

Les enjeux environnementaux et sanitaires du secteur du bâtiment [1]

1

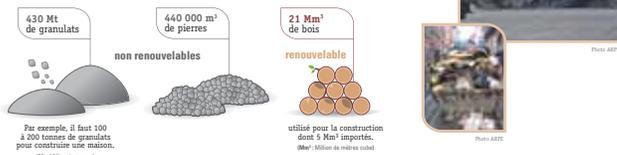
Aujourd'hui, le secteur de la construction doit intégrer les principes du développement durable.

De la mise en chantier à la déconstruction, il faut désormais se préoccuper, entre autres, d'économiser les ressources naturelles, de limiter les émissions de gaz à effet de serre (transports, fabrication, etc.) et veiller à la santé des artisans et occupants. L'utilisation des écomatériaux est une des réponses à ces préoccupations.

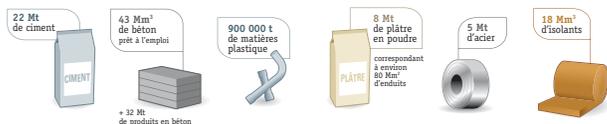
IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Le bâtiment, c'est chaque année en France :

DES MATIÈRES PREMIÈRES PUISÉES DANS LES MILIEUX NATURELS



DES PRODUITS TRANSFORMÉS



DES DÉCHETS DE CHANTIER



DU TRANSPORT DE MATIÈRES PREMIÈRES OU DE PRODUITS TRANSFORMÉS



DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE GÉNÉRANT DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE



IMPACTS SUR LA SANTÉ

La qualité de l'air intérieur est une préoccupation majeure de santé publique*. Une attention toute particulière est aujourd'hui apportée aux produits cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques. Certains matériaux ont été mis en accusation (amiante et plomb) et d'autres produits utilisés actuellement ont un impact sanitaire plus ou moins négatif.

Composés Organiques Volatils (COV)

- Hydrocarbures, synthétiques ou naturels, pouvant se trouver facilement sous forme gazeuse dans l'air ambiant et être inhalés.
- Émis par des vernis, colles, solvants, peintures, produits de traitement des bois, plastiques, etc.
- Certains COV sont allergisants, irritants voire cancérogènes.

Fibres

- Issues de l'amiante, des fibres de verre, laines de verre, de roche, de laitier (sous-produit de la métallurgie), des fibres végétales et des fibres céramiques réfractaires (oxydes purs, kaolin).
- Certaines fibres sont irritantes, voire cancérogènes.

Moisissures

- Dues à une humidité mal évacuée dans les logements (sources d'humidité : respiration, sudation, cuisine, douche).
- Provoquent des troubles allergiques et respiratoires.

Radon

- Gaz radioactif, présent dans certains sols granitiques et certains matériaux de construction (granits, schistes, pierre ponce, pouzzolane).
- Cancérogène.

* Déterminants de la qualité de l'air intérieur - www.adm.fr/batiment

EN MIDI-PYRÉNÉES

- Le fonctionnement des carrières a été étudié en 2004 : environ 25 millions de tonnes de roches ont été produites (soit un cube de 230 m de côté ou un immeuble de 5 étages sur 1 km²), pour une émission globale de gaz à effet de serre d'environ 170 000 tonnes de CO₂ (soit l'équivalent de 47 000 voitures parcourant 20 000 km par an) - (étude UNICEM, ADEME Midi-Pyrénées, ARPE Midi-Pyrénées).

- Le secteur de la construction est en plein essor, avec un nouveau record : 36 600 nouveaux logements prévus entre mi-2005 et mi-2006.



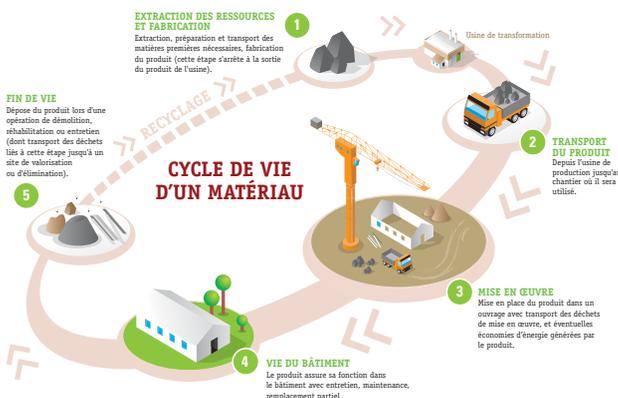
Les enjeux environnementaux et sanitaires du secteur du bâtiment [2]

2

Pour approfondir la question, on pourra s'appuyer sur les notions suivantes.

L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV)

Tout matériau ou produit peut être caractérisé par une analyse de cycle de vie (ACV), qui comptabilise ses impacts environnementaux et sanitaires.



À chacune des phases du cycle de vie, un **BILAN** des entrants et sortants (matière et énergie) est réalisé :

- Consommation de ressources naturelles énergétiques et non énergétiques
- Consommation d'eau
- Consommation d'énergie et de matières récupérées
- Émissions diverses dans l'air, l'eau et le sol
- Déchets valorisés et éliminés

Une fois ce bilan réalisé, les **INDICATEURS D'IMPACTS** suivants sont renseignés pour finaliser l'ACV du produit :

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX :

- Consommation de ressources énergétiques
- Epuisement des ressources
- Consommation d'eau
- Production de déchets (valorisés ; éliminés ; dangereux, DIB, inertes et radioactifs)
- Changement climatique
- Acidification atmosphérique
- Pollution de l'air, de l'eau (dont eutrophisation) et des sols
- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique
- Formation d'ozone photochimique
- Modification de la biodiversité

IMPACTS SANITAIRES :

- Qualité des espaces intérieurs :
- Émissions de COV et de formaldéhydes
- Croissance fongique et bactérienne
- Émissions radioactives naturelles
- Émission de fibres et particules
- Qualité de l'eau

IMPACTS SUR LE CONFORT :

- Confort hygrothermique
- Confort acoustique
- Confort visuel
- Confort olfactif

Les écomatériaux sont ceux bénéficiant des meilleures analyses ACV, tous critères confondus.

