

DÉMARCHE DE HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS

- ✓ Pour chaque ouvrage sont indiqués les familles de produits utilisés (matériaux génériques) et leurs enjeux environnementaux spécifiques.
- ✓ Pour faciliter les choix du maître d'ouvrage en fonction de ses priorités, les points forts et les points faibles des produits étudiés sont indiqués dans la mesure du possible.
- ✓ Deux fiches transversales concernent des matériaux présents dans de nombreux éléments de construction :
 - Ciment, béton, béton armé
 - Bois

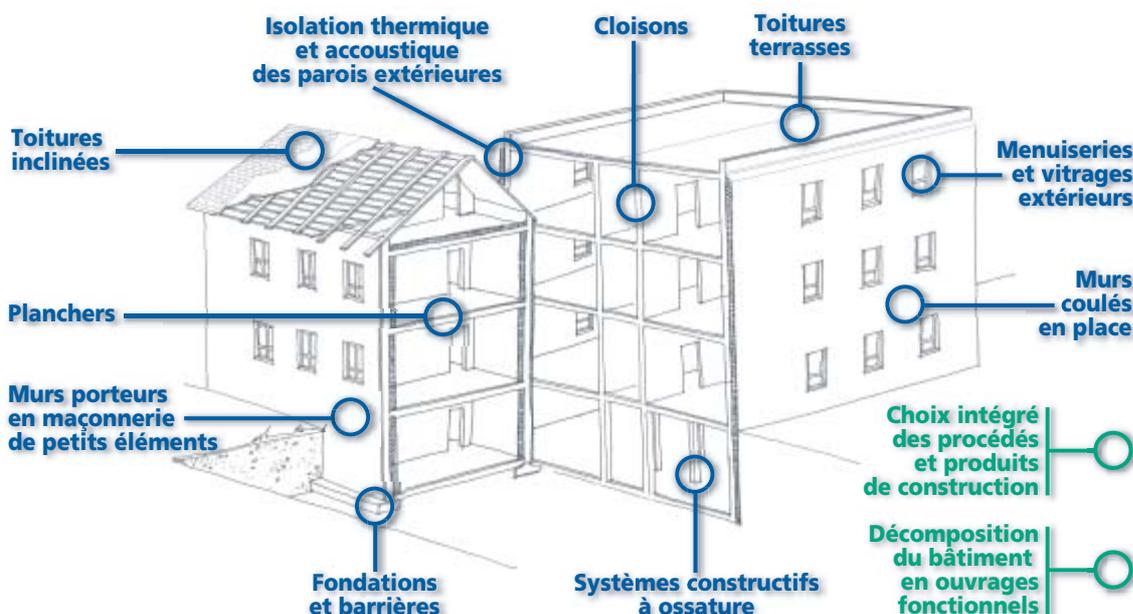
OBJECTIFS DES FICHES "OUVRAGES" DE L'ARENE ILE-DE-FRANCE

En attendant la disponibilité en nombre suffisant des fiches d'information sur la qualité environnementale des produits de construction conformes à la norme XP P01-010, toute personne soucieuse d'optimiser le choix des procédés et des produits de construction dans le cadre d'une démarche HQE a besoin d'outils d'aide à la décision.

C'est ce que proposent les fiches présentées ici, qui s'appuient sur de nombreuses sources provenant de France et de divers pays occidentaux (Allemagne, Suisse, Pays-Bas, Norvège, Grande-Bretagne, Canada, Etats-Unis).

Ces fiches offrent des synthèses provisoires destinés à susciter et guider le questionnement sur les caractéristiques environnementales des produits de construction, et à aider à l'élaboration d'un processus de choix multicritères de ces produits.

Les fiches sont structurées par ouvrage qui correspondent en général aux lots traditionnels du bâtiment.. Sont traités les principaux ouvrages concernant le gros-œuvre, l'enveloppe et les partitions :



D'autres fiches concernant les équipements et le second œuvre viendront compléter la collection.

Les 14 cibles de la démarche HQE ®

Maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur

Eco-construction

1. Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat
2. Choix intégré des procédés et produits de construction
3. Chantier à faibles nuisances

Ecogestion

4. Gestion de l'énergie
5. Gestion de l'eau
6. Gestion des déchets d'activités
7. Entretien et maintenance

Création d'un environnement intérieur satisfaisant

Confort

8. Confort hygrothermique
9. Acoustique
10. Visuel
11. Olfactif

Santé

12. Qualité sanitaire des espaces
13. Qualité sanitaire de l'air
14. Qualité sanitaire de l'eau



CHOIX INTÉGRÉ DES PROCÉDÉS ET PRODUITS DE CONSTRUCTION

CE QU'IL FAUT RETENIR

- ✓ Se demander quelle est la contribution d'un produit à la qualité environnementale du bâtiment et l'évaluer tout au long de son cycle de vie.
- ✓ "L'écomatériau" n'existe pas : tout produit est susceptible de voir ses performances environnementales dégradées par une mauvaise mise en œuvre ou utilisation.
- ✓ Exclure le recours à des "listes noires" de matériaux.
- ✓ Utiliser les fiches de données de sécurité fournies par les fabricants et les informations sur les caractéristiques environnementales des produits selon la norme XP P01-010 comme base de l'évaluation de la qualité environnementale (QE) des produits de construction.

Les critères de choix des produits de construction

Les produits de construction sont choisis en fonction de leur aptitude à l'usage : qualités fonctionnelles, durée de vie et, lorsqu'ils sont destinés à être visibles, qualité d'aspect. Des normes définissent et des certifications garantissent cette aptitude à l'usage, qui, par ailleurs concerne souvent les cibles HQE® d'écogestion et de confort.

C'est dans ce cadre que le maître d'ouvrage soucieux d'améliorer la QE de son opération va chercher à définir des critères environnementaux pour choisir les produits constitutifs de ses ouvrages.

La localisation du bâtiment a des incidences sur les choix, notamment par : l'impact de

l'approvisionnement en matières premières et en énergie, le climat, la nature et l'humidité du sol, et la culture locale.

Le coût du produit et de sa pose, celui de son entretien et de son remplacement, les coûts ou économies d'exploitation qu'il génère, son coût d'élimination ou de recyclage en fin de vie permettent de calculer sa contribution au coût global du bâtiment. Ce critère doit remplacer chaque fois que possible le simple coût d'investissement. Il comprend les coûts d'investissement, de consommations (d'énergie, d'eau...), d'entretien, de maintenance et de remplacement pendant un temps déterminé : 15 ans ou 30 ans, par exemple.

Le seul point de départ correct de ce questionnement est : "quelle est la

contribution du produit à la qualité environnementale de l'ouvrage dans lequel il va être incorporé ?"

Il existe un large consensus pour considérer que cette contribution doit être évaluée à chaque étape du cycle de vie du produit : extraction des matières premières, fabrication, transport, mise en œuvre, utilisation (vie en œuvre) et élimination ou réutilisation en fin de vie.

De nombreuses analyses ont été faites ou sont en cours. Ce sont des études lourdes menées par des consultants ou des universitaires, souvent à l'initiative des fabricants. Ces analyses sont basées sur l'étude de tout ce qui entre et qui sort à chaque étape du cycle de vie du produit : énergie, matières premières, eau, émission et rejets, déchets...

LES PIÈGES DE CRITÈRES SIMPLISTES DE CHOIX DES PRODUITS DE CONSTRUCTION

Matériau naturel

L'utilisation d'un matériau naturel rare ou dont l'exploitation est dommageable pour l'environnement est à éviter (exemple : bois tropicaux issus de forêts primaires non gérées durablement).

Certains matériaux naturels présentent des risques pour la santé (exemple : l'amiante). Les matériaux utilisés dans la construction sont traités et conditionnés, pour garantir leurs caractéristiques principales et leur aptitude à l'usage. Par ailleurs, plus un matériau est brut, plus il a besoin de compétences professionnelles et de savoir-faire pour adapter sa mise en œuvre à ses qualités irrégulières et à ses limites d'emploi.

Produit sain

Un matériau sain cesse de l'être s'il est mal mis en œuvre ou traité avec des substances nocives (exemple : protection des bois contre insectes, moisissures et rongeurs).

Par ailleurs, les matériaux en contact avec les ambiances intérieures participent plus ou moins efficacement au maintien ou à l'amélioration des conditions sanitaires de ces ambiances (résistance à la prolifération de champignons, bactéries pathogènes ou allergènes).

Produit recyclable

Beaucoup de produits, même composites, peuvent être recyclés par des techniques appropriées. Le critère pertinent est l'existence effective de filières de recyclage et les impacts générés par ce recyclage.

Matériau renouvelable

Les matériaux renouvelables ont des durées de renouvellement variables (1 an pour le lin, 9 pour le liège, 30 et plus pour le bois, etc.). Certains, comme le coton, sont par ailleurs parfois cultivés selon des méthodes très néfastes pour l'environnement.

Le choix de l'unité fonctionnelle

Pour comparer deux produits sur la base de leur QE, il faut définir une base de comparaison en termes de service rendu. Ainsi on ne va pas comparer deux pots de peinture A et B de 5 kg, mais la quantité de peinture A et B nécessaire pour recouvrir 1 m² de telle surface pendant x années dans telle atmosphère. L'unité fonctionnelle est la quantité de produit nécessaire pour remplir une fonction donnée.

La fonction du produit participe généralement à la QE de l'ouvrage. Par exemple, un isolant thermique participe à la performance du bâtiment en répondant aux exigences de gestion de l'énergie.

Pour les produits polyfonctionnels, la comparaison doit se faire en référence à l'ouvrage en ce qui concerne les caractéristiques et l'aptitude à l'usage. Elle reste difficile quand les performances environnementales diffèrent d'une cible à l'autre. En complément de la QE intrinsèque des produits, leur "place en œuvre" (= mise en œuvre + compatibilité physico-chimique avec les matériaux en contact) et la QE des auxiliaires de mise en œuvre sont déterminants.

Les écolabels

Les écolabels s'appuient aujourd'hui sur des analyses de cycle de vie. Compte tenu des spécificités des produits de construction - longue durée de vie, pluralité de fonctions, incorporation dans un ouvrage - les fabricants ne proposeront plus d'écolabels français et européens pour leurs produits. Seuls les peintures et vernis et les colles pour revêtements de sol ont fait l'objet d'un écolabel français (marque NF Environnement), les peintures et vernis ayant également fait l'objet d'un écolabel européen. Il existe en revanche un certain nombre d'écolabels nationaux de produits de construction dans certains pays européens et hors Europe.

Caractérisation de la QE des produits de construction : la norme NF XP P01-010

Pour répondre à la demande d'informations sur la QE des produits, a été rédigée la norme expérimentale XP P01-010 sur le "contenu de l'information sur les caractéristiques environnementales des produits de construction".

Cette norme a pour objet de définir la nature des informations sur la qualité environnementale des produits que les fabricants devront fournir afin que ces informations soient vérifiables, précises

La norme expérimentale XP P01-010 - chapitre 1 : "méthodologie et modèle type de déclaration environnementale"

Les données concernant la qualité environnementale des produits proviennent d'inventaires de cycle de vie qui consistent, en accord avec la norme ISO 14040, à identifier et quantifier pour chaque étape de la vie d'un produit (extraction des matières premières, production, transport, mise en œuvre, vie en œuvre, fin de vie) les flux reçus de ou émis vers les milieux naturels. Les flux sont pris en compte avec leurs possibilités de recyclage ou de valorisation énergétique :

- consommation des ressources naturelles énergétiques, renouvelables ou non, non énergétiques, eau, énergie récupérée, matière récupérée
- émissions dans l'air, l'eau, et le sol
- production de déchets, identifiés selon la classification en vigueur (DI, DIB, DIS, déchets radioactifs)

Pour chaque donnée le fournisseur du produit doit préciser :

- sa représentativité géographique, temporelle, technologique
- son origine : bibliographique (référence de la source), dire d'experts, fabricant ou acteur aval (distributeur, maître d'œuvre, entreprise, ...)
- sa date, son auteur, le moyen d'y accéder
- son mode d'obtention : mesure sur site (type d'échantillonnage et méthodologie de mesure), modélisation ou scénario (conditions, hypothèses).

et utilisables par les professionnels concernés. Elle n'a pas pour objet de fournir des critères de choix ni de hiérarchisation ou d'interprétation de ces informations. La première partie, traite de la présentation des données brutes, la seconde de leur utilisation.

Parallèlement des outils s'élaborent pour exploiter les renseignements apportés par les ACV des produits et faciliter leur utilisation. Parmi ceux-ci, citons la base de données INIES mise au point par le CSTB à la demande de l'ADEME.

LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Une fois connues les consommations et les émissions, les comparaisons deviennent possibles mais restent en général difficiles compte tenu du grand nombre de données (quelques centaines). C'est pourquoi on cherche à réduire leur volume en analysant leur contribution à un certain nombre de catégories d'impacts. Un consensus s'est dégagé autour d'un certain nombre d'entre eux, repris dans le chapitre 2 de la norme XP P01-010. Les principaux d'entre eux sont détaillés ci-après.

• L'épuisement des matières premières

Les matières premières présentes dans le sol existent en quantité limitée. Certaines sont rares, d'autres abondantes. La surexploitation d'une ressource renouvelable peut conduire à son épuisement. Par ailleurs, une exploitation inconsidérée peut entraîner une perte

irréversible de biodiversité, comme dans les forêts tropicales primaires ou certaines forêts européennes plantées de résineux. C'est pourquoi la limitation du gaspillage, de la mise en décharge et la réutilisation ou le recyclage apparaissent comme des attitudes indispensables. Dans cette optique il importe de rechercher des solutions permettant de diminuer la quantité de matière utilisée : économies de matières par un calcul des structures optimisé, limitation des chutes par un bon calepinage, détails techniques évitant des protections complémentaires ou au contraire, additifs ou films incorporés renforçant le matériau et permettant de limiter les quantités mises en œuvre : dans chaque cas un bilan avantages/ inconvénients est à faire.



• L'épuisement des ressources énergétiques fossiles

Plus de 70 % des impacts sur l'environnement extérieur du

cycle de vie des bâtiments sont dus à leur phase d'utilisation, et plus précisément à leur consommation d'énergie pendant cette phase (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, ventilation, éclairage, climatisation pour les bureaux).

Les énergies fossiles sont disponibles en quantités limitées et les impacts de leur utilisation (dégagements de CO₂ et autres gaz à effet de serre, production de déchets radioactifs) sont difficiles à gérer.

Les bâtiments des secteurs résidentiel et

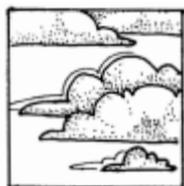
La norme expérimentale XP P01-010 - chapitre 2 : "Cadre d'exploitation des caractéristiques environnementales pour application à un ouvrage donné"

Cette partie a pour objet de caractériser la contribution des produits aux impacts environnementaux d'un ouvrage donné. Elle indique quelles informations doivent être recherchées et comment les exploiter. Elle propose une liste consensuelle de catégories d'impacts environnementaux auxquels sont rapportés les flux issus de l'inventaire du cycle de vie. On distingue les impacts qui concernent :

- **tous les produits** : consommations de ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables, de ressources non énergétiques, d'eau, changement climatique, acidification atmosphérique, pollution de l'air et de l'eau, rejet de déchets solides ;
- **certains produits** : pollution des sols, destruction de la couche d'ozone stratosphérique, formation d'ozone photochimique, modification de la biodiversité ;
- **la conception de l'ouvrage ou son exploitation** : qualité sanitaire de l'eau et des espaces intérieurs, confort.

tertiaire consomment annuellement, à eux seuls, plus de 40% de l'énergie consommée en France et rejettent plus du quart des émissions de gaz carbonique.

Les économies d'énergie et/ou le recours à des énergies peu polluantes et renouvelables sont donc une priorité dans une perspective de développement durable, ainsi que le choix de produits permettant d'atteindre ces objectifs.



• La destruction de l'ozone stratosphérique

La couche d'ozone stratosphérique qui protège des rayonnements UV solaires responsables des cancers de la peau est notamment détruite par les CFC présents dans les climatiseurs : leur usage est interdit dans les pays signataires du protocole de Montréal depuis 1987, dont la France fait partie, mais ils restent présents dans de nombreuses installations anciennes et doivent être récupérés et détruits proprement.

Les NOx produits par l'oxydation de l'azote de l'air lors de la combustion des énergies fossiles utilisées pour le chauffage des bâtiments contribuent à la création d'ozone dans les villes, gaz irritant responsable de réactions inflammatoires chez les personnes sensibles, les enfants et les personnes âgées. Ces émissions peuvent être significativement réduites par la généralisation des chaudières à haut rendement et des brûleurs à bas NOx.

• Le changement climatique

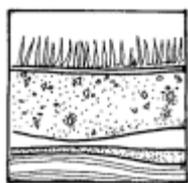
Le rayonnement solaire réchauffe la surface de la Terre qui ré-émet une partie de cette énergie sous forme de rayonnement infra-rouge. Ce rayonne-

ment est absorbé par les gaz à effet de serre (principalement vapeur d'eau, gaz carbonique et méthane), ce qui a pour effet de réchauffer l'atmosphère, sans quoi la température moyenne du globe serait de -18°C , et toute vie serait impossible. Depuis un siècle, la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole) a accru la concentration de l'atmosphère en gaz carbonique, d'où un réchauffement global estimé à plusieurs degrés d'ici la fin du siècle, avec comme conséquence une élévation du niveau des océans, une modification des climats et du régime des pluies, l'apparition de maladies tropicales en zones tempérées, etc.



• La préservation de la ressource eau

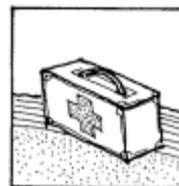
Les produits et systèmes constructifs qui permettent de réduire les consommations d'eau potable contribuent à la préservation d'une ressource menacée de plus en plus coûteuse à produire ; de plus, certains produits peuvent lors de leur fabrication ou de leur élimination polluer les nappes phréatiques.



• La dégradation des sols

Le sol peut être pollué par des rejets, par l'enfouissement de déchets et plus ou moins perturbé par les fondations. L'altitude du rez-de-chaussée et l'aménagement paysager des abords permettent de limiter les volumes de terre à déplacer. Par ailleurs, les solutions qui contribuent à éviter l'érosion des sols, à limiter la diminution des terres cultiva-

bles et à limiter les rejets d'eau pluviale au réseau public sont généralement favorables.



• La santé

Les produits de construction participent à la qualité des ambiances intérieures par :

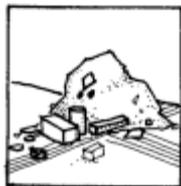
- des émissions de substances nocives (gaz et poussières) en phase de fabrication,
- des émissions en phase de mise en œuvre et de vie en œuvre,
- leur facilité de nettoyage et leur aptitude à l'empoussièrement et à l'accueil de parasites tels que acariens, moisissures, champignons, blattes (revêtements de sol et de murs, réseaux de ventilation),
- les émissions des produits d'entretien.

On dénombre plus de 80 polluants dans l'air intérieur des bâtiments. Les produits de construction peuvent favoriser ou empêcher l'émission ou le développement d'un certain nombre d'entre eux. Il est souhaitable de rechercher des matériaux peu polluants s'opposant durablement à la croissance d'agents pathogènes ou allergènes (moisissures, champignons ou bactéries).

L'humidité a une incidence importante sur la santé des bâtiments et des individus ; l'aptitude des matériaux est essentielle pour éviter les stagnations d'humidité et leurs effets nocifs (développement de micro-organismes pathogènes ou allergènes).

Enfin, le choix des produits a une incidence sur la santé des ouvriers qui construisent et entretiennent les bâtiments. Les maladies professionnelles les plus fréquentes sont d'abord dues au bruit, puis à la manutention des produits, au maniement des outils et machines et au contact des produits nocifs ou irritants avec les yeux, la peau ou les muqueuses.

La fabrication ou l'élimination en fin de vie de certains produits de construction émet des substances nocives pour la santé humaine (gaz et poussières) et/ou pour celle des écosystèmes (métaux lourds, dioxines, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques).



• Les déchets

La loi n°75-633 du 16/07/75 considère comme déchet "tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement *tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon*". Les types de déchets générés par les produits de construction tout au long de leur vie ont des impacts sur l'environnement et la santé. La législation française distingue trois types de déchets, selon leur dangerosité.

