisation. Il faut donner des informations pour que les usagers soient en mesure de comprendre le système de rafraîchissement.

Eviter de créer des espaces trop bruyants, le problème du bruit et de la vie privée des usagers est très ressenti dans les locaux open-space. Il faut, par contre, rappeler que les espaces ouverts sont les plus simples à rafraîchir. Les sols et plafonds phono absorbants, comme la moquette ou les faux plafonds acoustiques, réduisent énormément l'efficacité de la masse thermique. Comme dans d'autres situations, c'est à l'architecte de résoudre ces problèmes de manière efficace, *in medio stat virtus*.

### Règles positives

Quand le vecteur des frigories est l'air, presque toujours, le concepteur doit concevoir le bâtiment de manière à garantir l'afflux d'air frais partout. Naturellement créer des passages pour l'air équivaut à en créer pour le bruit.

Ces problèmes peuvent être plus ou moins importants en rapport au type d'usage et de système de rafraîchissement choisi. C'est au concepteur à marier de manière optimale ces différents besoins.

Positionner les locaux les plus 'bruyants' à l'écart des pièces habitées.



Depuis le début de notre travail de recherche, nous affirmons que la première stratégie d'un bâtiment rafraîchi passivement doit être de réduire les apports thermiques. Pour réduire les apports thermiques, il est fondamental de bien protéger le bâtiment du soleil. Nous verrons que cette règle simple et la plus importante n'est pas toujours respectée.

Nous avons déjà parlé de la Sandra O'Connor Courthouse, même dans ce cas nous devons remarquer que les protections solaires de ce bâtiment sont complètement inadaptées et insuffisantes. Même chose pour la Kenilworth School où l'architecte a prévu de grandes fenêtres de toit sans penser à les protéger de la radiation solaire directe. De plus, les toitures sont réalisées à une seule pente, exposée au sud, de manière à maximiser les apports thermiques solaires. Ces deux bâtiments font partie des exemples très mal conçus et réalisés, il est plus étonnant de voir que l'architecte a très mal protégé le CII Institute of Quality. Le bâtiment est exposé à l'ouest, en partie à cause de la déclivité du terrain. Les baies vitrées exposés à l'ouest sont protégées avec des casquettes, ce qui est complètement inutile.

Pour le bâtiment du Bedok Court, comme nous avons déjà vu, une grave incohérence a été d'exposer la masse thermique au rayonnement solaire, source d'inconfort pour les usagers.

Pour le Zion Park Visitor Center le problème a été un peu plus difficile à prévoir. Le bâtiment est chauffé en hiver par un mur Trombe, protégé du rayonnement solaire d'été par des casquettes, assez efficaces. Malheureusement en phase de projet n'a pas été considérée la radiation solaire diffuse. Le mur Trombe absorbe la radiation solaire diffuse et la rend sous forme de chaleur même quand cela n'est pas souhaité.

La protection solaire d'un bâtiment rafraîchi passivement est obligatoire, mais comme pour d'autres paramètres il est très difficile de trouver le bon compromis, car meilleure sera la protection solaire, moins la lumière du jour pourra pénétrer dans le bâtiment. Par exemple les volets persiennes en bois de la bourse de Malte sont très efficaces, mais elles laissent passer très peu de lumière et les usagers sont obligés d'allumer l'éclairage artificiel. Il faut donc impérativement protéger du soleil et trouver le bon compromis entre protection solaire et éclairage naturel.

Un dernier mot sur la protection solaire des surfaces horizontales. Les toitures sont la partie du bâtiment la plus exposée au soleil, mais rarement les architectes pensent à la protéger du rayonnement solaire avec une double toiture ou autre.

Parmi les bâtiments que nous avons analysés, seul le lycée de Damas a une double toiture ventilée.

Un autre mode de protection de la toiture est de réaliser une toiture en pente, ou à deux pentes asymétriques, et d'exposer la surface la plus étendue possible au nord, de manière que le rayonnement solaire soit moins important. Ainsi, l'angle d'incidence des rayons solaires sur la surface de la toiture sera très faible et l'apport thermique sera moindre. Cette stratégie simple a été employée presque dans tous les bâtiments que nous avons étudiés, à l'exception de la Kenilworth School, où l'architecte a fait exactement

le contraire.

### **Incohérences à éviter**

Eviter des protections solaires qui ne prennent pas en considération les apports d'éclairage naturel. Protéger du soleil ne signifie pas nécessairement la privation des usagers de la lumière du jour.

Ne pas oublier la protection solaire de la toiture. Cela dépend de l'inclinaison et de la présence d'éventuelles doubles toitures, ou toitures ventilées, sans oublier l'albédo de la toiture même.

Ne pas oublier l'apport de la radiation diffuse. Dans certaines conditions elle peut être très importante et réduit l'efficacité des protections solaires.

### **Règles positives**

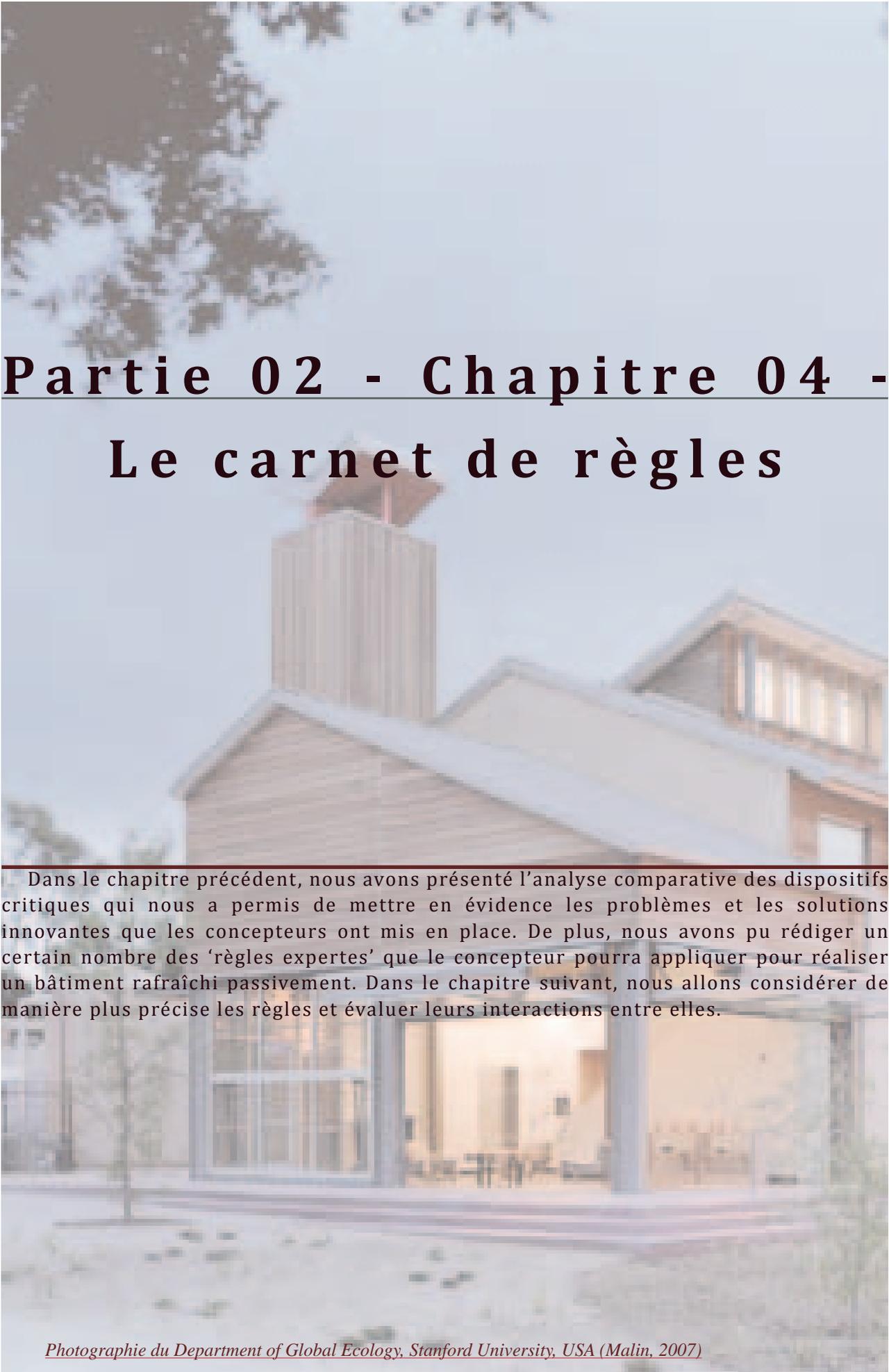
Depuis le début de notre travail de recherche, nous affirmons que la première stratégie d'un bâtiment rafraîchi passivement doit être de réduire les apports thermiques. Pour ce faire, il est fondamental de bien protéger le bâtiment du soleil.

Prévoir, si possible, des protections modulables. Cela permet de mieux protéger si nécessaire et de profiter des apports solaires. Les protections doivent avoir un caractère de solidité important.

Prévoir, si possible, des écrans de réfraction pour réduire la radiation directe et l'éclairage indirect.

Non seulement les surfaces vitrées, mais aussi les surfaces opaques, en particulier la toiture, devraient être protégées.





## Partie 02 - Chapitre 04 - Le carnet de règles

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté l'analyse comparative des dispositifs critiques qui nous a permis de mettre en évidence les problèmes et les solutions innovantes que les concepteurs ont mis en place. De plus, nous avons pu rédiger un certain nombre des 'règles expertes' que le concepteur pourra appliquer pour réaliser un bâtiment rafraîchi passivement. Dans le chapitre suivant, nous allons considérer de manière plus précise les règles et évaluer leurs interactions entre elles.



## 4. Le carnet de règles

L'objectif des fiches des règles sera de permettre au concepteur de trouver réunies dans un seul document les règles ressortant de notre étude et les images des exemples qui peuvent être source d'inspiration.

Ce chapitre sera la synthèse des deux chapitres précédents. Comme pendant l'analyse des bâtiments les fiches des règles seront un instrument de communication.

Nous avons décidé de réaliser deux fiches de règles. La première réunira les incohérences à éviter et la deuxième réunira les règles positives.

Cette division en deux parties nous permettra de montrer les images des exemples positifs et des exemples négatifs pour chaque dispositif étudié.

Nous présentons ici les deux fiches de règles, qui doivent être considérées comme une annexe aux autres fiches. Cela permettra au lecteur de connaître une règle avec l'image d'un bâtiment exemple et de pouvoir retrouver la fiche complète du bâtiment.



# LES SYSTÈMES DE RAFFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## LES INCOHÉRENCES À ÉVITER

### Contenu de la fiche

Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type

État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Il n'existe pas d'erreur typique de la part des architectes. Les bâtiments rafraîchis passivement sont des systèmes 'fragiles'. C'est-à-dire que le système bâtiment peut être mis en condition de ne pas fonctionner à cause de dispositifs mal conçus ou utilisés. Les systèmes de rafraîchissement n'ont pas de prestations si élevées, qui puissent atténuer une éventuelle erreur de conception ou d'usage. Le succès des bâtiments rafraîchis de cette manière est donné par un ensemble de caractéristiques positives, sans que le concepteur ait commis d'erreur majeure.

Nous pouvons dire que le concepteur doit veiller à éviter des erreurs de réalisation des ouvrages, ce qui n'est pas du tout simple, mais une simple fenêtre peu étanche à l'air ou un brumisateuse d'eau mal positionné peuvent être à la base de l'insuccès d'un bâtiment. Évidemment il faut éviter les erreurs majeures d'adaptation du système à l'usage, une protection solaire défailante, ..., mais souvent ce sont les détails mal conçus ou réalisés qui entraînent l'insuccès d'un bâtiment.

### Le climat du site

Le climat du site est la base à partir de laquelle le concepteur doit décider quel système et quelle stratégie adopter pour rafraîchir passivement le bâtiment.

L'analyse des données climatiques ne suffit pas, il faut être au courant du microclimat du site du projet. Le concepteur doit éviter de réaliser des projets à 'distance'. La connaissance du climat et du microclimat du site est une condition nécessaire, mais pas suffisante.

L'architecte doit éviter de réaliser des bâtiments parfaitement adaptés au climat du site, en oubliant la composante humaine.



01 Sandra O'Connor Fédéral Courthouse, Phoenix, Arizona (1)



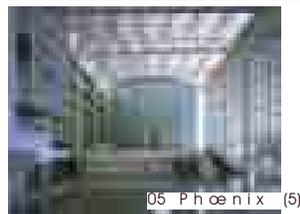
02 Kenilworth Junior High School, Petaluma, CA, USA (2)

### Formes du type

Suite à nos analyses, nous avons vu que les systèmes de rafraîchissement choisis imposent des choix architecturaux bien précis. Ci-contre nous pouvons voir des exemples de logos typo topologiques et des images des bâtiments. Ces exemples nous montrent comment la typo/topologie des systèmes de rafraîchissement choisis peut déterminer l'architecture du bâtiment. Nous montrons des bâtiments qu'à cause de leur 'architecture' ont présentés des problèmes pour le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement.



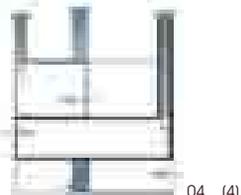
03 Petaluma (3)



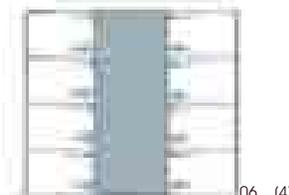
05 Phoenix (5)



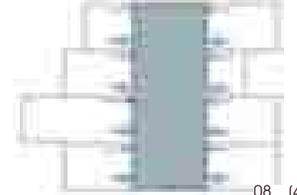
07 Malta (6)



04 (4)



06 (4)



08 (4)

## Implantation

Le choix de l'implantation et de la morphologie de l'ensemble sur le terrain sont fondamentales pour la réussite du projet. Le concepteur doit éviter d'exposer des surfaces importantes au soleil, en particulier il faut rappeler qu'il est compliqué de protéger les façades est et ouest des bâtiments.

Les solutions plus fragmentées ou pavillonnaires sont presque toujours à éviter puisque les surfaces exposées aux intempéries sont trop importantes. Ces solutions morphologiques sont justifiées seulement dans certaines conditions climatiques et avec des objectifs précis, par exemple en climat équatorial où cela pourrait améliorer la ventilation naturelle.

Les surfaces couvertes devraient être exploitées et il faudrait éviter de créer d'énormes volumes difficiles à rafraîchir et énergivores.

## Usage

Eviter d'utiliser des systèmes de rafraîchissement passif si les usagers ne sont pas prêts à s'adapter au mode d'utilisation du bâtiment, imposé par les dispositifs prévus. Cela est de plus en plus vrai si le concepteur n'a pas la possibilité de communiquer de manière directe sur les raisons des choix faits et sur les modes de fonctionnement.

Eviter d'irriter les usagers envers les systèmes de rafraîchissement passif, comme nous l'avons vu dans la Kenilworth School.

Eviter d'imposer des dispositifs non adaptés à l'usage, dans l'espoir que les usagers s'adaptent car cela n'arrive presque jamais.

Eviter des solutions alambiquées, quand il serait possible d'obtenir les mêmes résultats avec des solutions simples. Les systèmes compliqués ont pour résultat de rendre difficile la compréhension du fonctionnement du bâtiment par les usagers, qui se sentent alors dépassés.

Eviter d'oublier que les usagers sont le vrai 'moteur' qui permet au bâtiment de fonctionner.

L'architecte doit faire attention à ne pas 'vendre des miracles', mais il doit être précis au regard des désavantages dus aux systèmes de rafraîchissement passif.

## Schéma fonctionnel

Eviter de rendre inconfortables les déplacements des usagers dans le bâtiment, comme nous l'avons remarqué dans les exemples de Damas et Petaluma. Le Lycée Français de Damas, comme la Kenilworth School de Petaluma sont des bâtiments pavillonnaires et les usagers sont obligés de se déplacer dans des coursives extérieures peu protégées du froid et de la chaleur. De plus, la cour de récréation extérieure du bâtiment de Damas est très 'minérale' et la grande dalle en béton clair, avec très peu d'arbres est presque inutilisable en été. Par ailleurs, son albédo élevé éblouit les usagers.

Eviter des dispositions qui empêchent le bon fonctionnement du rafraîchissement dans le bâtiment, pourrait paraître banal, mais souvent les incohérences que nous avons rencontrées sont 'banales'. Nous pouvons citer les systèmes d'ouverture bruyants des tours de rafraîchissement de l'école Kenilworth à Petaluma. Ce dispositif lié au schéma fonctionnel des espaces rafraîchis, ne permet pas d'utiliser les systèmes de rafraîchissement.

## Morphologie du bâtiment

Eviter d'exposer des grandes surfaces aux intempéries est important, cela est de plus en plus vrai dans les climats froids, mais il demeure valable dans des climats tempérés et chauds. Les formes trop fragmentées rendent moins simple le contrôle de la radiation solaire.

Eviter de réaliser de grandes parois vitrées qui provoquent toujours des problèmes pour les systèmes de rafraîchissement passif, à cause de la radiation directe et diffuse.

Attention, la réduction des surfaces vitrées ne doit pas non plus être excessive, l'éclairage naturel est l'un des paramètres les plus importants, l'optimum est dans l'équilibre.



09 CII Institute of Quality, Bangalore Inde (7)



10 Bâtiment pour les bureaux iGuzzini à Recanati (8)



11 Projet d'habitation à Pattada, Sardaigne, Italie (9)



12 CII Institute of Quality, Bangalore Inde (10)



13 Eastgate Center, Harare, ZIMBAWE (11)

## Éclairage naturel

Eviter de trop réduire l'éclairage naturel pour diminuer les apports thermiques.  
Eviter l'éblouissement des usagers.  
Eviter de sous ou sur éclairer : les systèmes de contrôle doivent être bien étudiés et efficaces.  
Eviter les systèmes de contrôle de la radiation solaire qui empêchent complètement le passage de la lumière du jour.  
Les systèmes de contrôle automatique de l'intensité de l'éclairage sont souvent difficiles à régler. Les installer seulement si cela est vraiment nécessaire et rentable.



14 Sandra O'Connor Fédéral Courthouse, Phoenix, Arizona (5)

## Système de rafraîchissement

Eviter de choisir un système de rafraîchissement sans considérer les aspects environnementaux du site et les problématiques liées à l'usage. Les exemples que nous avons présentés : La Sandra O'Connor Courthouse de Phoenix et la Kenilworth School de Petaluma nous montrent que souvent ces aspects sont sous-évalués par les concepteurs.  
Eviter de choisir des systèmes compliqués, qui ne s'adaptent pas parfaitement à l'usage, même s'ils sont les plus performants dans un climat déterminé.



15 Kenilworth Junior High School, Petaluma, CA, USA (12)

## Fonctionnement du système de rafraîchissement

Eviter tous les systèmes très demandeurs en maintenance et bruyants.  
Ne pas oublier de protéger toujours les arrivées d'air de l'intrusion d'animaux, cela est particulièrement vrai pour les panneaux de cellulose dans les bâtiments rafraîchis par évaporation. Ces panneaux doivent aussi être protégés de la radiation solaire directe.  
Ne pas oublier de protéger les bâtiments d'une effraction, en particulier si rafraîchis la nuit, cela doit être aussi une mesure pour rassurer l'usager.  
Ne pas réaliser de systèmes gaspilleurs en eau, ou autres ressources, dans des environnements où elles sont rares.  
Eviter de réaliser des systèmes trop rigides, l'objectif doit être de le faire en garantissant le confort des usagers qui ne doivent pas être obligés de s'adapter au bâtiment. Cela devrait être le contraire.  
Eviter d'être trop 'militant' dans la conception d'un bâtiment rafraîchi passivement car cela peut mener à des erreurs d'évaluation du comportement des usagers.



16 CII Institute of Quality, Bangalore Inde (10)

## Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

Eviter de modifier la stratégie de contrôle, sans réétudier complètement le système de rafraîchissement et le projet de l'ensemble.  
Eviter de penser aux usagers comme à de simples spectateurs passifs, ils font partie du système bâtiment et il faut en tenir compte.  
Nous allons citer une incohérence que nous avons remarquée et qu'il faudrait éviter : dans le bâtiment du BRE, selon le groupe de recherche Architecture et Climat (DGO4 ; Architecture et Climat), les usagers au début étaient informés de la bonne manière d'utiliser le bâtiment, malheureusement cette habitude s'est perdue et les nouveaux arrivés reçoivent simplement un feuillet informatif avec les instructions pour l'usage des systèmes, mais sans expliquer quel serait l'usage optimal.

## Inertie du bâtiment

La masse thermique élevée dans les climats équatoriaux peut amener plus de problèmes que de solutions.

Eviter d'exposer la masse thermique du bâtiment à la radiation directe du soleil car le résultat serait d'accumuler des calories très difficiles à dissiper.

Ne pas oublier d'exploiter au maximum la masse thermique des planchers et plafonds, c'est là qu'elle est la plus efficace.

Eviter les faux plafonds, si possible.



17 Bedok Court, Singapore, SINGAPORE (13)

## Cloisonnement vertical vers l'extérieur

La peau du bâtiment est naturellement un facteur fondamental pour la réussite du projet bioclimatique. Les incohérences plus communes que nous avons rencontrées pendant notre analyse sont dues à une isolation insuffisante, des parois vitrées trop grandes et des parois trop légères.

L'architecte doit éviter les parois vitrées trop grandes, qui amènent toujours des problèmes. De plus, nous avons vu comme presque toujours, sauf dans des climats équatoriaux, la ventilation nocturne et le déphasage garanti par une grande inertie thermique sont fondamentaux pour le rafraîchissement passif des bâtiments.

Il faudrait éviter les parois trop 'légères' et l'isolation par l'intérieur. Ne pas oublier que le bâtiment doit garantir le confort d'été, mais aussi le confort d'hiver, l'isolation thermique est fondamentale. Il pourrait sembler banal, mais nous avons rencontré, comme au lycée français à Damas, des exemples de bâtiment non isolé, dans des climats où cela aurait été nécessaire. Le climat de Damas, en hiver, est similaire au climat de Marseille et l'isolation thermique est nécessaire.

## Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Comme pour ce qui regarde les parois verticales les surfaces horizontales du bâtiment doivent être traitées avec une attention extrême. De plus, la toiture est la partie du bâtiment où la radiation solaire a un impact majeur.

Eviter de réaliser des toitures trop légères et mal isolées. Les plafonds internes peuvent être d'un grand apport pour la masse thermique du bâtiment, mais il faut éviter que cela puisse surchauffer.

## Compartimentation

Eviter les obstacles qui empêchent les flux d'air (portes, cloisons, etc.). Il faut prévoir que des installations de ce type pourraient être rajoutées par les usagers après la fin des travaux. L'architecte peut difficilement éviter ce problème, mais souvent cela dérive d'un mauvais schéma fonctionnel ou d'un changement d'utilisation. Il faut donner des informations pour que les usagers soient en mesure de comprendre le système de rafraîchissement.

Eviter de créer des espaces trop bruyants, la nuisance du bruit et de la vie privée des usagers est très ressentie dans les locaux open-space. Il faut, par contre, rappeler que les espaces ouverts sont les plus simples à rafraîchir. Les sols et plafonds phono absorbants, comme la moquette ou les faux plafonds acoustiques, réduisent énormément l'efficacité de la masse thermique. Comme dans d'autres situations, c'est à l'architecte à résoudre ces problèmes de manière efficace, in medio stat virtus.



18 Lycée français CHARLES DE GAULLE à Damas (14)



19 Kenilworth Junior High School, Petaluma, CA, USA (12)



20 Zion National Park Visitor Center, Zion National Park, Utah, USA (12)



21 Sandra O'Connor Fédéral Courthouse, Phœnix, Arizona (15)

### Protection solaire

Eviter des protections solaires qui ne prennent pas en considération les apports d'éclairage naturel. Protéger du soleil ne signifie pas faire vivre les usagers dans une grotte.