CONNAÎTRE LES ACV

Pour permettre aux fabricants de communiquer sur leur produit, il existe des fiches auto-déclaratives (FDES, Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire). Elles concernent souvent des matériaux « classiques », produits à grande échelle (cf. base INIES : www.inies.fr). On y trouve cependant quelques matériaux « écologiques » : liège monomur de terre cuite, béton cellulaire, isolant à base de plumes de canard, produits de traitement du bois labellisés « NF environnement » ou « Eco-label européen », bois Lamelle-collé, etc.

L'ÉNERGIE GRISE

L'énergie grise, comptabilisée dans l'ACV (« consommation de ressources énergétiques »), est la **somme totale des énergies nécessaires pour élaborer un produit** (y compris celles des matériels et engins utilisés), depuis l'extraction des matériaux bruts, leur traitement, transformation, mise en œuvre, ainsi que les transports successifs. L'énergie grise dépend fortement du type de matières premières et du degré de transformation de celles-ci pour arriver au matériau fini.

QUELQUES EXEMPLES D'ÉNERGIE GRISE DE DIFFÉRENTS TYPES DE MATÉRIAUX

DONNÉES FOURNIES À TITRE INDICATIF - Compilation de sources diverses (ecobau/kubloch, base INIES, fabricants, etc.)

MATÉRIAU	Unité = kWh / tonne
Acier non recyclé	8 000
Acier 100% recyclé	4 000
Aluminium non recyclé	45 000
Aluminium 100% recyclé	4 500

MATÉRIAUX PORTEURS

Béton plicé	260
Bloc béton (parpaings de ciment)	275
Briques terre cuite	1 100
Brique terre crue stabilisée chaux ou ciment	200

MATÉRIAUX ISOLANTS PORTEUR

Mossomur terre cuite	1 100
Mossomur pierre ponce	230
Béton cellulaire	1 000

BOIS

Bois léger brut, séché à l'air	614 (recochage de carbone)
Bois léger raboté, étuvé	908 (recochage de carbone)
Bois lamellé collé	2 447 (recochage de carbone)
Bois massif contre-collé 3 couches	3 628 (recochage de carbone)

ISOLANTS

Laine de verre	7 350
Polystyrène expansé	27 800
Paille	16
Cellulose	2 170
Liège	3 600
Chouvette (chanvre) en vrac	560

Sources : Master GSE d'Albi, CSTB, base INIES, Enech

LE CARACTÈRE RENOUVELABLE DES MATÉRIAUX

Il est important de choisir des **matières premières renouvelables** :

- **Coproduits et sous-produits agricoles, végétaux ou animaux** (laine de mouton, rafle de maïs, paille, etc.) : origine renouvelable, valorisation d'un sous-produit.
- **Cultures végétales** (chanvre, lin, etc.) : origine renouvelable, attention aux intrants lors de la culture.
- **Minéraux** (terre, calcaire, argile, graviers ...) : minéraux de météore ; bien que non renouvelables à notre échelle de temps, ils peuvent provenir dans certains cas de filières de recyclage (béton concassé).
- **Bois** : issu de forêts gérées durablement (FSC, PEFC).



LA TRANSFORMATION DES MATIÈRES PREMIÈRES

De ces matières premières, on peut produire :

- Des **matériaux bruts** : matières premières brutes ou ayant subi très peu de transformations, souvent fournies en « vrac » (paille, terre, laine de mouton, chouvette, etc.) ; énergie grise très faible.
- Des **matériaux assemblés** : combinaison de matériaux bruts (chanvre/chaux, béton de chanvre, torchis paille/argile, etc.) ; énergie grise faible.
- Des **matériaux manufacturés** : issus de procédés industriels (rouleaux de chanvre thermolaqué ou du polyester ou de l'amidon de maïs, ouate de cellulose, etc.) ; énergie grise plus importante.

La terre, le bois et les produits végétaux constituent des matériaux privilégiés pour l'écoconstruction.

- La tenue des matériaux dans le temps est primordiale afin d'éviter leur remplacement et la dégradation du bâtiment. C'est souvent au cours de leur dégradation que certains matériaux deviennent dangereux pour la santé des occupants.
- Les transformations nécessaires pour la fabrication d'un produit augmentent considérablement l'énergie grise et le risque de présence de substrats toxiques. Il faut aussi éviter le plus possible le mélange de matériaux hétérogènes difficilement séparables, ce qui complique les opérations de recyclage après la déconstruction.
- La terre, le bois et les produits végétaux constituent des matériaux privilégiés pour l'écoconstruction en raison du type de matières premières (locale, renouvelable) et du faible niveau de transformation et de leur recyclabilité.

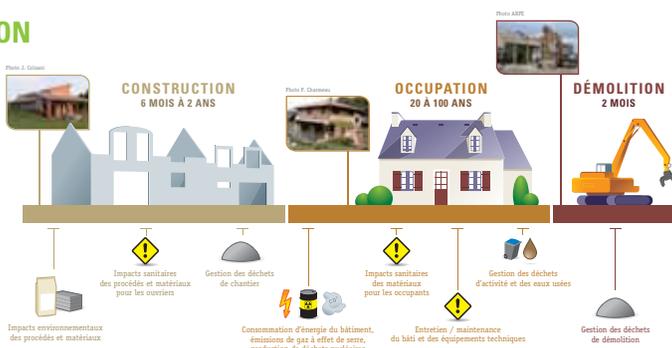
L'écoconstruction

3

CHOISIR L'ÉCOCONSTRUCTION

C'est réduire les impacts tout au long du cycle de vie du bâtiment, depuis sa mise en chantier jusqu'à sa démolition « du berceau à la tombe ».