Les Déchets inertes (DI) ont peu d'impact sur l'environnement : "En cas de stockage, aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune réaction chimique, physique ou biologique de nature à nuire à l'environnement. Leur potentiel polluant et leur teneur élémentaire en polluants ainsi que leur écotoxicité doivent être insignifiants". Les déchets de fabri-

cation ou de démolition non mélangés à des DIB des bétons, des briques, des tuiles et céramiques en font partie.

Les Déchets industriels banals (DIB) : ni dangereux, ni inertes, ils peuvent être recyclés ou traités comme les déchets ménagers. Il s'agit des bois non traités, du bitume, du verre et des plastiques.

Les Déchets industriels spéciaux (DIS) présentent des dangers pour la santé ou l'environnement et doivent faire l'objet de traitements spéciaux : neutralisation physico-chimique, incinération contrôlée avec traitement des cendres et des fumées, stockage après confinement ou "inertage" en tant que déchets ultimes avec surveillance. En font partie l'amiante, les suies et les goudrons issus des chantiers de démolition, les bois traités avec des sels ou des oxydes de métaux lourds ou encore à la créosote.

Le décret 94-609 du 13/07/94 oblige les entreprises à valoriser leurs **déchets d'emballage** (l'incinération avec récupération

d'énergie est une forme de valorisation). C'est pourquoi on distingue un quatrième type de déchet, les déchets d'emballage, qui peuvent être des DIB ou des DIS. Les déchets doivent être traités en fonction de leur statut. Un mélange a le statut du déchet le plus dangereux contenu. Les décharges sont remplacées par des centres de stockage, décharges contrôlées de caractéristiques géologiques définies en fonction du type de déchets qu'elles accueillent : classe 1 pour les déchets dangereux (DD) dont font partie les DIS, classe 2 pour les déchets ménagers ou assimilés (DMA) et les DIB ; classe 3 pour les déchets inertes (DI).

A partir de juillet 2002, la loi interdit la mise en décharge de **déchets non ultimes** (selon la loi 92-646 du 13/07/92, est ultime un déchet qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de sa part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux).

CLASSEMENT ET TRAITEMENT POSSIBLE DE QUELQUES DÉCHETS DE CONSTRUCTION

DÉCHETS	TYPES DE DÉCHET			FILIÈRES D'ÉLIMINATION				
	DMA /DIB	DI	DD/ DIS	Stock. classe 1	Stock. Classe 2	Stock. Classe 3	Recyclage	Incinération
Liège	X				X		X	X
Bois, panneaux de particules et placages de bois contenant des sels ou des oxydes de métaux lourds ou encore de la créosote			X	X				X
Autres déchets de bois	X				X			X
Déchets de peintures et vernis contenant des solvants halogénés ou non			X	X				X
Déchets de peintures et vernis à l'eau (sans solvant)								
- Non dangereux	X				X			
- Dangereux			X	X				
Béton		X				X	X	
Briques		X				X	X	
Tuiles et céramiques		X				X	X	
Matériaux à base de gypse		X				X	X	
Matériaux à base d'amiante			X	X	X	X		
Verre	X				X		X	
Matières plastiques	X				X		X	X
Goudrons et matériaux contenant des goudrons			X		X			X
Matériaux à base de bitumes et asphaltes		X				X	X	
Métaux et alliages	X				X		X	
Terres et cailloux								
- de sols pollués			X	X				
- non pollués	X				X			
Laines de verre, de roche ou de laitier		X				X	X	
Autres matériaux d'isolation	X				X		X	

L'étiquetage des produits contenant des substances dangereuses

Une vigilance s'impose sur l'étiquetage réglementaire des produits mis en œuvre, en particulier des colles, mastics, enduits, peintures, lasures, vernis, résines, tous produits contenant des solvants destinés à s'évaporer lors de leur mise en œuvre, mais aussi des produits pulvérulents ou fibreux susceptibles de provoquer des irritations ou des lésions irréversibles par contact avec la peau ou avec les muqueuses.

Les risques liés à la manipulation des produits sont identifiables grâce à une information normalisée obligatoire figurant sur les emballages : logo (cf. ci-dessous) et phrases de risque telles que "irritant pour la peau et les yeux" ou "nocif par inhalation et par ingestion". Par ailleurs, ces risques et les moyens de les maîtriser sont décrits dans les Fiches de Données de Sécurité, informations normalisées que le fournisseur est tenu par la loi de fournir sur simple demande.

Une distinction est à faire entre substances irritantes (Xi) et substances nocives (Xn), dont les effets sur la santé sont très différents malgré l'identité des logos : les premières produisent des effets irréversibles lors d'une exposition prolongée ou répétée alors que les secondes peuvent produire des effets irréversibles lors d'une seule exposition. C'est pourquoi, dans une démarche HQE, on évite en général de recourir aux produits contenant des substances nocives en quantités suffisantes pour imposer l'étiquetage "Xn" (et a fortiori les étiquetages "T toxique" ou "T+ très toxique"), alors que l'on tolère les produits étiquetés "Xi"⁽¹⁾, à condition que le produit une fois mis en œuvre perde tout caractère dangereux pour la santé, ou "C Corrosif", à condition qu'ils soient manipulés avec les précautions qui s'imposent.

A cet égard, il faut noter que le contact du ciment avec la peau est responsable d'une dermatite grave due au chrome hexavalent qu'il contient lorsqu'il est manipulé sans gants, alors que les poussières de bois sont potentiellement cancérogènes par inhalation (cancer de l'ethmoïde, os des fosses nasales, maladie professionnelle des scieurs de bois) : ceci ne signifie pas qu'on interdise l'usage du ciment ou du bois, mais que l'on exigera le respect des préconisations d'emploi visant à maîtriser les risques liés à leur mise en œuvre, notamment le port des protections individuelles préconisées par les fournisseurs⁽²⁾ : gants pour le ciment, masque respiratoire et lunettes pour la découpe du bois.

Un logo "N" signale un produit contenant une quantité significative de substance dangereuse pour l'environnement : sauf cas particulier dûment justifié, de tels produits n'ont pas leur place sur un chantier de construction de bâtiment dans une démarche HQE.

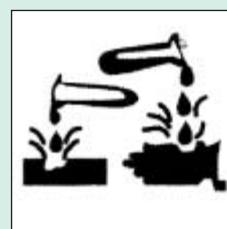
Étiquetage réglementaire des produits dangereux



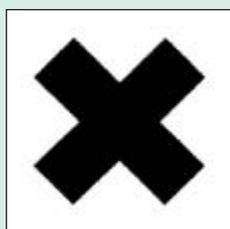
T Toxique



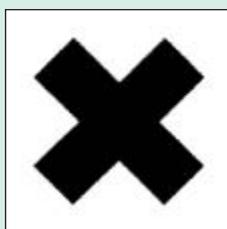
T+ Très toxique



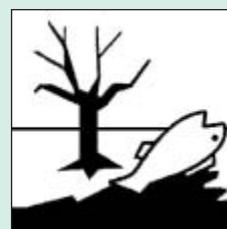
C Corrosif



Xn Nocif



Xi Irritant



N Dangereux
pour l'environnement

⁽¹⁾ En général, pour chaque produit étiqueté "Xn", il existe un équivalent de caractéristiques fonctionnelles suffisamment proches, mais seulement "Xi" ou même dépourvu de tout étiquetage de produit dangereux.

⁽²⁾ La protection de la santé des poseurs relève du Code du Travail, mais la morbidité importante du secteur du BTP incite à prendre des mesures de précaution visant à limiter volontairement la présence sur le chantier de substances dangereuses pour la santé ou pour l'environnement.

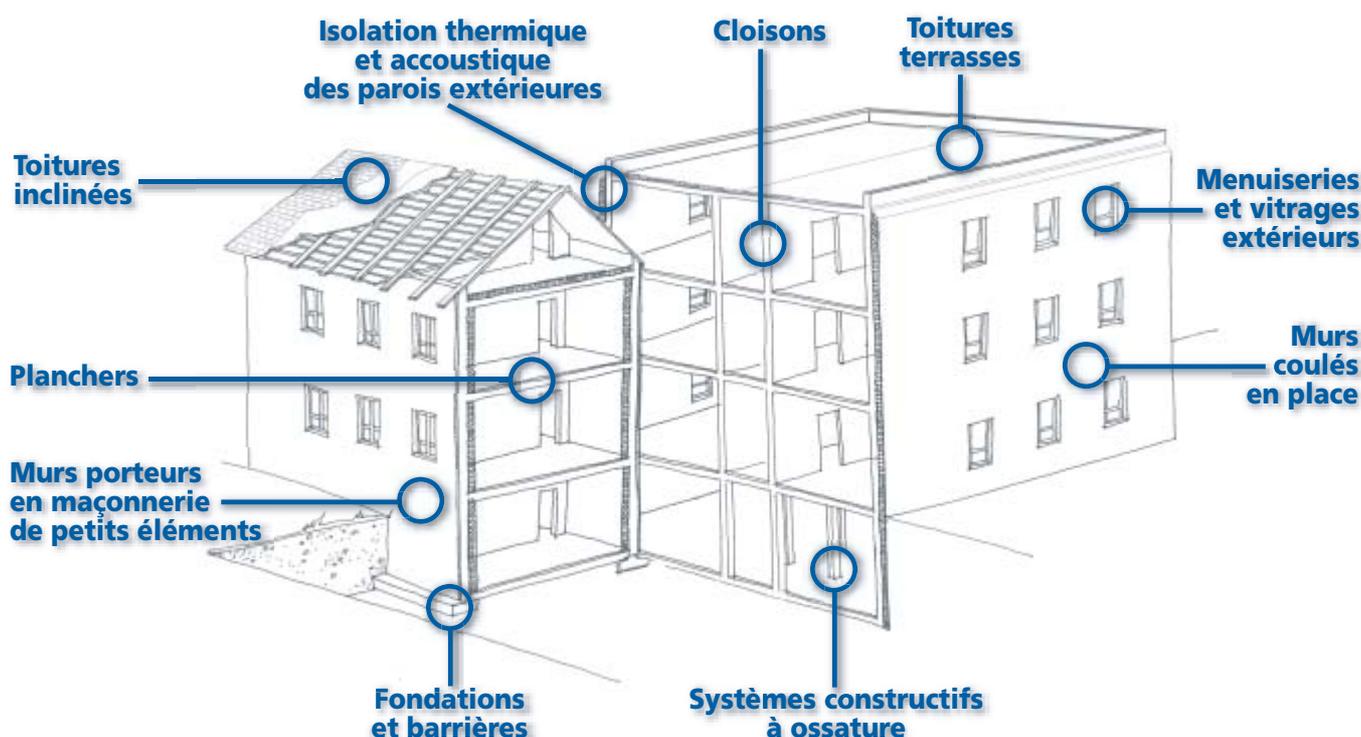
*Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth,
avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).*

Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org

DÉCOMPOSITION DU BÂTIMENT EN OUVRAGES FONCTIONNELS

CE QU'IL FAUT SAVOIR

- ✓ Un bâtiment assure des fonctions générales d'abri et de constitution d'espaces et d'ambiances adaptés à son usage (habitation, bureaux, commerce, sport,...).
- ✓ Chaque partie de la construction (fondations, murs, planchers, toitures,...) assume des fonctions particulières concourant à l'efficacité, à l'aptitude à l'usage et à l'agrément du bâtiment.
- ✓ On n'attend pas les mêmes qualités d'un doublage isolant que d'un plancher : le choix des produits se fera sur des bases totalement différentes suivant l'élément constructif pour lequel on veut les utiliser.
- ✓ C'est pourquoi on décompose le bâtiment en sous-ensembles ou ouvrages fonctionnels, puis on examine ouvrage par ouvrage la pertinence, notamment environnementale, de l'utilisation des différentes solutions constructives.



Les fonctions essentielles que doit assurer la construction dans son ensemble sont relativement constantes (d'après la liste des performances d'ensemble d'un bâtiment – ISO DIS 7164) : stabilité, sécurité au feu, sécurité d'utilisation, perméabilité, hygrothermique, pureté de l'air, performances acoustiques, visuelles, tactiles, ergonomiques, hygiène, adaptation à l'utilisation spécifique, durabilité, économie.

La répartition de ces fonctions entre les différents ouvrages peut varier suivant

les principes constructifs.

Ainsi la fonction de stabilité structurelle (descente des charges, contreventement) peut être assurée soit par des éléments spécifiques à simple vocation structurelle (poteaux, poutres), soit par des éléments de façade, participant à l'enveloppe, et donc à la séparation entre les ambiances internes et externes, soit encore par des refends, participant à la partition de l'espace interne.

De même, la fonction d'isolation thermique vis à vis de l'extérieur peut être

assurée soit par des isolants spécifiques, soit par des éléments porteurs, donc participant à la structure, ayant de surcroît un rôle isolant (brique Monomur, béton cellulaire).

Aussi, en préambule à l'examen de l'adaptation des performances techniques et environnementales des matériaux à leur usage élément constructif par élément constructif, est-il indispensable de faire un rapide panorama des principaux systèmes constructifs.

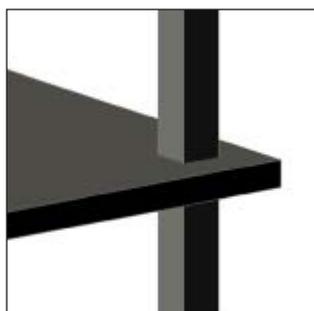
PANORAMA DES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS DISPONIBLES

Les principaux systèmes constructifs disponibles sont présentés dans le tableau suivant :

Système constructif porteur	Parois associées					
	Murs			Planchers		
	Béton et maçonnerie	Bois	Acier	Béton et maçonnerie	Bois	Acier
Poteaux / poutres	Maçonneries de remplissage	Parois légères autoportantes	Acier et isolant, façade légère	Poutres BA+ béton coulé, avec prédalle, ou précontraint	Poutres, solives et plancher bois	Poutres acier et bacs acier collaborants + dalle de compression béton
	Torchis ou béton de remplissage		Bardage industrialisé	Poutres BA+ hourdis sur poutrelles en béton ou acier		
Murs / planchers	Béton,	Murs de rondins	Murs porteurs à ossature acier contreventée	Béton coulé, avec prédalle, ou précontraint	Solives et plancher bois	bacs acier collaborants + dalle de compression béton
	Maçonneries porteuses			Murs porteurs à ossature bois et panneaux bois		
	Murs de terre crue			Voûtes		

N.B : des systèmes intermédiaires poteaux/ planchers ou murs/poutres sont concevables, mais néanmoins :

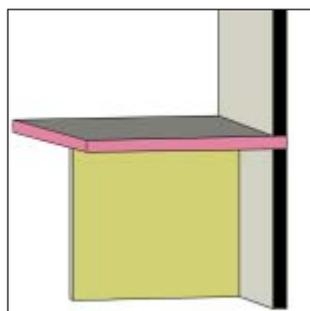
- Lorsque la structure porteuse verticale est ponctuelle (poteaux), il faut nécessairement ramener les charges des planchers en ces points, le plus souvent par des poutres.
- Lorsque la structure porteuse verticale est constituée de murs, on aura tendance à répartir la charge des planchers sur tout le linéaire de murs, donc à ne pas concentrer les charges sur des appuis de poutres.



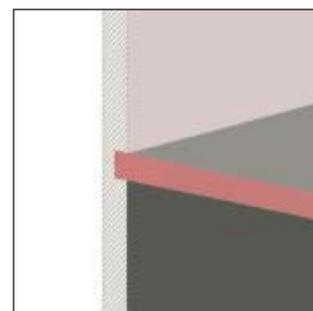
Poteaux-dalles



Poteaux-poutres



Refend porteur



Façade porteuse

Les murs porteurs sont plus contraignants que les systèmes utilisant des poteaux et conduisent à des coûts élevés de modification des bâtiments. Ils peuvent être réalisés à l'aide de béton, de petits ou grands éléments de maçonnerie ou de terre crue.

- Les ouvrages en **murs coulés en place** ont notamment pour avantage de permettre le moulage à façon de formes particulières. Le matériau le plus utilisé est le béton, mais d'autres matériaux (pisé de

terre crue par exemple) sont utilisables suivant ce principe constructif. Ils feront l'objet d'une fiche spécifique. Les murs en infrastructure, traités dans un chapitre propre, sont le plus souvent des murs coulés en place (voir "Fondations et barrières").

- C'est avec les **éléments maçonnés**, utilisant des matériaux très divers (béton, bétons allégés, terre crue ou cuite) que

l'on réalise les parois les moins chères, en France. (voir fiche "Maçonnerie de petits éléments").

Les systèmes ponctuels à poteaux porteurs (poteaux/poutres ou poteaux/planchers) peuvent être réalisés en béton, en bois ou en acier. Chaque matériau a ses spécificités techniques et environnementales ; ces systèmes font l'objet de la fiche spécifique "ossatures".

Dans le cas de structure à poteaux porteurs ponctuels, les points porteurs peuvent être dissociés des parois, et en particulier des façades : ceci permet d'éviter des hétérogénéités de façade, souvent préjudiciables aux qualités thermiques, phoniques, d'étanchéité à l'air, ou à la tenue dans le temps de certains revêtements.

Le choix de la structure est d'une grande importance. Du fait qu'elle participe de l'aspect du bâtiment, c'est un choix architectural autant qu'un choix technique.

Chaque mode constructif a sa rationalité : transposer un bâtiment conçu avec un mode constructif dans un autre conduit à une perte de qualité architecturale et technique, ne serait-ce que parce que la matière n'est plus utilisée de façon optimale. Un mode constructif doit donc être choisi très en amont de la conception d'un bâtiment.

La liste ci-contre indique les solutions constructives les plus couramment utilisées :

Système constructif porteur

Poteaux & poutres / Poteaux & planchers / Murs (extérieurs et/ou refends) / Murs & planchers.

Matériaux et techniques mis en œuvre

- **Poteaux et poutres** : Bois (massif ou lamellé collé) / Acier / Béton (préfabriqué ou coulé in situ).
- **Liaisons poteau/poutre** : sèches (soudées / boulonnées) ou hourdées (béton).
- **Murs extérieurs et/ou refends porteurs (toute hauteur)** : Béton (préfabriqué lourd ou banché).
- **Murs extérieurs et/ou refends porteurs (sur 2 à 4 niveaux selon la technique)** :
 - Maçonnerie (béton, terre cuite) de petits (blocs, briques) ou grands éléments (briques de hauteur d'étage) à isolation répartie (brique de type Monomur, bloc de béton de granulats légers, béton cellulaire autoclavé), intégrée (bloc béton + polystyrène) ou rapportée (brique creuse ou perforée et bloc de béton plein, perforé ou creux "classiques") (cf. chapitre "murs en maçonnerie de petits éléments").
 - Murs de rondins.
- **Murs autoportants** :
 - Bois (massif, panneau à base de particules ou contreplaqué) à isolation rapportée (doublage intérieur), intégrée (sandwich bois + isolant rigide + bois) ou répartie (coffrage bois avec remplissage d'isolant en vrac).
 - Béton (poteau + panneau) à isolation rapportée.
 - Maçonnerie de petits éléments (blocs de béton ou briques de terre cuite) de faible épaisseur (14 cm).
 - Acier : bardage + isolant rapporté ou panneau sandwich à isolation intégrée.
- **Planchers** :
 - Béton : coulé in situ / préfabriqué (dalle alvéolaire) / mixte : prédalle + chape.
 - Mixte (collaborant) : bois / béton ou acier / béton.
 - Bois (solives plus plancher, bois debout, panneau à base de particules ou contreplaqué).
 - Poutrelles (béton, acier) et hourdis (béton creux, terre cuite ou polystyrène).

*Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth,
avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).*

Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org



LES CLOISONS

CE QU'IL FAUT RETENIR

- ✓ Les cloisons sont des éléments verticaux non porteurs destinés à assurer le compartimentage interne d'un bâtiment.
- ✓ Les matériaux employés sont généralement liés au mode constructif de la construction. Dans les constructions en murs maçonnés, le carreau de plâtre a progressivement remplacé les cloisons réalisées en briques plâtrières, en blocs de béton creux d'épaisseur £ 10 cm ou en briques de mâchefer.
- ✓ De nouveaux produits (plaque de béton cellulaire et surtout plaque de plâtre) et de nouvelles techniques de mise en œuvre rendent les cloisons plus légères, démontables, amovibles ou mobiles.

LES DIFFÉRENTS TYPES D'USAGES

Les cloisons de distribution assurent la séparation entre pièces d'un même logement ou d'un même bâtiment. Elles n'ont en général pas de fonction d'isolation ou d'inertie thermique, mais elles peuvent avoir un rôle d'isolation pho-

nique, de protection contre le feu et d'élément décoratif.