Ne pas oublier la protection solaire de la toiture. Cela dépend de l'inclinaison et de la présence d'éventuelles doubles toitures, ou toitures ventilées, sans oublier l'albédo de la toiture même.

Ne pas oublier l'apport de la radiation diffuse. Dans certaines conditions elle peut être très importante et réduit l'efficacité des protections solaires.



22 Bâtiment pour les bureaux iGuzzini à Recanati (16)

### Surfaces vitrées

Nous pouvons dire que de toute façon les surfaces vitrées sont une source de problèmes pour un bâtiment rafraîchi passivement, mais en même temps ce serait pire de réaliser des bâtiments sans apport de lumière du jour.

Eviter de créer des grandes surfaces qui peuvent être source d'inconfort à cause de l'effet paroi froide et paroi chaude.

Eviter d'utiliser des dispositifs 'fenêtre' peu performants.



23 Lycée français CHARLES DE GAULLE à Damas (17)

### Surfaces opaques

Comme pour les surfaces vitrées le choix des matériaux est fondamental.

Eviter des incohérences banales d'utilisation de matériaux, qui pourraient compromettre le fonctionnement de ce dispositif. Naturellement l'idéal serait de ne pas choisir de matériaux à grand impact environnemental.

### Ouvrants pour la ventilation nocturne

Nous avons affirmé à plusieurs reprises que la ventilation nocturne est presque toujours à la base du rafraîchissement passif des bâtiments. Malheureusement, nous avons remarqué que très souvent les ouvrants pour la ventilation nocturne sont défectueux, mettant en crise tout le système bâtiment. Le concepteur doit soigner avec extrême attention la conception et la réalisation des ouvrants.

Il faut éviter des dispositifs qui ne soient pas parfaitement étanches à l'air. Les systèmes mécaniques d'ouverture et fermeture sont souvent source de problèmes, il faut éviter des dispositifs peu fiables ou difficiles à manipuler.

Eviter de réaliser des systèmes qui ne tiennent pas en considération l'usage, cela pourrait sembler banal, mais les craintes des usagers peuvent mener à renoncer à la ventilation nocturne. Spécialement si le bâtiment est à usage d'habitation, les usagers ont peur d'ouvrir la nuit les fenêtres. Il faut trouver des dispositifs permettant de les rassurer. De plus, la ventilation nocturne est fondamentale, mais les courants d'air, surtout dans les chambres, sont un facteur d'inconfort.



24 Malta stock exchange, La Valetta, MALTA (18)

## Sources des illustrations

---

1. Silverman, Amy. Sandra Day O'Connor Courthouse Slapped as a Space Waster. phoenix new times. [En ligne] 26 05 2012. [Citation : 08 01 2012.] [http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2010/05/sandra\\_day\\_oconnor\\_courthouse.php](http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2010/05/sandra_day_oconnor_courthouse.php).
2. Loisos Ubbelohde architecture energy. Kenilworth Junior High School. Loisos Ubbelohde architecture energy. [Online] LOISOS + UBBELOHDE Associates, Inc, 2011. [Cited: 10 11, 2011.] <http://www.coolshadow.com/consulting/kenilworth.html>.
3. Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe. Bing Cartes. Bing. [Online] Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. [Cited: 04 15, 2011.] <http://www.bing.com/maps>.
4. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis and co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
5. Richard MEIER, & partners architects LLP, et al. United States Courthouse, Phoenix. Richard MEIER & partners architects LLP. [En ligne] Richard MEIER & partners architects LLP. [Citation : 05 12 2010.] <http://www.richardmeier.com/www/#/projects/architecture/location/n.-america/united-states/1/131/3/>.
6. Dalli, Lawrence. MALTA STOCK EXCHANGE . MaltaShipPhotos. [En ligne] 19 08 2009. [Citation : 12 08 2010.] <http://www.maltashipphotos.com/productfile.asp?ProductID1=3257&PRODUCTCAT1=Yachts#>.
7. Pinge, Ar. Roopa Sabnis. indian insite. insiteindia. [Online] 2008. [Cited: 04 16, 2010.] <http://www.insiteindia.in/pdf/2008/inaugural/Indian%20Insite.pdf>.
8. CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität SiegenFachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique. idea. idea-architecture.org. [En ligne] idea-architecture.org, 2003 01 9. [Citation : 05 25 2010.] [http://www.unige.ch/cuepe/idea/firm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/firm_one.htm).
9. CADONI, Gianluca Architecte. Logo synthétique. Base des données critique. Marseille : s.n., 2011.
10. Aga Khan Trust for Culture . CII Institute of Quality. archnet. [Online] MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture . [Cited: 04 10, 2010.] [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=9721](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=9721).
11. insects.tamu.edu. eastgate\_facilities.pdf. insects.tamu.edu. [Online] insects.tamu.edu. [Cited: 05 13, 2011.] [http://insects.tamu.edu/podcast/pdf/eastgate\\_facilities.pdf](http://insects.tamu.edu/podcast/pdf/eastgate_facilities.pdf).
12. FORD, Brian, et al. The Architecture and Engineering of Downdraught Cooling: A Design Source Book. UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. p. 199. ISBN 978-0956579003.
13. ...framed... Bedok Court. Panoramio. [En ligne] 14 01 2008. [Citation : 12 08 2011.] <http://www.panoramio.com/photo/18079606>.
14. L'EXPRESS. Sarkozy inaugure le Lycée Charles de Gaulle à Damas. L'EXPRESS. [En ligne] L'EXPRESS.fr, 04 09 2008. [Citation : 13 10 2011.] [http://www.lexpress.fr/culture/architecture-patrimoine/architecture/sarkozy-inaugure-le-lycee-charles-de-gaulle-a-damas\\_559097.html](http://www.lexpress.fr/culture/architecture-patrimoine/architecture/sarkozy-inaugure-le-lycee-charles-de-gaulle-a-damas_559097.html).
15. Heintges & Associates. Sandra Day O'Connor Courthouse and Federal Building. Heintges . [En ligne] [Citation : 12 10 2011.] <http://www.heintges.com/project.php?id=sandra-oconnor-us-courthouse#>.
16. EULEB . GUZZINI HEADQUARTERS. EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique. [En ligne] 2006. [Citation : 19 04 2010.] [http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index\\_s4.html](http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index_s4.html).
17. Souria. Event's Page. Souria.com. [En ligne] Souria Online, 2011. [Citation : 09 12 2011.] [http://www.souria.com/em/sn/social\\_ph.asp?pi=4&pn=4&ev=626](http://www.souria.com/em/sn/social_ph.asp?pi=4&pn=4&ev=626).
18. Gallo, Anna. PHDC\_BOLOGNA\_AP\_Stock Exchange Malta. PHDC. [En ligne] 28 10 2009. [Citation : 15 05 2010.] [http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC\\_BOLOGNA\\_AP\\_Stock\\_Exchange\\_Malta.pdf](http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC_BOLOGNA_AP_Stock_Exchange_Malta.pdf).

# LES SYSTÈMES DE RAFRAÎCHISSEMENT PASSIFS DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE ET ÉVALUATION DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.

## RÈGLES POUR LA RÉALISATION D'UN BÂTIMENT RAFRAÎCHI PASSIVEMENT

### Contenu de la fiche

Synthèse    Données climatiques de la zone    Groupe analytique    Logo synthétique    Formes du type

État actuel et usage    Analyse architecturale    Performances du bâtiment    Avis critique    Bibliographe

### Synthèse

Nous avons défini les bâtiments rafraîchis passivement comme des systèmes 'fragiles'. C'est pourquoi l'objectif du concepteur doit être de réaliser un bâtiment le plus équilibré possible, en harmonisant tous les dispositifs. La composante humaine souvent est sous-évaluée c'est. Les usagers doivent être considérés comme des acteurs actifs, qui permettront au bâtiment d'en garantir le confort thermique. Le concepteur doit réaliser un bâtiment qui s'adapte au micro climat du site, tout en harmonisant les composantes bioclimatiques à l'usage. Le rafraîchissement passe par la réduction de la charge thermique interne, la protection des apports thermiques de l'extérieur et des systèmes permettant d'évacuer la chaleur en excès vers des puits thermiques. Les usagers doivent être mis au courant du fonctionnement du bâtiment et doivent se sentir impliqués. Presque toujours un bâtiment rafraîchi passivement nécessite d'une période de rodage qui permet d'affiner les 'réglages' et aux usagers d'apprendre la manière d'utiliser le bâtiment. L'objectif ne peut pas être seulement d'atteindre le confort thermique des usagers, mais aussi de créer un bâtiment qui soit confortable à l'usage. Le concepteur doit respecter la devise vitruvienne «firmitas (solidité), utilitas (utilité), venustas (harmonie)» à laquelle rajouter 'commoditas' (commodité). La 'commoditas' dans l'utilisation et dans l'entretien d'une architecture est fondamentale pour qu'elle soit considérée comme réussie.

### Le climat du site

Le système de rafraîchissement choisi par l'architecte doit être le plus performant possible, dans un climat déterminé, mais sans oublier qu'il doit être en harmonie avec l'usage et le système bâtiment.

Plus fort sera le potentiel de rafraîchissement, plus larges seront les possibilités de réussir à garantir le confort thermique des usagers. Il est fondamental de considérer toujours les caractéristiques du microclimat du site et de les exploiter pour améliorer le comportement bioclimatique du bâtiment.



01 Department of Global Ecology, Stanford University, Stanford, CA, USA (1)



02 Sohrabji Godrej Green building centre, Hyderabad, Inde (2)

### Formes du type

Suite à nos analyses, nous avons vu que les systèmes de rafraîchissement choisis imposent des choix architecturaux bien précis. Ci-contre nous pouvons voir des exemples de logos typo topologiques et des images des bâtiments. Ces exemples nous montrent comment la typo/topologie des systèmes de rafraîchissement choisis peut déterminer l'architecture du bâtiment. Nous montrons des bâtiments où les choix architecturaux ont contribué au bon fonctionnement des systèmes de rafraîchissement.



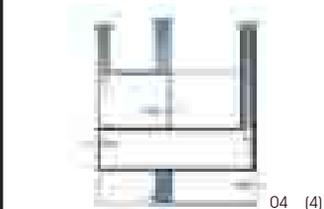
03 Hyderabad (3)



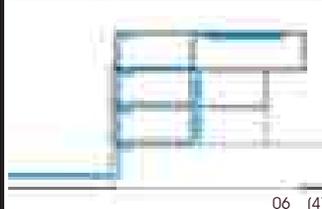
05 Stanford (5)



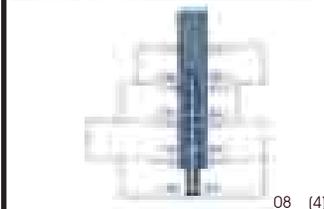
07 Harare (6)



04 (4)



06 (4)



08 (4)

## Implantation

Le concepteur devra étudier l'implantation du bâtiment de manière à réduire au maximum les apports thermiques et exploiter les caractéristiques du site. La présence d'autres éléments, la présence d'eau, la pente du terrain, la végétation, etc., sont parfois des contraintes, mais elles doivent être exploitées pour améliorer le comportement bioclimatique du bâtiment. Les solutions compactes sont les plus favorables grâce au bon rapport entre la surface habitable et les surfaces exposées aux intempéries, même si nous avons déjà évoqué d'éventuelles exceptions climatiques. Dans un bâtiment de très grand volume et très compact, se posera le problème de la pénétration de la lumière naturelle. Cela doit être résolu sans réduire de manière excessive la surface habitable et, si possible, les 'puits de lumière' doivent être exploités pour d'autres fonctions.

## Usage

Nous voudrions tout d'abord dire qu'il n'existe pas d'usager 'idéal'. Il est par contre indispensable que celui-ci soit impliqué dans le fonctionnement du bâtiment. Pour le permettre, il est fondamental qu'il soit informé. Si cela n'est pas évident dans le langage architectural, il faut que l'architecte trouve des dispositifs qui puissent informer et aider à bien utiliser le bâtiment. Nous pouvons dire que certains types d'usages s'adaptent par leur nature même aux bâtiments rafraîchis passivement, spécialement les bâtiments scolaires et d'habitation, mais il est aussi possible de rafraîchir des ensembles aux charges thermiques importantes. Il est très important de communiquer avec les usagers pour leur faire comprendre les avantages et les inconvénients d'un bâtiment rafraîchi passivement, ainsi ils se sentiront partie prenante du projet, ressentiront l'importance de travailler/vivre dans un bâtiment respectueux de l'environnement et s'identifieront aux choix faits par l'architecte. Il est primordial que l'architecte explique aux usagers que la mise en route de ces systèmes demande une période de 'rodage'. Il ne faut pas oublier que les usagers changeront et que le passage d'information aux nouveaux venus n'est pas automatique. Il faut prévoir des dispositifs de communication qui resteront visibles pendant toute la durée de vie du bâtiment.

Plus se développera une conscience positive sur le bâtiment, plus grandes seront les possibilités pour les usagers d'accepter de petites défaillances.

## Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel doit être étudié pour desservir au mieux le bâtiment, avec une attention particulière aux systèmes de rafraîchissement prévus. Il est fondamental d'exploiter toutes les 'occasions' possibles pour améliorer les mouvements de l'air en fonction des nécessités : trémies, puits de lumière, cages d'escaliers, ... Le concepteur devrait essayer de prévoir des espaces verts extérieurs et intérieurs qui pourraient être d'une aide appréciable au rafraîchissement.

Toutes les sources de chaleur devraient être isolées. Nous citons deux exemples intéressants. D'une part, le Department of Global Ecology de Stanford, où les 80 réfrigérateurs nécessaires aux laboratoires ont été placés dans une pièce ventilée, séparée de la zone d'usage. D'autre part, l'Eastgate de Harare où les transformateurs des luminaires ont été placés dans les conduits d'extraction de l'air. C'est grâce à des détails et des attentions de ce type qu'un concepteur peut réaliser un bâtiment réussi, comme prévoir toujours des sas pour séparer des espaces avec des températures différentes.

## Morphologie du bâtiment

Créer un bâtiment compact permet de réduire les surfaces exposées aux intempéries et facilite le contrôle solaire et les charges externes. Cette règle n'est pas toujours valable car une forme irrégulière peut amener des avantages si elle est bien étudiée et dans des conditions climatiques particulières.

Créer un bâtiment irrégulier, ou peu compact, demande un effort supplémentaire au concepteur pour tenir compte des contraintes supplémentaires.

Attention, plus un bâtiment est compact, plus il est difficile à éclairer par la lumière du jour.



09 BRE Office, Watford, England (7)



10 Le Queens Building, Monfort University à Leicester, England (8)



11 Department of Global Ecology, Stanford University, Stanford, CA, USA (9)



12 Bâtiment pour les bureaux iGuzzini à Recanati (10)



13 Lycée français CHARLES DE GAULLE à Damas (11)



14 Department of Global Ecology, Stanford University, Stanford, CA, USA (12)



15 Sohrabji Godrej Green building centre, Hyderabad, Inde (3)



16 BRE Office, Watford, England (10)

## Éclairage naturel

Il est aussi très important de garantir un éclairage naturel de bonne qualité. La lumière directe du soleil même en hiver est souvent désagréable. Cela passe aussi par le choix des couleurs internes des espaces, pour améliorer la réfraction et la diffusion de la lumière. Des dispositifs comme les volets, brise-soleil, rideaux ... doivent être utilisés avec attention et précision. Utiliser des dispositifs de réfraction de la lumière pour améliorer l'éclairage indirect. Prévoir des protections solaires et des protections contre l'éblouissement 'flexibles'. La position des fenêtres doit être optimisée pour garantir la plus grande pénétration de la lumière du jour, sans causer de problèmes d'éblouissement des usagers. Prévoir des simulations de l'éclairage naturel du projet. Ne jamais oublier que l'éclairage des surfaces horizontales est aussi important que l'éclairage des surfaces verticales, pour le confort des usagers.

## Système de rafraîchissement

Il n'existe pas un système de rafraîchissement avec, a priori, un potentiel plus important que les autres, cela dépend du climat et de l'équilibre entre les différentes composantes du bâtiment. Le système de rafraîchissement devra être choisi par rapport au climat du site, le schéma fonctionnel et l'architecture du bâtiment en seront fortement influencés. Le système de rafraîchissement choisi par l'architecte doit être le plus performant possible et en harmonie avec l'usage et le système bâtiment

## Fonctionnement du système de rafraîchissement

Le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement doit être lié à l'usage, aux caractéristiques architecturales et au climat du site. Vérifier soigneusement les phases de réalisation du projet, tous les détails doivent être contrôlés. Il ne suffit pas de faire un bon projet, il est nécessaire d'en garantir la bonne réalisation, avec beaucoup d'attention aux petits détails. Dans des cas particuliers, il faut prévoir des systèmes hybrides qui peuvent garantir le confort quand le système passif ne suffit pas et éviter des solutions 'bricolées' par les usagers eux-mêmes. Il est préférable d'utiliser ces systèmes seulement en cas de réelle nécessité. Il faut que le fonctionnement du système de rafraîchissement soit le plus flexible possible et s'adapte à des modifications des conditions de départ. Il est nécessaire de contrôler avec soin la qualité des ouvrants mécaniques et leur étanchéité à l'air.

## Stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif

La stratégie de contrôle des systèmes de rafraîchissement est liée à l'usage, aux caractéristiques architecturales et au climat du site. L'utilisateur doit être en mesure de bien les employer. Il est fondamental que l'utilisateur puisse comprendre comment cela fonctionne, pour lui permettre de mieux s'adapter au fonctionnement du bâtiment. De plus, dans la psychologie de l'utilisateur, imposer sans expliquer peut conduire au rejet de ces systèmes, au contraire la compréhension et l'information peuvent mener à l'identification et l'acceptation des contraintes. Prévoir une période de 'rodage' du bâtiment pendant laquelle la stratégie de contrôle sera affinée, pour adapter le comportement du système aux comportements des usagers. Donner la possibilité aux usagers de modifier les conditions environnementales, sans les conduire à mettre en difficulté le fonctionnement du système bâtiment. Cette stratégie est très difficile à mettre en place, mais pas impossible. Nous l'avons vu dans le Department of Global Ecology, mais il existe d'autres voies possibles. L'une d'elles est de rendre les usagers conscients de leurs actions, de leur signaler quand une action est 'positive' ou 'négative' pour le comportement bioclimatique du bâtiment. Prévoir des systèmes d'affichage et l'explication du fonctionnement de la stratégie de contrôle, avec une durée de vie étendue, pour éviter que lors du changement d'usagers cette connaissance soit perdue.

## Inertie du bâtiment

Un bâtiment avec une grande masse thermique garantit un bon déphasage et réduit la fluctuation des températures. Bien sûr, il faut que la masse thermique soit 'bien utilisée'. Une grande inertie thermique est presque toujours positive, sauf dans les climats où la température présente des fluctuations journalières très faibles (climat équatorial), dans de telles conditions extrêmes, l'inertie thermique pourrait devenir un problème, plus qu'un avantage. La masse thermique couplée à d'autres systèmes de rafraîchissement, comme la ventilation nocturne, peut garantir de bons apports de rafraîchissement, avec des dispositifs économiques et simples.

Parmi les bâtiments que nous avons étudiés nous voudrions citer des systèmes astucieux et reproductibles pour exploiter la masse thermique des planchers : l'Eastgate de Harare, le bâtiment du BRE à Watford, et de manière un peu différente, le Lycée Français de Damas.



17 Eastgate Center, Harare, ZIMBAWE (13)

## Cloisonnement vertical vers l'extérieur

Le cloisonnement vertical vers l'extérieur est l'un des paramètres les plus difficiles à traiter avec efficacité. Bien sûr tout le comportement bioclimatique du bâtiment dépend de la façon dont ce dispositif permet ou pas le passage de la lumière, de l'air, la chaleur et la fraîcheur à l'intérieur du bâtiment, ou vice-versa.

Le concepteur doit réussir à garantir un bon éclairage naturel, mais aussi réduire les apports thermiques, tout en préservant la résistance thermique et la masse thermique. Cela est effectivement difficile et comme souvent la solution la plus performante est dans l'équilibre entre ces différents besoins. Il est clair que les nécessités de protection, de masse thermique, d'éclairage,... dépendent du climat du site et de l'ensemble du système bâtiment.

Le concepteur doit adapter les caractéristiques du dispositif au climat du site et aux spécificités du bâtiment. Nous avons déjà dit qu'il est préférable de réduire les surfaces vitrées et d'utiliser l'isolation par l'extérieur, qui en règle générale permet d'exploiter la masse thermique du bâtiment, mais ces choix devront être en harmonie avec le système bâtiment.



18 Zion National Park Visitor Center, Zion National Park, Utah, USA (14)

## Cloisonnement horizontal vers l'extérieur

Les surfaces horizontales du bâtiment doivent être traitées avec une attention extrême. La toiture est la partie du bâtiment où la radiation solaire a un impact majeur, pour ce motif il serait presque toujours préférable de protéger la toiture du bâtiment. L'isolation thermique de la toiture doit être très performante et garantir un bon déphasage. Nous avons vu que presque toujours les derniers étages des bâtiments sont les plus problématiques à rafraîchir. Cela dépend de la capacité de l'air chaud de monter et, souvent, de l'isolation thermique insuffisante des toitures. La double toiture, comme nous pouvons la voir sur le Lycée français de Damas, est une très bonne solution. Il faut aussi soigner l'albédo de la toiture, afin de réduire les apports thermiques solaires.



19 Lycée français CHARLES DE GAULLE à Damas (15)

## Compartimentation

Quand le vecteur des frigories est l'air, presque toujours, l'architecte doit concevoir le bâtiment de manière à garantir l'afflux d'air frais partout. Cependant, créer des passages pour l'air équivaut à en créer pour le bruit aussi.

Ces problèmes peuvent être plus ou moins importants selon le type d'usage et de système de rafraîchissement choisi. C'est au concepteur à marier de façon optimale ces différents besoins.



20 CII Institute of Quality, Bangalore Inde (16)



21 BRE Office, Watford, England (17)



22 Department of Global Ecology, Stanford University, Stanford, CA, USA (12)



23 Bâtiment pour les bureaux IGuzzini à Recanati (18)



18 Zion National Park Visitor Center, Zion National Park, Utah, USA (19)

## Protection solaire

Depuis le début de notre travail de recherche, nous affirmons que la première stratégie d'un bâtiment rafraîchi passivement doit être de réduire les apports thermiques. Pour ce faire, il est fondamental de bien protéger le bâtiment du soleil.

Prévoir, si possible, des protections modulables, pour mieux protéger si nécessaire et profiter des apports solaires. Les protections doivent être caractérisés par leur robustesse élevée. Prévoir, si possible, des écrans de réfraction pour réduire la radiation directe et l'éclairage indirect.

## Surfaces vitrées

La réduction des surfaces vitrées doit être effectuée avec attention car pour le confort des usagers il est nécessaire de bien éclairer les bâtiments par la lumière naturelle.

Le concepteur doit optimiser le plus possible les surfaces vitrées. Les protections solaires doivent garantir le passage de la lumière. Il vaut mieux prévoir des protections solaires mobiles, même si cela pose toujours des problèmes de durée de vie des matériaux, car souvent dans la même saison il est nécessaire d'exploiter les apports solaires ou de s'en protéger. Il est très difficile de réaliser une protection solaire efficace, en particulier si elle est statique. Les surfaces vitrées doivent être 'performantes'.

Comme déjà affirmé, l'idéal est dans l'équilibre : une bonne pénétration de l'éclairage naturel, une bonne vision de l'extérieur pour les usagers et la réduction au minimum des surfaces vitrées. Naturellement les composants des surfaces vitrées doivent être très efficaces.

## Surfaces opaques

Les matériaux constituant les surfaces opaques doivent garantir la résistance thermique, le déphasage et l'inertie nécessaires au bon fonctionnement du bâtiment. Cela pourrait être obtenu avec plusieurs solutions. L'utilisation de matériaux écologiques et locaux devrait être la norme dans un bâtiment 'durable'.