La démarche HQE® (Haute Qualité Environnementale) pose un cadre identifiant l'ensemble des impacts environnementaux et sanitaires de l'acte de construire selon 14 cibles. Elle permet ensuite un travail selon des cibles prioritaires.



LES CRITÈRES DE CHOIX D'ÉCOMATÉRIAUX

L'emploi des écomatériaux est une des solutions permettant de limiter les impacts d'une construction. La définition d'un écomatériau dépend de différents critères et de leur hiérarchisation, et peut donc varier d'une personne à l'autre : certains mettront en avant les impacts sur la santé, d'autres ceux sur l'environnement.

CHOIX MULTICRITÈRES

Pour choisir un matériau à mettre en œuvre, 5 critères sont à prendre en compte :



CRITÈRE TECHNIQUE

- Fonction première du matériau (porteur, isolation, étanchéité, comportement hygrothermique, etc.),
- Sécurité et facilité de mise en œuvre, durabilité, facilité d'entretien, confort d'utilisation



CRITÈRE ENVIRONNEMENTAL

- Abondance, caractère renouvelable et/ou naturel des matières premières
- Impacts environnementaux aux différents stades du cycle de vie du matériau



CRITÈRE SANITAIRE

- Impacts sanitaires aux différents stades du cycle de vie du matériau (pour le constructeur comme pour l'utilisateur)



CRITÈRE ÉCONOMIQUE

- Coût selon la fonction, la qualité et la durée de vie
- Développement de filières locales de production et de transformation



CRITÈRE SOCIAL

- Image auprès des utilisateurs
- Conditions sociales de production



- Les conditions actuelles d'accès à la certification des produits et à la couverture par les assurances représentent un frein à l'usage des écomatériaux.

- Des techniques ancestrales et largement répandues dans nos régions, par exemple la construction en terre crue, ne sont pas considérées comme traditionnelles ou courantes par les assurances.

AGRÈMENTS TECHNIQUES DES MATÉRIAUX

Tout matériau de construction doit faire l'objet d'une certification technique par des organismes officiels (CST - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, AFNOR - Agence Française de Normalisation, etc.) pour permettre aux travaux et ouvrages d'être assurés.

Pour les techniques couramment utilisées (domaine traditionnel), la mise en œuvre doit respecter des normes : documents techniques unifiés (DTU), règles de l'art (pratiques éprouvées de longue date) ou règles professionnelles (bonnes pratiques à respecter et supports de validation des ouvrages par les assurances).

Pour un produit nouveau ou non certifié (domaine non traditionnel), le CSTB peut délivrer pour une durée limitée un avis technique (ATEc) pour attester de l'aptitude à l'emploi du matériau, ou un avis technique d'expérimentation (ATEd) pour permettre sa mise en œuvre expérimentale sur chantier. Pour les matériaux innovants, une enquête de techniques nouvelles (ETN) peut être réalisée par des bureaux de contrôle agréés.

ASSURANCES DANS LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION

Pour évaluer les risques potentiels, les assureurs font une distinction entre différentes techniques, qui peut différer d'une compagnie à l'autre : techniques courantes (TC), non courantes (TNC) ou innovantes (TI).

La plupart des écomatériaux relèvent encore des TNC. Lorsqu'ils doivent être mis en œuvre, l'entrepreneur doit faire une déclaration préalable à son assureur pour l'extension des conditions de garanties légales (assurance dommages ouvrage, assurance responsabilité décennale) sans forcément de surprime.

Le dialogue avec l'assureur est donc à privilégier.



Gros œuvre : le système constructif

4

Le système constructif définit la façon dont la structure porteuse du bâtiment est conçue. Il présente un impact très important sur le choix ultérieur des matériaux (parois, cloisons, planchers, parements intérieurs et extérieurs, etc.). Réciproquement, la volonté d'utiliser certains matériaux impactera le choix du système constructif (bois, paille, etc.).

On distingue 3 grands types de systèmes constructifs :

1 SYSTÈMES À OSSATURE OU POTEAUX/POUTRES

La structure porteuse est un squelette avec des contreventements renforçant sa stabilité. Elle repose sur les fondations et supporte les planchers et toitures. La différence entre la technique « ossature » et « poteaux/poutres » réside dans la section des composants du squelette, leur espacement et donc dans les volumes intérieurs. Des structures mixtes peuvent être réalisées. Un large choix est possible pour le remplissage des parois.

- Pour la structure, le bois sera privilégié. Il faut choisir de préférence du bois de cœur (dramen), une essence locale, certifiée si possible PEFC ou FSC, et ne nécessitant pas de traitement chimique pour une telle utilisation (ossature et charpente).
- Les constructions de ce type sont relativement légères, nécessitent un tonnage moins important de matériaux, et permettent des économies sur le poste "fondations".
- Remplissage écologique des parois : botte de paille, mélange banché isolant (béton de chaux, terre / végétal), paroi sandwich avec composants écologiques, maçonnerie (brique terre crue ou cuite, brique végétal / liant).



2 SYSTÈMES À ÉLÉMENTS PORTEURS LOURDS

La structure porteuse est de la maçonnerie de petits ou grands éléments assemblés au mortier, ou un matériau coulé entre 2 panneaux de coffrage (banches). Les matériaux utilisés sont divers et variés, allant du bloc béton à la brique de terre crue en passant par les diverses briques de terre cuite. Le choix du liant est aussi un point important, avec un avantage à la chaux et à la terre par rapport au ciment (impacts environnementaux moindres, bonne perméabilité à la vapeur d'eau). Une isolation thermique est nécessaire : intérieure, extérieure ou intermédiaire (double paroi avec isolation interne, plus rare, plus cher).