Les cloisons séparatives, elles, doivent en outre avoir des caractéristiques thermiques performantes.

Les cloisons structurent l'espace et leur choix est lié à la fréquence prévisible de restructuration des locaux. Les trois grandes catégories de cloisons cloisons pleines, cloisons sèches et cloisons mobiles, sont présentées ci-dessous.

PROCÉDÉS CONSTRUCTIFS

Cloisons pleines

Cloisons à pans de bois (technique aujourd'hui abandonnée, car nécessitant un importante main d'œuvre d'un coût élevé) : bâti de bois périphérique en général entretoisé à mi-hauteur avec remplissage de briques, de parpaings de mâchefer ou de plâtras pris entre deux lattis de bois cloué (cloisonnage), enduits sur les deux faces.

Cloisons en éléments manufacturés à enduire : dans cette technique classique, dite galandage, des maçons ou des plâtriers montent les cloisons avec des éléments peu épais (briques pleines, creuses ou plâtrières, blocs minces de béton de granulats, carreaux de mâchefer aggloméré).

Généralement, les briques sont hourdées au plâtre et les blocs au mortier bâtard. L'éventuel enduit de ciment doit être appliqué sur les deux faces de la cloison. Son temps de séchage est très long.

Cloisons en carreaux de plâtre : la plus courante des cloisons maçonnées. Les carreaux ont des dimensions standard (66 x 50 cm,

soit 3 / m²), et une épaisseur de 50, 60, 70 ou 100 mm. Ces cloisons ont un mauvais comportement acoustique : leur fréquence de résonance est au niveau de la fréquence de la voix humaine.



Carreaux de plâtre

Cloisons pleines en éléments de hauteur d'étage : panneaux, généralement en plâtre, béton cellulaire autoclavé, briques creuses ou panneaux de fibragglos (particules de bois collées), à enduire.

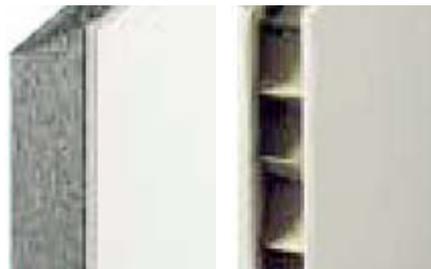
De nombreux revêtements intérieurs sont possibles : traditionnel au plâtre, plaque de plâtre

collée, bois, toile de verre collée et peinture de finition, revêtement en faïence, enduits pelliculaires à base de plâtre, enduits et peinture.

Cloisons sèches :

Techniques variées selon les caractéristiques et les fonctions que l'on veut privilégier (isolation acoustique ou thermique) :

Panneaux composites de hauteur d'étage : composés d'une âme en matériau homogène (mousse expansée rigide ou semi-rigide : polyuréthane, polystyrène expansé ou PVC) ou alvéolaire (carton ou papier kraft en



Panneaux composites à âme en matériaux isolants et alvéolaires.

réseau quadrillé, nid d'abeille), prise entre deux parements plans (plaques de plâtre cartonées, feuilles de contreplaqué ou plaques à parement lamifiés, feuilles de métal laqué ou anodisé, etc.). L'alignement des panneaux se fait par des cales de bois (taquets ou clavettes de jonction) placées au droit des joints.

Cloisons à parements rapportés sur ossature : composées sur chantier en rapportant des plaques planes (panneaux de contreplaqué

ou à base de particules de bois) de part et d'autre d'une ossature en bois ou métal réalisée au préalable sur place et fixée à la maçonnerie sur toute sa périphérie. L'isolation acoustique est obtenue par un matelas de laine minérale et une lame d'air.

Cloisons mobiles ou modifiables

Elles sont composées par juxtaposition de panneaux préfabriqués en bois ou en composite plâtre cartoné, et permettent de

modifier plus ou moins facilement la configuration des locaux. Pour ne pas subir les mouvements de la structure, les cloisons ne doivent pas être liées rigidement aux éléments porteurs, mais sans que cela nuise à leur stabilité. La souplesse des joints doit être adaptée au matériau.

MATÉRIAUX ET PRODUITS

Plâtre

Fabrication

Le plâtre est obtenu par déshydratation thermique du gypse (sulfate de calcium hydraté). Selon les conditions opératoires et la température de déshydratation, on obtient différentes qualités de plâtre :

- le plâtre de Paris, mélange de 60 à 80% d'hémihydrate β et d'anhydrite, de résistance mécanique peu élevée (10 MPa en compression), qui constitue l'essentiel du plâtre de construction,
- les plâtres spéciaux (hémihydrate α), hydrofuges, plus résistants (> 30 MPa) mais plus coûteux (0,5% de la production française),
- l'anhydrite (sulfate déshydraté) ou "surcuit", utilisé pour les chapes dures et sans retrait.

Le gypse utilisé peut être naturel ou synthétique :

- Naturel, c'est une roche tendre cristalline extraite en carrière et concassée (granulométrie < 25 mm). Le gypse exploité en France a une pureté > 90% qui dispense de le purifier. 70% provient du Bassin parisien (6 sites en 1997), dont les réserves exploitables sont estimées à 30-40 ans.
- Synthétique, c'est un sous-produit industriel :

Désulfogypse : issu de la neutralisation au lait de chaux des fumées soufrées émises par la combustion du fuel ou du charbon dans les centrales thermiques ou les chaudières industrielles. En France, une seule usine située en Alsace utilise du désulfogypse, importé d'Allemagne (les ressources françaises sont faibles car 80 % de l'électricité est produite par des centrales nucléaires). C'est la principale ressource de substitution du gypse en Allemagne et au Japon.

Phosphogypse : sulfate de calcium déshydraté, sous-produit de fabrication de l'acide phosphorique, intermédiaire de fabrication notamment des engrais. En 1997, seul le Japon, dépourvu de gypse naturel, continue

d'utiliser du phosphogypse, les autres pays jugeant le procédé non rentable (coût du séchage et de la purification trop élevé), et conduisant, du fait de la présence de traces d'uranium dans le minerai phosphaté, à des produits parfois radioactifs, d'utilisation délicate dans le bâtiment. Il n'est plus utilisé en France depuis plusieurs années, mais on en trouve dans les bâtiments anciens.

Utilisation

On trouve le plâtre dans les cloisons sous trois formes :

- en enduit sur les cloisons en maçonnerie (blocs de béton ou briques de terre cuite),

- sous forme de carreau de plâtre,
- sous formes de plaque de plâtre cartoné, décrite ci-après.

Plaque de plâtre

Née en 1890 aux USA, la plaque de plâtre (âme en plâtre recouverte d'une enveloppe de carton) est fabriquée en France depuis la fin des années 40. Elle a bouleversé les techniques de partitions internes (cloisons et plafonds). Les plaques "BA" (à bords amincis) permettent d'éviter la surépaisseur due à la bande de jointoiment. Elles sont montées sur ossature bois ou métal.

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
LA PLAQUE DE PLÂTRE	Fabrication	<p>Gypse naturel :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consommation de ressources non renouvelables, • Bruit, poussière, altération des paysages et des écosystèmes. <p>Désulfogypse : recyclage de sous-produits industriels. Pas d'impacts notables autres que ceux du transport.</p> <p>Plâtre : Consommation d'énergie, émission de gaz carbonique (cuisson).</p> <p>Carton : recyclage de cartons usagés et de papiers recyclés.</p>
	Mise en œuvre	<p>Joints utilisés entre les plaques en bandes de papier ou de fibres de verres imprégnées de colle, produit prêt à l'emploi composé généralement d'une base vinyle et d'agents antibactériens et antifongiques.</p>
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Le plâtre de Paris a une excellente résistance au feu, une faible résistance mécanique (10 Mpa) et une faible résistance à l'humidité. • L'hémihydrate α est hydrofuge et a une bonne résistance mécanique (30 Mpa). • Le plâtre contribue à la qualité acoustique des cloisons à ossature. • Les panneaux pare-feu armés de fibre de verre sont classés M0 (incombustibles). • Plâtre à base de phosphogypse (plus utilisé en Europe, mais existe dans les bâtiments anciens) : risque de faibles émissions radioactives.
	Fin de vie	<p>Déchets industriels banals, le plâtre ne doit pas être stocké avec des déchets fermentescibles avec lesquels il peut réagir pour dégager de l'hydrogène sulfuré, gaz dangereux. Il doit être placé en alvéole spéciale à l'abri de l'eau, en général en décharge de classe 3.</p>

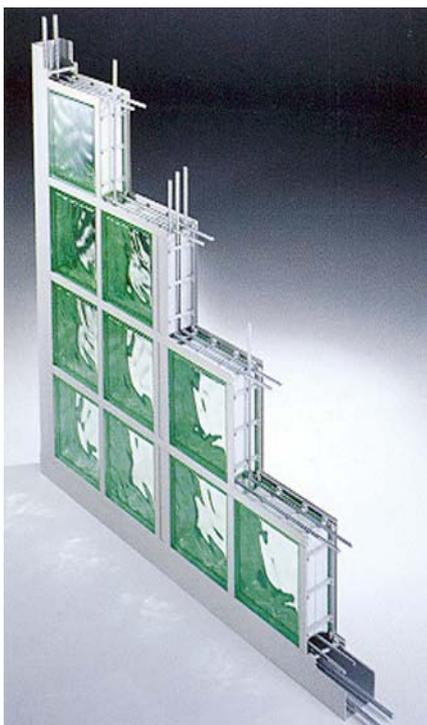
Panneaux composites plâtre-cellulose

Ils sont obtenus par moulage d'un mélange de 80% de plâtre et de 20% de fibres de cellulose issues de journaux recyclés. Une injection à haute pression de silicone sur la face avant les rend plus résistants que les plaques de plâtre traditionnels et permet de les utiliser en locaux humides sans additif. Les joints sont réalisés avec une colle polyuréthane. Ces panneaux ont un écolabel de l'Institut Autrichien de Biologie du Bâtiment.

Briques de verre

Utilisées en parois extérieures ou en cloisonnements, ces briques sont fabriquées par assemblage de deux parois de verre moulées portées à 1000°C, emprisonnant une lame d'air à basse pression à T° ambiante (30% de la pression atmosphérique). Le coefficient de transmission thermique de la paroi ainsi obtenue est de l'ordre de 3 W/m².K (contre 2 pour un double vitrage peu émissif à lame d'air de 16 mm).

Les cadres sont en aluminium ou en acier. Pour éviter la corrosion, l'aluminium doit être protégé du ciment et l'acier de l'humidité. Les vis de fixation doivent être en acier inoxydable. Une armature au moins, en fer rond de 5-6 mm, est disposée entre chaque rang horizontal, et verticalement dans les bordures latérales. Le mortier est un mélange de 400 kg de ciment pour 1 m³ de sable lavé 0-3, avec le minimum d'eau compatible avec une mise en œuvre correcte.



Cloison en pavés de verre.

LES PANNEAUX À BASE DE BOIS	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication et mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Bois massif et contreplaqués : les bois exotiques issus de forêts tropicales primaires non gérées durablement contribuent à la destruction de la biodiversité, sauf l'okoumé du Gabon titulaire du label Eurokoumé et les bois labellisés FSC (Forest Stewardship Council) ou équivalent. Les contreplaqués en peuplier, en hêtre ou en pin maritime utilisent des bois locaux dont l'exploitation ne porte pas atteinte à la biodiversité (cf. fiche "bois"). Les panneaux de fibres utilisent des déchets de bois. Le travail des panneaux à base de bois (découpe, perçage, ponçage) génère des poussières de bois cancérigènes qui doivent être captées à la source et traitées pour éviter leur inhalation. Certaines émissions des résines et des colles d'assemblage et la plupart des produits de traitement du bois (voir chapitre "ossetures") sont irritants ou nocifs.
	Vie en œuvre	Certains panneaux de contreplaqué ou de particules non revêtus peuvent émettre du formaldéhyde. On peut stopper ces émissions par un revêtement (stratifié), ou les limiter par un choix de panneaux à faible teneur (particules, fibres) ou à faible émission (contreplaqué) de formaldéhyde.
	Fin de vie	Certains produits de traitement préventif fongicide et insecticide transforment les bois traités en DIS (déchets dangereux).

Panneaux à base de bois

L'usage actuel des parois en bois massif est réservé aux caves ou aux greniers avec des cloisons à claire-voie ou pour des cloisons très légères dans des habitations secondaires ou des chalets. L'isolation acoustique de ces parois au niveau réglementaire est très difficile à réaliser correctement.

Les panneaux de **contreplaqué**, obtenus par superposition et collage de feuilles de bois déroulé utilisent des colles à base d'urée-formol, de mélanine-formol ou de phénol-formol. La face visible peut être laissée à l'état naturel (okoumé, pin maritime) ou replaquée avec une essence décorative (chêne, noyer, acajou, etc.). Leur stabilité dimensionnelle est supérieure à celle des bois massifs.

Les panneaux **à base de copeaux et de particules de bois agglomérées**, fabriqués en France depuis 1952, sont très divers du fait des différents types de liants (colles ou ciments) et d'adjuvants hydrofuges ou ignifuges utilisés. Composés de copeaux calibrés (issus de déchets de scierie ou dosses, copeaux de rabotage ou de sciage, bois d'éclaircissage et petits bois) et agglomérés à l'aide de résines polymérisant à chaud, ils sont utilisés pour le cloisonnement des locaux. Dans certains cas, des évidements tubulaires permettent de les alléger et de faciliter le passage de certaines conduites, ou bien d'améliorer la tenue au feu par remplissage avec des produits réfractaires.

Les panneaux de **fibres végétales** sont obtenus à partir de bois réduit en fibres, bouilli et séché plusieurs jours à 120-190°C, puis comprimé en plaques au moyen de cylindres exerçant une forte pression. Leur cohésion résulte du feutrage des fibres et de leurs propriétés adhésives propres ou de l'ajout de liants semblables à ceux des panneaux de particules. On distingue :

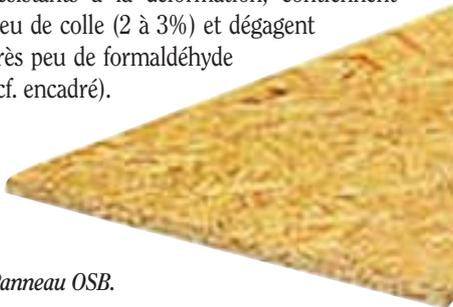
- les panneaux tendres (250 à 300 kg/m³, $\lambda = 0,058$ W/m.K, faible résistance à la rupture en flexion) utilisés à l'intérieur
- les panneaux durs (1 000 kg/m³, $\lambda = 0,20$ W/m.K), parfois utilisés à l'extérieur une fois hydrofugés

Non revêtus, les panneaux de fibres sont ceux qui émettent le plus de formaldéhyde, mais ils sont généralement recouverts d'une couche de finition (stratifié, peinture ou papier) qui bloque la majeure partie de cette émission.



Panneaux à base de bois

Les panneaux **OSB (Triply)** allient la résistance du contreplaqué au faible coût des panneaux de particules. L'orientation alternée des copeaux dans les trois couches (OSB = Oriented Strand Board ou panneau de copeaux orientés) permet d'obtenir une résistance élevée et des tensions admissibles nettement supérieures à celles des panneaux de particules habituels. Ces panneaux, très résistants à la déformation, contiennent peu de colle (2 à 3%) et dégagent très peu de formaldéhyde (cf. encadré).



Panneau OSB.

Adhésifs utilisés pour les panneaux à base de bois

Les panneaux de particules, de fibres, contreplaqués ou lamellés-collés sont fabriqués avec des débris ou des couches fines de bois assemblés avec des adhésifs dont certains constituants peuvent présenter des risques pour la santé. On distingue la lignine et les adhésifs synthétiques thermodurcissables (urée-formol, mélamine-formol, phénol-formol) et les thermoplastiques (vinyliques, vinyliques à durcisseur, polychloroprène, polyuréthane).

Lignine : liant naturel du bois, de plus en plus souvent utilisée pour agglomérer les fibres ou les particules de bois des panneaux. C'est une substance inoffensive obtenue en grandes quantités comme résidu de production de la cellulose (pâte à papier), a priori le meilleur choix environnemental.

Les colles vinyliques, à base d'acétate de vinyle en émulsion aqueuse, ne posent pas de problèmes de toxicité.

Colles polychloroprène, dont le Néoprène : en phase solvant, d'un usage courant pour le collage des stratifiés sur bois ou sur panneaux de particules. Le solvant peut contenir du toluène (substance dangereuse) à une concentration non négligeable, mais inférieure à 5% pour éviter l'étiquetage de dangerosité.

Les colles à base de formaldéhyde

- Colles à base d'urée-formol : très utilisées pour lier les panneaux de particules et les contreplaqués à usage intérieur,

Le formaldéhyde (formule HCHO) est susceptible de provoquer à faible concentration (> 0,2 ppm) des irritations passagères, voire des réactions inflammatoires plus ou moins graves chez des personnes sensibles (asthme, eczéma, urticaire). Il est classé comme cancérigène possible sur la base de résultats d'expérimentations animales, sans qu'on n'ait pu mettre en évidence d'effet cancérigène chez l'homme. La principale source de formaldéhyde dans l'air intérieur des bâtiments est la fumée de cigarette.

Pour tous les panneaux à base de bois, le dégagement de formaldéhyde diminue en principe rapidement avec le temps, mais peut durer plusieurs années. Il varie en fonction des saisons : il augmente lors de la

mise en marche du chauffage (chaleur) ou la diminution de ventilation (humidité). Trois normes caractérisent leurs émissions ou leurs teneurs en formaldéhyde :

- **panneaux de contreplaqué** : la norme NF EN 1084 (août 95) définit 3 classes d'émission :
A (< 3,5 mg/m² h),
B (3,5 à 8 mg/m² h),
C (> 8 mg/m² h).
- **panneaux de particules** : la norme NF EN 312-1 définit 2 classes selon leur teneur :
classe 1 (< 8 mg / 100 g de panneau sec)
classe 2 (< 30 mg / 100 g de panneau sec)
- **panneaux de fibres** : la norme NF EN 622-1 définit 2 classes selon leur teneur :
classe A (< 9 mg / 100 g de panneau sec)
classe B (< 40 mg / 100 g de panneau sec)

considérées comme l'une des principales causes d'émission de formaldéhyde à l'intérieur des locaux (hors fumée de cigarette).

- **Colles à base de mélamine-formol et résines formo-phénoliques** : utilisées pour coller les panneaux de particules résistants à l'humidité (extérieur, locaux humides).

Panneaux composites

Des panneaux composites sont réalisés à l'aide de plusieurs panneaux de matériaux différents. Comme pour les parois en bois, les cloisons peuvent être à ossature ou constituées d'éléments monoblocs pleins ou vitrés totalement achevés en usine. Ce sont souvent des panneaux de hauteur d'étage composés d'une âme en matériau homogène prise entre deux parements plans.

Les matériaux constituant l'âme sont des mousses expansée rigides ou semi-rigides (polyuréthane, polystyrène expansé ou PVC) ou des composants alvéolaires faits de carton ou de papier kraft en réseau quadrillé ou nid d'abeille.

Les parements plans sont des plaques de plâtre cartonnées, des feuilles de contreplaqué, des plaques à parement lamifiés ou des feuilles de métal laqué ou anodisé, etc.



Panneau à âme isolante.

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
LES PANNEAUX COMPOSITES	Fabrication et mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Contreplaqués : cf. tableau précédent • Plâtre cartonné : cf. tableau plaque de plâtre • Métal laqué ou anodisé : cf. tableau acier dans la fiche Couvertures • Mousses expansées : cf. fiches "Isolants extérieurs thermiques et acoustiques"
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Les panneaux en contreplaqué non revêtus peuvent émettre du formaldéhyde. • Cartons et krafts peuvent libérer des fibres de cellulose dont l'inhalation peut être dangereuse.
	Fin de vie	<ul style="list-style-type: none"> • Certains produits de traitement préventif fongicide et insecticide transforment les bois et les cartons traités en DIS. • Les matériaux constitutifs des composites sont difficilement séparables et donc difficilement recyclables. Valorisation possible par incinération avec récupération d'énergie. Précautions à prendre lors de l'incinération du PVC et du polyuréthane.