## Ouvrants pour la ventilation nocturne

La ventilation nocturne est la méthode la plus simple et souvent la plus efficace pour pré-rafraîchir un bâtiment. Malheureusement très souvent les concepteurs sous-évaluent la difficulté de réaliser des ouvrants pour la ventilation nocturne efficaces et simples à l'usage. De plus, souvent les usagers ont peur d'ouvrir le bâtiment la nuit. Le concepteur doit adapter les systèmes d'ouverture et de contrôle des ouvrants pour la ventilation nocturne selon l'usage. L'usager doit être mis en condition d'exploiter la ventilation nocturne, sans crainte pour la sécurité du bâtiment. De plus, les systèmes mécaniques d'ouverture sont très difficiles à réaliser et souvent les fenêtres reliées à ces systèmes sont peu étanches à l'air amenant des problèmes d'inconfort en hiver. Le concepteur doit soigner avec grande attention la phase de réalisation des dispositifs permettant la ventilation nocturne.

Il doit réaliser des systèmes permettant l'ouverture même en cas de pluie et de vent fort, ou prévoir des centrales de contrôle permettant la fermeture automatique.

Il est fondamental que l'usager soit en sécurité et pas obligé de manipuler les ouvrants en cas de changement de conditions météorologiques.

## Sources des illustrations

---

1. G Living Staff Monkeys. Global Ecology Research Center | Theory Into Practice. architecture / interior design. [En ligne] GLIVING.COM, 04 10 2008. [Citation : 14 05 2010.] <http://gliving.com/global-ecology-research-center-theory-into-practice/>.
2. Indian Green Building Council (IGBC) . Green Building - LEED . emt-india. [Online] 05 16, 2008. [Cited: 05 03, 2011.] <http://www.emt-india.net/Presentations2008/Indo-GermanSymposium15-16May2008/16-05-08Presentations/III-MAnand.pdf>.
3. Rediff, The. Godrej Green Business Centre (Hyderabad, India). solarpedia. [Online] solarpedia, 2004. [Cited: 05 03, 2011.] [http://www.solarpedia.com/13/94/821/godrej\\_glazing.html](http://www.solarpedia.com/13/94/821/godrej_glazing.html).
4. MANSOURI, Yasmine, dir. ALLARD, Francis et co-dir. MUSY, Marjorie. Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception. [Thèse de doctorat : discipline Science pour L'ingénieur, spécialité Architecture]. Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. p. 320.
5. CBE. Global Ecology Research Center. CBE. [En ligne] 2009. [Citation : 22 05 2010.] [http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/pdfs2007/submittal\\_global\\_ecology.pdf](http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/pdfs2007/submittal_global_ecology.pdf).
6. BRAID, George. The Architectural Expression of Environmental Control Systems. London : Spon Press, 2001. p. 264. ISBN 0-419-24430-1.
7. DGO4 ; Architecture et Climat. Le bâtiment environnemental du BRE. energieplus. [En ligne] Université catholique de Louvain. [Citation : 22 09 2011.] [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10876.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10876.htm).
8. D.G.Boyce. D.G.Boyce. D.G.Boyce. [Online] D.G.Boyce. [Cited: 05 26, 2010.] <http://www.d-boyce.co.uk/>.
9. University of California Berkeley. The Carnegie Institute for Global Ecology. Mixed Mode. [En ligne] University of California Berkeley, 2005. [Citation : 16 05 2010.] <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode/carnegie.html>.
10. CUEPE Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität SiegenFachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain; AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique. idea. idea-architecture.org. [En ligne] idea-architecture.org, 2003 01 9. [Citation : 05 25 2010.] [http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm_one.htm).
11. Ateliers Lion. Damas. ATELIERS LION ASSOCIES. [En ligne] 09 12 2011. [Citation : 09 12 2011.] <http://www.atelierslion.com>.
12. Waterloo Architecture . Global Ecology Center, Stanford, California. The Carbon Neutral Design Project; Waterloo Architecture . [En ligne] 2012 American Institute of Architects. [Citation : 13 05 2010.] [http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty\\_projects/terri/carbon-aia/case/global/global.html](http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/carbon-aia/case/global/global.html).
13. Holmes, Michael. HYBRID VENTILATION SYSTEMS. heatinghelp. [Online] [Cited: 06 12, 2011.] <http://www.heatinghelp.com/files/articles/738/42.pdf>.
14. FORD, Brian, et al. The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book. UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. p. 199. ISBN 978-0956579003.
15. Dominique, GAUZIN-MÜLLER. strategie climatique en milieu aride. [éd.] Architectures à Vivre. Ecologik. Architectures à Vivre, 04/05 2009, 08, pp. 72-81.
16. CII INSTITUTE OF QUALITY. About the Building. CII INSTITUTE OF QUALITY. [Online] CII, - IQ All Rights Reserved, 2007. [Cited: 04 10, 2010.] [http://www.cii-iq.in/aboutiq07\\_building.html](http://www.cii-iq.in/aboutiq07_building.html).
17. Colt International Limited. Case History Solar Architecture BRE Building 16. Robertson RVI. [En ligne] 12 05 1997. [Citation : 09 10 2011.] [http://www.robventind.co.za/manuals/ssi\\_inter\\_project\\_bre.pdf](http://www.robventind.co.za/manuals/ssi_inter_project_bre.pdf).
18. EULEB . GUZZINI HEADQUARTERS. EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique. [En ligne] 2006. [Citation : 19 04 2010.] [http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index\\_s4.html](http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index_s4.html).
19. NREL. Zion National Park Visitors. NREL. [Online] NREL, 06 02, 2009. [Cited: 12 06, 2009.] [http://www.nrel.gov/data/pix/collections\\_zion.html](http://www.nrel.gov/data/pix/collections_zion.html).





## **1.1 Classification des règles par leur interrelation**

Les règles que nous avons énoncées nous montrent, une fois de plus, que les dispositifs du système bâtiment sont fortement relationnels entre eux.

C'est encore plus évident si nous regroupons les différents dispositifs selon un 'point de vue' bioclimatique.

1. La morphologie
2. La conception bioclimatique
3. L'usage
4. Le système de rafraîchissement
5. L'éclairage naturel

La morphologie est fortement liée à la conception bioclimatique, mais aussi à l'usage (à travers le schéma fonctionnel) et évidemment, selon le type de morphologie de l'ensemble, certains systèmes de rafraîchissement pourront être employés et d'autres ne pourront même pas être envisagés. L'éclairage est naturellement lié à tous les autres dispositifs : un bâtiment très compact sera difficile à éclairer mais un fort éclairage naturel est en contradiction avec une bonne conception bioclimatique...

Nous pourrions continuer de la même manière et créer des relations, directes ou indirectes, pour les 60 dispositifs environ dans lesquels nous avons divisé les bâtiments.

De la même manière, les règles que nous avons extraites de l'analyse peuvent être mises en relation entre elles. Nous allons essayer de le faire de manière graphique.

Ce travail pourra être utile au concepteur pour obtenir un cadre complet des relations, parfois de difficiles solutions, qui intercurrent entre les différents dispositifs et à différentes échelles.

Nous considérons que le concepteur devra toujours faire des choix qui souvent pourront être favorables pour un aspect du système bâtiment et en même temps défavorables pour un autre aspect.

Nous pourrions donner en exemples les systèmes de contrôle, où dans certains types d'usage il est mieux d'utiliser un contrôle automatique du système de rafraîchissement, des protections solaires et des ouvertures en façade, mais cela est en contraste ouvert avec les 'règles' du confort adaptatif. Le concepteur devra, donc, trouver des solutions pouvant optimiser les prestations du système de rafraîchissement et en même temps satisfaire les besoins des usagers. Cela n'est pas facile et c'est souvent source d'erreurs.

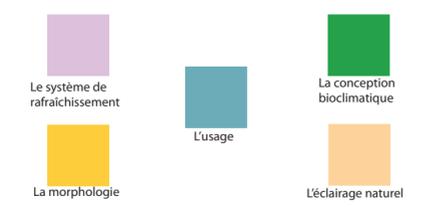
Sur la planche graphique qui suivra, nous avons essayé de réduire à l'essentiel le nombre de règles. Nous avons isolé les règles que le concepteur doit respecter quoi qu'il en soit. Par la suite nous avons mis en évidence les règles selon leur appartenance aux 5 groupes, dont nous avons parlé plus haut.

Comme nous pourrions le voir dans la planche graphique qui suit, nous avons considéré l'utilisateur comme au centre du projet et autour de lui se développent

les 4 autres groupes. Le concepteur devra essayer de trouver des compromis entre les différentes règles qui ont été énoncées. L'objectif du concepteur sera d'architecturer une solution apte à 'satisfaire' les usagers.

Ce processus n'est naturellement pas simple et la difficulté principale est de bien interpréter les besoins des futurs occupants.

C'est à la sensibilité du concepteur qu'il revient de bien interpréter les besoins et d'exploiter au mieux les caractéristiques bioclimatiques du site pour architecturer des solutions 'bâties' satisfaisantes pour les usagers.



## Règles sans compromis

La première règle doit être de réduire au maximum les charges internes et les apports externes.

Les bâtiments rafraîchis passivement sont des systèmes 'fragiles', ils exploitent, presque toujours, le maximum du potentiel de rafraîchissement des puits thermiques utilisés.

Les surfaces couvertes devraient être exploitées et il faudrait éviter de créer d'énormes volumes difficiles à rafraîchir et énergivores.

Eviter d'imposer des dispositifs non adaptés à l'usage, dans l'espoir que les usagers s'adaptent car cela n'arrive presque jamais.

Eviter d'oublier que les usagers sont le vrai 'moteur' qui permet au bâtiment de fonctionner.

L'architecte doit faire attention à ne pas 'vendre des miracles', mais il doit être précis au regard des désavantages dus aux systèmes de rafraîchissement passif.

Il ne faut pas oublier que les usagers changeront et que le passage d'information aux nouveaux venants n'est pas automatique. Il faut prévoir des dispositifs de communication qui resteront visibles pendant toute la durée de vie du bâtiment.

Est très important de communiquer avec les usagers pour leur faire comprendre les avantages et les désavantages d'un bâtiment rafraîchi passivement, ainsi ils se sentiront partie prenante du projet, ressentiront l'importance de travailler/vivre dans un bâtiment respectueux de l'environnement et s'identifieront aux choix faits par l'architecte.

Plus se développera une conscience positive sur le bâtiment, majeures seront les possibilités pour les usagers d'accepter des petites défectuosités.

Le concepteur devrait essayer de prévoir des espaces verts extérieurs et intérieurs qui pourraient être d'une aide appréciable au rafraîchissement.

Eviter toujours des sas pour séparer des espaces avec des températures différentes.

Toutes les sources de chaleur devraient être isolées. Nous citons deux exemples intéressants. D'une part, le Department of Global Ecology de Stamford, où les 80 réfrigérateurs nécessaires aux laboratoires ont été placés dans une pièce ventilée, séparée de la zone d'usage. D'autre part, l'Eastgate de Harare où les transformateurs des luminaires ont été placés dans les conduits d'extraction de l'air. C'est grâce à des détails et des attentions de ce type qu'un concepteur peut réaliser un bâtiment réussi.

Le concepteur doit optimiser le plus possible les surfaces vitrées.

Les surfaces vitrées doivent être 'performantes'.

Plus fort sera le potentiel de rafraîchissement, plus larges seront les possibilités de réussir à garantir le confort thermique des usagers.

Prévoir des simulations de l'éclairage naturel du projet. Ne jamais oublier que l'éclairage des surfaces horizontales est aussi important que l'éclairage des surfaces verticales, pour le confort des usagers.

Un bâtiment avec une grande masse thermique garantit une stabilisation de la température et en réduit la fluctuation. Bien sûr, il faut que la masse thermique soit 'bien utilisée'. Une grande inertie thermique est presque toujours positive, sauf dans les climats où la température a des fluctuations journalières très faibles (climat équatorial), dans de telles conditions extrêmes, l'inertie thermique pourrait devenir un problème, plus qu'un avantage.

Eviter d'être trop 'militant' dans la conception d'un bâtiment rafraîchi passivement car cela peut mener à des erreurs d'évaluation du comportement des usagers.

Ventiler soigneusement les phases de réalisation du projet, tous les détails doivent être contrôlés. Il ne suffit pas de faire un bon projet, il est nécessaire d'en garantir la bonne réalisation, avec beaucoup d'attention aux petits détails.

Eviter de modifier la stratégie de contrôle, sans réétudier complètement le système de rafraîchissement et le projet de l'ensemble.

Prévoir une période de 'rodage' du bâtiment pendant laquelle la stratégie de contrôle sera affinée, pour adapter le comportement du système aux comportements des usagers.

Prévoir des systèmes d'affichage et l'explication du fonctionnement de la stratégie de contrôle, cela doit avoir une durée de vie élevée, pour éviter que lors du changement d'usagers cette connaissance soit perdue.

Il est fondamental que l'usager puisse comprendre comment cela fonctionne, pour lui permettre de mieux s'adapter au fonctionnement du bâtiment. De plus, dans la psychologie de l'usager, imposer sans expliquer peut conduire au rejet de ces systèmes, au contraire la compréhension et l'information peuvent mener à l'identification et l'acceptation des contraintes.

Ne pas oublier l'apport de la radiation diffuse. Dans certaines conditions elle peut être très importante et réduit l'efficacité des protections solaires.

## Le système de rafraîchissement

Il faut que le fonctionnement du système de rafraîchissement soit le plus flexible possible et doit pouvoir s'adapter à des modifications des conditions de départ.

Le fonctionnement des systèmes de rafraîchissement doit être lié à l'usage, aux caractéristiques architecturales et au climat du site.

Dans des cas particuliers, il faut prévoir des systèmes hybrides qui peuvent garantir le confort quand le système passif ne suffit pas et éviter des solutions 'bricolées' par les usagers eux-mêmes. Il est naturellement préférable d'utiliser ces systèmes seulement en cas de réelle nécessité.

Eviter des solutions alambiquées, quand il serait possible d'obtenir les mêmes résultats avec des solutions simples. Les systèmes compliqués ont pour résultat de rendre difficile la compréhension du fonctionnement du bâtiment par les usagers, qui se sentent alors dépassés.

Le système de rafraîchissement devra être choisi par rapport au climat du site, le schéma fonctionnel et l'architecture du bâtiment en seront fortement influencés. Le système de rafraîchissement choisi par l'architecte doit être le plus performant possible et en harmonie avec l'usage et le système bâtiment

Eviter d'irriter les usagers envers les systèmes de rafraîchissement passif, comme nous l'avons vu dans la Kenilworth School.

Eviter tous les systèmes très demandeurs en maintenance et les systèmes bruyants.

Ne pas oublier de protéger les bâtiments d'une effraction, en particulier si rafraîchis la nuit, cela doit être aussi une mesure pour rassurer l'usager.

Donner la possibilité aux usagers de modifier les conditions environnementales, sans les conduire à mettre en difficulté le fonctionnement du système bâtiment. Cette stratégie est très difficile à mettre en place, mais pas impossible. Nous l'avons vu dans le Department of Global Ecology, mais il existe d'autres voies possibles. L'une d'elles est de rendre les usagers conscients de leurs actions, de leur signaler quand une action est 'positive' ou 'négative' pour le comportement bioclimatique du bâtiment.

Eviter de choisir des systèmes compliqués, qui ne s'adaptent pas parfaitement à l'usage, même s'ils sont les plus performants dans un climat déterminé.

Eviter de réaliser des systèmes trop rigides, l'objectif doit être de le faire en garantissant le confort des usagers qui ne doivent pas être obligés de s'adapter au bâtiment. Cela devrait être le contraire.

La stratégie de contrôle des systèmes de rafraîchissement est liée à l'usage, aux caractéristiques architecturales et au climat du site. L'usager doit être en mesure de bien les employer.

Le schéma fonctionnel doit être étudié pour desservir au mieux les fonctions du bâtiment, avec une attention particulière aux systèmes de rafraîchissement prévus.

## Règles soumises à compromis

Il est nécessaire de contrôler avec soin la qualité des ouvrants mécaniques et leur étanchéité à l'air.

Eviter des protections solaires qui ne prennent pas en considération les apports d'éclairage naturel. Protéger du soleil ne signifie pas faire habiter les usagers dans une grotte.

Eviter d'exposer la masse thermique du bâtiment à la radiation directe du soleil dont le résultat serait d'accumuler des calories très difficiles à dissiper.

Il vaut mieux prévoir des protections solaires mobiles, même si cela pose toujours des problèmes de durée de vie des matériaux, car souvent dans la même saison il est nécessaire d'exploiter les apports solaires ou de s'en protéger. Il est très difficile de réaliser une protection solaire efficace, en particulier si elle est statique.

Ne pas oublier la protection solaire de la toiture. Cela dépend de l'inclinaison et de la présence d'éventuelles doubles toitures, ou toitures ventilées, sans oublier l'albédo de la toiture même.

Eviter de créer des espaces trop bruyants, le problème du bruit et de la vie privée des usagers est très ressenti dans les locaux open-space. Il faut, par contre, rappeler que les espaces ouverts sont les plus simples à rafraîchir. Les sols et plafonds phono absorbants, comme la moquette ou les faux plafonds acoustiques, réduisent énormément l'efficacité de la masse thermique. Comme dans d'autres situations, c'est à l'architecte de résoudre ces problèmes de manière efficace, in medio stat virtus.

Eviter des dispositions qui empêchent le bon fonctionnement du rafraîchissement dans le bâtiment, pourrait paraître banal, mais souvent les erreurs que nous avons rencontrées sont 'banales'. Nous pouvons citer les systèmes d'ouverture bruyants des tours de rafraîchissement de l'école Kenilworth à Petaluma. Ce dispositif lié au schéma fonctionnel des espaces rafraîchis, ne permet pas d'utiliser les systèmes de rafraîchissement.

Nous allons citer une erreur que nous avons remarquée et qu'il faudrait éviter : dans le bâtiment du BRE, selon le groupe de recherche Architecture et Climat (DGO4 ; Architecture et Climat), les usagers au début étaient informés de la bonne manière d'utiliser le bâtiment, malheureusement cette habitude s'est perdue et les nouveaux arrivés reçoivent simplement un feuillet informatif avec les instructions pour l'usage des systèmes, mais sans expliquer quel serait l'usage optimal.

Les systèmes de contrôle automatique de l'intensité de l'éclairage sont souvent difficiles à régler. Installer ce type de système seulement si cela est vraiment nécessaire et rentable.

Il est aussi très important de garantir un éclairage naturel de bonne qualité. La lumière directe du soleil même en hiver est souvent désagréable. Cela passe aussi par le choix des couleurs internes des espaces, pour améliorer la réflexion et la diffusion de la lumière.

Eviter des systèmes de contrôle de la radiation solaire qui empêchent complètement le passage de la lumière du jour.

Des dispositifs comme les volets, brise-soleil, rideaux ... doivent être utilisés avec attention et précision.

## La conception bioclimatique

La masse thermique couplée à d'autres systèmes de rafraîchissement, comme la ventilation nocturne, peut garantir de bons apports de rafraîchissement, avec des dispositifs économiques et simples.

Ne pas réaliser de systèmes gaspilleurs en eau, ou autres ressources, dans des environnements où elles sont rares.

Quand le vecteur des frigidités est l'air, presque toujours, l'architecte doit concevoir le bâtiment de manière à garantir l'afflux d'air frais partout. Naturellement créer des passages pour l'air équivaut à en créer pour le bruit.

Depuis le début de notre travail de recherche, nous affirmons que la première stratégie d'un bâtiment rafraîchi passivement doit être de réduire les apports thermiques. Pour ce faire, il est fondamental de bien protéger le bâtiment du soleil.

Il est fondamental d'exploiter toutes les 'occasions' possibles pour améliorer les mouvements de l'air en fonction des nécessités : trémies, puits de lumière, cages d'escaliers, ...

Créer un bâtiment irrégulier, ou peu compact, demande un effort supplémentaire au concepteur pour tenir compte des contraintes supplémentaires.

Nous pouvons dire que de toute façon les surfaces vitrées sont une source de problèmes pour un bâtiment rafraîchi passivement, mais en même temps ce serait pire de réaliser des bâtiments sans apport de lumière du jour.

Les protections solaires doivent garantir le passage de la lumière.

## L'éclairage naturel

Comme déjà affirmé, l'idéal est dans l'équilibre : une bonne pénétration de l'éclairage naturel, une bonne vision de l'extérieur pour les usagers et la réduction au minimum des surfaces vitrées.

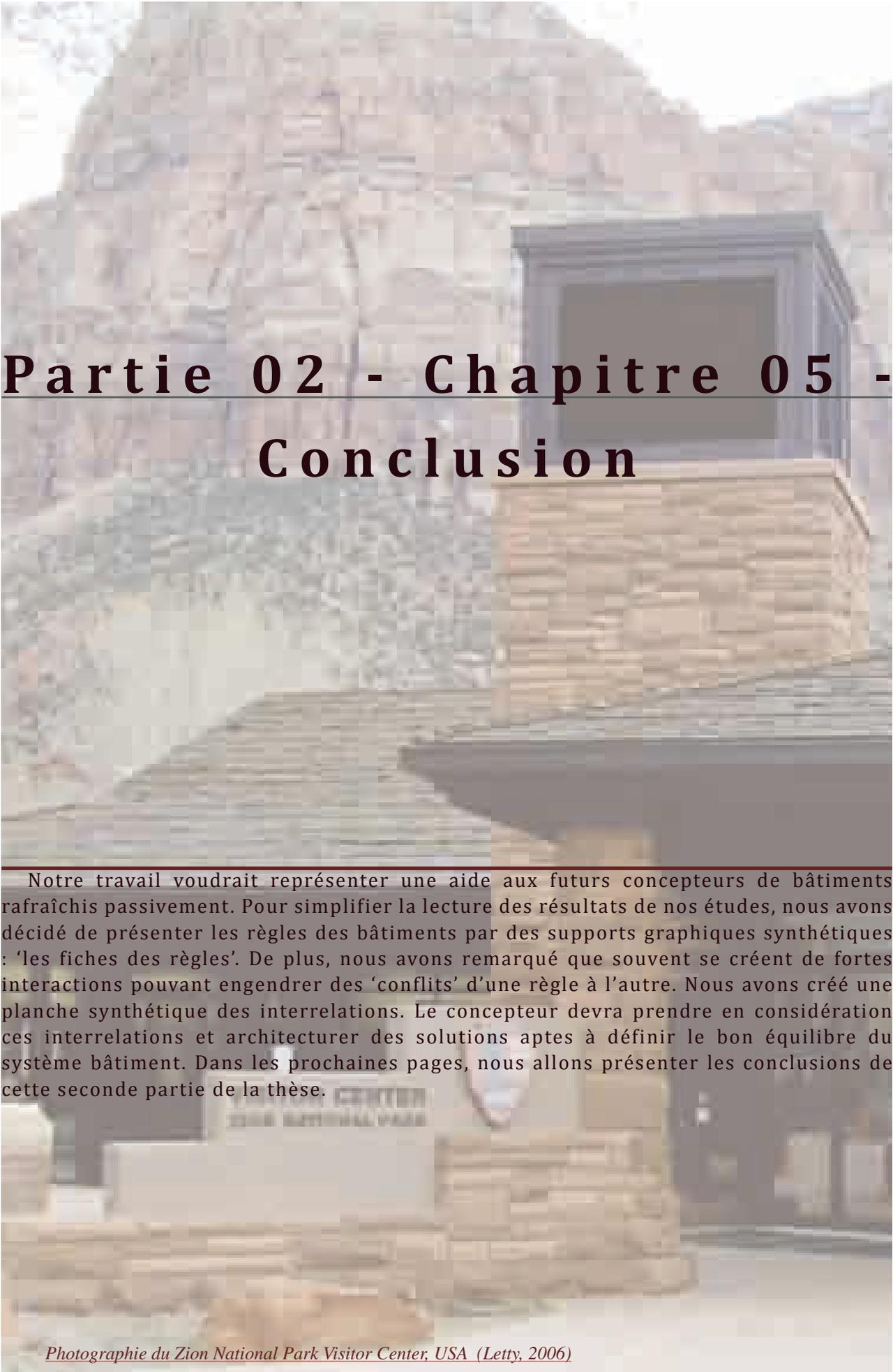
Attention, plus un bâtiment est compact, plus il est difficile à éclairer par la lumière du jour.