- Ces techniques nécessitent un tonnage de matériaux important. Pour limiter l'impact global du bâtiment, il convient de choisir ceux aux plus faibles impacts environnementaux, en prenant en compte le type de matière première et le cycle de vie dans son ensemble.
- La terre crue : brique de terre compressée, pisé, bauge...
 - La terre cuite, plaine ou creuse : énergie grise importante due à la cuisson à haute température, mais bonne recyclabilité et bon comportement hygrothermique.
 - Les pierres et galets.
 - Des briques silico-calcaires (chaux et sable siliceux autocollants).
 - Voire du béton avec des granulats recyclés en plus ou moins grande proportion.

3 SYSTÈMES À ÉLÉMENTS PORTEURS ET ISOLANTS

Ces techniques sont intéressantes car le matériau est à la fois porteur et isolant, ce qui limite dans une certaine mesure le recours à des isolants (avec leurs impacts environnementaux et sanitaires).

La structure porteuse isolante peut-être minérale : constituée de maçonnerie de petits ou grands éléments, assemblés avec un mortier adapté.

Ce sont des briques à isolation répartie : monomur de terre cuite, de terre crue, de pierre ponce, béton cellulaire, ne nécessitant a priori pas d'isolation complémentaire (selon la performance thermique recherchée). Le monomur de pierre ponce présente une énergie grise faible par rapport à la terre cuite et au béton cellulaire, mais la pierre ponce est un gisement limité que l'on ne trouve pas en France.

Les briques à isolation répartie permettent d'avoir des parois homogènes constituées d'un seul matériau (intéressant pour la déconstruction et le recyclage). Les ponts thermiques sont considérablement réduits. Ces systèmes permettent une bonne régulation hygrothermique (inertie thermique et régulation de l'humidité du local).

La structure porteuse isolante peut-être végétale : constituée de bois massif empilé (rondins, madriers) ou en panneaux contrecollés multicouches. La faible conductivité thermique du bois lui confère un certain pouvoir isolant : cette technique nécessite cependant une isolation complémentaire pour atteindre des performances thermiques intéressantes. Il est aussi possible d'utiliser des bottes de paille (technique « Nebraska », sans aucune norme ni DTU).

Le bois est intéressant pour son potentiel de stockage de carbone et son comportement hygrothermique. Son usage peut permettre le développement d'une filière locale de production. Il faut faire très attention aux déformations dimensionnelles saisonnières et à l'étanchéité à l'air avec les bois massifs empilés.



Gros œuvre :

fondations, dalle, structure porteuse, charpente

5

La qualité du gros œuvre impacte très fortement la durée de vie potentielle du bâtiment.

1 LES FONDATIONS

Les fondations sont un point très important, et dépendent de la nature du sol et de sa stabilité. Respecter les textes réglementaires implique d'utiliser du béton armé ou de l'acier (DTU 13). Les techniques utilisant des pieux en bois sont également intéressantes pour les bâtiments légers à ossature bois.

Des alternatives plus écologiques existent, mais ne disposent d'aucun texte officiel ou de norme (problèmes d'assurances et de garantie). Il s'agit de fondations en béton cyclopeen romain (mélange de chaux aérienne, terre argileuse, galets, pierres et gravier, avec une armature de bambous et de pieux de châtaignier). Ces fondations, souvent peu profondes, sont relativement souples par rapport au béton armé et semblent plus adaptées aux problèmes de mouvements de terrain.

2 LE MUR DE SOUBASSEMENT

Partie inférieure des murs reposant sur les fondations d'un édifice

Le mur de sous-bassement sera de préférence en éléments porteurs isolants (type monomur) pour limiter les ponts thermiques au niveau des dalles. Une barrière de capillarité et un drainage périphérique devront impérativement être mis en place entre les fondations et le sous-bassement pour éviter des remontées d'humidité dans les murs. Le mur de sous-bassement peut être construit en pierres naturelles ou en galets banchés avec un mortier chaux/sable (mur respirant, évacuation des remontées d'humidité, esthétique, pas d'enduits extérieurs à prévoir), mais ces techniques ne sont pas réglementées et peuvent donc entraîner des problèmes d'assurances et de garantie. Si des parpaings de béton sont utilisés, une isolation périphérique en panneaux de liège est une bonne solution, le liège étant très durable même pour une telle utilisation.

3 LES DALLES, CHAPES ET PLANCHERS

Les techniques utilisées dépendent fortement du système constructif et des caractéristiques du bâtiment. Le béton de ciment est très souvent utilisé sous diverses formes (dalle coulée, poutrelles et entrevous) en raison d'avantages divers (solidité, séchage rapide, préfabrication, acoustique...).

Mais des solutions plus écologiques existent :

• des dalles en béton de chaux et/ou de terre.

En effet la chaux présente des qualités meilleures que le ciment, tant au niveau du bilan écologique, de la perméabilité à la vapeur d'eau, que de la relative souplesse mécanique (évite les fissurations).

• ajouter des agrégats végétaux ou minéraux dans les dalles de béton de ciment ou de chaux. Cela permet d'améliorer l'isolation thermique et phonique, ainsi que le bilan écologique (notamment potentiel de stockage de carbone avec des agrégats végétaux) : chanvre, copeaux de bois, argile expansé, pouzzolane naturelle (roche volcanique), perlite, vermiculite.

• un plancher en bois, tout en tenant compte de l'isolation phonique dès la conception (remplissage d'isolant, de béton léger, de mélange terre/végétal). Il pourra être en bois massif, poutres composites (lamelle collée, en « I »), plancher caisson ou éléments préfabriqués. Les fixations seront si possible mécaniques (chevilles de bois, vis ou clous) pour éviter les émissions de COV dues aux colles. Il est possible cependant de trouver du bois lamellé collé sans formaldéhyde.