POUR EN SAVOIR PLUS

- Syndicat National des Industries du Plâtre (SNIP)
3 rue Alfred Roll - 75017 PARIS
Tél. : 01 44 01 47 35 - Fax 01 44 01 47 58.
- Union des Industriels de Panneaux de Process (UIPP) 33 rue de Naples 75008 PARIS
Tél. : 01 53 42 15 52 - Fax 01 42 93 19 97
web : www.uipp.fr
Courriel : panneaux@club-internet.fr
- CTBA, Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Pôle construction
allée de Boutaut, 33028 Bordeaux Cedex,
Tél. : 05 53 17 19 60 - Fx 05 56 43 64 80
web : www.ctba.fr
- Syndicat National de l'Isolation 10, rue du Débarcadère, 75852 Paris Cedex 17
Tél. : 01 40 55 13 70 - Fax 01 40 55 13 69
web : www.snisolation.fr
- Union des Fabricants de Contreplaqué (UFC) 33 rue de Naples 75008 PARIS
Tél. : 01.53.42.15.58 - Fax 01.53.42.15.51
Courriel : ufc@freesurf.fr

*Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth,
avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).*

*Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org*

FONDATEIONS ET BARRIÈRES

CE QU'IL FAUT SAVOIR

- ✓ La constitution du sol limite et oriente le choix du type de fondations : superficielles en béton armé ou non, ou profondes sur pieux ou puits forés, vissés ou battus, en béton ou en acier.
- ✓ A l'heure actuelle, la plupart des fondations sont en béton. Peu poreux, le béton protège le reste de la construction de l'humidité. En complément, il s'avère cependant parfois nécessaire de prévoir des barrières vis-à-vis des remontées d'humidité du sol, des invasions de termites et des remontées de radon.

FONDATEIONS

Les fondations sont destinées à asseoir le bâtiment et les voiries sur le terrain en évitant que les éventuelles modifications de celui-ci ne provoquent des désordres dans la construction, par exemple des tassements différentiels. Leur choix est déterminé par les caractéristiques du terrain : nature des roches, résistance mécanique, niveau d'assiette du sol, points singuliers (points durs, poches, excavations, ...), niveau de la nappe phréatique. Leur identification fait l'objet d'une étude spécifique qui comporte des sondages et des essais de résistance mécanique du sol en divers points de la parcelle. Des caractéristiques médiocres peuvent nécessiter des travaux de fondation coûteux qu'il importe de bien évaluer.

Fondations sur semelles

La réalisation de ces fondations, dites superficielles, consiste à couler sous l'ensemble des murs des semelles de **béton armé** d'épaisseur et de ferrailages calculés en fonction des charges à supporter et de la résistance mécanique du sol.

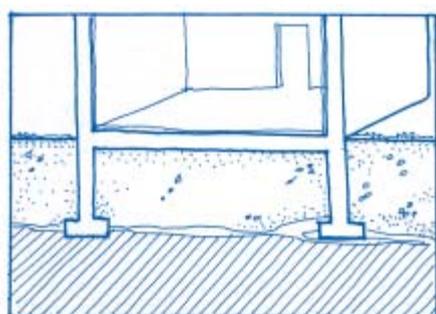


Schéma de principe de fondations sur semelles.

Fondations sur pieux ou puits

Lorsque le sous-sol d'assise est profond (> 5 m : sols marécageux ou terres de remblai), on l'atteint par des pieux (diamètre < 80 cm) ou des puits (diamètre plus important) vissés, battus ou forés. Cette technique appelée "fondation profonde ou spéciale" est très efficace mais relativement chère par rapport à la fondation directe. Les pieux peuvent être en acier ou en béton armé coulé dans le sol.

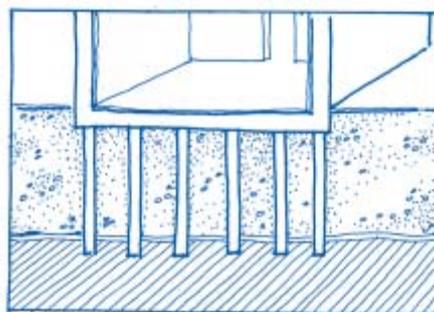


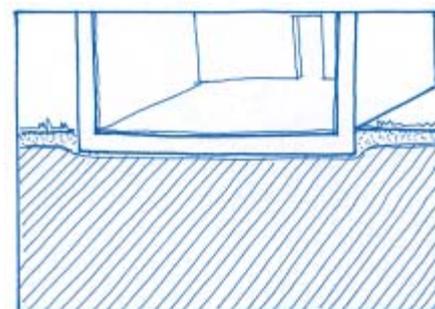
Schéma de principe de fondations sur pieux.

Ci-dessous à gauche, forage de pieux, à droite, battage de pieux.



Radiers

Un radier est une dalle en béton armé comme un plancher à l'envers, directement coulée dans le sol. Ce système permet de répartir les contraintes sur un sol de mauvaise qualité.



Ci-dessus, schéma de principe d'un radier.

Ci-dessous, mise en place des armatures.



Cuvclages

Dans des sols gorgés d'eau, on met en œuvre un cuvelage constitué d'un radier et de murs enterrés en béton permettant de protéger la construction contre les remontées de la nappe phréa-

tique, les crues, les eaux de ruissellement ou les infiltrations. Le béton est alors accompagné de dispositifs d'étanchéité.

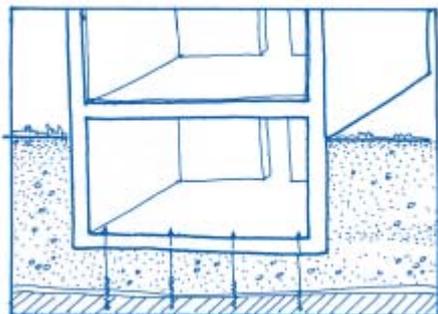


Schéma de principe d'un cuvelage.

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
FONDACTIONS	Fabrication	Consommation de matières premières et d'énergie, impacts sur les paysages des lieux d'extraction et sur les lieux de production du ciment *
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Altération durable du sol du site • Fondations sur pieux : le souci de réduction des bruits de chantier a conduit à ne plus utiliser la technique des pieux battus en ville, où les pieux sont maintenant toujours forés.
	Vie en œuvre	Impacts sur la vie à l'intérieur des bâtiments surtout liés à l'efficacité des barrières
	Fin de vie	Les pieux en acier sont considérés comme moins polluants que les pieux en béton, car ils sont récupérables en fin de vie du bâtiment, lors de sa démolition, ce qui n'est pas le cas des pieux en béton.

* cf. fiche "Murs coulés en place"

BARRIÈRES CONTRE L'HUMIDITÉ DU SOL

La présence d'eau ou d'humidité dans les locaux enterrés ou en contact avec le sol peut venir de :

- la présence d'une nappe phréatique, de niveau variable et pouvant dépasser celui du sol des locaux eux-mêmes
- l'action des eaux d'infiltration ou de ruissellement sur les parois extérieures des locaux enterrés
- des remontées capillaires dues à des tensions superficielles et des pressions qui font remonter l'eau dans les parois en contact avec des sols humides jusqu'au niveau des parties habitables par les pores de la paroi.

La lutte contre l'humidité venant du sol se fait à deux niveaux :

- contre la pénétration de l'humidité dans les locaux en sous-sol, par mise en place

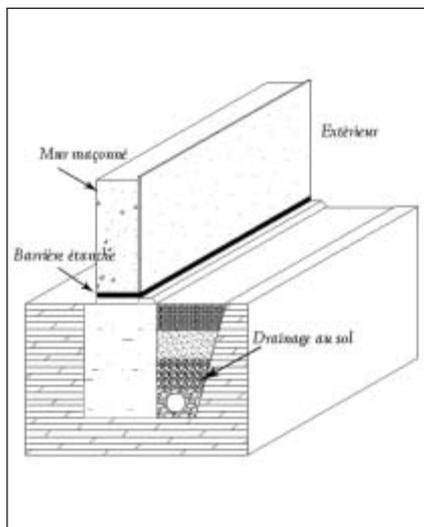


Schéma de principe de protection contre l'humidité.

d'une barrière étanche destinée à empêcher l'humidité du sol de pénétrer dans la construction, lorsqu'un vide sanitaire ventilé ne peut être mis en œuvre ou ne suffit pas. On la réalise à l'aide d'une étanchéité souple posée à chaud ou à froid ou rigide, l'étanchéité souple devant être protégée par une couche de protection mécanique pour éviter sa perforation.

- contre les remontées capillaires dans les murs en superstructure, par interposition dans les murs d'une couche de ciment hydrofuge ou d'un film étanche.

Etanchéité souple coulée à chaud

Une étanchéité ne se pose que sur une surface lisse (granulométrie n'excédant pas 3 mm), ce qui peut nécessiter l'application préalable d'un enduit, généralement de ciment.

Bitumes et goudrons

Les étanchéités souples sont réalisées à partir de lés à base de bitume, sous-produit du raffinage du pétrole, auquel il peut être adjoint un élastomère ou des lés en matières synthétiques.

Dans les bâtiments existants, on trouve des étanchéités réalisées à partir de goudron ou brai de houille, issu de la carbochimie.

Le bitume se pose à chaud, ce qui nécessite un apport important d'énergie. Lors de la pose, la chaleur et les émissions dans l'air rendent le travail pénible.

Complexes à base d'asphalte

Composés d'une feuille sur laquelle on coule une couche d'asphalte pure de 8 mm et une couche d'épaisseur double d'asphalte sablé. Sur les parties verticales, on coule aussi une couche d'asphalte, puis on soude au chalumeau un bitume armé.

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
ÉTANCHÉITÉ SOUPLE COULÉE À CHAUD	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Le bitume est un sous-produit du raffinage du pétrole dont les usages sont inférieurs à la disponibilité. Le sable n'est pas une ressource rare. • Le goudron issu de la carbochimie n'est plus utilisé dans le bâtiment.
	Mise en œuvre	Certains mélanges de goudron et de bitume contiennent des quantités importantes d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) dont la plupart sont réputés cancérigènes et qui font du mélange une substance dangereuse, ce que n'est pas en principe le bitume seul.
	Vie en œuvre	Un défaut d'étanchéité peut compromettre la durabilité des bâtiments et le confort et la santé de leurs occupants
	Fin de vie	Les déchets de bitume sont incinérables et ne sont pas considérés comme dangereux (décret du 18 avril 2002 sur la classification des déchets). En revanche les goudrons et mélanges de bitume et de goudrons, présents dans les déchets de déconstruction, sont des DIS et doivent être éliminés dans des installations agréées.

Lés à base de bitume

Composites industriels d'environ 1 m de large soudés à chaud, comprenant une couche de protection sur chaque face dont l'une est sablée pour une meilleure adhérence.

Étanchéités souples posées à froid

Films plastiques

Plus élastiques, ils peuvent être posés à froid et sur une surface humide. Les films polyanes sont des produits fragiles que l'on utilise si possible sans joint.

Enjeux environnementaux

Plus coûteuses que les étanchéités à chaud, les étanchéités à froid ont une bonne durabilité et présentent l'avantage d'éviter les risques de brûlure des poseurs.

Étanchéités rigides

Les étanchéités rigides sont des mortiers imperméables appliqués en deux ou trois couches de 30 à 40 mm sur les surfaces horizontales et de 20 à 30 mm sur les surfaces verticales.

Ils sont imperméables par leur composition : particules très fines (bentonite, kaolin, chaux grasse), produits gonflants (stéarates, oléates, acétates) ou additifs entraîneurs d'air qui diminuent la porosité.

Les étanchéités doivent être complétées par un drainage constitué de plaques rigides ou d'un drain sur lit de cailloux, de gravier et de sable.

Dispositifs contre les remontées capillaires

Ces dispositifs diffèrent surtout par le moment où l'on peut les mettre en place. Pour les **bâtiments neufs**, la meilleure solution est de réaliser une barrière étanche au niveau des murs et/ou des planchers. Dans les **bâtiments anciens**, cette barrière était souvent faite de plaques d'ardoises. On utilisait aussi des parties de murs faites de matériaux non poreux comme les silex : les joints larges et nécessairement plus poreux laissaient l'eau descendre par gravité et il n'y avait pas de risques de remontées capillaires.

Dans les **bâtiments neufs**, lorsque les semelles de fondation et, parfois, le plancher inférieur de la construction reposent sur un terrain humide, il faut aménager une rupture de capillarité sur le fond de fouille : vide sanitaire, lit de cailloux et film plastique.

Ensuite, cette question ne se pose que pour les murs maçonnés de petits éléments qui doivent être protégés des remontées d'eau (norme NF P 10 202-1). Cette protection

peut se faire par un chaînage réalisé à l'air libre et à 5 cm au moins du sol, en béton armé disposé au niveau du plancher du RdC ou de la dalle sur toute l'épaisseur du mur. Pour ces murs, on peut aussi réaliser une coupure de capillarité disposée à 15 cm au moins du sol fini, écran imperméable fait d'un enduit au mortier de ciment avec hydrofuge ou d'une chape de bitume armée (produit proposé sous forme de bandes conditionnées en rouleaux) prise entre deux chapes de mortier de ciment.

Pour les **bâtiments existants**, les dispositifs ont tous pour effet de donner à l'eau le moyen de redescendre par gravité :

- des tubes en poterie disposés avec une pente descendante et enfoncés jusqu'à la moitié du mur;
- des procédés électriques créant un courant électrique s'opposant à la remontée capillaire.

Il existe aussi des solutions faites de plaques de métal qu'il est possible d'enfoncer mécaniquement à l'horizontale dans le mur.

L'effet de ce ceinturage métallique ou du procédé électrique sur l'état électromagné-

tique des locaux (présence et intensité des champs) n'est pas connu.



Mur dégradé par l'humidité



Traitement de l'humidité.

BARRIÈRES CONTRE LES TERMITES

Les termites progressent à travers la terre dans des galeries. Elles sont attirées par le bois et la cellulose. Elles craignent la lumière et construisent des galeries à l'aspect de cordonnets visibles pour relier à couvert, la terre et les parois contenant du bois ou de la cellulose. Pour lutter contre les termites, il faut couper tout chemin d'accès à ces galeries, enterrées ou non.

Les solutions utilisées sont :

- Des traitements chimiques des sols extérieurs par forage ou par tranchée à environ 40 cm du bâtiment;
- Un film polyéthylène de haute résistance

qui fait barrage à la progression des termites. Le film contient un agent termiticide, la perméthrine (pyréthrianoïde synthétique, très toxique pour les poissons mais peu toxique pour les mammifères : LD50⁽¹⁾ = 430 mg/kg de masse corporelle chez le rat) qui est fixé sur le polymère, ce qui permet d'utiliser des grains de polyéthylène avec termiticide pour combler les éventuelles traversées du film. En général, on le pose sous la totalité de la construction pour isoler du sol les fondations et les dalles. Cette solution est durable et sans danger pour les nappes d'eau.

BARRIÈRES CONTRE LES TERMITES	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication et mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Les produits recommandés sont d'origine végétale ou issus de la pétrochimie. Leur incidence sur l'épuisement de ressources non renouvelables est négligeable. • Comme tout insecticide, ces produits ne sont pas inoffensifs et leur mise en œuvre doit respecter les préconisations des fournisseurs.
Ve en œuvre et fin de vie	<ul style="list-style-type: none"> • Dans les zones à risque, la durabilité des bâtiments dépend de l'efficacité de la protection anti-termite. • Pour limiter le risque de pollution des sols et de la nappe phréatique, préférer les films imprégnés de perméthrine ou les traitements chimiques à base de pyréthrianoïdes (alpha-méthrine, cyperméthrine ou bifenthrine) aux organochlorés très persistants (de type endosulfan, interdit dans de nombreux pays) 	

Carte des arrêtés préfectoraux anti-termites de la Région Ile-de-France

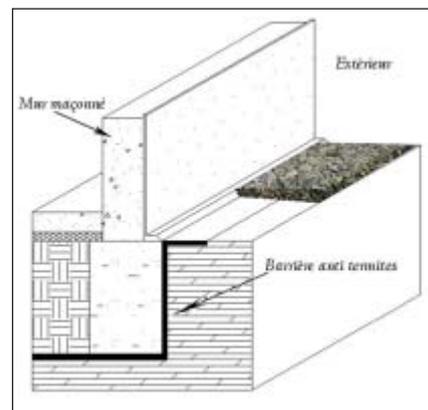
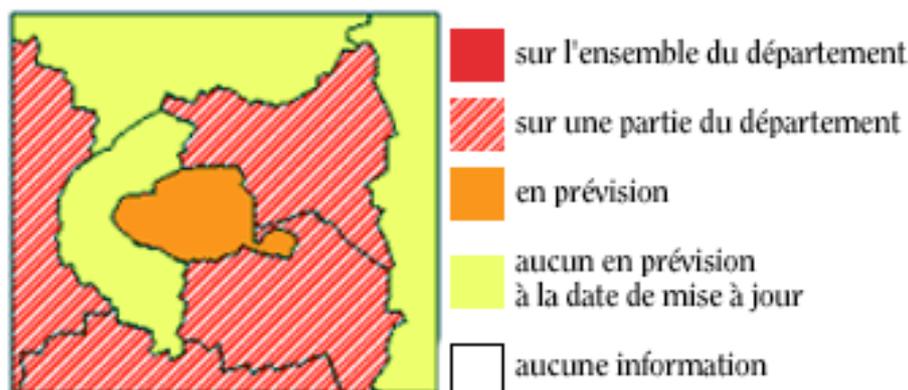


Schéma de principe d'une barrière contre les termites.

(source CTBA, <http://www.termite.com.fr>)

BARRIÈRES CONTRE LES REMONTÉES DE RADON

Le radon est un gaz lourd naturel radioactif qui remonte par les failles du sol dans les régions granitiques ou schisteuses fracturées. C'est un produit de décomposition du radium qui peut pénétrer par tous les orifices du plancher bas. L'IPSN⁽²⁾ a établi une carte de France des concentrations moyennes de radon. Ces valeurs sont indicatives, et dans les départements à valeur élevée un diagnostic s'impose, dans le neuf comme dans l'existant.

Mesures à prendre contre le radon

En cas de risque élevé, il faut faire un enregistrement sur 2 mois des quantités de radon dégagées par le sol. En cas de radon détecté, la meilleure solution consiste à étancher parfaitement le plancher bas (sans laisser aucun orifice) et à ventiler le vide sanitaire. Une bonne ventilation des locaux est la première des précautions à prendre en bâtiment existant.

Il faut ensuite soit poser une membrane étanche sur le sol, soit mettre en dépression le sous-sol ou le vide sanitaire par rapport au logement, soit mettre en surpression le logement (ventilation par soufflage d'air neuf).

Moyennes départementales des concentrations de radon dans les logements français



Enjeux environnementaux

L'IAARC classe le radon et ses produits de filiation dans le groupe 1 des substances cancérigènes pour l'homme, sur la base d'études épidémiologiques montrant une corrélation entre le niveau d'exposition au radon et le cancer du poumon, induit par leur radioactivité alpha, et sans doute par leur chimiotoxicité (dont celle du Polonium 240). Le risque est accru par la présence de poussières dans l'air inhalé. Ainsi il peut être multiplié par 16 pour un fumeur. La Communauté européenne recommande aux habitants des maisons où la concentration en radon dépasse 400 Bq/m³ de mettre en œuvre des actions correctives. Celles-ci s'imposent tout particulièrement au-delà de 1 000 Bq/m³. Les pouvoirs publics français, prenant en compte l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique, ont entériné le seuil d'alerte de 1 000 Bq/m³, mais retiennent comme objectif de précaution le seuil de 400 Bq/m³, valeur incitative pour les bâtiments existants. En ce qui concerne les bâtiments à construire et pour tenir compte du vieillissement des barrières d'étanchéité, c'est la valeur guide de 200 Bq/m³ qui a été retenue.

⁽¹⁾ LD50 : dose provoquant la mort de 50 % des individus d'une population test, ici des rats.