Prévoir, si possible, des écrans de réflexion pour réduire la radiation directe et l'éclairage indirect.

Eviter de trop réduire l'éclairage naturel pour diminuer les apports thermiques.

Utiliser des dispositifs de réflexion de la lumière pour améliorer l'éclairage indirect.





# Partie 02 - Chapitre 05 - Conclusion

Notre travail voudrait représenter une aide aux futurs concepteurs de bâtiments rafraîchis passivement. Pour simplifier la lecture des résultats de nos études, nous avons décidé de présenter les règles des bâtiments par des supports graphiques synthétiques : 'les fiches des règles'. De plus, nous avons remarqué que souvent se créent de fortes interactions pouvant engendrer des 'conflits' d'une règle à l'autre. Nous avons créé une planche synthétique des interrelations. Le concepteur devra prendre en considération ces interrelations et architecturer des solutions aptes à définir le bon équilibre du système bâtiment. Dans les prochaines pages, nous allons présenter les conclusions de cette seconde partie de la thèse.



## Conclusion de la deuxième partie

Le travail fait dans cette seconde partie nous a menés à analyser un certain nombre de bâtiments rafraîchis passivement.

Comme nous l'avons vu, il a été nécessaire de mettre en place une méthodologie d'évaluation du comportement des bâtiments. Elle avait comme objectif de rendre comparables les évaluations faites sur différents bâtiments construits à différents endroits dans le monde. Cela était nécessaire car nous avons dû résoudre un problème primordial : le nombre très réduit de bâtiments contemporains rafraîchis passivement au monde. De plus, nous avons besoin de sources de données fiables, ce qui n'a pas été simple et le nombre de bâtiments que nous avons pu analyser s'est encore réduit.

Mais pourquoi avons-nous eu besoin d'évaluer le comportement des bâtiments rafraîchis passivement ?

En étudiant le rafraîchissement passif, nous nous sommes aperçus que théoriquement ces systèmes pouvaient presque toujours garantir le confort des usagers. De plus, comme cela a déjà été dit en introduction, nous avons fait des études sur l'architecture vernaculaire des régions du sud de la Méditerranée et cela nous avait beaucoup intrigués.

Quand nous nous sommes intéressés à cette problématique, nous avons pensé que si, historiquement, il était possible de garantir le confort des usagers et qu'aujourd'hui on pouvait adapter des systèmes anciens à l'architecture contemporaine, cela était suffisant pour garantir le confort des usagers. Néanmoins, cette idée était fautive et très éloignée de la réalité. En premier lieu, comme nous l'avons vu dans la première partie de cette thèse, le confort garanti par les bâtiments historiques n'est plus le même 'bien-être' demandé par les usagers de nos jours. De plus, les charges thermiques des bâtiments contemporains sont énormes, par rapport au passé.

Ces considérations ont été rapidement acquises, mais nous étions quand même convaincus qu'un bâtiment bien conçu, bien étudié en phase de projet et bien réalisé, devait garantir le confort des usagers. Nous avons dû convenir que cette certitude, aussi, était un leurre. Nous avons trouvé des bâtiments qui théoriquement auraient dû atteindre cet objectif mais qui n'y arrivaient pas.

Quand nous avons essayé de concevoir un bâtiment rafraîchi passivement, nous nous sommes aperçus qu'il était difficile de convaincre les futurs usagers de la nécessité de certains choix. De plus, leurs attentes étaient complètement en contraste avec une bonne conception du projet. Quelques adaptations dans le fonctionnement du bâtiment, sans pour autant modifier radicalement le projet, auraient tenu ce bâtiment en échec (nous pouvons trouver l'évaluation du projet de Pattada parmi les fiches. C'est à l'issue de cette expérience, mise en attente, que nous avons décidé de chercher quels impacts avaient les systèmes de rafraîchissement passif dans l'architecture et quels étaient les motifs de leur échec ou de leur succès.

## **1.1 Sujets intéressés par notre recherche**

Le premier pas que nous avons fait en mettant en place notre méthodologie a été de nous questionner sur le rôle de l'architecte et sur le fonctionnement d'un bâtiment en tant que système.

Nous avons commencé le chapitre de méthodologie en citant Vitruve et nous souhaitons le citer ici, en conclusion de notre travail : *« Il doit donc savoir écrire et dessiner, être instruit dans la géométrie et ne pas être ignorant de l'optique, avoir appris l'arithmétique et savoir beaucoup d'histoire, avoir bien étudié la philosophie, avoir connaissance de la musique et quelques notions de la médecine, de la jurisprudence et de l'astrologie... »*

*Mais quand on aura remarqué que toutes les sciences ont une communication et une liaison entre elles, on se persuadera que cela est possible, car la science universelle est composée de toutes ces sciences, comme un corps l'est de ses membres, ... dont l'une sert à apprendre à l'autre plus facilement »* (VITRUVÉ, 1986, pp. 19-24).

Nous sommes convaincus que l'architecte doit être un chef d'orchestre, il doit connaître tous les instruments, mais pour des projets si compliqués, il devra obligatoirement travailler en équipe. L'architecte pourra difficilement calculer les sections des conduits, simuler les flux d'air, vérifier le dimensionnement des panneaux de cellulose, dimensionner la structure... par contre il devra pouvoir communiquer avec tous les experts prenant part au projet, avec les usagers définitifs, quand c'est possible, et architecturer des solutions capables de 'satisfaire' toutes les parties en cause.

C'est à ces architectes que se réfère cette recherche.

Nous avons essayé de proposer un instrument à des concepteurs qui voudraient se confronter au rafraîchissement passif des bâtiments. Nous avons tenté de procurer au concepteur des indications sur les solutions possibles et les incohérences à éviter. De plus, nous avons cherché à apporter une réponse à une question presque aussi importante. Quel impact ont les systèmes de rafraîchissement passif sur le projet architectural ?

## **1.2 Les résultats obtenus**

Nous avons tenté de penser au bâtiment comme à un système, où les liens entre les différentes parties en déterminent le succès. Les dispositifs architecturaux permettent au bâtiment de fonctionner et les usagers sont considérés comme un dispositif parmi les autres. Nous avons identifié des dispositifs critiques, c'est-à-dire les engrenages fondamentaux qui, s'ils sont mal conçus, ne permettront pas à l'ensemble du système bâtiment de fonctionner.

Ces convictions nous ont permis d'évaluer la pertinence de chaque dispositif des bâtiments analysés ayant l'objectif de garantir le confort d'été des usagers.

L'analyse des dispositifs a donné lieu à la base de données critique (annexe 01). Pour communiquer les résultats de l'analyse nous avons créé les fiches des bâtiments.

Cet instrument nous a permis de rendre visible l'analyse faite avec la base de données et surtout de donner de l'espace à l'analyse architecturale et à la prégnance des systèmes de rafraîchissement dans l'architecture. Ces deux derniers points ne jouent pas un vrai rôle dans le succès d'un bâtiment rafraîchi passivement, cet aspect sera développé plus loin, mais ces questions sont fondamentales pour le concepteur, qui voudrait savoir quelles contraintes architecturales lui seront imposées par les systèmes de rafraîchissement passifs.

Les analyses menées sont synthétisées dans les fiches des bâtiments, mais pour simplifier la lecture nous avons essayé de faire ressortir de manière claire des 'règles à respecter' et des 'incohérences à éviter' de la part du concepteur. La possibilité de comparer les dispositifs des différents bâtiments nous a permis de faire ressortir les règles expertes qui ont donné lieu à deux fiches supplémentaires et à la planche graphique des interactions entre les différents dispositifs.

De plus, nous avons voulu, à travers le groupement des différents dispositifs et des règles, clarifier un dernier point. D'une part, il s'agissait, pour nous, de découvrir si les points faibles des bâtiments dépendaient de la conception bioclimatique, de l'usage, de la morphologie ou si l'éclairage naturel pouvait poser des problèmes importants pour le confort. D'autre part, nous avons ré-analysé toutes les règles que nous avons énoncées. Nous avons isolé celles qui sont toujours valables et que le concepteur doit appliquer sans aucun compromis. Par ailleurs, nous avons isolé les règles qui imposent des choix au concepteur. C'est là que le projet d'un bâtiment bioclimatique devient difficile. Ces règles devraient toujours être appliquées mais souvent sont en contraste les unes avec les autres. Pour plus de clarté, citons la phrase de culture populaire : « *La vérité, c'est comme une couverture trop petite. Tu peux tirer dessus de tous les côtés, tu auras toujours les pieds froids* » (Weir, 1989).

Dans ce cas, c'est au talent du concepteur d'architecturer de bonnes solutions.

### ***1.3 La prégnance des systèmes de rafraîchissement***

Nous avons affirmé que l'intégration des systèmes de rafraîchissement n'avait pas d'influence sur la réussite d'un bâtiment. Ce n'est pas totalement vrai car la charge revient au concepteur de réussir à impliquer les usagers et de leur permettre d'être en harmonie avec le système bâtiment.

C'est-à-dire que souvent les usagers qui s'approprient des principes 'd'écologie' d'un bâtiment rafraîchi passivement sont prêts à accepter des conditions environnementales qui autrement seraient définies d'inconfort. Cette démarche d'appropriation des lieux est plus simple si les usagers voient et comprennent les principes de fonctionnement du bâtiment, nous avons

vu ce type de comportement pour le bâtiment de la Monfort University de Leicester. Naturellement cette démarche des usagers se développe plus facilement dans les bâtiments qui 'déclarent' par leur architecture même leur appartenance aux bâtiments 'écologiques'.

Les systèmes de rafraîchissement ont un grand impact sur la conception de l'ensemble du bâtiment. Comme nous l'avons vu à travers les logos Typo/Topologiques, réalisés par Y MANSOURI (MANSOURI, dir. ALLARD, & co-dir. MUSY, 2003), que nous avons adaptés à nos besoins, le concepteur devra ajuster tout le bâtiment au système de rafraîchissement passif choisi. La prégnance des systèmes peut être plus ou moins importante, par rapport au dispositif choisi par l'architecte, mais le choix de rafraîchir passivement un bâtiment imposera des contraintes importantes. D'ailleurs, toute la conception bioclimatique du bâtiment inclut des impératifs pour l'architecte.

### **1.4 Possibilités de développement**

Notre recherche voudrait apporter une petite pierre dans l'édifice de la recherche sur les systèmes de rafraîchissement. Il apparaît que cette recherche a des limites importantes, mais aussi des possibilités de développement. Le premier ennui est que nous n'avons pas pu visiter les bâtiments analysés et les évaluer dans les périodes de fonctionnement des systèmes de rafraîchissement. Cela était impossible à cause des contraintes de temps et de coût qu'une démarche de ce type aurait engendrées.

Un autre problème important est la rareté des bâtiments à usage d'habitation que nous avons pu analyser. Malheureusement il a été très compliqué de trouver des données sur des logements rafraîchis passivement. L'usage en tant qu'habitat s'adapte particulièrement bien aux systèmes de rafraîchissement. Il serait nécessaire de développer l'étude sur ce sujet.

Les possibles développements de notre travail pourraient être multiples. D'une part nous sommes convaincus que la méthodologie mise en place permettrait non seulement d'évaluer le comportement estival des bâtiments, mais aussi d'autres caractéristiques. Evidemment il faudrait redéfinir les dispositifs à étudier.

D'autre part, nous pensons qu'il serait nécessaire d'implémenter le nombre de bâtiments analysés, pour affiner et améliorer le carnet de règles. D'ailleurs il manque plusieurs exemples de bâtiments rafraîchis car nous n'avons pas pu étudier des bâtiments rafraîchis par échangeur géothermique. Le seul que nous ayons trouvé rafraîchi de cette manière est l'école PEDAGNA à Imola, projet auquel a participé M. GROSSO et qui est cité dans son ouvrage (GROSSO, 2008), mais nous n'avons pas trouvé assez de sources indépendantes pour pouvoir l'inclure parmi nos cas d'étude.

Nous aurions voulu inclure beaucoup plus de bâtiments, mais cela n'a pas été possible pour plusieurs motifs, comme le temps nécessaire à analyser les bâtiments et les obligations de durée d'une thèse de doctorat, l'absence de données scientifiques,...





# Conclusions de la recherche

*Photographie du BRE Office, Watford, England (Colt Group, 2012)*



# Conclusions de la recherche

## 1.1 *Les différentes phases de la recherche*

### 1.1.1 La première partie, l'état de l'art

Notre travail s'est développé en deux phases principales : la partie 1, le rafraîchissement passif dans l'architecture vernaculaire et de nos jours, puis la partie 2, les bâtiments contemporains rafraîchis passivement et les règles expertes. Dans la 1<sup>ère</sup> partie nous avons essayé de donner au lecteur des bases théoriques sur le rafraîchissement passif, le rafraîchissement dans l'architecture vernaculaire et le confort.

Nous pourrions définir cette partie de la thèse comme l'état de l'art, mais cela n'est pas complètement exact. De cette première partie du travail nous avons déjà trouvé les premières réponses, à un état embryonnaire bien sûr, aux questions que nous nous posons depuis le début de notre recherche. Nous avons vu que les différents systèmes de rafraîchissement, classifiés selon les quatre différents puits thermiques vers lesquels la chaleur en excès est redirigée, pourraient permettre de baisser considérablement la température de l'air. La redirection des surchauffes responsables de l'inconfort thermique des usagers nécessite la mise en place de systèmes et de stratégies, qui ont une grande influence sur l'architecture et sur l'utilisateur.

Les différents puits thermiques ont des potentiels divers et il pourrait être souvent plus avantageux d'utiliser un système plutôt qu'un autre, ou encore de coupler les systèmes.

L'analyse de l'architecture vernaculaire et de l'évolution du concept de confort nous ont donné les premières réponses.

Il est vrai, les constructeurs du passé, dans des régions à climat chaud ou tempéré, ont toujours fait extrêmement attention aux solutions pour rafraîchir les maisons. De la même manière, nous pouvons affirmer que l'architecture vernaculaire est un magnifique instrument d'inspiration d'idées et de solutions pour des régions déterminées, mais on peut difficilement l'utiliser comme modèle à copier, sans réinterprétation globale.

A la fois les techniques constructives, mais aussi les différents systèmes, basés sur une façon de vivre, bien différente de celle de nos jours, rendent très difficilement duplicables ces modèles. Leur reproduction serait peu rentable en termes énergétiques et économiques.

D'ailleurs, comme nous l'avons vu dans le chapitre sur le confort, les usagers d'aujourd'hui ont des demandes de prestations assez élevées, par rapport à ceux du passé. Le concepteur d'un bâtiment rafraîchi passivement devra faire face à cette exigence à laquelle se rajoutent les énormes apports thermiques internes des bâtiments. Il est vrai que d'une part, de nos jours, le travail est beaucoup moins physique mais d'autre part, les lieux de travail sont beaucoup plus 'peuplés' aujourd'hui que dans le passé et que tous les

## Conclusions de la recherche

appareils électroniques et électriques sont des sources de chaleur importantes. Le concepteur devra chercher à réduire au minimum les apports internes pour pouvoir espérer réaliser un bâtiment qui garantira le confort des usagers.

Une solution possible serait de suivre les prescriptions du confort adaptatif pour réaliser des bâtiments qui garantissent le confort des usagers, sans pour autant fournir des prestations trop élevées.

La capacité des usagers à s'adapter à un certain climat, extérieur et intérieur, devrait être exploitée au maximum, mais cela dépend de certains dispositifs, par exemple les fenêtres en contrôle manuel souvent sont à l'antithèse des systèmes de rafraîchissement. De plus, les attentes des usagers peuvent être très diversifiées et dépendent de facteurs culturels et psychologiques. La même personne aura des attentes différentes quand elle entrera dans un immeuble ancien ventilé naturellement ou bien dans un ensemble de bureaux à l'architecture très contemporaine.

Nous constatons déjà dans cette partie de notre travail les premières indications qui surgissent pour le concepteur.

### **1.1.2 La deuxième partie, la méthodologie d'évaluation et les règles**

Dans la deuxième partie de cette thèse, nous entrons vraiment dans le vif du sujet de cette thèse. Depuis le début nous nous sommes questionnés sur la viabilité des systèmes de rafraîchissement dans l'architecture contemporaine et sur leur impact sur la conception architecturale. Pour y répondre, nous avons cherché à analyser et à évaluer un certain nombre de bâtiments rafraîchis passivement dans le monde.

La méthodologie d'évaluation que nous avons mise en place nous a permis de créer une base de données critique et des fiches de bâtiments. Grâce à ces deux instruments, nous avons eu une approche de bâtiments différents, construits à différents endroits dans le monde.

Cette analyse avait pour objectif de comprendre les principales causes de défaillance et de réunir les éventuelles indications positives, fournies par ces réalisations.

De plus, ces fiches nous ont permis d'évaluer la posture des architectes sur l'intégration des systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture. Nous avons aussi essayé de comprendre la prégnance de ces systèmes sur l'architecture. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les recherches de Y. MANSOURI et nous avons cherché à appréhender comment les différents architectes ont affronté ce problème.

Les indications récoltées et synthétisées dans les fiches nous donnent un regard assez complet des divers bâtiments.

A partir des analyses sur les bâtiments et sur les dispositifs critiques nous avons réalisé une grande planche synthétique qui regroupe les quatorze bâtiments analysés et qui nous donne des premières indications sur les solutions positives

ou défaillantes employées par les concepteurs.

Nous avons décidé, par la suite, d'analyser les dispositifs critiques par comparaison entre eux et d'extraire de ces analyses des règles d'expert, que nous avons divisées en 'incohérences à éviter' et en 'règles positives'. Nous avons rassemblé toutes les règles en deux fiches où nous les faisons apparaître avec les photos des bâtiments les plus représentatifs, de manière positive ou négative, pour le dispositif en question.

A la suite de la rédaction des fiches de règles, nous avons analysé les interrelations entre les règles, qui peuvent être sources d'erreurs pour les concepteurs. Ces interactions peuvent être '*conflictuelles*', c'est là que le travail et le talent du concepteur sont fondamentaux pour trouver des solutions de médiation entre différentes exigences. Dans une planche graphique, nous avons isolé les règles à appliquer sans devoir faire de compromis et celles qui incluent des compromis. Nous avons cherché à rendre évidentes les interrelations, tout en faisant ressortir leur appartenance aux cinq groupes, précédemment créés : Conception bioclimatique, Usage, Système de rafraîchissement, Morphologie et Eclairage naturel.

A travers ce travail d'analyse et la création des règles, nous avons tenté de répondre au questionnement initial.

### ***1.2 Est-il possible de rafraîchir un bâtiment contemporain au moyen de systèmes passifs ?***

Encore aujourd'hui, pour nous, il est illusoire de donner une réponse univoque. Effectivement, il est possible de rafraîchir un bâtiment passivement et nous pouvons voir des exemples de succès dans notre corpus d'étude, mais les variables liées à l'usage et aux éventuelles évolutions du bâtiment rendent très complexe un projet de succès, de qualité et durable. Comme nous l'avons vu, même si le concepteur essaie de suivre toutes les règles énoncées et si les techniciens calculent et pré-simulent parfaitement les prestations du système, des compromis interviendront toujours entre les différents groupes de règles et c'est là que se joue la bonne réussite du bâtiment. Il est évident que le concepteur doit chercher à réaliser un projet le plus performant et le plus 'satisfaisant' possible, mais les variables comportementales, dans certains cas, pourraient contrarier ce travail. Nous nous référons aussi au fait que la durée de vie d'un bâtiment doit être longue car un bâtiment ne se réalise pas pour une seule génération d'usagers. Cette variable temporelle expose le bâtiment à d'éventuelles modifications et au changement d'usagers pendant sa durée de vie, ce qui est presque impossible à maîtriser.

Il faut aussi dire que les bâtiments du tertiaire sont probablement peu adaptés à être rafraîchis passivement, à cause de plusieurs facteurs : la difficulté de concevoir des bâtiments selon les prescriptions du confort adaptatif, des charges thermiques internes très élevées, une grande distance entre le concepteur et l'utilisateur final ...

Tout de même, nous pouvons dire qu'un concepteur peut créer un bâtiment avec succès et très flexible, qui s'adapte au comportement des usagers.

## Conclusions de la recherche

Suite à nos analyses, nous avons vu que les bâtiments rafraîchis de manière hybride pourraient être une solution pour garantir le confort des usagers pendant les périodes de grande canicule. Par contre, soyons précis : par « rafraîchir de manière hybride » nous entendons « par des systèmes mécaniques d'appoint », comme nous l'avons vu pour le Department of Global Ecology de Stanford, et non en laissant les usagers choisir de rafraîchir de manière passive ou mécanique, comme nous l'avons vu pour le bâtiment iGuzzini à Reccanati. Ces considérations sont naturellement liées à l'usage, à l'acceptation de possibles périodes d'inconfort et aux attentes des usagers envers le bâtiment en question.

Notre réponse est probablement un peu floue, mais nous nous sommes concentrés sur la possibilité de donner au concepteur une base de règles lui permettant d'éviter des incohérences majeures et sur son habileté à choisir le bon compromis, en relation avec l'usage final, afin de réaliser un bâtiment rafraîchi passivement qui puisse garantir le confort des usagers.

### 1.2.1 La prégnance des systèmes de rafraîchissement sur l'architecture

Au cours de notre analyse, nous avons tenté de découvrir quelles difficultés ou quelles opportunités peuvent offrir les systèmes de rafraîchissement pour le concepteur. Nous avons vu, grâce aussi à l'analyse menée par Y MANSOURI, que selon le type de système choisi, sa configuration,... toute la morphologie et le schéma fonctionnel du bâtiment sont influencés et que cela dépend aussi de la capacité et de la volonté du concepteur à intégrer les systèmes de rafraîchissement.



Nous avons trouvé des architectes qui voulaient intégrer à l'architecture des systèmes de rafraîchissement devenant invisibles aux yeux des usagers, comme pour le projet des bureaux de direction de iGuzzini. Pour y parvenir, l'architecte a décidé d'exploiter des espaces de transition pour la ventilation directe et la ventilation nocturne à travers les dalles. Le visiteur qui découvre le bâtiment ne s'aperçoit pas des caractéristiques bioclimatiques de cette construction.

1. Le bâtiment iGuzzini (EULEB , 2006)

A l'opposé, nous avons recueilli plusieurs exemples de concepteurs qui ont cherché à rendre visibles les systèmes passifs employés. Dans certains

cas, l'utilisation des systèmes comme expressions de langage architectural a mené à modifier leur position et leur forme, par rapport à ce qui aurait été l'optimum.

Nous pouvons remarquer cette aptitude extrême dans le projet du CII Institute of Quality de Bangalore. L'architecte a décidé d'exploiter les tours évaporatives comme objets faisant partie intégrante de la cour paysagée. Les tours, ainsi utilisées, ont une position et une taille qui réduisent légèrement la qualité des prestations obtenues.



*2. Le bâtiment CII bangalore (CII INSTITUTE OF QUALITY, 2007)*

Un autre cas exemplaire pourrait être le Department of Global Ecology de Stanford. Le système choisi, radiatif et évaporatif indirect n'était pas du tout perceptible par le visiteur de l'immeuble. Pour rendre visible le caractère 'écologique' du bâtiment, les concepteurs ont décidé de rafraîchir le hall d'entrée à travers une tour évaporative. Ce choix n'est pas du tout rentable techniquement, mais permet une reconnaissance du bâtiment et de ses caractéristiques.