Dalle béton terre (Photo: S. Riouffé)



Dalle bois massif (Photo: ODE)



Charpente bois
Bâtiment à 3 étages
à Bagatelle-de-Bigorre
(Photo: ADP)

Charpente bois
Cité de Gèze à Dax
(Photo: ADP)

Bardage bois naturel
(Photo: ODE)

4

4

3

2

1

Plancher bois posé sur
isolation paille (Photo: S. Riouffé)

Dalle béton coulé
(Photo: ADP)

Fondations béton armé
(Photo: ADP)

4 LA CHARPENTE ET LA TOITURE

CHARPENTE

Le bois reste le matériau le plus intéressant, tant au niveau de ses propriétés mécaniques qu'écologiques. Le choix se fera sur quatre critères : l'origine, le fournisseur, le poseur et l'essence.

Si le bois est de bonne qualité (duramen, bois de cœur), que l'essence choisie correspond bien à l'usage et que les artisans sont compétents, il est possible d'éviter le traitement avec des produits chimiques nocifs pour l'environnement et la santé.

Il existe des traitements relativement écologiques : sel de bore ou borax (mais soluble dans l'eau, donc à éviter pour des usages extérieurs), minéralisation aux silicates, oleothermie...

TOITURES

Le choix des matériaux de couverture doit se faire en tenant compte de l'identité paysagère du territoire. Les solutions les plus répandues en Midi-Pyrénées sont les tuiles de terre cuite et les ardoises (ou lauzes, plus épaisses).

Les autres solutions écologiques :

• **Bardage de bois** : choisir si possible une essence locale, pouvant être débité en fines plaques (chêne, mélèze, châtaignier, hêtre, cèdre rouge, acacia, épicaé) ; la teinture devient grise avec le temps ; les bois fendus vieillissent mieux que les bois coupés.

• **Chauxes (chanvre, blé, seigle, roseaux, sarrazin)** : Les avantages de cette solution sont nombreux : stockage de carbone, récupération d'un co-produit agricole, matière première renouvelable, faible énergie grise, bonne recyclabilité, très bonne isolation thermique.



Construction en paille
à Villeneuve-les-Bains
(Photo: R. Lacombe, agence Habitat)

• Toitures végétalisées (pente maximum de 35°) :

Cette solution présente des intérêts écologiques, sanitaires et de confort indéniables : fixation des poussières atmosphériques et des pollens, inertie thermique (hiver comme été), isolation relative dépendant des épaisseurs mises en jeu, régulation des débits d'eau de pluie.

- 3 types : systèmes extensifs de faible poids (petites plantes adaptées aux conditions climatiques difficiles) pouvant être supportés par une charpente existante ; systèmes semi-extensifs qui utilisent des bacs de rétention ; systèmes intensifs, plus lourds, avec des plantes et arbres irrigués. Les autres types de matériaux (métaux, bitumes et plastiques) viennent en second plan pour des questions écologiques.

Le second œuvre [1] : l'isolation thermique

6

LE RÔLE DE L'ISOLATION THERMIQUE

L'isolation thermique permet de réduire les déperditions thermiques à travers les différentes parois opaques (sols, murs et toiture), de limiter les consommations d'énergie de chauffage, voire de climatisation, et de diminuer les émissions de gaz à effet de serre induites. L'isolation permet aussi d'accroître le confort hygrothermique. En effet, les parois non isolées sont froides en hiver et provoquent des sensations d'inconfort : c'est l'effet « paroi froide ». Une bonne isolation supprime cet effet.

Les produits d'isolation peuvent avoir des impacts négatifs sur l'environnement et la santé. Il convient donc de les choisir avec soin, en considérant d'autres critères que la performance énergétique : type de matière première, degré de transformation, nocivité, durabilité, comportement estival...

DES MATÉRIAUX ALTERNATIFS ADAPTÉS À DIFFÉRENTS USAGES



EN VRAC

- Matériaux : botte de paille, liège en vrac, granules de bois, chènevotte, ouate de cellulose, laine de bois, de lin, de coton, de mouton, billes d'argile expansés, petite, vermiculite...
- Utilisations : dans les parois verticales (attention au tassement de l'isolant dans le temps), dans les combles et planchers, toitures (avec caisson de remplissage).

Leur mise en œuvre se fait par déversement ou remplissage de caisson, par insufflation dans des caissons ou cavités fermées, par projection et flocage, ou par incorporation dans des bétons allégés.

EN ROULEAUX OU PANNEAUX SEMI RIGIDES

- Matériaux : laine de bois, de chanvre, de cellulose, de lin, de coton, de mouton...
- Utilisations : parois verticales, rampants et planchers, toiture.

Fabriqués de façon à pouvoir être mis en œuvre manuellement entre des éléments de structure, ce sont les isolants les plus utilisés. Il faut être vigilant à l'inflammabilité et à leur fragilité. Dans les parties habitées, ils doivent être protégés par une contre-paroi rigide (plafond, contre cloison).

EN PANNEAUX RIGIDES ET COMPOSITES

- Matériaux : panneaux de liège expansé, de paille, de laine de bois, bois feutré, fibres de bois minéralisées, panneaux de laine de cellulose, panneaux de roseaux, verre cellulaire.
- Utilisations : parois verticales, sous toiture, rampant, plancher.

Suffisamment rigides et résistants à la compression pour participer aux efforts structuraux de la maison (comme les isolations sous dalle), ou pour recevoir directement les enduits de finition. Le matériau isolant est souvent associé à d'autres pour constituer des complexes de doublage prêts à poser (isolant + panneau de finition).

ISOLATION INTÉRIEURE, EXTÉRIEURE

La position de l'isolation joue beaucoup sur le comportement hygrothermique de la paroi, et sur l'inertie thermique en particulier.

- Une isolation par l'intérieur :**
- Nécessite la reprise des réseaux électriques, des encadrements de fenêtres...
 - Ne permet pas de bénéficier de l'inertie thermique de la paroi.
 - Implique la présence de ponts thermiques (jonction de parois, nez de dalle...).
 - Diminue la surface habitable.
 - Mais ne change pas l'aspect extérieur du bâtiment.