⁽²⁾ IPSN : Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire

POUR EN SAVOIR PLUS

- CIMBETON, 7, place de la Défense
92974 PARIS LA DEFENSE,
www.infociments.fr
- Syndicat des Bitumineux
42 av Marceau 75008 Paris
Tél. : 01 53 23 20 00 - Fax 01 47 20 90 30
- Termites : CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement),
10 av de St Mandé,
75012 Paris,
www.ctba.fr, www.termite.com.fr
- CERIB (Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton Manufacturé)
BP 59 - 28231 Epernon cedex
Tél. : 02 37 18 48 00 - Fax 02 37 83 67 39
www.cerib.com
- Radon : Ministère de l'Equipement :
www.equipement.gouv.fr,
Ministère de la Santé : www.sante.gouv.fr,
CSTB : www.cstb.fr

*Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth,
avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).*

*Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org*

L'ISOLATION THERMIQUE ET ACOUSTIQUE DES PAROIS EXTÉRIEURES

CE QU'IL FAUT SAVOIR

- ✓ **L'isolation thermique permet d'atteindre un niveau de confort hygrothermique satisfaisant en minimisant les consommations d'énergie.** Obligatoire dans les bâtiments neufs depuis le 1^{er} choc pétrolier, elle est soumise à la RT2000 (réglementation thermique 2000). Elle est réalisée par des éléments maçonnés épais à isolation répartie (brique alvéolaire, bloc de béton cellulaire) ou intégrée (blocs ou entrevous en polystyrène) ou par des matériaux isolants rapportés en plaques ou en rouleaux ou soufflés en remplissage de parois creuses.
- ✓ **L'isolation acoustique fait aussi l'objet d'une réglementation (NRA : nouvelle réglementation acoustique, NRA2000 pour les logements).** Combinée avec l'isolation thermique, elle protège des bruits extérieurs en minimisant la quantité de matière mise en œuvre. Son efficacité dépend de sa mise en œuvre. Elle ne suffit pas à obtenir le confort acoustique, qui dépend également de l'affaiblissement des bruits de choc transmis par les parois, de la transmission des bruits aériens issus de l'intérieur du bâtiment et de la correction acoustique (durée de réverbération) des locaux. Ces qualités sont obtenues par le traitement des parois intérieures et de leurs liaisons et ne sont pas traitées ici.

ISOLATION THERMIQUE

L'isolation thermique d'un bâtiment est obtenue par une résistance thermique satisfaisante des parois (murs et planchers) extérieures ou séparant les locaux chauffés des locaux non chauffés, et de leurs liaisons (ponts thermiques).

La résistance thermique R ($m^2.K/W$) d'une paroi d'épaisseur e (m) constituée d'un matériau de conductivité thermique λ ($W/m.K$) est donnée par la formule : $R = e / \lambda$.

Lorsqu'une paroi est composée de plusieurs couches de matériaux différents, sa résistance thermique est égale à la somme des résistances de chacune de ces couches.

La réglementation définit la conductivité thermique d'une paroi U ($m^2.K/W$) en ajoutant à R la résistance $1/h_i + 1/h_e$ due aux coefficients d'échange superficiels entre la paroi et l'air extérieur d'un côté, l'air ambiant de l'autre, coefficients qui dépendent du sens du flux de chaleur (horizontal ou vertical ascendant ou descendant) qui traverse la paroi.

Une résistance thermique satisfaisante des parois opaques¹ peut être obtenue :

- par des parois constituées d'éléments maçonnés à isolation répartie (brique à alvéoles multiples ou bloc de béton cellulaire) ou intégrée (blocs ou entrevous polystyrène ou blocs béton + polystyrène),

- par ajout d'un isolant qui limite les échanges de chaleur par conduction, dont la définition est normalisée ($\lambda < 0,065 W/m.K$ et $R > 0,5 m^2.K/W$) et les performances certifiées (label ACERMI).

La masse des parois située entre l'isolant et l'ambiance intérieure d'un bâtiment contribue à son inertie thermique. Cette inertie permet de limiter les surchauffes d'été en stockant la chaleur pour la restituer plus tard (cible confort hygrothermique), mais elle limite aussi l'efficacité de l'intermittence du chauffage pour les locaux à occupation non continue (cible gestion de l'énergie).

Sans entrer dans la catégorie normalisée des isolants thermiques, certains produits utili-

sés comme composant principal, voire unique, des parois à isolation répartie, permettent d'atteindre les performances thermiques réglementaires :

- Béton cellulaire autoclavé ($\lambda = 0,16$ à $0,33 W/m.K$) en mur, plancher ou toiture ;
- Plaques ou panneaux de fibres de bois agglomérées avec un liant hydraulique ;
- Briques creuses à alvéoles multiples de forte épaisseur, 30 à 42 cm (U de $0,32$ à $0,48 W/m^2.K$) ;
- Les granulats ligno-cellulosiques.

Tous ces produits sont accompagnés d'accessoires qui corrigent les ponts thermiques.

ISOLANTS THERMIQUE

On les classe en trois catégories :

1. Isolants d'origine minérale

- laine de verre (LDV), de roche (LDR) ou de laitier en vrac, en feutre ou en panneaux ($\lambda = 0,032$ à $0,050 W/m.K$),
- verre cellulaire ($\lambda = 0,042$ à $0,050 W/m.K$)
- vermiculite exfoliée ou perlite, en vrac ou en panneaux ($\lambda = 0,060$ à $0,190 W/m.K$)

2. Plastiques alvéolaires

- Polystyrène expansé (PSE : $\lambda = 0,034$ à

$0,045$) ou extrudé (PSX : $\lambda = 0,028$ à $0,030$) en panneaux ou polyuréthane en panneaux (PUR : $\lambda = 0,025$ à $0,035 W/m.K$)

- Polychlorure de vinyle (PVC : $\lambda = 0,031$ à $0,034 W/m.K$) ou poly-isocyanurate ($\lambda = 0,030$ à $0,045$)

3. Isolants d'origine végétale

- Liège expansé pur en panneaux ou en vrac ($\lambda = 0,045 W/m.K$)
- Cellulose en fibres ou en panneaux (à

base de papier recyclé) ($\lambda = 0,040$ à $0,060$ W/m.K)

- Fibre de bois avec liant à base de magnésie, plâtre ou ciment ($\lambda = 0,060$ à $0,067$ W/m.K)
- Bois feutré en panneaux bruts ou bituminés ($\lambda = 0,060$ à $0,067$ W/m.K)
- Fibres de coco en panneaux ou feutres ($\lambda = 0,047$ W/m.K)
- Laines de chanvre ou de lin en vrac ou en rouleaux ($\lambda = 0,064$ à $0,072$ W/m.K)
- Laine de coton ($\lambda = 0,040$ W/m.K)

EMPLOI DES PRODUITS ISOLANTS

Isolation acoustique

Les isolants fibreux (notamment les laines minérales) "élastiques" ont de bonnes performances acoustiques. En revanche, les matériaux légers et rigides (plastiques alvéolaires) réduisent en général la performance acoustique des parois, sauf certains panneaux de polystyrène "élastifiés".

Comportement au feu

Le classement au feu (A à G) permet de choisir un matériau en fonction de sa masse combustible et des fumées ou des gouttes brûlantes qu'il peut générer lors d'un incendie. Mis en œuvre dans une paroi, il contribue à sa tenue au feu, exprimée en heures (1/2, 1, 2, 3 h) : stable au feu SF, pare-flammes PF ou coupe-feu CF.

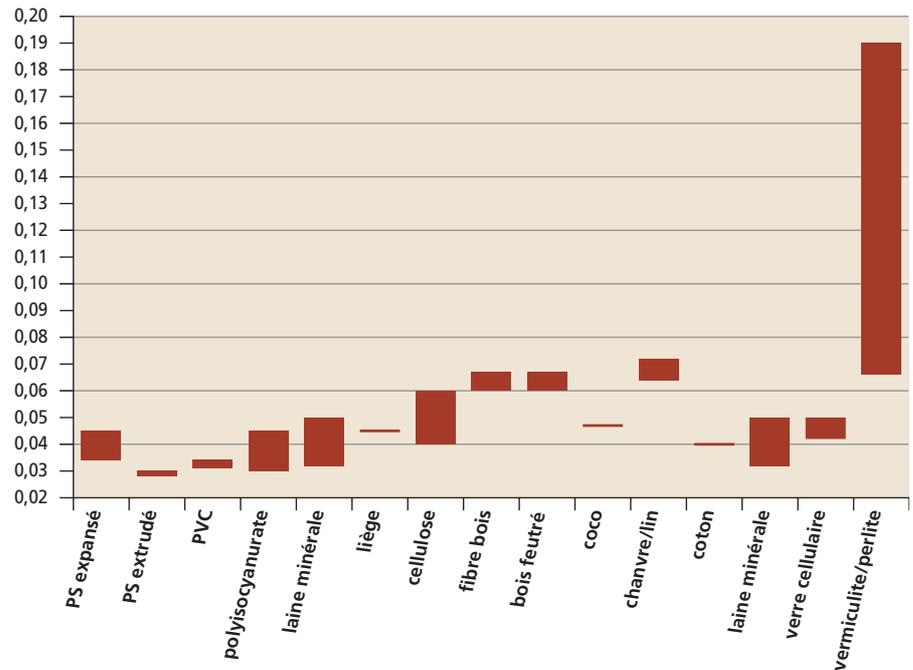
Les matériaux d'origine minérale ont un très bon, voire excellent comportement au feu. Les matériaux d'origine végétale, en dehors du liège, sont très combustibles et nécessitent un traitement ignifuge. Les matériaux organiques sont tous combustibles et dégagent des gaz nocifs en cas d'incendie, mais mis en œuvre en isolation intérieure, ils sont généralement doublés d'une plaque de plâtre qui assure une protection satisfaisante contre le feu.

Maîtrise de l'humidité

Dans les bâtiments, la vapeur d'eau produite par les occupants (respiration, cuisson, etc.) peut se condenser à la surface ou dans la masse des parois. Ces deux phénomènes sont à éviter absolument car ils peuvent entraîner des désordres importants des parois et de graves problèmes de confort et de santé des occupants.

L'isolation des parois contribue à élever la température de la face interne des parois à une valeur voisine de celle de l'air intérieur. C'est un des moyens permettant d'éviter la condensation, l'autre, tout aussi essentiel, étant la ventilation.

Conductivité thermique (W/m.K)



Lorsqu'elle n'est pas stoppée par une membrane imperméable (pare vapeur), la vapeur transite à travers les parois et peut se condenser à l'intérieur lorsqu'elle atteint un point à une température inférieure au point de rosée ou lorsqu'elle traverse un matériau poreux saturé. C'est lorsque cette eau ne peut s'évacuer et stagne dans la paroi qu'il peut y avoir des désordres. Deux techniques permettent de les éviter :

- empêcher l'eau de rentrer dans la paroi : c'est le rôle du pare vapeur généralement associé à un isolant fibreux, qui doit toujours être placé du côté intérieur du local,
- faciliter l'évacuation vers l'extérieur de l'eau présente dans la paroi en évitant de faire obstacle à sa progression.

Les paramètres liés à ce phénomène sont :

- pour une paroi, la perméance à la vapeur ou son inverse, la résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ (sans unité) : un μ faible traduit une migration rapide de la vapeur d'eau à travers la paroi ;
- pour un matériau poreux, le coefficient d'absorption d'eau en $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$, la capillarité ou le taux de saturation en %.

La présence d'eau diminue la performance thermique d'un isolant. Les plastiques alvéolaires à cellules fermées sont imperméables à l'eau et à la vapeur d'eau, ce qui n'est pas le cas des laines minérales, qui doivent impérativement être protégées par un pare vapeur, généralement incorporé au produit.

Résistance aux attaques biologiques

- Les isolants sont plus ou moins vulnérables aux dégradations d'origine biologique :

- Galeries de rongeurs ou de ténébrions (en secteur rural) dans les polystyrènes expansés ;
- Nids de rongeurs tassant les isolants fibreux et conduisant à une perte de performance
- Consommation par les rongeurs et les insectes des isolants d'origine végétale
- Développement de moisissures et de champignons dans les isolants d'origine végétale.

Pour s'en prémunir, les isolants sont traités par imprégnation de produits chimiques plus ou moins nocifs pour l'homme et l'environnement.

Durabilité

Les qualités d'un isolant se maintiendront dans le temps s'il est correctement mis en œuvre, convenablement protégé des agressions (eau, insectes, rongeurs, moisissures), et s'il réagit correctement aux agressions inévitables par ses qualités de :

- tenue mécanique : résistance à la compression ou au tassement
- stabilité dimensionnelle : retrait ou gonflement naturel ou provoqué par des variations d'humidité ou de température,
- résistance aux attaques biologiques.

A cet égard, les isolants minéraux et plastiques certifiés ont une garantie de durabilité que n'ont pas pour le moment les isolants d'origine végétale.

Une isolation par l'extérieur prolonge la vie du bâtiment en protégeant sa structure des chocs thermiques, avec en outre un revêtement durable et d'un entretien réduit (bardage ou vêtue auto-lavable).

Environnement extérieur**Consommation de ressources naturelles / Gestion de l'énergie**

La consommation d'énergie pour le chauffage est en général, et de loin, la principale cause d'impact du cycle de vie d'un bâtiment sur l'environnement extérieur, en termes de consommation de ressources non renouvelables, d'émission de gaz à effet de serre, de production de déchets ultimes, etc. La principale contribution d'un isolant thermique à la qualité environnementale d'un bâtiment est donc avant tout l'économie d'énergie qu'il permet. Pour peu qu'il soit durable et correctement mis en œuvre, cette économie est bien supérieure à l'énergie nécessaire à sa fabrication, qui ne représente par exemple pour une laine minérale que quelques pour mille de l'énergie économisée au cours de sa vie en œuvre.

Réduction des déchets :

Les principaux produits sont potentiellement recyclables. La question qui se pose est celle des filières de recyclage.

Environnement intérieur

Les impacts sur l'environnement intérieur sont analysés au travers des cibles de la HQE.

Confort hygrothermique, acoustique, visuel et olfactif

Ces cibles relèvent du métier de l'architecte : elles sont traitées dans sa formation initiale et ne sont pas abordées ici.

Santé (Qualité sanitaire de l'air et des espaces intérieurs)

Le risque pour la santé lié aux isolants minéraux fibreux a fait l'objet de controverses, qui ont conduit à des dispositions réglementaires de précaution, la directive européenne 97/69/CE et sa transposition en droit français, l'arrêté du 28 août 1997. Ces textes ont été rendus caducs fin 2002 par la décision de l'IARC (Institut de Recherches International sur le Cancer) de déclassifier l'ensemble des laines minérales de verre, de roche ou de laitier, désormais considérées comme non cancérogènes. Il n'en reste pas moins que les fibres minérales sont irritantes, et que les produits qui en contiennent doivent être manipulés lors de leur mise en œuvre avec des gants, un masque respiratoire et des lunettes de protection, conformément aux préconisations des fabricants.

Il en est de même pour les fibres de cellulose et pour les fibres végétales en général qui, ayant une biopersistance élevée (plusieurs

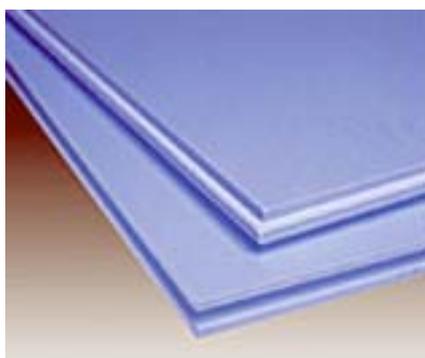
mois), sont soupçonnées d'être cancérogènes, mais pour lesquelles l'absence d'étude toxicologique ou épidémiologique ne permet pas de conclure pour l'instant. C'est pourquoi les mêmes précautions de mise en œuvre que pour les produits contenant des fibres minérales sont requises (gants, masque et lunettes) pour la manipulation de produits à base de fibres végétales.

Une fois en œuvre, les fibres minérales ou végétales sont susceptibles de provoquer, si elles sont inhalées, une gêne respiratoire ou

une réaction inflammatoire chez des personnes sensibles. En outre, les fibres végétales peuvent véhiculer des germes ou des moisissures allergisantes ou pathogènes. C'est pourquoi on veillera à éviter la présence de fibres, qu'elles soient minérales ou végétales, dans l'air ambiant des locaux normalement occupés, notamment en assurant un confinement des produits susceptibles d'en libérer (matelas ensachés, étanchéification des doublages intérieurs) et en évitant d'avoir à les manipuler une fois posées (dalles de faux plafond).

CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DES PRODUITS**Les plastiques alvéolaires**

Les plastiques alvéolaires sont moulés en panneaux ou suivant des formes adaptées à leur mise en œuvre.



Polystyrène extrudé

Les isolants minéraux

La perlite et la vermiculite sont utilisés pour les sols, les hydrosilicates de calcium pour les murs. En général, ce ne sont pas des isolants au sens de la norme, mais ils contribuent aux performances thermiques des

parois qu'ils composent.

Les laines minérales, de verre ou de roche sont fabriquées à partir de sable siliceux, de roche basaltique ou de laitier (résidu de fabrication de l'acier) fondu, filé en fibres liées ensuite par des résines organiques (jusqu'à 10% dans la laine de roche). Elles sont proposées en rouleaux, panneaux ou vrac qui peut être soufflé ou floqué. Ce sont des isolants thermo-acoustiques.



Laine de verre en rouleau

LES PLASTIQUES ALVÉOLAIRES	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de ressources non renouvelables (pétrole et gaz naturel). Les agents moussants sont souvent de puissants gaz à effet de serre.
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Pas de risque pour les travailleurs. Facilité et rapidité de mise en œuvre. Utilisation possible sur toutes les parois. Faible coût fourni - posé.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Doublage plâtre obligatoire en isolation intérieure pour limiter le risque d'émanations nocives en cas d'incendie. Durabilité non connue. Isolement acoustique satisfaisant avec les produits "élastifiés".
	Fin de vie	<ul style="list-style-type: none"> Déchet banal non biodégradable. Recyclage possible quand une technique viable de séparation avec le doublage plâtre aura été mise au point.

LES ISOLANTS MINÉRAUX	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Matières premières de base non renouvelables, mais disponibles en abondance. • Impacts sur le paysage (carrières). • Emissions locales de COV lors de la mise en œuvre des résines, et de fibres lors de la découpe des produits finis.
	Mise en œuvre	Risques d'irritation pour les poseurs (peau, voies respiratoires, yeux) dus aux fibres correctement maîtrisés si les préconisations de mise en œuvre des fabricants sont respectées.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Perméable à la vapeur d'eau : capacité d'isolation fortement diminuée par l'humidité. • Pare vapeur indispensable, généralement incorporé à l'isolant. • Précautions de pose à respecter (continuité du pare vapeur). • Pas de problème de santé des occupants à condition d'éviter la libération de fibres dans l'air ambiant des locaux normalement occupés.
	Fin de vie	Produit recyclable ou réutilisable, quand les filières seront en place.



Laine de verre en plaque



Liège-coco

Les isolants végétaux

Ils comprennent les celluloses, essentiellement, des matériaux à base de papier recyclé, de bois ou de liège, et des fibres végétales (principalement, le coco, le chanvre et le lin).

Le liège provient directement de l'écorce du chêne liège qui, après 30 ans, donne tous les 9 ans une écorce assez épaisse qui se décolle et peut être récoltée pendant 150 ans. Il est broyé, transformé en granules et chauffé à 300°C puis aggloméré avec sa colle naturelle (la subérine) ou des résines : les produits commercialisés peuvent comprendre des substances synthétiques dont des colles vinyliques.

La ouate de cellulose est produite à partir du recyclage de papiers ou de bois. Des additifs améliorent sa résistance au feu (sulfate d'ammonium, notamment) et sa résistance contre les attaques biologiques (sels de bore, réputés peu nocifs pour la santé humaine). Elle est utilisée en comble perdu (vrac) ou en doublage (panneaux). Pour les toits terrasses, on peut la mélanger avec de la perlite expansée et un liant bitumineux. Elles contiennent de 10 à 15% d'humidité et les panneaux présentent une certaine instabilité dimensionnelle.

Le bois feutré existe en panneaux bruts de 6 à 80 mm d'épaisseur ou en panneaux bituminés. Il peut être utilisé en sous-toiture, en doublage de murs, en semelle ou âme de cloison en bois, en isolant de chape flottante ou pour traiter un pont thermique ou acoustique.

Les laines de chanvre ou de lin sont hydrophiles et présentent un taux d'humidité d'environ

8%. Elles affichent de bonnes performances thermo-acoustiques ($\lambda < 0,04 \text{ W/m.K}$) mais qui n'ont pas encore fait l'objet de mesures

normalisées en France. Elles sont proposées en vrac ou en rouleaux, dont la tenue dans le temps n'est pas connue (tassements).