Bien entendu, les trois exemples que nous venons de prendre sont extrêmes, même si entre eux nous pouvons constater différentes nuances. Il est tout de même possible de souligner deux écoles de pensée différentes. D'une part, nous trouvons des architectes qui pensent aux systèmes techniques comme à des objets à camoufler dans l'architecture et d'autre part il y a des architectes qui veulent montrer le caractère 'bioclimatique' du bâtiment qu'ils construisent et qui mettent en valeur les différents systèmes employés.

La typologie et la morphologie des systèmes employés seront différentes dans les deux cas. Pour l'un, le concepteur préférera, pour rafraîchir le bâtiment, employer des dispositifs facilement intégrables dans l'architecture, comme les espaces de transition, les conduits enterrés, ..., pour l'autre, les concepteurs utiliseront des systèmes bien visibles et facilement reconnaissables, comme des cheminées, des tours, ...

Nous ne nous retrouvons ni dans la première ni dans la seconde école, mais il est important de savoir que tout concepteur choisissant d'employer

## Conclusions de la recherche

des systèmes de rafraîchissement passifs, sera lourdement influencé dans sa conception architecturale, et que cela adviendra soit s'il décide d'intégrer les systèmes de rafraîchissement, soit s'il décide de le rendre visibles.

Ces choix ont une forte emprise sur les prestations des systèmes et la réussite du bâtiment en est influencée.



*3. Le bâtiment Département of Global Ecology (G Living Staff Monkeys, 2008)*

### **1.3 Notre apport à la recherche sur le rafraîchissement passif**

Quand nous avons démarré notre travail, notre objectif principal était de réaliser une recherche en architecture qui puisse aider les concepteurs de bâtiments bioclimatiques dans les régions chaudes. En effet, nous avons souvent perçu comme non adaptées au climat des régions chaudes et à la société, les prescriptions venant du nord de l'Europe sur l'architecture 'bioclimatique' ou 'passive'. Nous avons cherché à atteindre notre objectif à travers l'analyse des bâtiments réalisés et nous avons pu donner au concepteur un instrument qu'il lui permette de réduire le risque d'incohérences dans la conception et la réalisation de bâtiments rafraîchis passivement.

La plus grande difficulté que nous ayons rencontrée pendant notre travail a été la pénurie des bâtiments contemporains rafraîchis passivement. La méthodologie employée est sûrement le cœur de notre travail de recherche, ce qui nous a conduits à rassembler et à comparer des bâtiments différents.

Notre apport à l'état de l'art se situe dans le fait d'avoir pu comparer des bâtiments différents, construits à différents endroits dans le monde. Pour cela, nous avons réuni énormément d'informations, provenant parfois d'autres recherches, filtrées et employées pour réaliser notre base de données critique.

Grâce à la méthodologie mise en place, nous avons pu extraire des règles propres à aider le concepteur mais ce résultat n'a été possible seulement qu'au travers de la comparaison des différents bâtiments.

Les règles créées sont l'application la plus directe de notre travail.

### **1.4 Possibilités de développement**

Le travail que nous avons mené pourrait avoir plusieurs issues de développement. Il serait très intéressant d'élargir le nombre de bâtiments étudiés puisque cela s'est avéré impossible à cause de la durée limitée dans le temps d'un doctorat. De plus, il faudrait essayer de trouver davantage d'exemples de bâtiments d'habitation.

Il serait très intéressant de tester la méthode d'évaluation, ainsi que les règles, auprès de différentes agences d'architecture, pour vérifier si le travail mené peut être réellement utile et efficace pour un concepteur.

Une autre possibilité de développement, pour affiner la méthode d'évaluation, serait de faire évaluer les bâtiments par plusieurs experts et architectes. Nous avons réfléchi à cette possibilité, mais dans le cadre d'un doctorat il a été impossible de mettre en place cette expérience, à cause d'un problème de fond : les autres experts auraient dû analyser les bâtiments à partir des nombreuses recherches qui nous ont permis de rédiger les appréciations. Cela aurait induit une charge de travail trop importante pour chaque expert. Nous aurions pu faire des synthèses pour chaque bâtiment, mais les synthèses mêmes auraient été partisans et l'évaluation en aurait été influencée.

Dans le cadre d'une éventuelle continuation de la recherche, il faudrait aussi prévoir des observations sur place. Notre travail s'est basé sur des recherches menées sur les bâtiments analysés, mais il serait très enrichissant de pouvoir visiter et analyser les bâtiments directement, voir effectuer des mesures.

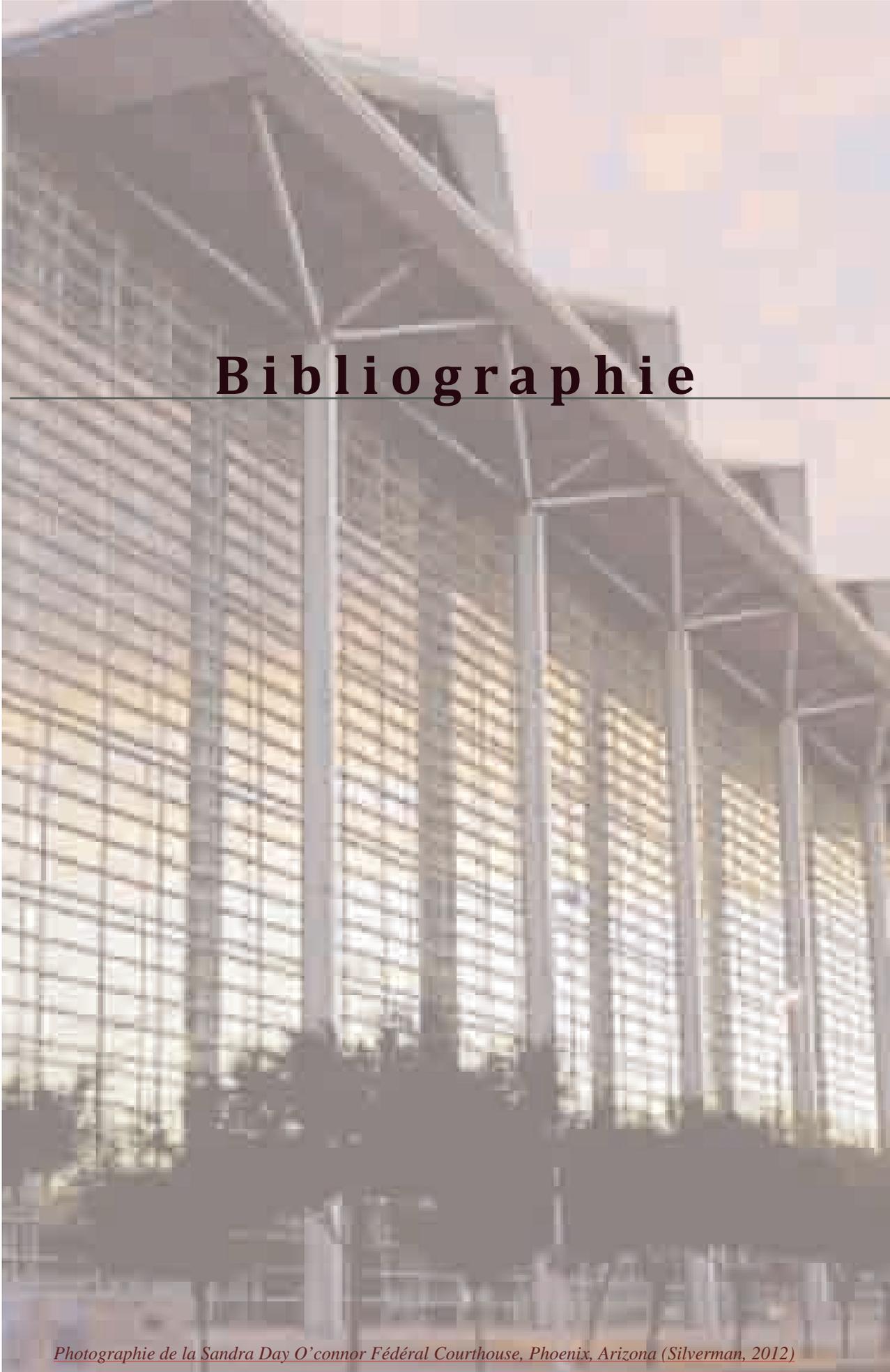
Une deuxième possibilité serait de développer ultérieurement la matrice de la base de données et d'insérer à l'intérieur différents types de bâtiments bioclimatiques. Bien sûr ce travail demanderait un effort considérable.

De plus, la matrice, que nous appelons base de données critique, est un simple fichier Excel. A ce jour, vu le nombre réduit de bâtiments analysés, c'est plus que suffisant. Dans le cadre d'une implémentation du nombre de bâtiments, elle devrait être transformée en une véritable base de données, ce qui permettrait de croiser les informations de manière beaucoup plus rapide et performante.

De plus, l'extension de la matrice autoriserait à ré-analyser les règles et à rajouter la variable des phases de conception. De cette manière, il serait possible de rédiger les règles et les incohérences à éviter pour les différentes phases de projet, ce qui serait d'un grand secours pour les concepteurs.

Pour nous, ces possibilités de développement produiraient des résultats intéressants, soit pour l'amélioration du système de règles, soit pour une meilleure compréhension du fonctionnement des bâtiments étudiés.





# Bibliographie

---

*Photographie de la Sandra Day O'Connor Fédéral Courthouse, Phoenix, Arizona (Silverman, 2012)*



# 1. Bibliographie

**...framed...** Bedok Court [En ligne] // Panoramio. - Panoramio, 14 01 2008. - 12 08 2011. - <http://www.panoramio.com/photo/18079606>.

**02 KM 817** Lycée Charles de Gaulle [En ligne] // Ateliers Lion. - 20 03 2010. - 20 03 2010. - [http://www.atelierslion.com/ateliers\\_lion.swf](http://www.atelierslion.com/ateliers_lion.swf).

**A.R.MOHAMMADI M.M. TAHIR, I.M.S. USMAN, N.A.G. ABDULLAH, A.I. CHE-ANI, N. UTABERTA** The Effect of Balcony to Enhance the Natural Ventilation of Terrace Houses in the Tropical Climate of Malaysia [En ligne] // wseas. - 04 06 2010. - 12 08 2011. - <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/Japan/POWREM/POWREM-44.pdf>.

**Academic Dictionaries and Encyclopedias** Eastgate Centre, Harare [En ligne] // academic. - Wikimedia Foundation, 2010. - 12 06 2011. - <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/1844724>.

**ADEME** chauffage [En ligne] // ADEME. - 1999. - 25 04 2011. - <http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=108DC6968531BC406AF7DC63EE83F90C1136900698948.pdf>.

**Aga Khan Trust for Culture** CII Institute of Quality [En ligne] // archnet. - MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture . - 10 04 2010. - [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=9721](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=9721).

**Aga Khan Trust for Culture** Eastgate [En ligne] // archnet. - MIT and Massachusetts Institute of Technology & Aga Khan Trust for Culture. - 10 06 2011. - [http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site\\_id=1776](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=1776).

**AHRENS Donna** Earth Sheltered Homes: Plans and Designs [Livre]. - New York : Van Nostrand Reinhold , 1981. - p. 125. - ISBN 978-0442286750.

**AIM Associates** KENILWORTH JUNIOR HIGH SCHOOL [En ligne] // AIM Associates. - AIM Associates, 2011. - 15 10 2011. - <http://www.aimgreen.com/consulting/consulting-kenilworth.html>.

**Alain LIEBARD et André DE HERDE** Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable [Livre]. - Paris : Le Moniteur Editions, 2006. - p. 740. - ISBN 978-2281192902.

**ALEXANDROFF Georges et Jeanne Marie** Architectures et climats [Livre]. - Paris : Berger-Levrault, 1982. - p. 384. - ISBN 2.7013.0464.4.

**AI-TEMEEMIA A.A. et HARRIS D.J.** A guideline for assessing the suitability of earth-sheltered mass-housing in hot-arid climates [Article] // Energy & Buildings. - [s.l.] : ELSEVIER, 2004. - 36. - pp. 251-260.

**American institute of architects** ArchitectureAwardGuide [En ligne] // aia-phoenixmetro. - AIA ARIZONA, 01 08 2011. - 10 12 2011. - <http://aia-phoenixmetro.org/wp-content/uploads/2009/09/ArchectureAwardGuide.pdf>.

**Andrew** Biomimetic and Sustainable Architecture: Learning from the Eastgate Building in Harare, Zimbabwe [En ligne] // zpluspartners. - Z + Partners, 24 01 2004. - 12 06 2011. - [http://www.zpluspartners.com/zblog/archive/2004\\_01\\_24\\_zblogarchive.html](http://www.zpluspartners.com/zblog/archive/2004_01_24_zblogarchive.html).

**anspics** Malta Stock Exchange - Valletta [En ligne] // flickr. - flickr, 04 10 2008. - 08 01 2011. - <http://www.flickr.com/photos/bomba08/2950263876/in/set-72157624827372420>.

**APPROACHES PLANET SAVING DESIGN** Mike Rainbow [En ligne] // sustainablesettlement. - sustainablesettlement, 23 08 2000. - 15 06 2011. - <http://www.sustainablesettlement.co.za/event/SSBE/Proceedings/rainbow.pdf>.

**ArchiEnvironmental** Eastgate Centre in Zimbabwe : Modeled After Termite Mounds [En ligne] // ArchiEnvironmental. - ArchiEnvironmental, 15 12 2007. - 13 06 2011. - <http://nat-envir-sun.blogspot.com/2007/12/eastgate-centre-in-zimbabwe-modeled.html>.

**Architecture Project** STOCK EXCHANGE [En ligne] // Architecture Project. - Architecture Project. - 15 02 2012. - <http://www.ap.com.mt/projects.asp?c=11&p=60>.

**Architopik** LYCÉE CHARLES DE GAULLE [En ligne] // Architopik. - GROUPE MONITEUR, 18 06 2010. - 21 11 2011. - [http://architopik.lemoniteur.fr/index.php/realisation-architecture/lycee\\_charles\\_de\\_gaulle/2530](http://architopik.lemoniteur.fr/index.php/realisation-architecture/lycee_charles_de_gaulle/2530).

**ARCSPACE** Richard Meier & Partners United States Courthouse [En ligne] // ARCSpace. - ARCSpace, 01 09 2000. - 12 12 2011. - <http://www.arcspace.com/architects/meier/phoenix/index.html>.

**Asbridge R et Cohen R** Probe 4 [En ligne] // usablebuildings.co.uk. - usablebuildings.co.uk, 04 1996. - 26 05 2010. - <http://www.usablebuildings.co.uk/Probe/DMQ/DMQDegraded.pdf>.

**ASHRAE** ASHRAE Standards, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy [En ligne] // ANSI/ASHRAE. - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 16 04 2004. - 13 04 2012. - [http://c0131231.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/ASHRAE\\_Thermal\\_Comfort\\_Standard.pdf](http://c0131231.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/ASHRAE_Thermal_Comfort_Standard.pdf). - ISSN 1041-2336.

**asia business council** CII Sohrabji Godrej Green Business Centre [En ligne] // asia business council. - asia business council, 2011. - 10 08 2011. - [http://www.asiabusinesscouncil.org/docs/BEE/GBCS/GBCS\\_CII.pdf](http://www.asiabusinesscouncil.org/docs/BEE/GBCS/GBCS_CII.pdf).

**Ateliers Lion** Damas [En ligne] // ATELIERS LION ASSOCIES. - 09 12 2011. - 09 12 2011. - <http://www.atelierslion.com>.

**Auteurs Diverses** Confort d'été, rafraîchissement ou climatisation des bâtiments [Conférence]. - Sophia Antipolis : ADEME, 1995.

**ba** evaporative cooling towers - Sevilla [En ligne] // Borderline Colonias. - Borderline Colonias, 21 02 2011. - 12 09 2012. - <http://thefreeunit2010-11-ams.blogspot.fr/2011/02/evaporative-cooling-towers-sevilla.html>.

**Ball Philip** insect architecture [En ligne] // philipball. - 27 02 2010. - 20 04 2011. - [http://www.philipball.co.uk/images/stories/docs/pdf/insect\\_architecture.pdf](http://www.philipball.co.uk/images/stories/docs/pdf/insect_architecture.pdf).

**Bamrah Charanjev** The Queens Building - De Monfort University [En ligne] // Arch-ive.net. - Arch-ive.net, 01 12 2009. - 12 05 2011. - <http://www.arch-ive.net/project/73/The+Queens+Building+De+Monfort+University+Tech/summary/>.

**Barlowa Stuart et Fiala Dusan** Occupant comfort in UK offices — How adaptive comfort theories might influence future low energy office refurbishment strategies [Article] // Energy and Buildings / éd. ELSEVIER. - Oxford : Science Direct, 2007. - 39. - pp. 837-846.

**bâtir durable** Le bien être thermique [En ligne] // bâtir durable. - bâtir durable, 2008. - 12 09 2012. - <http://faustinebrunet.com/batir/page-interne.html>.

**Bay Joo Hwa** Towards a Fourth Ecology: Social and Environmental Sustainability with Architecture and Urban Design [En ligne] // Green Buildings. - Green Buildings, 2010. - 05 08 2011. - <http://www.journalofgreenbuilding.com/doi/abs/10.3992/jgb.5.4.176>.

**Bay Joo-Hwa et Ong Boon-Lay** Tropical Sustainable Architecture [Livre]. - Bangalore : Architectural Press, 2006. - p. 292. - 978-0750667975.

**BAY Joo-Hwa** Socio-climatic design for high-rise dwellings [En ligne] // University of Cambridge. - 19 09 2004. - 12 08 2011. - <http://www.arct.cam.ac.uk/PLEA/ConferenceResources/PLEA2004/Proceedings/p1147final.pdf>.

**Bay Philip Joo-Hwa** SOCIAL AND ENVIRONMENTAL DIMENSIONS IN ECOLOGICALLY SUSTAINABLE DESIGN: TOWARDS A METHODOLOGY OF RANKING LEVELS OF SOCIAL INTERACTIONS IN SEMIOPEN AND OPEN SPACES IN DENSE RESIDENTIAL ENVIRONMENTS IN SINGAPORE. [En ligne] // subtropicalcities2011. - subtropical cities 2011, 8 03 2011. - 05 12 2011. - <http://subtropicalcities2011.com/pdf2/162%20Bay.pdf>.

**BBC** Fifty innovative modern buildings in Leicestershire [En ligne] // BBC. - BBC, 04 01 2011. - 06 02 2011. - [http://news.bbc.co.uk/local/leicester/hi/people\\_and\\_places/history/newsid\\_8937000/8937396.stm](http://news.bbc.co.uk/local/leicester/hi/people_and_places/history/newsid_8937000/8937396.stm).

**BEHLING Sophia and Stephan** Solar power [Livre]. - Munich : Prestel Publishing, 2000. - p. 240. - ISBN: 978-3791324111.

**BENCHEIKH Hamida et dir. BOUCHAIR Ammar** Etude Et Realisation D'un Systeme De Refroidissement Passif En Utilisant Une Toiture Radio-Evaporative Dans Les Climats Chauds Et Arides. Universite Mentouri De Constantine. Constantine: Universite Mentouri De Constantine [Rapport] : Thèse / UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE. - CONSTANTINE : UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE, 2007. - p. 204.

**BERGER Xavier** La climatisation urbaine passée et présente [Article] // Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine 42/43. - Marseille : Editions Parenthèses, 07 1998. - 42/43. - pp. 127-138. - ISBN 2-86364-842-X.

**BERTHOLON Patrick et HUET Olivier** Habitat Creusé [Livre]. - Paris : Editions Eyrolles, 2005. - p. 228. - ISBN 2-212-11362-5.

**Bezemer V.** Can we create more sustainable buildings by imitating natures cooling techniques? [En ligne] // chilliwebsites. - 11 2009. - 10 05 2011. - [http://www.chilliwebsites.us/sitefiles/132/File/sustainable\\_cooling\\_techniques.pdf](http://www.chilliwebsites.us/sitefiles/132/File/sustainable_cooling_techniques.pdf).

**BORDASS BILL, COHEN ROBERT et STANDEVEN MARK** PROBE 9 [En ligne] // usablebuildings. - BUILDING SERVICES JOURNAL, 04 1997. - 23 06 2010. - <http://www.usablebuildings.co.uk/Probe/ProbePDFs/Probe9Apr97.pdf>.

**Bouchair A** Building Services Engineering Research and Technology [En ligne] // <http://bse.sagepub.com>. - SAGE, 01 01 1994. - 20 10 2011. - <http://bse.sagepub.com/content/15/2/81.full.pdf>. - DOI: 10.1177/014362449401500203.

**Bouden C. et Ghrab N.** An adaptive thermal comfort model for the Tunisian context : a field study results [Article] // Energy and Buildings / éd. ELSEVIER. - Oxford : Science Direct,

2005. - 37. - pp. 952-963.

**Brager Gail.** Mixed-mode cooling [En ligne] // eScholarship . - eScholarship , 01 01 2006. - 16 05 2010. - <http://escholarship.org/uc/item/3bb8x7b8>.

**BRAID George** The Architectural Expression of Environmental Control Systems [Livre]. - London : Spon Press, 2001. - p. 264. - ISBN 0-419-24430-1.

**BRE** The Environmental Building [En ligne] // BRE. - BRE. - 10 10 2011. - <http://projects.bre.co.uk/envbuild/envirbui.pdf>.

**BROWN G. Z. et DEKAY M.** Sun Wind & Light Architectural Design Strategies [Livre]. - New York : JOHN WILEY & SONS INC., 2001. - II : p. 382.

**BSRIA** Review of the World Air Conditioning Market 2007 [En ligne] // bsria.co.uk. - 06 2008. - 28 03 2011. - <http://www.bsria.co.uk/news/1997/>.

**Building Research Establishment** BRE [En ligne] // BRE. - Building Research Establishment, 2012. - 15 02 2012. - <http://www.bre.co.uk/>.

**building.co.uk** Live and learn [En ligne] // building.co.uk. - building.co.uk, 03 04 2007. - 12 06 2010. - <http://www.building.co.uk/live-and-learn/3084181.article>.

**Bunn Roderic** Queens Building [En ligne] // BSRIA. - BSRIA, 10 2006. - 06 05 2010. - <http://www.bsria.co.uk/news/1906/>.

**BUONO Mario** L'architettura del vento. Soluzioni tecnologiche per il raffrescamento passivo [Livre]. - Napoli : Edition CLEAN, 1997. - p. 144. - ISBN 9788886701297.

**Byloos Matty** The 10 Greenest Buildings in the World [En ligne] // easy ways to go green. - easy ways to go green, 6 02 2009. - 03 05 2011. - <http://www.easywaystogogreen.com/green-architecture/10-greenest-buildings-in-world/>.

**CADD LuAnne** Yemen [En ligne] // luanecadd. - 2009. - 23 05 2011. - <http://luanecadd.com/yemen/yemen.html#0>.

**Cadoni Gianluca [et al.]** Riqualificazione urbana e recupero edilizio nella medina di Gafsa in Tunisia [En ligne] // PoliTo.it. - 15 02 2003. - 09 01 2011. - [http://www.architesi.polito.it/scheda\\_tesi\\_uk.asp?id\\_tesi=3498](http://www.architesi.polito.it/scheda_tesi_uk.asp?id_tesi=3498).

**Cadoni Gianluca** Actes du séminaire doctoral 2009 [Conférence] // Actes du séminaire doctoral 2009. - Marseille : Département de la Recherche Doctorale de Marseille, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Marseille, Ecole Doctorale E355, 2009. - p. 104.

**CADONI Gianluca** Approach to classification and evaluation of naturally cooled buildings [Conférence] // 27th International conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA 2011. - Louvain-la-Neuve : Presse universitaire de Louvain. - 9782874632785.

**CADONI Gianluca** Discovering the tradition of the medina of Gafsa in Tunisia for an urban-upgrading project [Conférence] // The Mediterranean Medina: An International Seminar. - Pescara : Gangemi, 2004. - 978-8849216059.