- Une isolation par l'extérieur :**
- Ne nécessite pas un bâtiment vide pour la mise en œuvre.
 - Permet de bénéficier de l'inertie thermique de la paroi.
 - Limite fortement les ponts thermiques.
 - Ne diminue pas la surface habitable.
 - Mais modifie l'aspect extérieur du bâtiment.

INERTIE THERMIQUE
Plus l'inertie thermique d'un matériau est élevée, plus il mettra de temps à s'échauffer ou à se refroidir.

ISOLATION ET CONDENSATION

Une attention particulière doit être apportée aux phénomènes de condensation de vapeur d'eau dans les parois. L'air intérieur d'une habitation contient de la vapeur d'eau. Lorsque celui-ci migre vers l'extérieur à travers le mur et atteint une zone de température froide, celle-ci se condense et prend la forme d'eau (brûle, gouttelettes...), qui mouille les composants de la paroi (dont l'isolant) et peut éventuellement les détériorer.

2 solutions existent pour éviter ces phénomènes de condensation :

- La pose d'un pare-vapeur du côté « chaud » de l'isolant, complètement étanche à la vapeur d'eau (solution conforme au DTU). Seul problème : les défauts de mise en œuvre sont fréquents et induisent une concentration de la vapeur d'eau à certains endroits, ce qui amplifie la dégradation des éléments du mur. Par exemple, une laine minérale mouillée perd totalement son pouvoir isolant et aura tendance à se dégrader beaucoup plus vite.
- La pose d'un freine-vapeur du côté « chaud » de l'isolant (hors DTU), qui laisse diffuser la vapeur d'eau de façon uniforme sur les parois (pas de concentration de l'humidité à certains points), en association avec une paroi « respirante ». Ces parois sont constituées de matériaux présentant des coefficients de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau décroissants de l'intérieur vers l'extérieur afin que la vapeur d'eau puisse être correctement évacuée de la paroi. Une règle préconisée au final un coefficient de résistance 5 fois plus élevé à l'intérieur qu'à l'extérieur (règle du « 5/1 »).

Attention, un système de ventilation est dans tous les cas nécessaire pour renouveler l'air intérieur vicié.

ISOLATION ET CONFORT D'ÉTÉ

Si tous les isolants fonctionnent relativement bien en hiver, il n'en est pas de même l'été. Pour se protéger efficacement de la chaleur estivale, certaines propriétés sont nécessaires pour les isolants de toiture : **densité** et **capacité thermique** pour pouvoir stocker de la chaleur sans trop s'échauffer, et **faible diffusivité thermique** pour permettre un bon déphasage dans le temps du flux de chaleur.

Contrairement aux matériaux couramment employés (polystyrène, laine de verre) ; la laine de bois haute densité, la ouate de cellulose haute densité, le liège présentent ces caractéristiques.

LA RÉSISTANCE THERMIQUE

Le pouvoir isolant d'un matériau est caractérisé par sa résistance thermique R, qui s'exprime en m².°C/W (mètre carré degré Celsius par watt) ; plus R est grand, plus le matériau est isolant.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

e = épaisseur de l'isolant, s'exprime en mètre (m)
λ (lambda) : conductivité thermique. Elle s'exprime en W/m.°C (watts par mètre et par degré Celsius).

Plus λ est petit, plus le matériau est isolant

EN MIDI-PYRÉNÉES

Plusieurs filières de production de matériaux écologiques existent dans notre région : le chanvre, la laine de mouton et les briques de terre crue.



Le second œuvre [2] : fenêtres, cloisons, parements

7

LES FENÊTRES : LE BOIS BIEN SÛR !

Pour les fenêtres, le bois est le matériau le plus indiqué du point de vue écologique, si possible en choisissant une essence locale, certifiée PEFC* ou FSC**, et ne nécessitant pas de traitement chimique (éviter à tout prix les bois exotiques). Un entretien régulier est nécessaire, pour lequel il est préférable de choisir des produits qui s'imprègnent dans la masse du bois en préservant son aspect, plutôt que des produits formant une pellicule en surface.

Les autres types de matériaux sont nettement moins intéressants sur le plan écologique :

- **Aluminium et acier** : issus de matières premières non renouvelables, avec une forte énergie grise, ils sont cependant très bien recyclables. Bons conducteurs de la chaleur (nécessité d'un dispositif spécial d'isolation pour une utilisation en châssis), ils demandent peu d'entretien pour une très bonne durabilité.
- **PVC (polychlorure de vinyle)** : issu d'un dérivé du pétrole, il présente une énergie grise importante et émet des produits toxiques (en œuvre et en cas d'incendie ou incinération). En revanche il ne demande pas d'entretien et peut être peint.

Une solution alternative consiste à utiliser des châssis mixte bois / aluminium : la structure de la fenêtre est en bois avec un parement extérieur en aluminium (pour la résistance aux intempéries et la durabilité).

* PEFC - Program for the Endorsement of Forest Certification
** FSC - Forest Stewardship Council

LES CLOISONS INTÉRIEURES

Le choix du type de cloison dépend beaucoup du système constructif et des pièces considérées, et peut nécessiter une isolation thermique et/ou acoustique.

Le bois est bien sûr à conseiller car il a de nombreux avantages :

- Il se présente sous différentes formes : planches de bois massif ou panneaux composites (particules, contreplaqué, OSB, fibre de bois sans formaldéhydes) sur ossature, panneaux de bois contrecollés multicouches.
- Un remplissage écologique des parois creuses peut être envisagé pour agir sur l'isolation thermique, phonique et sur l'inertie thermique : isolant en vrac ou en panneau, terre et/ou végétal en vrac, granulats minéraux inertes réemployés ou recyclés.
- Ce type de cloison est démontable et réutilisable, contrairement aux types maçonneries.