LE LIÈGE	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	Matière première de base renouvelable tous les 9 ans après une période initiale de 30 ans, pendant 150 ans.
	Mise en œuvre	Par collage (émissions éventuelles liées à la colle).
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de classement au feu du produit brut (les classements concernent des produits finis), mais le liège ne propage pas la flamme et est auto-extinguible. • Imputrescible et insensible aux insectes, huiles et carburants, il est très stable dans le temps. Il peut être utilisé sans traitement de surface, sauf comme revêtement de sol.
	Fin de vie	Produit recyclable, réutilisable ou incinérable (DIB).

LA OUATE DE CELLULOSE	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • À partir du recyclage de papiers ou de bois (75 à 85 % de produits recyclés). • Faible coût énergétique.
	Mise en œuvre	En vrac (combles perdus), en panneaux (doublages), ou en toiture terrasse, avec gants, masque et lunettes.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Faible stabilité dimensionnelle. • Craint l'humidité. • Éviter la libération de fibres dans l'air des locaux normalement occupés.
	Fin de vie	Produit biodégradable, recyclable, réutilisable ou incinérable (DIB).

LE BOIS FEUTRÉ	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	Fabriqué à partir de déchets de bois de scierie non traités, avec très peu d'énergie, sans eau, ni colle, ni additif
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Pose rapide, générant peu de chutes. • Ne pas inhaler (les poussières de bois sont cancérigènes).
	Vie en œuvre	Participe à la performance acoustique des parois.
	Fin de vie	Produit biodégradable, recyclable, réutilisable ou incinérable (DIB).

Préférer le défibrage mécanique au défibrage par trempage, qui favorise le développement de bactéries détruisant la cellulose.

Les autres fibres végétales peuvent provenir de déchets de production agricoles (lin, fanes de maïs, résidus de noix de coco, par exemple). Les produits à base de fibres végétales permettent de rentabiliser une production agricole et d'en traiter les déchets. Cependant, ces produits sont inflammables et sensibles aux champignons et, pour certains, aux insectes. Ils doivent notamment être traités avec des fongicides.

Fabriqués en petites quantités, ces produits sont encore souvent coûteux et affichent des

MATELAS DE FIBRES VÉGÉTALES (CHANVRE)	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	Matière première renouvelable obtenue à partir de cultures dédiées (chanvre, lin) ou de déchets agricoles (fanés de maïs, résidus de noix de coco).
	Mise en œuvre	En vrac ou en rouleaux, avec gants, masque et lunettes.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Inflammables et hygroscopiques. • Sensibles aux champignons et, pour certains, aux insectes. • Éviter la libération de fibres dans l'air des locaux normalement occupés.
Fin de vie	Produits biodégradables, recyclables, réutilisables ou incinérables (DIB).	

performances qui ne sont pas toujours issues de mesures normalisées et vérifiées. Pour la sécurité du maître d'ouvrage et du

maître d'œuvre, la garantie décennale reste une condition nécessaire d'emploi de ces produits.

POUR EN SAVOIR PLUS

La plupart des plastiques alvéolaires et des laines minérales sont fabriqués par de grandes entreprises. Pour obtenir leur liste et leur documentation, s'adresser à leurs syndicats :

- FILMM (Syndicat des Fabricants d'Isolants en Laines Minérales Manufacturées),
1 r. du Cardinal Mercier, 75009 Paris,
Tél. : 01 49 70 99 60 - Fax : 01 49 70 89 69

- SNPA (Syndicat National des Plastiques Alvéolaires),
15 av. du Recteur Poincaré, 75016 Paris,
Tél. : 01 45 20 42 68 - Fax : 01 42 24 59 00.

Pour les isolants d'origine végétale ou animale, s'adresser directement aux fabricants.

Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth, avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).

Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org



MENUISERIES ET VITRAGES EXTÉRIEURS

CE QU'IL FAUT SAVOIR

- ✓ **A la fois ouverture sur l'extérieur, source de lumière, de chaleur et de froid, point de fragilité vis-à-vis de l'acoustique ou de l'effraction et point fort de la composition architecturale de la façade, la baie doit satisfaire de nombreuses exigences : isolation thermique et acoustique, qualité de l'éclairage naturel, sécurité domestique et anti-effraction, confort d'été. Elle peut par ses qualités contribuer à réduire notablement les consommations d'énergie de chauffage et d'éclairage l'hiver, et améliorer le confort d'été par limitation des surchauffes (facteur solaire du vitrage, protections solaires et circulation d'air par ouverture des ouvrants).**
- ✓ **Les parois vitrées sont les parties les plus déperditives de l'enveloppe et leur qualité thermique est essentielle. Les vitrages clairs peu émissifs à faible facteur solaire et forte transmission lumineuse permettent d'envisager des gains de confort et des économies d'énergie très importantes dans l'habitat et surtout le tertiaire de bureaux (> 50 % par suppression de la climatisation et optimisation de l'éclairage et des consommations d'électricité spécifique).**

MENUISERIES

L'amélioration des performances des fenêtres a été marquée par l'évolution et la diversification des matériaux des menuiseries : bois massif ou lamellé collé, aluminium anodisé ou thermolaqué, PVC, polyuréthane, composites (bois-aluminium, PVC-acier,

etc.), alors que le renforcement des exigences thermiques réglementaires (RT2000) exclut certaines solutions thermiquement peu performantes (menuiseries acier ou aluminium sans rupteur thermique). Les profilés PVC ou aluminium ont par ailleurs évolué

vers des largeurs beaucoup plus minces et des solutions (dormants cachés) qui optimisent le facteur de clair (% de surface vitrée / taille de l'ouverture) afin de maximiser l'apport de lumière naturelle.

Enjeux environnementaux des menuiseries

Ces enjeux concernent les impacts liés aux matériaux utilisés (décrits dans les paragraphes suivants), et les performances de la fenêtre, qui concernent les cibles suivantes de la HQE :

- Isolation thermique, étanchéité à l'air : gestion de l'énergie, confort hygrothermique
- Durabilité, facilité d'entretien : gestion de l'entretien et de la maintenance
- Affaiblissement acoustique, étanchéité à l'air : confort acoustique
- Transmission lumineuse et facteur de clair : confort visuel

Bois

Le bois est le matériau traditionnel des fenêtres. Les menuiseries bois restent très utilisées, notamment en maison individuelle. 55% du marché est constitué de bois tropicaux. Leur intérêt est leur stabilité dimensionnelle et leur résistance à l'humidité : ils ne nécessitent pas de traitement, mais contribuent à la destruction irréversible des forêts tropicales primaires, réserves précieuses de biodiversité et ressource vitale des populations autochtones, s'ils ne sont pas certifiés issus d'une forêt gérée durablement (label FSC - Forest Stewardship Council - ou équivalent). La France est le second pays d'Europe pour l'importation

illégal de bois tropicaux, et quelques fabricants français commencent à proposer des menuiseries en bois tropicaux issus de forêts gérées durablement.

Les menuiseries en bois européens sont réputées de qualité moindre car leur faible dureté nécessite pour leur assurer une bonne stabilité dimensionnelle un temps de séchage rarement respecté pour des raisons de coût. Cet inconvénient disparaît avec les menuiseries en lamellé collé, disponibles aujourd'hui en chêne, hêtre ou châtaigner. Les bois européens doivent par ailleurs être protégés contre les attaques par les moisissures, champignons et insectes par trempage

ou imprégnation en autoclave de produits xyloprotecteurs, à moins de choisir des bois naturellement résistants (le chêne, le châtaigner, le mélèze ou le pin Douglas purgés d'aubier par exemple). Les traitements les plus efficaces sont réalisés en usine. Le label CTB-P+ du CTBA garantit des performances minimales et une relative innocuité. Il est inutile de surprotéger les bois avec des produits toxiques (tels que les complexes CCA) qui transforment les menuiseries en déchets dangereux coûteux à éliminer.

Aucun produit n'est pour l'instant réellement efficace contre les termites. Les peintures, lasures et vernis ne servent qu'à maintenir une certaine qualité d'aspect. Les fabricants com-



Menuiserie bois à double vitrage.

mencent à garantir la durabilité de leurs fenêtres en bois (10 à 15 ans maximum) à condition d'utiliser des peintures spécifiques, dont les caractéristiques permettent de diviser par 2 ou 3 la fréquence d'entretien, habituellement de l'ordre de 5 ans. L'évaluation de leurs caractéristiques environnementales reste à faire, en tenant compte de ce gain.

Les menuiseries en bois européen lamellé-collé (carrelets de chêne ou autre) sont une excellente solution pour assurer à moindre coût une bonne stabilité dimensionnelle. Ils permettent en effet d'utiliser des chutes de bois, peu coûteuses et mal valorisées autrement. C'est incontestablement la meilleure réponse au problème de préservation des réserves de biodiversité que constituent les forêts primaires, et un excellent débouché pour les bois européens.

Les enjeux environnementaux des produits de construction en bois sont traités au chapitre "cloisons".

PVC

Le polychlorure de vinyle est constitué pour plus de 50% d'un matériau d'origine minérale (le chlore, issu du sel marin fossile) disponible en quantités quasi inépuisable, et d'un hydrocarbure d'origine fossile, l'éthylène, obtenu par vapocraquage du pétrole raffiné et distillé, comme la plupart des matières plastiques.

Le PVC est blanc, mais peut incorporer des pigments qui présentent une bonne tenue au rayonnement solaire. Cependant, son coefficient de dilatation thermique est élevé et les couleurs bleues ou foncées sont à proscrire pour des menuiseries soumises à l'ensoleillement direct.

Le PVC est facile à entretenir, d'une grande durabilité et d'un bon rapport qualité-prix. Ses performances thermiques sont du même ordre que les menuiseries bois.

Les profilés en PVC peuvent être de forme cintrée ou ronde. Ils sont plus larges que leur équivalent en bois, mais des progrès récents dans leur conception (renforts en



Menuiserie PVC.

MENUISERIES EN PVC	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	La fabrication des profilés en PVC met en jeu des additifs dont la nocivité pour l'homme et l'environnement est avérée (sels de plomb et de cadmium) ou soupçonnée (phtalates). Les fabricants se sont engagés à substituer ces additifs de façon programmée, dans une démarche d'amélioration dont l'exemplarité mérite d'être soulignée (engagement volontaire de l'ECVM, l'industrie européenne du PVC pour le développement durable).
	Mise en œuvre	Les fenêtres sont fabriquées en atelier et généralement livrées sur le chantier équipées de leurs vitrages. Le poids élevé de ces vitrages et des renforts en acier incorporés dans les profilés au-delà d'une certaine taille de fenêtre nécessite des engins de levage pour leur manutention.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Le PVC est un bon isolant thermique et acoustique. Il est résistant à l'eau, au gel, aux UV, aux produits d'entretien et facile à entretenir. Son coefficient de dilatation thermique important peut être source de désordres et de vieillissement prématuré s'il est teinté avec une couleur absorbant la lumière solaire (sombre ou bleue) et exposé au soleil direct. En cas d'incendie, les risques d'émanation de chlore sont limités, mais justifient l'application d'un texte réglementaire qui limite l'emploi de certains produits contenant du PVC dans les établissements recevant du public (arrêté du 4 novembre 75). Les menuiseries satisfont à ces exigences.
Fin de vie	Le PVC est un matériau dont la filière de recyclage s'organise. Certains produits (menuiseries co-extrudées) incorporent d'ores et déjà du PVC recyclé, et leur usage est à encourager, même si l'emploi de PVC recyclé est actuellement limité par la quantité de PVC récupéré sur les chantiers de démolition ou de rénovation. L'impact sur l'environnement et le coût de ce recyclage sont en effet moins élevés que ceux de l'élimination du PVC par incinération, qui : <ol style="list-style-type: none"> 1/ nécessite une neutralisation de l'acide chlorhydrique contenu dans les fumées coûteuse et pas encore généralisée (la mise aux normes des incinérateurs n'est pas terminée), 2/ gaspille une matière première secondaire utile et en partie non renouvelable (le pétrole) si la chaleur dégagée n'est pas réutilisée. 	

acier, dormants cachés) permettent de réduire cette largeur.

Il existe des profilés en PVC expansé qui ont une isolation thermique améliorées. Cette technologie est aussi utilisée pour les appuis de fenêtre. Il est aussi possible d'ajouter au PVC expansé des fibres de verre pour augmenter ses performances mécaniques

Aluminium

L'aluminium est l'élément métallique le plus répandu dans l'écorce terrestre (8% en Al, 15% en alumine) principalement sous forme d'argiles et de schistes (silico-aluminates). Cependant, son obtention par électrolyse de l'alumine issue des bauxites (en Europe, faibles réserves) ou des latérites bauxitiques (pays tropicaux, réserves importantes) consomme encore de grandes quantités d'électricité (13 kWh/kg), malgré d'importants progrès.

A l'état pur, l'aluminium ne possède pas

de bonnes propriétés mécaniques mais, comme pour l'acier, différents traitements thermiques et mécaniques permettent de les améliorer. L'addition de petites quantités de silicium, de zinc, de cuivre, etc. permet d'obtenir des alliages d'aluminium qui ont alors des propriétés comparables voire supérieures à celles des aciers.

Il est résistant aux variations de température et à la corrosion. Ses principales qualités sont sa légèreté, sa malléabilité et sa résistance aux intempéries et aux chocs (renforcement de la sécurité).

Pour satisfaire aux exigences de la nouvelle réglementation thermique, tous les profilés en aluminium sont désormais pourvus d'une "coupure thermique" qui leur procure une isolation thermique acceptable (qui dépend du type de coupure thermique) et permet en outre d'éviter tout problème de condensation.

MENUISERIES EN ALUMINIUM	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> La fabrication de l'aluminium de 1^{ère} fusion (issu du minerai) consomme une grande quantité d'électricité (13 kWh/kg) pour l'électrolyse de l'alumine. La fabrication de l'aluminium de 2^{ème} fusion (issu du recyclage) ne consomme en revanche que 5% de cette énergie. Les demi-produits profilés et laminés utilisés dans le bâtiment sont composés de 50 à 80% d'aluminium de 2^{ème} fusion. Le traitement du minerai produit de grandes quantités de boues rouges qui peuvent polluer les rivières et les rivages marins dans les pays de la bande inter-tropicale : Australie, Guinée, Jamaïque, Brésil, Chine, Inde, Vénézuéla. L'électrolyse de l'alumine dégage en outre de l'acide fluorhydrique (0,7 kg de fluor/t d'Al produite en 1996 à l'usine Péchiney de Dunkerque). Le transport et la fabrication des menuiseries en aluminium consomment peu d'énergie.
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Les menuiseries en aluminium de grande taille sont plus légères et donc plus maniables que leur équivalent en PVC renforcé. Pour éviter les défauts d'aspect, l'aluminium anodisé doit être protégé contre les rayures et les projections de béton ou de crépi.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Un peu plus cher que le bois ou le PVC, l'aluminium est très solide, résistant, stable, léger et facile à entretenir, mais difficile à réparer. L'aluminium a une conductivité thermique très élevée qui nécessite certaines précautions dans le choix des couleurs en fonction de l'exposition au soleil. Les profilés utilisés aujourd'hui sont à "coupure thermique" qui permet d'obtenir un $U_{men} = 3,0$ à $5,0$ W/m².K et un $U_{fen} < 2,4$ W/m².K, valeur conforme à la nouvelle réglementation thermique, que n'atteignent pas les anciens profilés sans coupure thermique. La largeur des profilés est généralement supérieure à celle des menuiseries en bois et comparable à celle des menuiseries en PVC. Une pose à "dormant caché" permet de limiter cette largeur.
	Fin de vie	En 1996, l'aluminium utilisé dans le bâtiment était recyclé à 85%.

L'aluminium est totalement et indéfiniment recyclable. Le recyclage assure près de 40% des besoins en Europe. Il ne consomme que 5% de l'énergie nécessaire à la production d'aluminium à partir de l'alumine et permet de réaliser des économies de minerai et de coûts d'élimination. L'aluminium recyclé possède les mêmes caractéristiques que le métal primaire.

La création d'une large gamme de couleurs s'est développée notamment grâce au



Menuiserie aluminium.

Les enjeux environnementaux de l'acier sont traités dans le chapitre Ossatures.

thermolaquage. La coupure thermique imposée par la réglementation thermique permet en outre d'avoir pour un même profilé une couleur extérieure différente de la couleur intérieure. Cependant, les couleurs bleues ou foncées sont à éviter pour les menuiseries soumises à l'ensoleillement direct en raison des températures très élevées atteintes par les profilés sous l'effet du soleil, qui conduisent à un vieillissement accéléré des joints d'étanchéité et à un risque de brûlure pour les menuiseries accessibles de l'extérieur.

Les menuiseries en aluminium sont celles qui ont la meilleure performance mécanique : à partir d'une certaine taille de vitrage (dépendant de la masse du vitrage, c'est-à-dire essentiellement de l'épaisseur des vitres), elles sont la seule solution possible.

Acier

Les menuiseries en acier à base de profilés pliés sont appréciées principalement pour leurs performances esthétiques (finesse de ligne) et leur solidité. Il est aussi intéressant d'employer ces profils pour réaliser des ouvrages soumis à des agressions ou des chocs. C'est le cas, par exemple, de portes de rez-de-chaussée, de vitrines, etc. Certains ouvrages, où le critère sécurité est recherché, peuvent être anti-vandalisme, pare-balles, pare-flammes (en protection incendie, on utilise de l'acier monté sur une âme isolante et ininflammable), etc. Le marché le plus important dans ce secteur est donc celui des portes d'immeubles, des devantures de magasins, etc. Pour les fenêtres, les murs rideaux, les verrières, il existe des produits ayant une coupure thermique. Les ouvrages de haut de gamme sont en acier inoxydable.

Composites avec fibres de verre

Les menuiseries en polyester armé de fibres de verre (70% fibres de verre + 30% résine polyester) sont récentes. Elles sont performantes du point de vue isolation thermique, acoustique et surface de clair : 85% de la surface totale de la baie contre 70% pour la fenêtre bois et 80% pour la fenêtre en aluminium. La fabrication des profilés s'effectue par pultrusion (tirage à travers une filière chauffée de renforts imprégnés de résine). Ils peuvent supporter des doubles vitrages ayant jusqu'à 45 mm d'épaisseur. Des tissus de verre sont incorporés sur les parements des profilés, ce qui contribue à l'amélioration de leurs performances mécaniques. Les menuiseries sont soit teintées dans la masse, soit peintes, soit revêtues d'un film acrylique. Les enjeux environnementaux n'ont pas été évalués ici.



Menuiserie bois - aluminium.

Menuiseries mixtes

Elles constituent l'un des domaines où les menuiseries connaissent le plus fort développement :

- fenêtre en aluminium extérieur et PVC intérieur.
- fenêtres en aluminium et polyuréthane : profilés tubulaires en aluminium remplis

de mousse polyuréthane ou profilés de mousse polyuréthane à noyau raidisseur en aluminium extrudé

- fenêtre en aluminium thermolaqué extérieur et bois intérieur. Ces fenêtres utilisent un maximum de bois tout en profitant de la protection de l'aluminium qui permet d'éviter la protection du bois par

produits chimiques ou l'utilisation de bois tropicaux. C'est une fenêtre qui ne demande pratiquement pas d'entretien, utilise des produits recyclables et permet d'obtenir des menuiseries aussi performantes thermiquement que le PVC ou le bois.

VITRAGES

Vitrages en verre

Le verre à vitres est fabriqué par fusion de sable très pur (> 99% de silice), de carbonate de sodium, de dolomie, de calcaire et de calcin (verre broyé), fondus dans un four à 1400°C, et flottation sur un bain d'étain fondu (float) dans des usines à très grande capacité (il y a en Europe de l'Ouest 39 floats qui produisent 4,6 Mt/an). Une fois refroidi, le verre brut peut recevoir sur une face un dépôt mince d'oxyde métallique afin de diminuer son émissivité infrarouge et d'améliorer ainsi son isolation thermique et diminuer son facteur solaire. Découpé en panneaux de 6 m x 3,20 m, il est transporté puis découpé aux dimensions finales pour être assemblé en doubles vitrages (une vitre standard et une vitre à couche non émissive) emprisonnant une lame d'air isolante de 8 à 16 mm.

Le verre est très dense (masse volumique 2500 kg/m³), a une résistance à la compression très élevée (1000 MPa), mais une résistance à la traction beaucoup plus faible (40 MPa, 120 à 200 pour le verre trempé). Parfaitement élastique (déformation permanente nulle), il est fragile (casse sans prévenir si soumis à une contrainte trop forte), il est quasiment indéformable à froid (module d'Young 70 GPa et coefficient de Poisson 0,22). Il est à peu près insensible aux produits chimiques, à l'exception de l'acide fluorhydrique, du fluosilicate et des composés alcalins comme les mortiers de ciment et de chaux (longue exposition nécessaire).