**CADONI Gianluca** fichier personnel de l'auteur. - Marseille : [s.n.], 2007.

**CADONI Gianluca** Les systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture contemporaine et la conception bioclimatique du bâtiment. Méthodologie d'analyse et évaluation de réalisations à travers le monde. [Conférence] // Ambiances in action . - Montreal : Sous la direction de Jean-Paul Thibaud & Daniel Siret International Ambiances Network , 2012. - 978-2-9520948-3-2.

**CADONI Gianluca** Logo synthétique // Base des données critique. - Marseille : [s.n.], 2011.

**CADONI Gianluca** Riqualificazione urbana e riabilitazione edilizia della medina della città di Gafsa in Tunisia [Conférence] // Architectural Heritage and Sustainable Development of Small and Medium Cities in South Mediterranean Regions. - FirenzePisa : ETS, 2004. - 88-467-1199-8.

**Carnegie Institution** Construction Phase 2 [En ligne] // Carnegie Institution. - Carnegie Institution, 2006. - 03 02 2012. - [http://dgc.stanford.edu/about/building/phase\\_2.html](http://dgc.stanford.edu/about/building/phase_2.html).

**Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology** BEYOND ENERGY [En ligne] // The Department of Global Ecology. - Carnegie Institution, 2006-2008. - 15 05 2010. - <http://dgc.stanford.edu/about/building/Resource%20Efficiency.pdf>.

**Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology** energy performance goals [En ligne] // The Department of Global Ecology. - Carnegie Institution, 2006-2008. - 15 05 2010. - <http://dgc.stanford.edu/about/building/Energy%20Goals.pdf>.

**Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology** New Laboratory Complex Department of Global Ecology Carnegie Institution of Washington Stanford, Californi [En ligne] // The Department of Global Ecology. - Carnegie Institution, 02 2002. - 15 05 2010. - <http://dgc.stanford.edu/about/building/building%20philosophy%202-02.pdf>.

**Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology** Project Description [En ligne] // The Department of Global Ecology. - Carnegie Institution, 2006-2008. - 15 05 2010. - <http://dgc.stanford.edu/about/building/Project%20Description.pdf>.

**Carneige institution of Washington; Center for Global Ecology** Sustainable Strategies [En ligne] // The Department of Global Ecology . - Carnegie Institution, 2006-2008. - 15 05 2010. - [http://dgc.stanford.edu/about/building/Sus\\_features.pdf](http://dgc.stanford.edu/about/building/Sus_features.pdf).

**CASTELLINI Silvestro** Storia della città di Vicenza: ove si vedono i fatti e le guerre de vicentini così esterne come civili sino all'anno 1650 [Livre]. - Vicenza : Tipografia Parise, 1821. - Vol. XII : p. 236.

**CBE** Global Ecology Research Center [En ligne] // CBE. - The Regents of the University of California, 2009. - 22 05 2010. - <http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/2007globalecology.htm>.

**CBE** Global Ecology Research Center [En ligne] // CBE. - The Regents of the University of California, 2009. - 22 05 2010. - [http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/pdfs2007/submittal\\_global\\_ecology.pdf](http://www.cbe.berkeley.edu/livablebuildings/pdfs2007/submittal_global_ecology.pdf).

**Centre Georges Pompidou** Des Architectures de Terre [Livre]. - Paris : Centre Georges Pompidou, 1981. - p. 192. - ISBN: 2-85850-109-2.

**CHABERT Frederic and Dir DABAT Roger** HABITAT ENTERRE [Report]. - Marseille : ENSA

## Bibliographie

Marseille, 1980.

**CHANG Chao-Kang et BLASER Werner** Architectures de terre en China [Livre]. - Lausanne : Editions André DELCOURT, 1988. - p. 177. - ISBN 2-88161-050-1.

**Chown Mark** BUILDING SIMULATION AS AN AIDE TO DESIGN [En ligne] // ibpsa. - ibpsa, 11 11 2003. - 16 06 2011. - [http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2003/BS03\\_0019\\_30.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2003/BS03_0019_30.pdf).

**CII INSTITUTE OF QUALITY** About the Building [En ligne] // CII INSTITUTE OF QUALITY. - CII,- IQ All Rights Reserved, 2007. - 10 04 2010. - [http://www.cii-iq.in/aboutiq07\\_building.html](http://www.cii-iq.in/aboutiq07_building.html).

**Cii Institute of Quality** Annual\_Report [En ligne] // Cii Institute of Quality. - Cii Institute of Quality, 2008. - 15 04 2010. - [http://www.cii-iq.in/pdfs/iq/Annual\\_Report\\_2008.pdf](http://www.cii-iq.in/pdfs/iq/Annual_Report_2008.pdf).

**Clamens Alexandre** Les paramètres du confort thermique [En ligne] // Certu. - Certu, 26 10 2009. - 12 09 2012. - [http://www.certu.fr/fr/\\_Ville\\_et\\_equipements\\_publics-n30/Construction\\_durable-n148/Les\\_parametres\\_du\\_confort\\_thermique-a1736-s\\_article\\_theme.html](http://www.certu.fr/fr/_Ville_et_equipements_publics-n30/Construction_durable-n148/Les_parametres_du_confort_thermique-a1736-s_article_theme.html).

**Coleman Ron** COOKING LAWYERS ALIVE [En ligne] // likelihood of success. - DAILYPRESS theme, 01 07 2008. - 13 12 2011. - <http://www.likelihoodofsuccess.com/2008/07/01/cooking-lawyers-alive/#more-1193>.

**Coleman Ron** O'Connor federal courthouse [En ligne] // flickr. - flickr, 05 05 2008. - 08 01 2012. - <http://www.flickr.com/photos/roncoleman/2470427183/in/photostream/lightbox/>.

**Colt Group** BRE Building 16 - Glass solar shading system [En ligne] // Colt . - Colt , 2012. - 10 02 2012. - <http://www.coltdinfo.co.uk/projects/bre-building-16/>.

**Colt International Limited** Case History Solar Architecture BRE Building 16 [En ligne] // Robertson RVI. - 12 05 1997. - 09 10 2011. - [http://www.robventind.co.za/manuals/ssi\\_inter\\_project\\_bre.pdf](http://www.robventind.co.za/manuals/ssi_inter_project_bre.pdf).

**Compton C. Megan** Queen's Building, DeMontfort University [En ligne] // University of Idaho. - University of Idaho, spring 2006. - 23 05 2010. - <http://www.caa.uidaho.edu/arch504ukgreenarch/CaseStudies/QueensBldg-DeMontfortU.pdf>.

**Confederation of Indian Industry** Green Building Tour [En ligne] // CII - Sohrabji Godrej Green Business Centre. - Confederation of Indian Industry, 2009. - 03 05 2011. - <http://www.greenbusinesscentre.com/site/ciigbc/greentourk.jsp?tourimgid=198260>.

**COOK Jeffrey** Passive cooling [Livre]. - Cambridge : MIT Press, 1989. - p. 593. - ISBN 0262031477 9780262031479.

**CRIT** Ventilation : ayez l'air naturel [En ligne] // crit. - 2006. - 24 05 2011. - <http://www.crit.archi.fr/produits%20innovants/FICHES/ventilation%20naturelle/presentation.html#Anchor-Chapitre-5>.

**Crockett James, Torcellini Paul et Shea Patrick** Zion Visitor Center [En ligne] // Green Building Brain. - Green Building Brain, 15 02 2010. - 20 02 2011. - [http://greenbuildingbrain.org/buildings/zion\\_visitor\\_center](http://greenbuildingbrain.org/buildings/zion_visitor_center).

**CUEPE** Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie; Universität SiegenFachgebiet Bauphysik & Solarenergie; UCL Université Catholique de Louvain;

**AA - Architectural Association School of Architecture Graduate School; CSTB Centre Scientifique** idea [En ligne] // [idea-architecture.org](http://idea-architecture.org). - [idea-architecture.org](http://idea-architecture.org), 2003 01 9. - 05 25 2010. - [http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm\\_one.htm](http://www.unige.ch/cuepe/idea/frm_one.htm).

**D.G.Boyce** D.G.Boyce [En ligne] // D.G.Boyce. - D.G.Boyce. - 26 05 2010. - <http://www.d-boyce.co.uk/>.

**Dalli Lawrence** MALTA STOCK EXCHANGE [En ligne] // MaltaShipPhotos. - 19 08 2009. - 12 08 2010. - <http://www.maltashipphotos.com/productfile.asp?ProductID1=3257&PRODUCTCAT1=Yachts#>.

**DANNA Vincent** Vincent DANNA [En ligne] // Vincent DANNA. - Vincent DANNA, 13 12 2002. - 12 09 2012. - <http://vincent.danna.free.fr/surlaroute/2002/decembre.html>.

**de Dear R. et Schiller Brager Gail** The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment [Article] // INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOMETEOROLOGY. - [s.l.] : EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE, 04 2001. - 2 : Vol. 45. - ISB 2001.

**Dean Brian N.** Queens Building – Leicester, England [En ligne] // MIT. - 23 09 2011. - <http://cmiserver.mit.edu/natvent/Europe/queens.htm>.

**Departement of General Services** electrical independence of california schools and community colleges [En ligne] // qka. - Departement of General Services, 1 02 2009. - 16 10 2011. - [http://www.qka.com/PDF/Grid\\_Neutral\\_Schools.pdf](http://www.qka.com/PDF/Grid_Neutral_Schools.pdf).

**DGO4 ; Architecture et Climat** Le bâtiment environnemental du BRE [En ligne] // energieplus. - Université catholique de Louvain. - 22 09 2011. - [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10876.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10876.htm).

**DGO4 ; Architecture et Climat** Le Queen's Building de l'université de Montfort [En ligne] // energieplus. - Université catholique de Louvain. - 22 09 2011. - [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10882.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10882.htm).

**DGO4 · Architecture et Climat** Energieplus [En ligne] // Energieplus. - Université Catholique de Louvain, 2012. - 12 09 2012. - <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11260>.

**Dibble T. [et al.]** Moderns Couthouses and the New Green [En ligne] // American Institute Of Architects. - American Institute Of Architects, 01 11 2008. - 13 10 2010. - [http://aia.org/aiacomp/groups/ek\\_public/documents/pdf/aiap072915.pdf](http://aia.org/aiacomp/groups/ek_public/documents/pdf/aiap072915.pdf).

**Doan Abigail** Green Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds [En ligne] // inhabitat / éd. 2011 Inhabitat.com. - 12 10 2007. - 15 03 2011. - <http://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/#ixzz0sQLBWpCF>.

**Dominique GAUZIN-MÜLLER** strategie climatique en milieu aride [Article] // EcologiK / éd. Vivre Architectures à. - 04/05 2009. - Architectures à Vivre. - 08. - pp. 72-81.

**DONALD G. et McNEIL Jr.** In Africa, Making Offices Out of an Anthill [En ligne] // New York Times / éd. Company The New York Times. - 13 02 1997. - 12 04 2011. - <http://www.nytimes.com/1997/02/13/garden/in-africa-making-offices-out-of-an-anthill.html?scp=2&sq=Zimbabwe&st=nyt>.

**DUALL Blog** Baseline evaluation – Queens building [En ligne] // DUALL Blog. - 10 2010. - 29

08 2011. - <http://duall.dmu.ac.uk/blog/2010/10/08/baseline-evaluation-queens-building/>.

**DUMOUSSEAU Nezumi** Voyage au Sénégal [En ligne] // nezumi.dumousseau. - 12 05 2011. - 20 05 2011. - <http://nezumi.dumousseau.free.fr/sen/anim2.htm>.

**Dunnagan Emily** Kenilworth Junior High School [En ligne] // petalumacityschools. - petalumacityschools, 2010-2011. - 10 01 2012. - <http://www.petalumacityschools.org/perform/SARC2011/Kenilworth-JH.pdf>.

**E Source Companies** Cool Roofs [En ligne] // Business Energy Advisor. - E Source Companies, 2011. - 12 09 2012. - [http://www.esource.com/esrc/0013000000DP1AFAA1-1/BEA1/OMA/OMA\\_BuildingEnvelope/OMA-08#top](http://www.esource.com/esrc/0013000000DP1AFAA1-1/BEA1/OMA/OMA_BuildingEnvelope/OMA-08#top).

**Ecodorp** Leemhut met termieten airco [En ligne] // <http://ecodorpbrabant.nl>. - Ecodorp. - 12 06 2011. - <http://ecodorpbrabant.nl/html/voortgang/DKA/termietenheugel.php>.

**Edward Brian W** Green Buildings Pay [En ligne] // Sheffield Hallam University. - Sheffield Hallam University, 2002. - 05 10 2011. - [http://www.shu.ac.uk/\\_assets/pdf/cfmd-conf-Edwards-GreenBldgsPay.pdf](http://www.shu.ac.uk/_assets/pdf/cfmd-conf-Edwards-GreenBldgsPay.pdf).

**Edwards Brian** Sustainable design [En ligne] // ScotMARK. - ScotMARK. - 05 10 2011. - <http://www.scotmark.eca.ac.uk/research/4.pdf>.

**EHDD Architects** Department of Global Ecology Carnegie Institution for Science [En ligne] // EHDD Architects. - EHDD Architects. - 20 01 2012. - <http://www.ehdd.com/#/DepartmentofGlobalEcologyCarnegieInstitutionforScience>.

**EHDD Architects** EHDD - Global Ecology building [En ligne] // EHDD Architects. - EHDD Architects, 28 01 2005. - 20 01 2012. - <http://www.ehdd.com/sites/ehdd/files/GlobalEcologyfullreport.pdf>.

**Elgendy Karim** A Damascus School Revives Traditional Cooling Techniques [En ligne] // carboun.com. - Carboun, 24 05 2010. - 21 10 2011. - <http://www.carboun.com/sustainable-development/sustainable-design/a-damascus-school-revives-traditional-cooling-techniques/>.

**Energetic** Matériel technique et scientifique [En ligne] // Energetic. - Energetic, 05 02 2009. - 12 09 2012. - [http://labo-energetic.eu/fr/laboboite\\_ouils\\_guide\\_1.php?PHPSESSID=a450c62a4430ff267b00a0cc710d26d6](http://labo-energetic.eu/fr/laboboite_ouils_guide_1.php?PHPSESSID=a450c62a4430ff267b00a0cc710d26d6).

**Energitismo Eng** Energitismo [En ligne] // Energitismo. - Energitismo Eng, 18 06 2012. - 12 08 2012. - [http://95.110.233.195/blog\\_en/](http://95.110.233.195/blog_en/).

**Enerzine** Le bâtiment responsable de 25% des émissions de CO2 [En ligne] // Enerzine.com. - 26 10 2006. - 25 03 2011. - <http://www.enerzine.com/14/1417+Le-batiment-responsable-de-25-pc-des-emission-de-CO2+.html>.

**Environment and Ecology** The Eastgate Centre [En ligne] // Environment and Ecology. - Environment and Ecology, 2012. - 01 02 2012. - <http://environment-ecology.com/energy-and-architecture/369-the-eastgate-centre.html>.

**Er. Avantika Praveen K Verma** Sustainable Development through Green Design in India [En ligne] // NBM Media / éd. NBMCW. - NBM Media, 08 2010. - 10 04 2010. - <http://www.nbmcw.com/articles/green-construction/17831-sustainable-development-through-green->

design-in-india.html.

**EULEB GUZZINI HEADQUARTERS** [En ligne] // EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique / éd. Europe Intelligent Energy. - 2006. - 19 04 2010. - [http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index\\_s4.html](http://www.new-learn.info/learn/packages/euleb/fr/p18/index_s4.html).

**EULEB EULEB HOME** [En ligne] // EULEB - bâtiments européens à haute qualité et à faible demande énergétique / éd. Europe Intelligent Energy. - 2006. - 19 04 2010. - <http://learn.greenlux.org/packages/euleb/fr/home/index.html>.

**Fanger P.O.** Thermal Comfort [Livre]. - [s.l.] : McGraw-Hill Inc., 1970. - p. 244. - 978-0070199156.

**FATHY Hassan** Construire avec le peuple : Histoire d'un village d'Egypte Gourni [Livre]. - Arles : Actes Sud, 1996. - 4° edition : p. 432. - ISBN 978-2-7427-0807-9.

**FATHY Hassan** Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates [Livre]. - Chicago and London : Walter Shearer and Abd-el-rahman Ahmed Sultan, 1986. - ISBN 0-226-23918-7.

**FORD Brian [et al.]** The Architecture and Engineering of Draught Cooling: A Design Source Book [Livre]. - UK : FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa; FRANCIS editors , 2010. - p. 199. - ISBN 978-0956579003.

**Ford Brian** Passive Draught Evaporative Cooling (PDEC) applied to the central atrium space within the New Stock Exchange in Malta [En ligne]. - 28 11 2002. - 12 10 2011. - <http://www.managenergy.net/download/nr35.pdf>.

**FRANCESE Dora** Architettura bioclimatica: risparmio energetico e qualità della vita nelle costruzioni [Livre]. - Torino : UTET, 1996. - 9788802050942.

**G Living Staff Monkies** Global Ecology Research Center | Theory Into Practice [En ligne] // architecture / interior design. - GLIVING.COM, 04 10 2008. - 14 05 2010. - <http://gliving.com/global-ecology-research-center-theory-into-practice/>.

**Gallo Anna** PHDC\_BOLOGNA\_AP\_Stock Exchange Malta [En ligne] // PHDC. - 28 10 2009. - 15 05 2010. - [http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC\\_BOLOGNA\\_AP\\_Stock\\_Exchange\\_Malta.pdf](http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC_BOLOGNA_AP_Stock_Exchange_Malta.pdf).

**Gianluca Cadoni** Approach to classification and evaluation of naturally cooled buildings and analysis of what impact passive cooling systems have on architectural design [Conférence] // International Conference "Sustainable Environment in the Mediterranean Region: from Housing to Urban and Land Scale Construction". - Napoli : Franco Angeli, 2012. - p. 5. - 9788820414368.

**Giuseppe Desogus** Adaptive thermal comfort in mediterranean buildings [Conférence] // International Conference "Sustainable Environment in the Mediterranean Region: from Housing to Urban and Land Scale Construction". - Napoli : Franco Angeli, 2012. - p. 5. - 9788820414368.

**GIVONI Baruch** Climate considerations in building and urban design [Livre]. - New York : John Wiley & Sons Inc, 1994. - p. 480. - ISBN 978-0471291770.

**GIVONI Baruch** Passive and low energy cooling of buildings [Livre]. - New York : John

## Bibliographie

Wiley & Sons, Inc, 1994. - p. 263. - ISBN 978-0471284734.

**Godrej** Green Business Centre: Spearheading the Green Revolution [En ligne] // Godrej. - Godrej.com, 2011. - 03 05 2011. - <http://www.godrej.com/godrej/godrej/sustainability.aspx?id=1&menuid=1163>.

**GONZALES Eduardo Manuel et dir. ACHARD Patrick** Etude de Matériaux et de Techniques du Bâtiment Pour la Conception Architecturale Bioclimatique en Climat Chaud et Humide [Rapport] : Thèse . - Paris : Ecole des Mines PARIS, 1997. - p. 363.

**Google** Google Maps [En ligne] // Google. - Google, 2011. - 10 04 2011. - <http://maps.google.fr>.

**GROSSO Mario** Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato [Livre] / éd. Editore Maggioli. - San Marino : Maggioli Editore, 2008. - II : p. 648. - ISBN 978-88-387-3963-3.

**GUINEBARULT Alain** Maisons des Eclusiers à Port saint Louis du Rhône [Rapport] : expérimentation Rapport de synthèse. - Marseille : GERES, 1985. - p. 66.

**Gvern Halib Tal** valletta [En ligne] // whatsinmalta. - 19 10 2011. - [http://whatsinmalta.com/media/p/596.htm#\\_596,2237,5,](http://whatsinmalta.com/media/p/596.htm#_596,2237,5,)

**Hana Jie [et al.]** A comparative analysis of urban and rural residential thermal comfort under natural ventilation environment [Article] // Energy and Buildings / éd. ELSEVER. - Oxford : Science Direct, 2009. - 41. - pp. 139-145.

**HANROT Stéphane** A la recherche de l'architecture, essai d'épistémologie de la discipline et de la recherche architecturales [Livre]. - Paris : L'Harmattan, 2002. - p. 254. - ISBN 2-7475-2837-5.

**HANROT Stéphane** Evaluation relative de la qualité architecturale : une approche par le point de vue des acteurs [Article] // Cahiers Ramau - La Qualité Architecturale - Acteurs Et Enjeux / éd. Villette Editions De La. - 04 2005. - 2009. - 5. - ISBN 978-2-915456-47-9.

**HANROT Stéphane** Modélisation de la connaissance architecturale pour un outil de CAO intelligent [Livre]. - PARIS : Plan Construction et Architecture, 1989. - p. 246 . - ISBN 2100 85419-7.

**Harrison Clayton** The Environmental Building [En ligne] // The University of Idaho. - 04 2006. - 05 10 2011. - <http://www.caa.uidaho.edu/arch504ukgreenarch/CaseStudies/bre2.pdf>.

**Haskell Jack** Sandra Day O'Connor United States Courthouse [En ligne] // flickr. - flickr, 19 06 2010. - 08 01 2012. - <http://www.flickr.com/photos/jhaskell/4715636566/>.

**Heinen Kristin** Exemplary CHPS Processes and Projects [En ligne] // cashnet. - cashnet, 22 07 2008. - 10 05 2011. - [http://www.cashnet.org/meetings/2008\\_Workshops/documents/KristinHeinenPresentation.pdf](http://www.cashnet.org/meetings/2008_Workshops/documents/KristinHeinenPresentation.pdf).

**Heintges & Associates** Sandra Day O'Connor Courthouse and Federal Building [En ligne] // Heintges . - R. A. Heintges & Associates. - 12 10 2011. - <http://www.heintges.com/project.php?id=sandra-oconnor-us-courthouse#>.

**HOLLMULLER Pierre** Utilisation des échangeurs air/sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments [Rapport] : Thèse . - Genève : Université de Genève Section physique, Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, 2002. - p. 125. - Thèse n° 3357.

**HOLLMULLER Pierre, LACHAL Bernard et PAHUD Daniel** Rafrâichissement par geocooling : Bases pour un manuel de dimensionnement [Rapport] : Rapports de recherche du CUEPE n° 5 / Sous mandat de l'Office fédéral de l'énergie ; CUEPE : Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, 7 rte de Drize, CH - 1227 Carouge. - Genève : CUEPE, Université de Genève et SUPSI, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana, 2005. - p. 96. - DIS-Projet Nr.: 100'893.

**Holmes Michael** HYBRID VENTILATION SYSTEMS [En ligne] // heatinghelp. - heatinghelp. - 12 06 2011. - <http://www.heatinghelp.com/files/articles/738/42.pdf>.

**Horn Jim** Kenilworth Junior High School [En ligne] // hornengineers. - CASH REGISTER, 07 2004. - 10 05 2011. - <http://www.hornengineers.com/Projects/KenilworthCASH.pdf>.

**Hurlbut Benjamin** High-rise neighborhood: Rethinking community in the residential tower [En ligne] // Scholar Commons. - University of South Florida, 06 01 2008. - 12 08 2011. - <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1308&context=etd>.

**Indian Green Building Council (IGBC)** Green Building - LEED [En ligne] // emt-india. - Indian Green Building Council (IGBC) , 16 05 2008. - 03 05 2011. - <http://www.emt-india.net/Presentations2008/Indo-GermanSymposium15-16May2008/16-05-08Presentations/III-MAnand.pdf>.

**insects.tamu.edu** eastgate\_facilities.pdf [En ligne] // insects.tamu.edu. - insects.tamu.edu. - 13 05 2011. - [http://insects.tamu.edu/podcast/pdf/eastgate\\_facilities.pdf](http://insects.tamu.edu/podcast/pdf/eastgate_facilities.pdf).