Plus courantes, et permettant souvent d'améliorer l'inertie des bâtiments (notamment ceux à ossature bois), on trouve les solutions maçonneries. Quelques exemples :

- Les briques de terre crue, avec d'éventuels agrégats végétaux : matière première locale, faible énergie grise, très bonne qualité de régulation de la température intérieure et de l'hygrométrie.
- Le béton léger avec des agrégats isolants, végétaux (chanvre) ou minéraux ; le liant peut être de la chaux et/ou du ciment.
- Le bloc de béton cellulaire (isolant thermiquement mais peu inerte) d'une épaisseur moindre que pour les blocs de béton porteurs.

Une solution intermédiaire est de concevoir une structure bois à colombages avec un remplissage écologique lourd, inerte voire isolant : brique de terre crue / cuit, torchis, terre paille banché, béton de chanvre, etc.

NB : la solution la plus utilisée, le BA 13, c'a rien d'écologique



LES PAREMENTS INTÉRIEURS

Les parements intérieurs sont l'interface entre l'ambiance intérieure et le bâti. Ils jouent donc un rôle dans la régulation hygrothermique. En rénovation, ils permettent si besoin de rectifier les parois, et doivent dans tous les cas les laisser bien « respirer » afin d'éviter les problèmes d'humidité (il faut pour cela une bonne perméabilité à la vapeur d'eau).

Les parements intérieurs écologiques peuvent être réalisés de plusieurs façons :

- **Panneaux** : gypse/cellulose, terre crue, bois brut ou composite.
- **Briques de parements** : terre cuite, silico-calcaire.
- **Enduits épais** : chaux, terre, plâtre ; ils peuvent être isolants (correction thermique : suppression de l'effet « paroi froide » de certains murs massifs) en y ajoutant de préférence des fibres végétales (paille, chanvre, lin), voire des particules minérales.



LES PAREMENTS EXTÉRIEURS : BOIS, CHAUX ET TERRE

LE BARDAGE BOIS

On utilise des lames de bois massif ou composites, ou des bardeaux de bois brut (sciés ou de préférence fendus, pour un meilleur vieillissement).

Il est préférable de choisir des bois résistants naturellement sans traitements particuliers. Les bois changent de teinte en vieillissant, de façon différente selon la pose (verticale ou horizontale) et les orientations (sud, ouest,...).



LES ENDUITS EXTÉRIEURS

Les enduits doivent être imperméables à l'eau, et peuvent contenir des isolants thermiques en vrac (de préférence, végétaux, voire minéraux ou synthétiques). Cependant, afin de permettre aux murs de « respirer » et éviter les problèmes d'humidité (très important, surtout en rénovation), il faut choisir des enduits bien perméables à la vapeur d'eau. A titre d'exemple, un enduit au ciment laisse passer 45 à 50 grammes de vapeur d'eau par m² et par jour, un enduit plastique 50 à 60 g/m²/j, un enduit à la chaux naturelle 300 g/m²/j.

LA CHAUX

C'est le liant le plus conseillé (énergie grise moins importante que le ciment, bonne perméabilité à la vapeur d'eau) pour les enduits extérieurs. Des mélanges terre/chaux et chaux/ciment (mortier bâtard) peuvent aussi être mis en œuvre.





Ecomatériaux : revêtements de sols et finitions

REVÊTEMENTS DE SOL

Les carreaux de terre cuite et les pierres naturelles sont des matériaux dont l'usage est très répandu en Midi-Pyrénées. Ils sont très durables, sains, et avec un impact environnemental limité (cuisson pour la terre cuite, et extraction en carrière et façonnage pour les pierres).

- Les alternatives aux sols en PVC et en céramique (consommant beaucoup d'énergie à la cuisson) sont :
- les fibres végétales sisal, jute, coco ; mais attention aux acariens et aux poussières,
 - les linoléums naturels : mélange d'huile de lin, de farine de bois, de liège, de résines naturelles, de minéraux et de pigments,
 - le bois massif ou en panneaux composites,
 - des mélanges bruts de terre et/ou de chaux, avec des pigments naturels.



Sol en bois SIS (Photo AD72)



Salle terre (Photo S. Rothman)



Sol chaux sable et pigments (Photo S. Rothman)

TRAITEMENTS DE SURFACE : PEINTURES, VERNIS, LAQUES, LASURES...

Les constituants des solutions classiques sont souvent issus de la pétrochimie et peuvent être néfastes pour l'environnement et la santé des utilisateurs. A l'inverse, les solutions plus écologiques proviennent en majorité de ressources naturelles et renouvelables, mais peuvent également contenir des produits nocifs et allergènes ! Ceux-ci sont cependant moins toxiques, plus respectueux de l'environnement, et présents en moins grande quantité que dans leurs cousines chimiques ou synthétiques.

Les solutions :

- Exiger systématiquement des produits avec étiquetage de la composition, et éviter ceux comportant l'étiquetage réglementaire des produits dangereux (toxique, irritant, etc.).
- Choisir des produits labellisés, avec pour chaque label un cahier des charges spécifique : « NF - Environnement » (France), « Ange Bleu » et « Nature Plus » (Allemagne), « Ecolabel Européen » et ses déclinaisons nationales.
- Choisir des produits naturels (éventuellement à composer soi-même) : peinture au lait de chaux (badigeons), peinture à la caséine, peinture minérale aux silicates, laques et lasures naturelles sans solvants, pigments naturels, dispersion à base de résines naturelles, huile dure, huile de lin, cires d'abeille, etc.

Pigments (Photo S. Rothman)



Pigments et terre (Photo S. Rothman)



Badigeon à la chaux (Photo F. Anselbacher, Terre et Chaux en Limagot)



Ecolabel européen



Label NF Environnement (France)



Label Ange Bleu (Allemagne)

ENDUITS INTÉRIEURS DE DÉCORATION, MURS ET PLAFONDS : STUC, TADELAKT ET SGRAFFITO

A l'intérieur, l'enduit a aussi un rôle esthétique. La chaux et la terre sont les matériaux privilégiés pour des questions environnementales et sanitaires. Des terres colorées ou des pigments naturels peuvent être introduits.