Vitrages isolants : après avoir permis de réduire les déperditions dues au vitrage, ils visent maintenant à répondre aussi bien aux exigences de confort d'été que d'hiver avec :

- doubles ou triples vitrages avec augmentation des lames d'air jusqu'à 16 à 20 mm ;
- lames d'air remplacées par un gaz inerte (principalement l'argon, mais aussi le krypton), solution nécessitant une parfaite étanchéité des joints pour garantir la performance dans le temps en évitant les fuites de gaz (couche d'émissivité en = 0,06 et lame d'argon 14 mm : Uvit = 1,3 W/m².K)



Double-vitrage standard ou renforcé.

- diminution des échanges de chaleur par rayonnement par dépôt d'une couche à faible émissivité infrarouge sur la face interne à la lame d'air d'un des vitrages. Il s'agit d'un dépôt métallique appliqué lors du coulage du verre par pulvérisation cathodique, vaporisation thermique sous vide ou pyrolyse. Ces couches réfléchissantes peuvent être appliquées sur des verres teintés dans la masse et ou trempés, qui permettent de fabriquer des doubles vitrages de performances Uvit = 1,5 à 2,3 W/m².K selon la nature de la couche, ce qui représente un gain de 25 à 50% sur un double vitrage ordinaire.
- maîtrise des transferts d'énergie solaire et des performances optiques des parois vitrées. Une lame de vide associée à un double vitrage à faible émissivité devrait permettre d'atteindre des coefficients K inférieurs à 1 W/m².K ;
- utilisation de matériaux à changement d'état, en particulier du gel de silice (aérogel) qui permet d'atteindre environ 0,6 W/m².K (ce matériau est maintenant produit sous forme de plaque d'environ 30 cm de côté). Un fabricant allemand le propose pour des fenêtres ;
- augmentation des épaisseurs de vitrages et utilisation de verres d'épaisseurs diffé-

rentes pour assurer également le confort acoustique (ex : 4-6-10 = 35 dB(A)) ; une autre technique pour améliorer les performances acoustiques consiste à assembler un verre feuilleté à résine souple et une glace ordinaire dans un vitrage isolant (42 dB(A)) ;

- vitrage dont les deux feuilles sont séparées par un "gaz acoustique" très efficace contre les bruits de haute fréquence (par ex : scieries, sirènes, freinage des trains, etc.) mais qui ne protège pas plus contre les bruits de basse fréquence (par ex. circulation) ;
- pose d'un film polyester à faible émissivité pour améliorer encore les performances en matière de protection solaire ;
- mise au point d'une couche réfléchissante pratiquement invisible afin de laisser pénétrer un maximum de lumière.

L'amélioration de la durabilité des doubles vitrages et des fenêtres passe aussi par une évolution des étanchéités incorporées :

- modifications de formes des espaceurs rigides ou organiques,
- utilisation de produits d'étanchéité mastic (butyles, polysulfures, polyuréthanes, silicones) formant une double barrière et résistant aux UV.

Vitrages pare-flammes répondent aux exigences en de sécurité incendie.

Vitrages feuilletés permettent de répondre aux performances de résistance aux chocs (effraction, chutes) imposées dans certains types de bâtiment.



Verre feuilleté après un impact.

© Miroiterie Cambon

Vitrages chauffants incorporent un film métallique chauffé électriquement par effet Joule pour améliorer le confort thermique dans les salles de bain au détriment des économies d'énergie.

Vitrages en matériaux de synthèse

Les vitrages en matériaux de synthèse peuvent présenter une très bonne résistance aux chocs et au vandalisme. Ils sont utilisés dans la constitution de garde-corps ou de portes d'immeubles collectifs. Certains fabricants proposent des vitrages armés en polyester (2 couches + grille de métal déployé). Les vitrages en polycarbonate s'emploient beaucoup pour la couverture de vérandas, de salles de sport et pour la constitution de très grands lanterneaux, etc. Ils ont pour avantage un poids très faible et ils présentent moins de risques de casse que le verre. En revanche, ils sont très bruyants sous la pluie. Les matériaux utilisés sont :

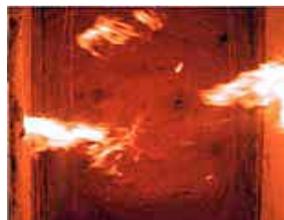
PMMA (Polyméthacrylate de méthyle :

- double vitrage 16 mm U = 2,9 W/m².K ;
- triple vitrage 22 mm U = 1,9 W/m².K.).

Des plaques sont obtenues par coulage entre deux plaques de verre ou par extrusion en continu. Leur comportement dans le temps est bon, leur coefficient de transmission lumineuse élevé, mais leur comportement au feu reste médiocre.

PC : obtenues par extrusion, les plaques de **polycarbonate** (double vitrage 10 mm U = 3,2 W/m².K ; triple vitrage 16 mm U = 2,6 W/m².K) sont très résistantes aux chocs et peuvent se cintrer facilement.

Plaques de **PVC** ou de **polypropylène**, translucides, incolores ou colorées. Permettent d'obtenir à la fois de bonnes performances de transmission lumineuse, une isolation ther-



Essais au feu de vitrages.

© Saint-Gobain

VITRAGES EN VERRE MINÉRAL	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Le principal constituant du verre minéral (72%), la silice, est l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre, et l'un des plus faciles à extraire (le sable en est constitué à plus de 95%). Les autres constituants principaux ne sont pas rares (carbonate de sodium, dolomie, calcaire). • Les verreries émettent des poussières, du CO₂, des SO_x et des NO_x, et consomment de l'énergie fossile (principalement gaz naturel).
	Mise en œuvre	Le poids des doubles vitrages (montés en usine) nécessite des engins de manutention.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Les vitrages sont des produits irremplaçables qui ont fait des progrès considérables en matière d'isolation thermique, de transmission lumineuse, de facteur solaire, d'esthétique et de sécurité. • Les émissions et consommations évitées par le remplacement d'un simple vitrage par un double vitrage peu émissif dans un bâtiment pendant sa durée de vie typique (30 ans) sont supérieures à celles générées par sa fabrication (d'un facteur 10 pour l'énergie). • 60% des logements de l'Union Européenne sont équipés de simples vitrages. Leur remplacement par des doubles vitrages peu émissifs permettrait d'éviter le rejet de 80 Millions de tonnes/an de CO₂ (chauffage en climat froid et climatisation en climat chaud).
Fin de vie	Les vitrages ne sont pas recyclés et sont considérés comme des déchets banals.	

mique, une résistance aux chocs et une grande légèreté. Les performances mécaniques de ces panneaux dépendent de l'épaisseur des parois et de la structuration interne des alvéoles. Des agents de protection peuvent être incorporés pour assurer une meilleure durabilité notamment vis-à-vis des UV. La tenue dans le temps est l'un des critères les

plus importants pour cette catégorie de matériaux, de même que leur comportement en cas d'incendie. Ils doivent être posés en l'évacuation de l'eau de condensation présente dans les alvéoles. L'assemblage doit être réalisé avec grand soin pour assurer, d'une part, l'étanchéité à l'eau des parois et d'autre part permettre la dilatation thermique des

VITRAGES EN MATÉRIAUX DE SYNTHÈSE	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	Les matériaux de synthèse utilisent pour leur fabrication des ressources non renouvelables (dérivés du pétrole) à des fins non énergétiques.
	Mise en œuvre	Très légers, ils sont faciles à poser et nécessitent peu de main-d'œuvre.
	Vie en œuvre	Très résistants aux chocs, ils craignent la chaleur (classement feu de M1 à M4) et ont des performances acoustiques médiocres (bruit de la pluie et de la grêle).
Fin de vie	Les vitrages en matériaux de synthèse sont considérés comme des DIB. Ils peuvent être valorisés en fin de vie (incinération avec récupération d'énergie).	

panneaux. Sur le plan qualité, des fabricants disposent de procédés sous Avis Techniques. Des garanties décennales sont données à de nombreux produits (résistance aux intempéries, résistance mécanique, vieillissement). La garantie pour la résistance à la grêle est, le plus souvent, de 5 ans (cela n'exclut pas des problèmes pour des chutes de grêle exceptionnelles). Les classements de réaction au feu varient, selon les matériaux de M1 à M4.

Blocs baies

Les blocs-baies sont des composants prêts à poser qui intègrent plusieurs produits (au minimum une fenêtre et une fermeture) de façon à réduire les interventions sur chantier en apportant en même temps plusieurs fonctions. Généralement lourds, les blocs-baies nécessitent un engin pour leur mise en œuvre. Ils sont accompagnés de précadres qui permettent d'intégrer l'isolation par l'extérieur et de réduire les ponts thermiques autour de la baie, et de motorisations (fermetures et protections solaires) qui nécessitent un raccordement électrique pour alimenter les moteurs.

Fenêtres de toiture

Ce sont des produits industriels très élaborés qui associent qualités thermiques, acoustiques et étanchéité à l'air et à l'eau, adaptabilité à la plupart des toitures, simplicité de mise en œuvre, excellent apport de

lumière comparativement aux autres baies (lucarnes, chiens assis...), des volets roulants extérieurs à commande manuelle ou électrique améliorant le confort thermique et visuel et la sécurité anti-effraction, ...

Les matériaux généralement employés sont le pin sylvestre du Nord traité et contrecollé associé à un profilé extérieur en aluminium laqué, PVC, ou polyuréthane.

Ce sont cependant des dispositifs qui font entrer beaucoup de chaleur solaire l'été, sous toutes les orientations, même au nord. Il ne doivent donc pas être utilisés sans volet roulant extérieur.

Baies pariéto-dynamiques

Ce système fait circuler l'air entre les vitrages d'une fenêtre ou les châssis d'une double fenêtre (deux fenêtres). On récupère de ce fait une partie de l'énergie qui normalement aurait été perdue. L'air pénètre généralement par une grille extérieure située en partie haute de la baie et entre dans les locaux au travers d'une autre grille placée intérieurement en partie basse.

Rénovation des fenêtres anciennes

Les fenêtres anciennes peuvent être adaptées pour répondre aux besoins d'aujourd'hui en :

- créant une lame d'air au niveau du vitrage (pose d'un survitrage ou remplacement d'un simple par un double vitrage ou pose d'une double fenêtre),



© Velux

Fenêtre de toit.

- améliorant l'étanchéité à l'air et à l'eau (remplacement des joints et/ou de la menuiserie des ouvrants et/ou des dormants).

Les techniques les plus adaptées sont à déterminer au cas par cas.

L'amélioration de l'isolation des vitrages entraîne un déplacement des risques de condensation vers les parois opaques, au niveau des ponts thermiques dans les angles mur/plafond et murs/plancher. Pour éviter ce risque et l'apparition de moisissures sur les murs, il est nécessaire de traiter impérativement en même temps efficacité du renouvellement d'air.

POUR EN SAVOIR PLUS

- SNFA (Syndicat National de la Construction des Fenêtres-façades et Activités Associées)
10 r du Débarcadère, 75852 - Paris Cedex, Tél. : 17 01 40 55 11 80 - Fax 01 40 55 11 81
9, rue La Pérouse, 75116 - Paris, Tél. : 01 40 69 52 18
- SNFMI (Syndicat National des Fabricants de Menuiseries Industrielles),
33, rue de Naples, 75008 - Paris, Tél. : 01 53 42 15 55
- UFPVC (Union Fenêtre PVC),
7/9, rue La Pérouse,
75784 - Paris Cedex 16,
Tél. : 01 40 69 51 95 - Fax 01 47 20 70 25
- ECVM (European Council of Vinyl Manufacturers) : <http://www.ecvm.org/>
- UNSMF (Union Nationale des Syndicats de Métalliers de France),
10, rue du Débarcadère, 75852 - Paris Cedex 17, Tél. : 01 40 55 13 00
- CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement), Département Menuiserie, allée du Boutaut,
BP 227, 33028 - Bordeaux cedex,
Tél. : 05 53 17 19 60 - Fax 05 56 43 64 80
- OTUA (Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier), Immeuble PACIFIC,
11-13, Cours Valmy 92070 - Paris La Défense 7,
Tél. : 01 41 25 58 00 - Fax 01 41 25 55 70
- FFPV (Fédération Française des Professionnels du Verre), 10, rue du Débarcadère, 75852 - Paris Cedex 17,
Tél. : 01 40 55 13 55
- CSFVP (Chambre Syndicale des Fabricants de Verre Plat), 3, rue La Boétie, 75008 - Paris, Tél. : 01 42 65 60 02
- Saint-Gobain Glass, Mémento technique verrier, édition 2000,
www.saint-gobain-glass.com
- Glaverbel France,
6, place Degrés, Tour Pascal A,
92045 - Paris La Défense cedex,
Tél. : 01 55 91 30 00 - Fax 01 55 91 32 60,
<http://www.glaverbel.com/fr/product/>
- Pilkington France, 191 Avenue Aristide Briand, 94230 - Cachan,
Tél. : 01 46 15 73 67 - Fax 01 46 15 73 88
courriel : pilkington.France@wanadoo.fr,
<http://www.pilkington.com/europe/france/>

Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth, avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).

Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org

MURS COULÉS EN PLACE

CE QU'IL FAUT SAVOIR

- ✓ **Le béton est utilisé depuis l'Antiquité : les Romains ont notamment construit des bâtiments et des ouvrages d'art très importants. Depuis un siècle, le béton armé, puis le béton précontraint permettent de franchir des portées importantes et de diminuer les quantités de matériaux mis en œuvre. Le béton continue d'évoluer grâce à de nouvelles formulations qui améliorent ses performances et sa facilité de mise en œuvre.**
- ✓ **Le béton est un matériau omniprésent, protéiforme et très largement utilisé pour réaliser tout type d'ouvrage de bâtiment : fondation, mur, plancher, toiture, escalier. Il peut être fabriqué et mis en œuvre in situ à partir de ses constituants ou arriver sur le chantier soit sous forme de béton prêt à l'emploi, soit sous forme de produits préfabriqués en usine.**
- ✓ **Un part significative du béton mis en œuvre dans le bâtiment est utilisé dans des conditions où ses performances ne sont pas indispensables : des murs en terre crue coulés en place (pisé) peuvent répondre à de nombreux usages, en limitant les impacts sur l'environnement.**

LE BÉTON

Les **origines** du béton remontent à la plus haute Antiquité : vers la fin du 3^{ème} siècle avant J.-C., les Romains utilisaient un mortier de chaux qu'ils mélangeaient directement avec des cailloux dans l'ouvrage à construire.

Le béton est employé de nos jours pour réaliser tout type d'ouvrage de bâtiment : fondation, mur, plancher, toiture, escalier. Il peut être mis en œuvre :

- in situ, à partir de béton préparé sur place, ou bien en usine et acheminé sur le chantier en camion toupies (béton prêt à l'emploi ou BPE),
- ou en usine pour réaliser des ouvrages ou des parties d'ouvrage préfabriqués.

Le béton est un aggloméré composite aussi homogène que possible de matériaux inertes, les granulats, mélangés avec une partie active servant à lier les granulats, le liant, et



Structure en béton.

de l'eau. Dans la construction courante actuelle, le liant est un ciment, et les granulats sont constitués de sable et de gravillons. Le ciment permet d'obtenir des bétons plus durables et surtout plus résistants que l'argile (10 à 15 fois plus).

Les principaux avantages du béton sont les suivants :

- il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien
- il se moule facilement, épousant toutes les formes
- il devient dur comme de la pierre et présente une résistance à la compression élevée
- il résiste bien au feu et aux sollicitations mécaniques, chimiques et physiques usuelles
- associé à des armatures en acier, le béton armé combine la résistance à la compression du béton à la résistance à la traction de l'acier, qui en font un matériau de construction aux possibilités très étendues
- par sa masse, il peut contribuer à l'inertie thermique du bâtiment (mur avec isolation par l'extérieur ou refend ou plancher)
- les ressources nécessaires à sa fabrication sont abondantes
- sauf pour la production du ciment, sa fabrication nécessite peu d'énergie

Les principaux inconvénients du béton sont :

- faible résistance aux efforts de traction, de flexion, de torsion ou de cisaillement, qui



Structure poteaux, dalle en béton.

peut être compensée par l'incorporation d'armatures (cf. béton armé ci-après) ou de fibres de renfort

- sa masse volumique élevée (2,4 t/m³), qui peut être réduite (cf. bétons légers ci-après)
- sa conductivité thermique assez élevée ($\lambda = 2 \text{ W/m.K}$ pour une densité $2,3 < d < 2,6$) qui impose l'ajout d'un isolant rapporté sur les parois extérieures des bâtiments chauffés
- le coût élevé entraîné par sa destruction en cas de démolition ou de modification d'un ouvrage
- sa sensibilité à certaines attaques chimiques, qui nécessite des formulations adaptées : acides (pluies acides ou eaux marécageuses), produits d'oxydation de l'hydrogène sulfuré, sels de magnésium et d'ammoniac en solution.

LE CIMENT

Le ciment est obtenu par broyage du clinker, un produit fabriqué par cuisson à haute température (1450 °C) d'un mélange de calcaire (80%) et d'argile (20%), avec ajout éventuel de divers produits tels que laitier de haut-fourneau (sous-produit de fabrication de l'acier), cendres volantes (issu du dépoussiérage des fumées de centrale thermique), pouzzolane (roche volcanique), etc. L'ancien procédé de fabrication, par voie humide, est remplacé par un procédé plus économe en énergie, la voie sèche. Les combustibles fossiles utilisés (charbon, fuel lourd, gaz) sont de plus en plus remplacés par des sous-produits industriels ou des déchets (résidus pétroliers, huiles minérales et pneumatiques usagés, farines animales,...) : 26% en 2000, plus du tiers en 2002⁽²⁾.

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
LE CIMENT	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • L'extraction du calcaire et de l'argile a une incidence sur le paysage (toutefois les carrières sont tenus par la loi de réaménager les carrières en fin d'exploitation) et sur la vie des riverains (bruits, poussières, émissions des camions de transport et des engins d'extraction). • La fabrication du clinker consomme une grande quantité d'énergie et produit des quantités notables de CO². 1/3 de la production française utilise comme combustible des déchets (pneumatiques usagés, huiles de vidange, voire farines animales) coûteux à éliminer autrement. La combustion à très haute température et une filtration poussée des fumées limitent les émissions nocives. Les métaux lourds éventuellement présents dans les combustibles sont piégés dans le ciment (l'inertage contrôlé dans le ciment est l'un des procédés utilisés pour stocker les déchets dangereux).
	Mise en œuvre	Le maniement du ciment peut entraîner des risques d'allergies dus à son alcalinité, à sa finesse et à la présence de chrome hexavalent.

LES GRANULATS

Les granulats (sables, graviers et cailloux) représentent les 3/4 de la masse d'un béton courant. Issus du lit de rivières (40% en 1998 en diminution constante de 1% par an) ou de carrières (57%), ou encore de matériaux de récupération (produits de démolition concassés et triés, laitiers de haut fourneau, schistes houillers) (3%, en augmentation). La consommation de granulats pour le bâtiment a été en France de 76 Mt en 98, soit 21% du total consommé (les 79% restants étant utilisés pour le génie civil : routes, voies ferrées, remblais).

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
LES GRANULATS	Extraction en carrière	Bruit et poussière, rejets dans l'air des engins d'extraction, altération du paysage (obligation de réaménagement des carrières).
	Extraction en rivière	Rejets dans l'air des engins d'extraction, modification du régime d'écoulement des eaux superficielles.
	Transport	Consommations de ressources fossiles, bruit et rejets dans l'air des camions (CO ² , CO, NOx, poussières, hydrocarbures imbrûlés)

LE BÉTON ARMÉ

Grâce à une bonne adhérence et à un coefficient de dilatation quasi identique, une armature en acier permet de compenser la faible résistance du béton aux efforts de compression, de traction, de flexion, de torsion ou de cisaillement. En outre, l'acier est protégé de l'oxydation par l'alcalinité du ciment, à condition que l'épaisseur de béton protégeant les armatures soit suffisante et qu'il ne soit pas pollué lors de sa fabrication par des nitrates ou des chlorures, ni détérioré lors de sa vie en œuvre par divers facteurs (solllicitations mécaniques, cycles de gel-dégel, attaques chimiques par l'atmosphère) qui peuvent favoriser la pénétration des agents agressifs (oxygène et chlorures) et donc la corrosion des armatures.