**Intelligent Energy Europe** University Rebuilding Using Natural Ventilation [En ligne] // Scribd. - Scribd, 2003. - 25 06 2010. - <http://www.scribd.com/doc/77152439/Best-Practice-10>.

**IZARD Jean-Louis** Architectures d'été construire pour le confort d'été [Livre]. - Aix-en-Provence : Edition EDISUD, 1993. - p. 144. - ISBN 2-85744-655-1.

**IZARD Jean-Louis** CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT REUNIONNAIS [En ligne] // envirobat-reunion. - envirobat-reunion. - 03 08 2011. - [http://www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf\\_Construire\\_partie8.pdf](http://www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf_Construire_partie8.pdf).

**IZARD Jean-Louis et GUYOT Alain** Archi bio [Livre]. - Marseille : Edition Parenthèses, 1979. - p. 136. - ISBN: 2-86364-005-4.

**IZARD JeanLouis** Histoire du groupe ABC - 1ere partie, de la genèse à 1850 [Conférence]. - Marseille : [s.n.], 2012. - p. 63. - Etat provisoire 18 janvier 2012.

**IZARD Jean-Louis** L'architecture adaptée au climat en Afrique de l'Ouest, d'hier à aujourd'hui : l'habitat vernaculaire, l'architecture coloniale et celle d'aujourd'hui [Conférence] // L'architecture climatique en Afrique Subsaharienne 10 et 11 mai . - Ouagadougou : Centre Culturel Français – Georges Méliès, 2010. - pp. 22-28.

**IZARD Jean-Louis** LA VENTILATION NATURELLE DES BATIMENTS [Rapport]. - Marseille : EnviroBAT-Méditerranée, 2006. - p. 30.

## Bibliographie

**Jadhav Raj** L'architecture verte en inde [En ligne] // Nations Unies. - Nations Unies, 04 2006. - 03 05 2011. - <http://www.un.org/french/pubs/chronique/2007/numero2/0207p66.htm>.

**Jadhav Raj** LEEDing Green in India [En ligne] // architecture week. - artifice, 2004. - 03 05 2011. - [http://www.architectureweek.com/2004/0922/environment\\_1-1.html](http://www.architectureweek.com/2004/0922/environment_1-1.html).

**Janda Kathryn B.** Buildings don't use energy: people do [En ligne] // Taylor & Francis online / éd. Francis Taylor &. - Taylor & Francis , 09 06 2001. - 22 03 2012. - <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/asre.2009.0050>. - 1758-9622.

**jasongan1978** Bedok Court [En ligne] // flickr. - flickr, 12 01 2008. - 06 05 2011. - <http://www.flickr.com/photos/23169698@N05/2220708543/in/photostream/>.

**Johnston Lindsay** Environmentally SustainableDesign [En ligne] // rivertime. - rivertime. - 01 07 2011. - [http://www.rivertime.org/lindsay/ar\\_articles/ar\\_74.pdf](http://www.rivertime.org/lindsay/ar_articles/ar_74.pdf).

**jw2zv** Natural Ventilation [En ligne] // ARCH3230. - ARCH3230, 25 10 2011. - 12 09 2012. - <http://arch3230.wordpress.com/2011/10/25/natural-ventilation/>.

**Kahn Louis I.** Beginnings: Louis I. Kahn's Philosophy of Architecture [Livre]. - Hoboken : John Wiley & Sons Inc , 1984. - p. 214. - ISBN: 978-0471865865.

**KAMIS ELSAT ON** Green Technology - Zion Visitor Center - Heating and Cooling [En ligne] // Green Technology. - 28 01 2010. - 26 05 2010. - <http://greentechnol.blogspot.com/2010/01/green-technology-zion-visitor-center.html>.

**Kiechle Horst** Bedok Court [En ligne] // flickr. - flickr, 14 01 2008. - 06 05 2011. - <http://www.flickr.com/photos/archisculpture/3270145897/>.

**kiriocomunicazione** MC Architects [En ligne] // iGuzzini Headquarters building. - HIBO, 2010. - 12 05 2010. - <http://www.mcarchitects.it/index.php?id=19&projid=100>.

**Kolderup Erik et Schindler Tom** Acoustics HVAC and Envelope [En ligne] // scribd. - CHPS , 2007. - 10 09 2010. - <http://www.scribd.com/doc/65379600/070129-Acoustics-HVAC-and-Envelope>.

**Kolderup Erik** Natural Ventilation in Schools [En ligne] // kolderupconsulting. - kolderupconsulting, 12 12 2008. - 10 05 2011. - [http://kolderupconsulting.com/files/Nat-Vent-in-Schools\\_12-10-08.pdf](http://kolderupconsulting.com/files/Nat-Vent-in-Schools_12-10-08.pdf).

**Kolderup Erik** Right-sized: Equipment and Controls for Super Efficient Buildings [En ligne] // kolderupconsulting. - kolderupconsulting., 11 12 2009. - 15 05 2011. - [http://kolderupconsulting.com/files/AIA2030-Right-sizing\\_Kolderup.pdf](http://kolderupconsulting.com/files/AIA2030-Right-sizing_Kolderup.pdf).

**Kumar B.Sameer** Eastgate: A cool green structure inspired by nature! [En ligne] // ecofriend. - ecofriend, 11 03 2008. - 14 06 2011. - <http://www.ecofriend.com/entry/eastgate-a-cool-green-structure-inspired-by-nature/>.

**KWOK Alison G. et GRONDZIK Walter T.** The Green Studio Handbook: Environmental Strategies for Schematic Design [Livre]. - Amsterdam : Architectural Press, 2007. - p. 378. - ISBN 978-0750680226.

**LAROUSSE** dictionnaire anglais [En ligne] // LAROUSSE. - Éditions Larousse 2009, 2009. - 05

08 2011. - <http://www.larousse.fr/dictionnaires/anglais-francais/posture>.

**LAUBER Wolfgang** Tropical Architecture [Livre]. - Munich : Prestel, 2005. - p. 204. - ISBN 3-7913-3135-3.

**LAUREANO Pietro et SINDONIE Johannes** Jardins de pierre [Livre]. - Saint-Denis : Presse Universitaire de Vincennes, 2005. - p. 176. - ISBN : 2-84292-170-4.

**Lawton Claire** Andrew Pielage's Sandra Day O'Connor Courthouse [En ligne] // Phoenix New Times. - Phoenix New Times, 07 7 2011. - 10 01 2012. - [http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2011/07/andrew\\_pielages\\_sandra\\_day\\_oco.php](http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2011/07/andrew_pielages_sandra_day_oco.php).

**LE MOIGNE Jean-Louis** la théorie du système général théorie de la modélisation [Livre] / éd. <http://www.mcxapc.org>. - internet : Modélisation de la CompleXité, 2006. - 4e édition : p. 360. - version publié sur le web . - ISBN 2130465153.

**Leicester City Council** Leicester [En ligne] // Leicester City Council. - Leicester City Council. - 15 02 2012. - [http://citystreatz.leicester.gov.uk/leicester\\_internet/neapoljs.htm?thematic%3D1111%26resolution%3Dmedium%26usrType%3D0%26;gst%3DLeicester\\_Internet](http://citystreatz.leicester.gov.uk/leicester_internet/neapoljs.htm?thematic%3D1111%26resolution%3Dmedium%26usrType%3D0%26;gst%3DLeicester_Internet).

**Leicester Environment City** The Queens Building, De Montfort University [En ligne] // The Queens Building, De Montfort University. - The Queens Building, De Montfort University. - 23 05 2010. - <http://www.environmentcity.org.uk/article.asp?articleID=16&parentID=1>.

**LEnSE** Building Assessment Report For BRE Environment Building, Watford, U [En ligne] // LEnSE. - LEnSE, 09 2007. - 06 10 2011. - [http://www.lensebuildings.com/downloads/projects/05%20UK\\_BRE\\_Watford\\_LEnSE\\_Building\\_Report.pdf](http://www.lensebuildings.com/downloads/projects/05%20UK_BRE_Watford_LEnSE_Building_Report.pdf).

**leslievella64** Malta Stock Exchange, Valletta, Malta [En ligne] // flickr. - flickr, 14 01 2010. - 08 01 2011. - <http://www.flickr.com/photos/leslievella64/4275112584/>.

**Letty Bruceand** Flickr [En ligne] // Flickr. - Flickr, 20 03 2006. - 12 09 2012. - <http://www.flickr.com/photos/alltheparks/2142498569/in/photostream/>.

**LEVY DAWN** Built to last: Global Ecology building showcases sustainability [En ligne] // Stanford University News Service. - Stanford University News Service, 13 04 2004. - 18 05 2010. - <http://news.stanford.edu/pr/2004/building414.html>.

**L'EXPRESS** Sarkozy inaugure le Lycée Charles de Gaulle à Damas [En ligne] // L'EXPRESS. - L'EXPRESS.fr, 04 09 2008. - 13 10 2011. - [http://www.lexpress.fr/culture/architecture-patrimoine/architecture/sarkozy-inaugure-le-lycee-charles-de-gaulle-a-damas\\_559097.html](http://www.lexpress.fr/culture/architecture-patrimoine/architecture/sarkozy-inaugure-le-lycee-charles-de-gaulle-a-damas_559097.html).

**Leysens Eric** ACTUALITÉ [En ligne] // Le Moniteur. - Le Moniteur, 09 09 2010. - 10 11 2012. - <http://www.lemoniteur.fr/201-management/article/actualite/699519-la-rt-2012-impose-17-de-baies-vitrees-par-rapport-a-la-surface-habitable>.

**Linguee** Linguee [En ligne] // <http://www.linguee.com>. - Linguee , 2001. - 25 06 2012. - <http://www.linguee.com/english-french/search?source=auto&query=heat+sinks>.

**LOISOS UBBELOHDE Associates** Carnegie Institute [En ligne] // LOISOS UBBELOHDE Associates. - LOISOS UBBELOHDE Associates, 2011. - 16 05 2011. - [http://www.coolshadow.com/consulting/carnegie\\_institute.html](http://www.coolshadow.com/consulting/carnegie_institute.html).

## Bibliographie

**LOISOS + UBBELOHDE Associates** Kenilworth Junior High School [En ligne] // coolshadow. - LOISOS + UBBELOHDE Associates, 2011. - 10 05 2011. - <http://www.coolshadow.com/consulting/kenilworth.html>.

**Loisos Ubbelohde architecture energy** Kenilworth Junior High School [En ligne] // Loisos Ubbelohde architecture energy. - LOISOS + UBBELOHDE Associates, Inc, 2011. - 11 10 2011. - <http://www.coolshadow.com/consulting/kenilworth.html>.

**lokisi1** USA Utah Zion Nationalpark Visitor Center [En ligne] // flickr. - flickr, 15 08 2005. - 29 02 2012. - <http://www.flickr.com/photos/lokisi/3530904035/in/photostream/>.

**LOUBES Jean-Paul et SIBERT Serge** Voyage dans la chine des cavernes [Livre]. - Paris : Arthaud, 2003. - p. 145. - ISBN 2-7003-9566-2.

**Lucchese Cecilia** Arquivo de arquitetura [En ligne] // The Urban Heart. - wordpress, 24 06 2008. - 03 05 2011. - <http://theurbanearth.wordpress.com/tag/arquitetura/>.

**MAAS J. Van Der** Airflow through large openings in buildings [En ligne] // ECBCS . - 06 1992. - 26 09 2011. - [http://www.ecbcs.org/docs/annex\\_20\\_air\\_flow\\_through\\_large.pdf](http://www.ecbcs.org/docs/annex_20_air_flow_through_large.pdf).

**Majumdar Mili** GREEN BUILDING DESIGN [En ligne] // ishrae. - ishrae, 06 2004. - 03 05 2011. - [http://www.ishrae.in/journals\\_20042005/2004apr/article04.html](http://www.ishrae.in/journals_20042005/2004apr/article04.html).

**Malin Nadav** Global Ecology Center [En ligne] // Green Source. - USGBC, 01 2007. - 16 05 2010. - [http://greensource.construction.com/projects/0701\\_planetary.asp](http://greensource.construction.com/projects/0701_planetary.asp).

**MANSOURI Yasmine, dir. ALLARD Francis et co-dir. MUSY Marjorie** Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : Proposition d'une méthodologie de conception [Thèse de doctorat : discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture]. - Nantes : Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003. - p. 320.

**Marchio Dominique** CLIMATISATION A HAUTE EFFICACITE ENERGETIQUE ET A FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL [En ligne] // Centre Energétique et Procédés CEP / éd. Paris Centre d'Energétique -. - 10 05 2011. - <http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/syst/html/cles.htm#haut>.

**McCartney Kathryn J et Nicol J Fergus** Developing an adaptive control algorithm for Europe [Article] // Energy and Buildings / éd. Direct Science. - Oxford : ELSEVIER, 03 2001. - 6 : Vol. 34. - pp. 623-635.

**McDowall Robert** Fundamentals of HVAC Systems: SI Edition Hardbound Book [Livre]. - Oxford : Elsevier Science, 2007. - p. 240. - 978-0123739988.

**McKeag Tom** How Termites Inspired Mick Pearce's Green Buildings [En ligne] // greenbiz / éd. Group GreenBiz. - 02 09 2009. - 15 02 2011. - <http://www.greenbiz.com/blog/2009/09/02/how-termites-inspired-mick-pearces-green-buildings>.

**MENNELLA Cristofaro** Il Clima D'Italia [Livre]. - Napoli : Fratelli Conte Editori, 1973. - Vol. III : 3 : p. 832.

**Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe** Bing Cartes [En ligne] // Bing. - Microsoft corporation; GeoEye; DigitalGlobe, 2011. - 15 04 2011. - <http://www.bing.com/maps>.

**Ministero Attività Produttive** Scenario Energetico Tendenziale [En ligne] // Ministero dello Sviluppo Economico. - 05 2005. - 05. - 13 04 2009. - [http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/scenarioenergetico/scenario\\_energetico\\_tendenziale\\_al\\_2020\\_vers05\\_05.pdf](http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/scenarioenergetico/scenario_energetico_tendenziale_al_2020_vers05_05.pdf).

**MIT Libraries** Qa'a of Muhibb [En ligne] // MIT Libraries. - 17 10 2006. - 24 05 2011. - <http://dome.mit.edu/handle/1721.3/11909>.

**MNRE and IREDA** CII – Sohrabji Godrej Green Business Centre [En ligne] // Green Buildings Website. - MNRE and IREDA, 2010. - 03 05 2011. - <http://www.ncict.net/Examples/Examples7.aspx>.

**MNRE and IREDA** Examples [En ligne] // Green Buildings / éd. IREDA MNRE and. - MNRE and IREDA, 2010. - 15 04 2010. - <http://ncict.net/Examples/Examples.aspx>.

**MOLINA Félix José Luis** phdc.eu/uploads/media/PHDC\_BOLOGNA\_AICIA\_Climatic\_Applicability\_and\_components\_performance.pdf [En ligne] // phdc.eu. - 12 11 2009. - 23 03 2010. - [http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC\\_BOLOGNA\\_AICIA\\_Climatic\\_Applicability\\_and\\_components\\_performance.pdf](http://www.phdc.eu/uploads/media/PHDC_BOLOGNA_AICIA_Climatic_Applicability_and_components_performance.pdf).

**Monde1 Le** Malta - Valletta Former 19th Cent Garrison Chapel Now Stock Exchange [En ligne] // flickr. - flickr, 23 04 2010. - 10 01 2011. - <http://www.flickr.com/photos/31068574@N05/4724174315/in/set-72157623820454561/>.

**Monfort University Leicester** The Queens Building De Montfort University [En ligne] // Institute of Energy and Sustainable Development. - 06 1997. - 16 06 2010. - [http://www.iesd.dmu.ac.uk/msc/EEBPP\\_NPCS\\_102.pdf](http://www.iesd.dmu.ac.uk/msc/EEBPP_NPCS_102.pdf).

**Multon B.** Séminaire D.I.T. [En ligne] // ENS Cachan. - l'ENS Cachan, 27 09 2005. - 05 07 2012. - [http://perso.bretagne.ens-cachan.fr/~dit/People/Claude.Jard/2005/sem\\_27\\_09\\_2005\\_multon.html](http://perso.bretagne.ens-cachan.fr/~dit/People/Claude.Jard/2005/sem_27_09_2005_multon.html).

**Musy Marjorie** L'étude des microclimats urbains : champ de recherche à l'interface entre climatologie, urbanisme et génie-civil [Article] // VertigO Adaptation aux changements climatiques et trames vertes : quels enjeux pour la ville? . - 2012. - Les Éditions en environnement VertigO. - 12. - B009802JYE.

**Na Le Thi Hong et Park Jin-Ho** An Application fo Eco-design Feature in Traditional Folk [En ligne] // iasdr2009. - 18 10 2009. - 12 08 2011. - <http://www.iasdr2009.org/ap/Papers/Orally%20Presented%20Papers/Sustainability/An%20Application%20of%20Eco-Design%20Feature%20in%20Traditional%20Folk%20Housing%20to%20High-Rise%20Housing%20of%20Vietnam.pdf>.

**Nat Vent** Nat Vent [En ligne] // BRE. - BRE. - 13 02 2012. - <http://projects.bre.co.uk/natvent/>.

**Nat Vent** Nat Vent [En ligne] // BRE. - BRE. - 13 02 2012. - <http://projects.bre.co.uk/natvent/reports/monitoring/summary/gb1summ.pdf>.

**Nat Vent** Nat Vent [En ligne] // BRE. - BRE. - 13 02 2012. - [http://projects.bre.co.uk/natvent/presentation/210\\_gb1.pdf](http://projects.bre.co.uk/natvent/presentation/210_gb1.pdf).

**National Park Service** Zion Canyon Visitor Center [En ligne] // National Park Service. - National Park Service, 11 01 2007. - 15 12 2009. - <http://www.nps.gov/zion/naturescience/zion-canyon-visitor-center.htm>.

**National Renewable Energy Laborator** Zion National Park Visitor Center [En ligne] // solaripedia. - U.S. Department of Energy , 08 2000. - 12 05 2010. - <http://www.solaripedia.com/files/233.pdf>.

**Nicol J.F. et Humphreys M.A.** Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings [Article] // Energy and Buildings / éd. Direct Science. - Oxford : ELSEVER, 2002. - 6 : Vol. 34. - pp. 563–572.

**NREL** Zion National Park Visitors [En ligne] // NREL. - NREL, 02 06 2009. - 06 12 2009. - [http://www.nrel.gov/data/pix/collections\\_zion.html](http://www.nrel.gov/data/pix/collections_zion.html).

**Nubian Architects** TERMITES AND TEMPERATURE CONTROL FROM ZIMBABWE WITH LOVE [En ligne] // Nubian Architects . - Nubian Architects , 16 08 2010. - 13 06 2011. - <http://nubianarchitects.wordpress.com/2010/08/16/termites-and-temperature-control-from-zimbabwe-with-love/>.

**O'Mahony & Myer** Kenilworth Junior High School [En ligne] // O'Mahony & Myer. - O'Mahony & Myer. - 05 10 2011. - [http://www.ommconsulting.com/projects/educational/kenilworth\\_high\\_school.php](http://www.ommconsulting.com/projects/educational/kenilworth_high_school.php).

**Onorati Justin** A greener vertical habitat: Creating a naturally cohesive sense of community in a vertical multifamily housing structure [En ligne] // Scholar Commons. - University of South Florida, 06 01 2009. - 12 08 2011. - <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3123&context=etd>.

**Onwumere Francis** A new inspiration for efficient innovation [En ligne] // scitech360. - scitech360, 06 12 2008. - 13 06 2011. - <http://www.scitech360.com/Materials.php?action=view&id=32>.

**OpenBuildings** United States Courthouse, Phoenix [En ligne] // OpenBuildings. - OpenBuildings. - 10 01 2012. - <http://openbuildings.com/buildings/United-States-Courthouse2C-Phoenix-profile-1351>.

**Ophelia** Flickr [En ligne] // Flickr. - Flickr, 27 07 2011. - 12 09 2012. - <http://www.flickr.com/photos/chloeophelia/6008381252/>.

**Owen A. Rose et Ramiraz Santiago** Ventilation [En ligne] // ecosensuel. - ecosensuel, 2002. - 04 06 2010. - <http://www.ecosensuel.net/drm/eco/ecovent1.html>.

**Pakistan Defence** Pakistan Defence [En ligne] // Pakistan Defence . - 08 12 2008. - 24 05 2011. - <http://www.defence.pk/forums/general-images-multimedia/17271-pictures-hyderabad-sindh.html>.

**Pfeiffer Rohlk** courthouse [En ligne] // myazbar. - State Bar of Arizona, 01 10 2000. - 12 05 2011. - <http://www.myazbar.org/AZAttorney/Archives/Oct00/courthouse.pdf>.

**PHDC** Cooling Without Air-Conditioning [CD-ROM] // 01\_02-PHDC\_Downdraught Cooling a Primer P47. - Bologna : [s.n.], 29 10 2009. - Conference PHDC Bologna 29-30/10/2009. - P10006183248.

**Pinge Ar. Roopa Sabnis** indian insite [En ligne] // insiteindia. - insiteindia, 2008. - 16 04 2010. - <http://www.insiteindia.in/pdf/2008/inaugural/Indian%20Insite.pdf>.

**PLEA2009** PLEA2009 Québec MANIFESTO [En ligne] // PLEA2009. - 06 24 2009. - 22 03

2012. - <http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/En/Manifesto.html>.

**Poeleco** PoelEco [En ligne] // PoelEco. - PoelEco, 2007. - 11 09 2012. - <http://www.poeleco.fr/confort%20thermique.html>.

**QKA Architects** KENILWORTH JUNIOR HIGH SCHOOL [En ligne] // QKA Architects. - Quattrocchi Kwok Architects. - 05 01 2012. - [http://www.qka.com/NC\\_Kenilworth.php](http://www.qka.com/NC_Kenilworth.php).

**RABBAT Nasser O.** The Qa`a of Muhib al-Din [En ligne] // flickr. - MIT OpenCourseWare, 12 12 2008. - 24 05 2011. - <http://www.flickr.com/photos/mitopencourseware/sets/72157614754782314/detail/?page=5>.

**Rakheja Ashish et Jain Dr. Prem C.** air conditionning the CII GODREJ [En ligne] // ishrae. - ishrae, 06 2004. - 03 05 2011. - [http://www.ishrae.in/journals\\_20042005/2004apr/article04.html](http://www.ishrae.in/journals_20042005/2004apr/article04.html).

**RAUZIER E et BERGER X.** Urban Conception of the Old City of Nice to Provide Summer Thermal Comfort [Conférence] // Architecture and Urban Space : Proceedings of the Ninth International Plea Conference, Seville, Spain, September 24-27, 1991. - Seville : Kluwer Academic Pub, 1991. - pp. 139-144. - ISBN:9780792314189.

**Real FMG** The practicalities of Green building design [En ligne] // realfmg. - Real FMG , 07 2010. - 16 06 2011. - <http://www.realfmg.com/htmlnewsletter/july2010/green-building-design.html>.

**RECHTIN Eberhardt et MAIER Mark W.** The Art of Systems Architecting [Livre] / éd. Group Taylor & Francis. - New York : CRC Press, 2009. - 3eme edition. - ISBN 978-1-4200-7913-5.

**RECHTIN Eberhardt** Systems Architecting: Creating and Building Complex Systems [Livre]. - New York : Prentice Hall, 1991. - ISBN 0-13-880345-5.

**Rediff The** Godrej Green Business Centre (Hyderabad, India) [En ligne] // solarpedia. - solarpedia, 2004. - 03 05 2011. - [http://www.solaripedia.com/13/94/821/godrej\\_glazing.html](http://www.solaripedia.com/13/94/821/godrej_glazing.html).