On distingue différentes techniques offrant un côté esthétique très intéressant :

- Le stuc est un enduit de finition utilisant comme liant la chaux et/ou le plâtre. Lisse et doux, il peut être modelé et passé à la cire naturelle.
- Le tadelakt est une technique ancienne d'enduit à la chaux de Marrakech. Il est imperméable, lisse et brillant. Il peut être utilisé partout (salle de bain, extérieur) et en association avec d'autres matériaux (bois, carrelage).
- Le sgraffito : plusieurs couches de couleurs différentes sont superposées, et les premières couches sont grattées afin de faire apparaître des motifs en relief.

Attention : certains enduits vendus en kit sont constitués de produits chimiques et ne sont pas du tout naturels.

Toutes les photos ci-dessus sont de F. Anselbacher, Terre et Chaux en Limagot



Echantillons de tadelakt



Tadelakt pose



Sgraffito sur enduit terre-paille

Enduit terre (Photo S. Rothman)



Stuc et rejointement de pierres



Stuc Maser et bois gris

Quelques réalisations en Midi-Pyrénées

9

UNE MAISON INDIVIDUELLE DANS LE SUD TOULOUSAIN (HAUTE-GARONNE)

DESCRIPTION

- Construction d'une ferme lauragaise d'allure traditionnelle à environ 25 km au sud de Toulouse ; 300 m² dont 170 habitables
- Démarche autodidacte
- Construction, avec des matériaux locaux et écologiques (terre, bois, paille, rafle de maïs)
- Conception bioclimatique



GROS ŒUVRE

- Structure bois, remplissage des parois par un mélange terre/paille banché
- Dalles en béton de terre
- Toiture en terre cuite



SECOND ŒUVRE

- Isolation en copeaux de bois
- Cloisons en brique de terre crue ou cuite



FINITION

- Enduits terre (intérieur) et terre/chaux (extérieur)
- Revêtement de sols en grès cérame, terre cuite ou terre brute (traitée à l'huile de lin)

Vue générale (photo S. Roussel)



Structure bois (photo F. Bous)



Mélange terre paille banché (photo F. Bous)



Vue générale (photo F. Bous)

UN BÂTIMENT D'ENTREPRISE DANS LE SUD TOULOUSAIN (HAUTE-GARONNE)

DESCRIPTION

- Bâtiment d'entreprise dans une zone certifiée ISO 14001
- Architecte : Jean François Collart
- Conception bioclimatique
- Démarche HQE pour la conception (cibles prioritaires : matériaux, énergie, confort, chantier propre)
- Environ 1000 € HT/m²



GROS ŒUVRE

- Structure bois en Douglas et cœur en maçonnerie (terre cuite et crue)



SECOND ŒUVRE

- Bardage extérieur en mélèze non traité
- Isolation en ouate de cellulose soufflée (murs et toiture)
- Parements intérieurs en plaques de gypse cellulosé



FINITION

- Peinture à la chaux
- Revêtement de sol : carrelage au rez-de-chaussée et linoléum naturel à l'étage

Peinture auvent (photo A3272)



Travaux, façade ext (photo Dimprix)



Vue intérieure (photo A3272)



Mur intérieur en brique de terre crue (photo A3272)



Quelques réalisations en Midi-Pyrénées

10

UNE HABITATION ET GÎTE DANS LES MONTS DE LACAUNE (SUD AVEYRON)

DESCRIPTION

- Rénovation d'un ancien hameau (6 bâtiments distincts, dont 2 granges), pour la création d'une habitation et d'un gîte
- Démarche autodidacte,
- Utilisation de diverses techniques d'écoconstruction, à faibles impacts environnementaux et sanitaires, et réutilisation de matériaux disponibles localement (planches de châtaigner et douglas, ardoises) :



GROS ŒUVRE

- Structure bois (en extension et contre des murs à l'intérieur) et remplissage en béton de chanvre ou mélange terre/paille banché



SECOND ŒUVRE

- Isolation : chanvre (vrac et panneaux), ouate de cellulose, laine de mouton, liège
- Parements intérieurs : plaque de plâtre cartonnée écolabellisée, plaque de gypse cellulose, OSB (planchers, cloisons, sous toiture), plaques de liège
- Enduits chaux



FINITION

- Huile dure, vernis et lasures écolabellisées sans solvant toxique, peinture à la chaux (badigeons)

Le hameau en chantier (photo : J. Albrecht)



Extension bois en construction (photo : J. Albrecht)



Isolation sous toiture en laine de mouton (photo : J. Albrecht)



Remplissage de l'extension bois en terre paille (photo : J. Albrecht)

UNE HABITATION ET GÎTE DANS LE SUD TOULOUSAIN (HAUTE-GARONNE)

DESCRIPTION

- Rénovation d'une ancienne ferme, pour la création d'une habitation et d'un gîte, à 45 km au sud de Toulouse
- Démarche autodidacte, réalisée par un bâtisseur sans formation technique de base
- Utilisation de diverses techniques d'écoconstruction, à faibles impacts environnementaux et sanitaires :
 - chanvre sous diverses formes (béton, enduit, vrac),
 - bois (copeaux pour isolation et pare pluie en sous-toiture),
 - peinture à la chaux,
 - terre crue et cuite.
- Démarche de sensibilisation des publics

Vue générale (photo : ARPE)



Détail des bois exposés (démontables) avec remplissage en laine de chanvre banché (photo : ARPE)



Aligné bois du béton de chanvre sur la partie droite (OSB gauche), isolant sur la côté exposé aux intempéries (OSB droit) (photo : ARPE)