**Region Bourgogne** CLE 3 [En ligne] // Region Bourgogne. - Region Bourgogne. - 10 11 2012. - [http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=taux+de+vitrages&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CCsQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.region-bourgogne.fr%2Fdownload.php%3Fvoir%3D0%26document\\_id%3D4095&ei=2eqcUN2KD8fDhAewlHoAg&usq=AFQjCNEa4DycOgvmW47ZwVWPt\\_khnMjD-A](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=taux+de+vitrages&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CCsQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.region-bourgogne.fr%2Fdownload.php%3Fvoir%3D0%26document_id%3D4095&ei=2eqcUN2KD8fDhAewlHoAg&usq=AFQjCNEa4DycOgvmW47ZwVWPt_khnMjD-A).

**Riain C. Ní [et al.]** BRE's Environmental Building: [En ligne] // CIBSE. - CIBSE. - 09 10 2011. - <http://www.cibse.org/pdfs/BRE%20environmental%20building.pdf>.

**RICHARD Hervé et TOLOUIE Shiva** Tours des vents [En ligne] // richard-tolouie. - 2006. - 24 05 2011. - [http://www.richard-tolouie.com/toursdesvents/richard\\_tolouie.htm](http://www.richard-tolouie.com/toursdesvents/richard_tolouie.htm).

**Richard MEIER & partners architects LLP [et al.]** United States Courthouse, Phoenix [En ligne] // Richard MEIER & partners architects LLP. - Richard MEIER & partners architects LLP. - 05 12 2010. - <http://www.richardmeier.com/www/#/projects/architecture/location/n.-america/united-states/1/131/3/>.

**Saget Maud** TOUT SAVOIR SUR LE GRAND PRIX AFEX 2010 [En ligne] // Le Moniteur.fr. - Le Moniteur, 19 08 2010. - 15 11 2011. - <http://www.lemoniteur.fr/157-realisations/article->

## Bibliographie

dossier-actualites/743208-prix-de-l-afex-a-la-decouverte-de-l-architecture-francaise-dans-le-monde-le-lycee-francais-de-damas-.

**SANDOVAL Félix Jové** La Vivienda Excavada en Tierra [Livre]. - Valladolid : Universidad de Valladolid, 2006. - p. 280. - ISBN 84-8448-394-0.

**SANTAMOURIS M. [et al.]** Cooling the cities, rafraîchir les villes [Livre]. - Paris : Ecole des Mines, 2004. - p. 263. - ISBN 978-2911762543.

**SANTAMOURIS M. et ASIMAKOPOULOS D.** Passive Cooling of Buildings [Livre]. - London : James & James, 1996. - p. 484. - ISBN 978-1873936474.

**SCHIANO PHAN Rosa et FORD Brian** Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using draught cooling: Case studies in the US [Conférence] // PLEA 2008 – 25° Conference on Passive and Low Energy Architecture, Towards Zero Energy Building / éd. Dublin Published by University College. - Dublin : University College Dublin, 22-24 October 2008. - ISBN: 78-1-905254-34-7. - 324.

**Shah Surendra H.** SHEETAL MINAR [En ligne] // ishrae. - ishrae, 06 2004. - 03 05 2011. - [http://www.ishrae.in/journals\\_20042005/2004apr/article03.html#top](http://www.ishrae.in/journals_20042005/2004apr/article03.html#top).

**Shel Scott, Jacobson Brad et Manmoha Dushyant** GLOBAL ECOLOGY CENTER FOR THE CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON [En ligne] // ecosmartconcrete. - ecosmartconcrete., 03 2004. - 13 05 2010. - <http://www.ecosmartconcrete.com/kbase/filedocs/csrecologycenter.pdf>.

**Short and Associates** The Queens Building, De Montfort University [En ligne] // Short and Associates. - Short and Associates. - 12 06 2010. - <http://www.shortandassociates.co.uk/page.asp?pi=28>.

**Silverman Amy** Sandra Day O'Connor Courthouse Slapped as a Space Waster [En ligne] // phoenix new times. - phoenix new times, 26 05 2012. - 08 01 2012. - [http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2010/05/sandra\\_day\\_oconnor\\_courthouse.php](http://blogs.phoenixnewtimes.com/jackalope/2010/05/sandra_day_oconnor_courthouse.php).

**Simonelli Giuliano** Ufficio progetti e sede centrale iGuzzini [En ligne] // ediliziainrete / éd. BE-MA. - BE-MA, 1998. - 15 03 2009. - [http://www.ediliziainrete.it/scheda\\_real.asp?rec=530](http://www.ediliziainrete.it/scheda_real.asp?rec=530).

**sofia energy centre** passive cooling and summer friendly design and engineering [En ligne] // Intelligent energy. - sofia energy centre. - 13 10 2011. - [http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=BRE%2BOFFICE%2BWatford%2Bpassive%2Bcooling%2Bpdf&source=web&cd=10&ved=0CGgQFjAJ&url=http://eaci-projects.eu/iee/files/show.jsp%3Fatt\\_id%3D16907%26place%3Dpa%26url%3DD20\\_Building-guideline\\_Bulgaria.pdf%26pid%3D1497&ei=\\_](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=BRE%2BOFFICE%2BWatford%2Bpassive%2Bcooling%2Bpdf&source=web&cd=10&ved=0CGgQFjAJ&url=http://eaci-projects.eu/iee/files/show.jsp%3Fatt_id%3D16907%26place%3Dpa%26url%3DD20_Building-guideline_Bulgaria.pdf%26pid%3D1497&ei=_).

**Solaripedia** Zion National Park Visitors Center (Utah, USA) [En ligne] // Solaripedia. - Solaripedia, 2005. - 06 12 2010. - [http://www.solaripedia.com/13/33/34/photovoltaics\\_at\\_zion\\_national\\_park\\_visitor\\_center,\\_utah\\_\(usa\).html](http://www.solaripedia.com/13/33/34/photovoltaics_at_zion_national_park_visitor_center,_utah_(usa).html).

**Souria** Event's Page [En ligne] // Souria.com. - Souria Online, 2011. - 09 12 2011. - [http://www.souria.com/em/sn/social\\_ph.asp?pi=4&pn=4&ev=626](http://www.souria.com/em/sn/social_ph.asp?pi=4&pn=4&ev=626).

**splash company** Palermo - Camera dello Scirocco [En ligne] // sicilie. - 2008. - 12 04 2011. - <http://www.sicilie.it/sicilia/Palermo%20-%20Camera%20dello%20Scirocco>.

**STEELE James** An Architecture for People: The Complete Works of Hassan Fathy [Livre]. -

New York : Whitney Library of Design, 1997. - p. 208. - ISBN 978-0823002269.

**STEFFEN ALEX** Harare's Eastgate Building and the Perils of Thinking Small [En ligne] // Worldchanging . - Worldchanging , 30 01 2004. - 12 06 2011. - <http://www.worldchanging.com/archives/000359.html>.

**stevecadman** Queens Building [En ligne] // flickr. - flickr, 18 08 2005. - 08 06 2010. - <http://www.flickr.com/photos/stevecadman/47963796/>.

**Stok Gavin** Leicester: De Montfort University [En ligne] // dpreview. - dpreview, 01 30 2010. - 23 02 2011. - <http://www.dpreview.com/galleries/2538720207/photos/677087/leicester-de-montfort-university-3-of-3?inalbum=uk-other>.

**streetdirectory** streetdirectory [En ligne] // streetdirectory. - streetdirectory. - 06 08 2011. - [http://www.streetdirectory.com/asia\\_travel/travel/travel\\_id\\_683/travel\\_site\\_75865/](http://www.streetdirectory.com/asia_travel/travel/travel_id_683/travel_site_75865/).

**SUNDAR NANDHINI** What encompasses a green building [En ligne] // The HINDU. - The HINDU, 14 07 2008. - 10 06 2011. - <http://www.hindu.com/pp/2008/06/14/stories/2008061450600100.htm>.

**SUPIC Plemenka** L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire [En ligne] // habiter-autrement / éd. Lausanne Ecole Polytechnique Fbdbrale de. - 14 04 2008. - 03 02 2011. - <http://www.habiter-autrement.org/11.construction/contributions-11/Habitation-vernaculaire-et-contraintes-climatique.pdf>.

**Tengyuen Ngan** Sustainable Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds [En ligne]// miragestudio7. - miragestudio7, 13 06 2011. - 13 06 2011. - <http://blog.miragestudio7.com/sustainable-building-in-zimbabwe-modeled-after-termite-mounds/1556/>.

**Thayer Eric** Jared Loughner Arraigned On 3 Counts Of Attempted Murder In Tucson Shootings [En ligne] // ZIMBIO. - Getty Images North America, 23 01 2011. - 08 01 2012. - [http://www.zimbio.com/pictures/QMLLtaoINBO/Jared+Loughner+Arraigned+3+Counts+Attempted/-Rw1\\_g3ruqH](http://www.zimbio.com/pictures/QMLLtaoINBO/Jared+Loughner+Arraigned+3+Counts+Attempted/-Rw1_g3ruqH).

**The American Institute of Architects** Carnegie Institution of Washington Global Ecology Center [En ligne] // The American Institute of Architects. - The American Institute of Architects, 23 04 2007. - 16 05 2010. - <http://www.aiatopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=809>.

**The American Institute of Architects** Zion National Park Visitor Center [En ligne] // The American Institute of Architects. - The American Institute of Architects, 04 03 2004. - 16 02 2010. - <http://www.aiatopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=16>.

**The Biomimicry Institute** Eastgate Centre building [En ligne] // asknature / éd. Institute The Biomimicry. - 31 12 2011. - 15 02 2012. - <http://www.asknature.org/product/373ec79cd6dba791bc00ed32203706a1#changeTab>.

**The Biomimicry Institute** Ventilated nests remove heat and gas: mound-building termites [En ligne] // asknature / éd. Institute The Biomimicry. - 2009. - 09 05 2011. - <http://www.asknature.org/strategy/8a16bdffd27387cd2a3a995525ea08b3#changeTab>.

**The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living** window overhang [En ligne] // The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. - The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. - 04 02 2010. - [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/AE\\_window\\_overhang.html#top](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/AE_window_overhang.html#top).

**The U.S. Department of the Interior** Visitor Center, Zion National Park, Utah [En ligne] // Greening of the Interior. - U.S. Department of the Interior. - 10 01 2012. - <http://www.doi.gov/greening/energy/zion.html>.

**Thomas Justin** Biomimetic Building Uses Termite Mound As Model [En ligne] // treehugger. - Discovery Communications, 07 08 2006. - 15 06 2011. - <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/biomimetic-building-uses-termite-mound-as-model.html>.

**Thüring Christine** Green Buildings in India [En ligne] // Greenroofs.com. - Greenroofs, 2009. - 10 06 2011. - [http://www.greenroofs.com/content/guest\\_features005.htm](http://www.greenroofs.com/content/guest_features005.htm).

**TODARO Pietro** La città nascosta tra quanat, miqweh e camere dello scirocco [En ligne] // provincia di Palermo. - 06 04 2011. - [http://www.provincia.palermo.it/provpalermo/old\\_site/rivista%20Palermo/palermo\\_riv\\_pdf/palermo\\_ago\\_05/76\\_80.pdf](http://www.provincia.palermo.it/provpalermo/old_site/rivista%20Palermo/palermo_riv_pdf/palermo_ago_05/76_80.pdf).

**Tom\_van\_Malderen** MALTA STOCK EXCHANGE [En ligne] // Mimoa. - 09 10 2010. - <http://mimoa.eu/projects/Malta/Valletta/Malta%20Stock%20Exchange>.

**Torcellin Paul** Better Buildings by Design [En ligne] // steelbuildingsnewengland. - steelbuildingsnewengland, 04 2001. - 12 03 2011. - [http://steelbuildingsnewengland.com/better\\_buildings.pdf](http://steelbuildingsnewengland.com/better_buildings.pdf).

**Torcellini P. [et al.]** Evaluation of the Low-Energy Design and Energy Performance of the Zion National Park Visitors Center [En ligne] // solaripedia. - National Renewable Energy Laboratory, 02 2005. - 05 01 2011. - <http://www.solaripedia.com/files/653.pdf>.

**Torcellini P. [et al.]** Zion National Park Visitor Center: Performance of a LowEnergy Building in a Hot, Dry Climate [En ligne] // National Renewable Energy Laboratory. - National Renewable Energy Laboratory, 03 09 2004. - 23 12 2009. - <http://www.nrel.gov/buildings/pdfs/36272.pdf>.

**Torcellini P., Judkoff R. et Hayter S.** Zion National Park Visitor Center: Significant Energy Savings Achieved through a Whole-Building Design Process [En ligne] // National Renewable Energy Laboratory . - National Renewable Energy Laboratory , 02 2005. - 23 12 2009. - <http://www.nrel.gov/buildings/pdfs/34607.pdf>.

**Torcellini P., Judkoff R. et Hayter S.** Zion National Park Visitor Center: Significant Energy Savings Achieved through a Whole-Building Design Process [En ligne] // National Renewable Energy Laboratory. - National Renewable Energy Laboratory, 23 08 2002. - 23 12 2009. - <http://www.nrel.gov/buildings/pdfs/32157.pdf>.

**TRAINEL J.-P.** Note sur la décomposition du coefficient G [Article] // CAHIERS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES CO.F.E.D.E.S. Architecture Climat Energie / éd. COFEDES. - Paris : [s.n.], 1986. - p. 240. - ISBN 2-906404-00-4.

**TRIMBUR Patrick** Vieux-Nice [En ligne] // wikipedia. - 08 2008. - 22 05 2011. - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Vieux-Nice>.

**Tulloch James** India's Greenest Building [En ligne] // Allianz. - Allianz, 01 09 2009. - 03 05 2011. - <http://knowledge.allianz.com/search.cfm?495/indias-greenest-building>.

**Turner Scott** Structure of Macrotermes moundsMy [En ligne] // ESF / éd. Forestry State University of New York College of Environmental Science and. - 2001. - 11 05 2011. - <http://www.esf.edu/efb/turner/termite/termhome.htm>.

**Turner Tyrone** Voir la répartition de la chaleur pour mieux maîtriser les économies d'énergie avec les photographies thermographiques [En ligne] // easydoor. - PHOTO-Energie-Chaleur, 27 01 2010. - 12 09 2012. - <http://easydoor.over-blog.com/article-photo-energie-chaleur-43611866.html>.

**ty.ro** Queens Building - Short And Associates - De Montfort University, Leicester - 1993 [En ligne] // BRICK BLOG. - 23 11 2010. - 05 02 2011. - <http://brickmasonry.blogspot.com/2010/11/queens-building-short-and-associates-de.html>.

**U.S. Department of Energy** EnergyPlus Energy Simulation Software, Weather Data [En ligne] // EnergyPlus. - 11 03 2011. - 25 01 2011. - [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).

**U.S. Department of Energy's** Zion Visitor Center [En ligne] // building green. - building green, 31 07 2003. - 10 12 2009. - <http://www.buildinggreen.com/hpb/overview.cfm?ProjectID=16>.

**UDUKU Ola** Passive energy Futures in Africa [Conférence] // Architecture, city, environment: proceedings of PLEA 2000. - Cambridge : James and James LTD, 2000. - Vol. 1. - pp. 398-400. - 1-902916-16-6.

**University of California Berkeley** The Carnegie Institute for Global Ecology [En ligne] // Mixed Mode. - University of California Berkeley, 2005. - 16 05 2010. - <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode/carnegie.html>.

**USAID; INDIA** World Clean Energy Awards [En ligne] // World Clean Energy Awards. - World Clean Energy Awards, 23 04 2007. - 03 05 2011. - [http://www.cleanenergyawards.com/top-navigation/nominees-projects/nominee-detail/project/54/?cHash=56f87f93b5#short\\_descr](http://www.cleanenergyawards.com/top-navigation/nominees-projects/nominee-detail/project/54/?cHash=56f87f93b5#short_descr).

**Utah Office of Energy Development** Renewable Energy: Solar Energy: Systems: Zion National Park [En ligne] // Utah Office of Energy Development. - Utah Office of Energy Development, 23 09 2011. - 05 12 2011. - [http://www.energy.utah.gov/renewable\\_energy/solar/nps/zionnp.htm](http://www.energy.utah.gov/renewable_energy/solar/nps/zionnp.htm).

**VALENTI Mimmo** Palerme [En ligne] // panoramio. - 09 02 2009. - 22 05 2011. - <http://www.panoramio.com/photo/16859782>.

**Vassallo Builders** Office Blocks [En ligne] // Vassallo Builders. - 2009. - 15 02 2010. - [http://www.vbgl.com/content/index.php?option=com\\_content&view=article&id=104](http://www.vbgl.com/content/index.php?option=com_content&view=article&id=104).

**Victor** Bedok Court : residential avant garde or ? [En ligne] // PLY Studio. - PLY Studio, 18 12 2008. - 06 08 2011. - <http://ply-studio.blogspot.com/2008/12/bedok-court-residential-avant-garde-or.html>.

**VIDET Albert** Badgir [En ligne] // albert-videt. - 10 2006. - 24 05 2011. - [http://www.albert-videt.eu/photographie/carnet-de-route/iran\\_10-2006/badgir\\_tour-du-vent\\_yazd\\_06.php](http://www.albert-videt.eu/photographie/carnet-de-route/iran_10-2006/badgir_tour-du-vent_yazd_06.php).

**view** BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT [En ligne] // view. - view, 2012. - 10 02 2012. - <http://www.viewpictures.co.uk/Building.aspx?ID=6837>.

**VITRUVÉ** Les dix livres d'architecture [Livre] / trad. DALMAS André. - PARIS : Editions Errance, 1986. - p. 288. - ISBN 2 903442 29 0.

**Wang Na et BAY Joo-Hwa** Parametric Simulation and Pre-parametric Design Thinking:

## Bibliographie

Guidelines for Socio-climatic Design of High-Rise Semi-open Spaces [En ligne] // University of Cambridge. - 19 09 2004. - 12 08 2011. - <http://www.arct.cam.ac.uk/PLEA/ConferenceResources/PLEA2004/Proceedings/p1149final.pdf>.

**Warmafloor GB Ltd** The Bre Building [En ligne] // Warmafloor. - Warmafloor GB Ltd, 2007. - 02 10 2011. - <http://www.warmafloor.co.uk/company/cs-others-d.asp>.

**Waterloo Architecture** Global Ecology Center, Stanford, California [En ligne] // The Carbon Neutral Design Project; Waterloo Architecture . - 2012 American Institute of Architects. - 13 05 2010. - [http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty\\_projects/terri/carbon-aia/case/global/global.html](http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/carbon-aia/case/global/global.html).

**Weir Peter** Le cercle des poètes disparus. - 1989.

**White M K [et al.]** Nat Vent [En ligne] // BRE. - BRE. - 13 02 2012. - <http://projects.bre.co.uk/natvent/reports/monitoring/detailed/gb1det.pdf>.

**White Peter** The Environmental Building [En ligne] // BRE. - BRE, 02 2000. - 25 09 2011. - <http://projects.bre.co.uk/envbuild/>.

**WIENKE Uwe** L'edificio passivo: standard, requisiti, esempi [Livre]. - Firenze : Alinea, 2002. - p. 160. - ISBN 88-8125-627-4.

**Wikipedia** Architecture bioclimatique [En ligne] // Wikipedia. - 19 16 2012. - 25 06 2012. - [http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture\\_bioclimatique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_bioclimatique).

**Wikipedia** Architecture bioclimatique [En ligne] // Wikipedia. - 06 05 2011. - 10 06 2011. - [http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture\\_bioclimatique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_bioclimatique).

**Wikipedia** Bangalore [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 27 02 2011. - 20 04 2011. - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Bangalore>.

**Wikipedia** Bangalore [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 18 04 2011. - 25 04 2011. - <http://en.wikipedia.org/wiki/Bangalore#Geography>.

**Wikipedia** Damascus [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 18 04 2011. - 25 04 2011. - <http://en.wikipedia.org/wiki/Damascus>.

**Wikipedia** De Montfort University [En ligne] // Wikipedia. - 09 03 2012. - 15 03 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/De\\_Montfort\\_University](http://en.wikipedia.org/wiki/De_Montfort_University).

**Wikipedia** Eastgate Centre, Harare [En ligne] // Wikipedia. - 02 02 2012. - 28 02 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/Eastgate\\_Centre,\\_Harare](http://en.wikipedia.org/wiki/Eastgate_Centre,_Harare).

**Wikipedia** Énergie grise [En ligne] // Wikipedia. - 21 04 2011. - 09 05 2011. - [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_grise](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_grise).

**Wikipedia** Pattada [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 31 12 2010. - 20 04 2011. - <http://it.wikipedia.org/wiki/Pattada>.

**Wikipedia** Petaluma [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 13 01 2012. - 20 01 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/Petaluma,\\_California](http://en.wikipedia.org/wiki/Petaluma,_California).

**Wikipedia** Phoenix en [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 19 12 2011. - 04 01 2012. -

[http://en.wikipedia.org/wiki/Phoenix,\\_Arizona](http://en.wikipedia.org/wiki/Phoenix,_Arizona).

**Wikipedia** Phoenix fr [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 29 12 2011. - 04 01 2012. - [http://fr.wikipedia.org/wiki/Phoenix\\_\(Arizona\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Phoenix_(Arizona)).

**Wikipedia** Psychrométrie [En ligne] // Wikipedia. - Wikipedia, 24 09 2012. - 08 11 2012. - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Psychrom%C3%A9trie>.

**Wikipedia** Solar chimney [En ligne] // Wikipedia. - 17 01 2012. - 10 02 2012. - [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_chimney](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_chimney).

**Wikipedia** Zion Visitors Center [En ligne] // Wikipedia. - 26 06 2006. - 10 02 2010. - [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Zion\\_Visitors\\_Center\\_Cool\\_Tower.PNG](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Zion_Visitors_Center_Cool_Tower.PNG).

**Williams G. P. et Gold L. W.** Température du sol et variations [En ligne] // Archi Basse Energie. - Archi Basse Energie. - 12 09 2012. - <http://www.abdistri.com/technique/temperature-du-sol/>.

**World Architecture COMMUNITY** Malta Stock Exchange, Valletta 1994-2001 [En ligne] // worldarchitecture. - 12 02 2011. - <http://www.worldarchitecture.org/world-buildings/cfvn/malta-stock-exchange-valletta-building-page.html>.

**worldflicks** Bedok Court [En ligne] // WorldFlicks. - WorldFlicks. - 13 08 2011. - [http://wiki.worldflicks.org/bedok\\_court.html](http://wiki.worldflicks.org/bedok_court.html).

**WRIGHT David** Manuel d'architecture naturelle [Livre]. - Marseille : Editions Parenthèses , 2005. - p. 255. - ISBN 2-86364-124-7.

**WSP ENVIRONMENTAL LTD** FINAL TECHNICAL REPORT [En ligne] // CORDIS. - European Community, 30 08 2003. - 15 12 2011. - <http://cordis.europa.eu/documents/documentlibrary/67366441EN6.pdf>.

**WWF International** WWF [En ligne] // Panda. - WWF International , 11 08 2005. - 07 05 2012. - <http://awsassets.panda.org/downloads/temperaturegraphsfor16eucapitalsfinal.pdf>.

**XPair** dictionnaire XPair [En ligne] // XPair. - XPair, 2012. - 08 11 2012. - [http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/diagramme\\_de\\_l\\_air\\_humide.htm](http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/diagramme_de_l_air_humide.htm).

**ZEVI Bruno** Apprendre à voir l'architecture [Livre]. - Paris : Edition de Minuit, 1959. - ISBN 2-7073-1906.

**ZIMMERMAN Marck et ANDERSSON Jonny** Low Energy Cooling [En ligne] // ecbs. - ecbs, 08 1998. - 06 10 2011. - [http://www.ecbs.org/docs/annex\\_28\\_case\\_study\\_buildings.pdf](http://www.ecbs.org/docs/annex_28_case_study_buildings.pdf).

**Zimring Craig, Rashid Mahbub et Kampschroer Kevin** Facility Performance Evaluation [En ligne] // National Institute of Building Sciences. - National Institute of Building Sciences, 11 06 2010. - 06 01 2011. - <http://www.wbdg.org/resources/fpe.php#top>.