Avantages :

- souplesse de mise en œuvre et possibilité de moulage (formes architecturales) ;
- résistance aux séismes et aux agents extérieurs ;
- isolation acoustique contre les bruits aériens.

Inconvénients :

- béton coulé in situ : mise en place coûteuse des coffrages et façonnage des armatures (problème résolu par la pré-fabrication en usine)
- poids propre souvent prépondérant par rapport aux surcharges
- retrait important lors de la mise en œuvre pouvant favoriser la fissuration
- une conception ou une mise en œuvre incorrecte peuvent entraîner un risque de corrosion des armatures
- conductivité thermique élevée
- transmission des bruits d'impact (isolation nécessaire par un matériau résilient)
- rigidité des liaisons : manque de souplesse, donc d'adaptation aux efforts secondaires ou imprévus (tassements différentiels, dénivellations d'appui, efforts d'origine thermique, etc.)



LES BÉTONS SPÉCIAUX

Les bétons à haute résistance permettent de construire des ouvrages en béton précontraint plus légers. Ils peuvent atteindre des résistances de 140 MPa, soit 3 à 4 fois celles des bétons classiques. Ils sont obtenus par :

- un compactage très poussé,
- l'amélioration de l'adhérence ciment/granulats
- l'utilisation de granulats très résistants
- l'emploi de ciments et de granulats spéciaux
- de nouvelles techniques de mise en œuvre,
- par exemple des pressions très importantes sur le béton frais et l'essorage pour éliminer une partie de l'eau de gâchage,
- l'emploi de certains adjuvants permettant une réduction importante de la quantité d'eau.

Les bétons de fibres (fibres d'acier, réfractaires, de fonte, de verre, fibres de polymères, etc) ont une résistance à la traction améliorée.

Des bétons légers (masse volumique inférieure à 2 t/m³) sont obtenus en remplaçant partiellement les granulats courants par des matériaux légers tels que : liège, copeaux ou granulats de bois ou de chanvre, scories, vermiculite, pierre ponce, perlite, ardoise ou argile, tous trois expansés, brique pilée ou laitier de haut fourneau concassé, billes de polystyrène, etc. Plus ils sont légers, meilleure est leur performance thermique - mais pas acoustique - et moins ils sont résistants à la compression.

Les bétons imprégnés de polymères sont des bétons de ciment traditionnels dont la résis-

LES BÉTONS SPÉCIAUX	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Ciment : cf. ci-dessus • Armatures : les aciers ronds sont aujourd'hui fabriqués dans des aciéries électriques à partir de ferrailles de récupération. • Energie nécessaire pour fabriquer le béton à plusieurs stades de son élaboration : fabrication du ciment, extraction des granulats, transport, malaxage, pompage • Les bétons légers sont en général plus gourmands en énergie que les bétons ordinaires, car leurs granulats sont produits par des procédés eux-mêmes consommateurs d'énergie (et parfois polluants), mais ils seront moins lourds à évacuer lors de la démolition de l'ouvrage
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'eau • La laitance doit être recueillie pour éviter tout risque de pollution ou de colmatage des réseaux d'assainissement (=> bacs de décantation des eaux avant rejet) • Pour le béton frais, risque de dermatose de contact comme pour le ciment • Les adjuvants sont très variés et leurs impacts environnementaux positifs avérés en termes d'économie d'eau et de matière et de durabilité, mais les effets liés à leur composition chimique et à leur fabrication ne sont pas toujours connus
	Vie en œuvre	Afin d'éviter les perturbations électromagnétiques, la mise à la terre des armatures et les liaisons équipotentielles doivent être réalisées selon les règles de l'art. En application du principe de précaution, les dispositions plus contraignantes de la norme "compatibilité électromagnétique" concernant la protection des réseaux informatiques devraient être adoptées pour les locaux accueillant des personnes fragiles
	Fin de vie	Le béton en fin de vie est un déchet inerte, recyclable après concassage (avec apport d'énergie) en remblai, en assise de route ou en mur non porteur

tance est 3 à 4 fois plus élevée, la déformabilité moindre et la perméabilité pratiquement nulle.

Les bétons de polymères, bétons où le liant est un polymère, utilisés dans des environnements agressifs et pour des réparations

de constructions en béton armé.

Les bétons de ciment et de polymère résistants aux agents agressifs et au gel. Leur prix est 10 à 20 fois plus élevé, ce qui en limite nécessairement l'emploi à des réalisations très spécifiques.

MURS EN TERRE CRUE

Dans les murs en terre crue (pisé, bauge,...) le liant utilisé n'est pas du



Blocs de pisé.

ciment, mais de l'argile. Les propriétés mécaniques sont nettement inférieures à celles du mur coulé en béton, aussi les murs sont-ils généralement plus épais : avec des murs de 60 cm d'épaisseur, on peut monter à 4-5 niveaux, mais cette technique est surtout utilisée sur des bâtiments à 1 ou 2 niveaux.

Dans de nombreuses régions, tous les matériaux rentrant dans la composition du pisé sont disponibles en abondance, sans transformation par un processus énergivore : 12 à 15% d'argile en addition de sable et de gravillons fins. De même le matériau est recyclable à 100%.

Les propriétés thermiques des murs de

terre crue sont comparables à celles de mur en béton de même densité.

Par contre, la perméabilité à la vapeur d'eau est plus élevée : $m < 10$, ainsi que la possibilité d'adsorption de l'humidité par le matériau : ceci permet à ces murs de jouer un rôle de régulateur de l'humidité, mais suppose une conception hygrothermique adaptée, la compatibilité entre les matériaux étant essentielle : tout enduit ciment sur un mur en pisé conduirait à des désordres : blocage d'humidité dans le mur, décollage d'enduit. La protection contre les intempéries est réalisée par un enduit chaux ou un bardage.

Différents additifs sont possibles suivant

les propriétés précises que l'on souhaite obtenir : paille pour accroître l'isolation thermique, chaux ou ciment pour stabiliser. De même qu'on peut parler des bétons, il y a plusieurs familles de murs de terre crue.

Deux facteurs limitent actuellement le développement de ces techniques : la sensibilité à l'humidité de la terre, qui impose une bonne protection à la fois contre les pluies battantes et les remontées d'humidité du sol, et la grande quantité de main d'œuvre nécessaire, du fait de la faible industrialisation du secteur, liée notamment à la diversité de qualité des terres rencontrées.

Blocs de bauge.



© S. Brindel-Beth

POUR EN SAVOIR PLUS

- CERIB Centre d'Etudes et de Recherches des Industries du Béton Manufacturé, rue des Longs Réages, 28230 Epernon
Tél. : 02 37 18 48 00 - Fax : 02 37 83 67 39
www.cerib.com
- UNICEM (Union Nationale des Industries de Carrières et Granulats) et UNPG (Union Nationale des Producteurs de Granulats),
3, rue Alfred Roll - 75017 - Paris
Tél. : 01 44 01 47 01 - Fax : 01 40 54 03 28
- CRATERRE, 60 av. de Constantine, BP 2636
38036 Grenoble cedex 02,
Tél. : 04 76 40 66 25 - Fax : 04 76 22 72 56
www.craterre.archi.fr
- CIMBETON 7, place de la Défense
92974 Paris la Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10
centrinfo@cimbeton.net
www.infociments.fr
- Rapports Environnement des producteurs de ciment
(www.lafarge.com, www.ciments-calcia.fr, etc.)

Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth, avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).

*Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org*

MURS PORTEURS EN MAÇONNERIE DE PETITS ÉLÉMENTS

CE QU'IL FAUT SAVOIR

C'est avec les éléments maçonnés que l'on réalise en France les parois présentant le meilleur rapport coût/performances.

Les principaux avantages des constructions en maçonnerie sont :

- ✓ Une grande solidité et des besoins d'entretien et de réparation relativement faibles ;
- ✓ L'isolation ou l'inertie thermique qu'elles peuvent apporter ;
- ✓ Une mise en œuvre possible avec des moyens légers.
- ✓ Les maçonneries, moins lourdes que des parois en béton coulé, consomment moins de matière, notamment au niveau des fondations.

Leurs principaux inconvénients sont :

- ✓ Des délais de construction et une technicité de mise en œuvre qui peuvent être importants
- ✓ Le risque de problèmes liés à l'humidité, dû à des défauts de mise en œuvre.

MURS PORTEURS EN MAÇONNERIE DE PETITS ÉLÉMENTS	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Extraction (briques : argile, blocs : argile, calcaire, sable, granulats) : paysage, rivières (granulats vierges), bruit, poussière. • Cuisson (du ciment pour les blocs, de l'argile pour les briques) : consommation d'énergie fossile.
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Poids élevé : montage pénible, peut nécessiter une pose mécanisée. • Technicité variable selon les procédés. • Eau nécessaire au montage : risques de gaspillage, humidité des parois à évacuer, temps de séchage à respecter (selon l'épaisseur des joints).
	Vie en œuvre	La facilité d'adaptation des locaux à l'évolution des besoins est variable selon les procédés.
Fin de vie	Déchet inerte concassable et recyclable en matériau de remblai.	



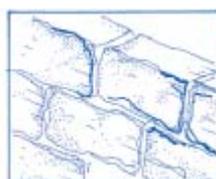
Murs en briques creuses.

LES DIFFÉRENTS PRODUITS

Les éléments maçonnés comprennent essentiellement :

- 2 produits traditionnels : **les pierres et les briques pleines ou perforées.**
- 1 produit localement traditionnel : **les briques de terre crue.**
- 2 produits industriels devenus traditionnels : **les blocs creux de béton à enduire (parpaings) et les briques creuses.**
- Des blocs en béton ou des briques creuses destinés à rester apparents.
- Divers procédés spéciaux à base de blocs en béton ou en polystyrène expansé.

Sauf particularités régionales, la pierre n'est maintenant quasiment plus utilisée pour construire des murs pleins. La rareté



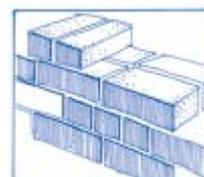
ou l'inégalité de qualité du matériau, son poids, le coût de la réalisation, la qualification du maçon sont des obstacles qui ont conduit à réserver le plus souvent la pierre pour les parements. Elle est calibrée en usine et les plaques sont montées sur des ossatures secondaires prévues à cet effet (pierre agrafée). Néanmoins, certaines filières de construction en pierre se sont engagées dans des efforts d'adaptation aux outils de construction moderne, pour lesquels le poids n'est plus un problème, et apportent localement des solutions structurelles très intéressantes, mettant en

valeur les qualités inégalables de durabilité de ce matériau.

Les briques pleines

produites en usine avec une bonne constance de qualité sont plus faciles à mettre en œuvre que la pierre, mais cette mise en œuvre reste relativement longue et coûteuse, ce qui explique que la brique est surtout utilisée en parement. Ces parements offrent une très longue durée de vie sans entretien.

Les briques pleines et les pierres donnent des parois extérieures à parement externe fini. Ces produits nécessitent une isolation



rapportée dans les locaux chauffés. Pour éviter l'apparition d'efflorescences (cristaux de sels blanchâtres) notamment avec les sulfates (gypse) et les alcalis contenus dans le ciment Portland ordinaire, on utilise un mortier de chaux ou mortier bâtard.



Mur de briques en terre crue.

La terre crue est utilisée sous forme de briques de terre compressées, comprenant environ 30% à 40% d'argile comme liant, et du sable et des granulats fins (diamètre inférieur à 15 mm). La taille des blocs est au maximum de 32 x 7,5 x 5 cm. Le liant utilisé est à base de la même terre qui a servi à confectionner les blocs, souvent additionnée de chaux. Le séchage "naturel" ne consomme aucune énergie, mais est relativement long (2 semaines environ avant mise en œuvre des blocs de terre crue).

Les blocs eux-mêmes peuvent être stabilisés à la chaux, ou au ciment Portland. Cette stabilisation a deux objectifs : renforcer les propriétés mécaniques et réduire la pénétration de l'eau. Le ciment est plus adapté aux terres sableuses, et la chaux aux terres argileuses. Ces ajouts ne sont pas nécessaires pour des murs abrités de moins de 6 m de haut, et limitent la capacité de recyclage des terres. Un certain renforcement mécanique et une limitation du retrait peuvent aussi être obtenus par incorporation de fibres (paille par exemple). Les liaisons avec les chaînages sont souvent des points délicats du fait de l'hétérogénéité des matériaux.

Les blocs de béton

à parois minces sont des éléments en béton moulés réalisés dans plus de 500 petites unités de production réparties sur l'ensemble du territoire. Les machines utilisées sont peu sophistiquées, l'énergie consommée pour la production est faible. Le coût de production est peu élevé, ce qui permet d'obtenir un composant de mur économique (le mur constitué par un bloc béton + isolant intérieur + revêtements courants présente le meilleur rapport coût / performances d'Europe). La consommation d'énergie liée



	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
LES BLOCS DE BÉTON	Fabrication*	<ul style="list-style-type: none"> Extraction (argile, calcaire (ciment), sable, granulats) : paysage, rivières (granulats vierges), bruit, poussière. Cuisson et transport du clinker (ciment) : consommation d'énergie fossile. Fabrication et transport des blocs : faible consommation d'énergie et faibles impacts.
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Poids élevé : montage peu aisé, peut nécessiter une pose mécanisée. Technicité variable selon les procédés. Eau nécessaire au montage : risques de gaspillage, humidité des parois à évacuer, temps de séchage à respecter (selon l'épaisseur des joints).
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Facilité d'adaptation des locaux à l'évolution des besoins variable selon les procédés. Participe à l'isolation acoustique (loi de masse).
	Fin de vie	Déchet inerte concassable et recyclable en matériau de remblai.

* cf. également fiche " Murs coulés en place "

au transport est peu élevée. L'énergie "embarquée" par un mur en blocs de béton vient pour une part du ciment constitutif des blocs, du mortier, de l'extraction des graviers et du transport de ces composants. Les blocs standards de granulats courants sont des éléments manportables, mais relativement lourds (17 kg pour un bloc de 20 x 20x 50) ce qui permet, en contrepartie, d'obtenir d'excellentes performances acoustiques. Ils constituent les parties courantes des murs et sont complétés par des blocs d'angle et des blocs linteaux servant de coffrage à des chaînages de béton armé, par une isolation rapportée et des parements. Ces blocs accessoires permettent de limiter la découpe sur chantier. L'isolation requise par la réglementation pour les locaux chauffés est obtenue par un isolant rapporté sur la face interne ou externe du mur. Les blocs béton à tolérances réduites permettent une mise en œuvre moins consommatrice d'énergie et d'eau par un montage à joints minces.

Les blocs en béton destinés à rester apparents sont très répandus aux USA, en Grande Bretagne et en Allemagne.

Fabriqués en dimensions 20 x 20 x 40 ou 15 x 20 x 40, ils offrent divers coloris et qualités d'aspect (lisses, striés, clivés, clivés-raïnurés). Plus petits et plus denses que les blocs à enduire en raison de leurs parois plus épaisses, ils nécessitent un soin particulier à la conception du bâtiment (adaptation des dimensions du projet et plan de calepinage pour limiter les coupes) et à la pose (respect du plan de calepinage, contrôle de l'épaisseur des joints, protection des faces apparentes), contraintes qui, jointes aux exigences des normes françaises concernant l'étanchéité à l'eau, semblent avoir limité jusqu'ici leur utilisation en France

Divers **procédés spéciaux à base de blocs en béton** ou en polystyrène expansé à bancher font l'objet d'avis techniques (liste à jour en avril 2002) : blocs à maçonner, à monter à sec, à isolation intégrée, blocs coffrage, blocs coffrage à isolation intégrée, blocs coffrage montés à sec destinés à rester apparents.

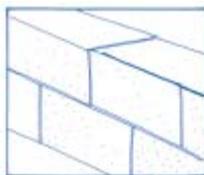
Les blocs de béton légers sont fabriqués à partir de ciment et d'un granulat léger (pierre ponce, pouzzolane ou argile expansée) et d'eau. L'argile expansée est fabriquée selon

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
LES BLOCS DE BÉTON LÉGERS	Fabrication*	<ul style="list-style-type: none"> Extraction (argile, calcaire, sable) : paysage, bruit, poussière. Cuisson et transport du clinker (ciment), argile expansée : consommation d'énergie fossile. Pierre ponce : pierre volcanique disponible en quantités limitées et susceptible d'être faiblement radioactive.
	Mise en œuvre	Facilitée grâce à la faible densité des granulats.
	Vie en œuvre	Participe à l'isolation thermique et acoustique (granulat d'argile expansée).
	Fin de vie	Déchet inerte concassable et recyclable en matériau de remblai.

* cf. également fiche " Murs coulés en place "

divers procédés, en faisant mousser de l'argile avant de la faire cuire; ce processus de fabrication consomme une quantité d'énergie relativement élevée. Les blocs de béton obtenus à l'aide de pierre ponce ou d'argile expansée offrent une certaine isolation thermique et acoustique, qui nécessite une isolation complémentaire rapportée pour les locaux chauffés.

Les blocs de béton cellulaire



sont constitués d'un mélange de sable siliceux (50 à 60%), de ciment (20 à 30%) et de chaux aérienne (10 à 20%) complété par une faible quantité de plâtre ou d'anhydrite et par 0,1 à 0,25 % d'aluminium sous forme de poudre ou de pâte. L'aluminium réagit avec la chaux et produit des bulles uniformément réparties dans le matériau, le rendant léger et isolant. Le mélange est cuit à 180-200°C sous une pression de 8 à 12 bars pour obtenir des blocs rigides.

Le béton cellulaire est léger, sciable et facile à mettre en œuvre. Les liants utilisés pour son assemblage sont spécifiques. Avec une épaisseur suffisante, il permet de satisfaire les exigences de la nouvelle réglementation thermique sans isolation complémentaire. Il est relativement sensible aux chocs et à certains produits chimiques rarement rencontrés en pratique (acides, sels d'ammonium ou de magnésium). Il permet de réaliser des parois de bâtiment épaisses sans isolation thermique rapportée. Les blocs en béton cellulaire sont normalisés.



Murs en béton cellulaire

Les briques sont produites en usine par cuisson pendant 48 heures, dont 10 heures à 950°C d'un mélange de terre et d'argile, auquel on ajoute des agents de porosité (sciure de bois, cellulose ou billes de polystyrène) provenant principalement de matériaux recyclés (vieux papiers, déchets de scieries, collecte sélective de polystyrène). Ces additifs en brûlant créent des micro-cavités qui allègent la brique et améliorent le coefficient d'isolation thermique.

LES BLOCS DE BÉTON CELLULAIRE	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> Extraction (argile, calcaire, sable) : paysage, bruit, poussière. Cuisson du clinker (ciment) et fabrication de l'aluminium : consommation d'énergie fossile (surtout si alu. vierge - cf. fiche menuiseries extérieures).
	Mise en œuvre	Aisée grâce à sa faible densité (avec un liant approprié).
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Ne nécessite pas d'isolant rapporté si épaisseur suffisante. Sensible aux agressions mécaniques.
	Fin de vie	Inerte, facilement concassable et recyclable en matériau de remblai.

LES BRIQUES	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> Extraction de l'argile : paysage, bruit, poussière. Cuisson de l'argile : consommation d'énergie fossile. Agents de porosité : valorisation de déchets (sciure de bois, cellulose, billes de polystyrène).
	Mise en œuvre	Poids élevé / manutention peu aisée.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Participation à la performance acoustique des parois Bonne isolation thermique des briques épaisses à alvéoles multiples. Faible perméabilité à la vapeur d'eau : utilisation possible en parement intérieur sans revêtement.
Fin de vie	Déchet inerte (si pas d'enduit plâtre) réutilisable comme granulats après concassage (avec apport d'énergie).	

Les briques dites "Monomur" permettent d'éviter une isolation complémentaire grâce à des alvéoles multiples et une épaisseur suffisante (37 cm ou plus) qui permet, de plus, de limiter les ponts thermiques en nez de plancher ou de refend. L'inertie thermique qu'elles apportent permet en outre de lisser la température des locaux et d'améliorer ainsi leur confort.



Elles ne sont pas produites en France pour l'instant.

Elles existent en grand format, ce qui permet un assemblage rationnel sur un lit de mortier de chaux mince ou un assemblage sans mortier à l'aide de joints, mais leur poids élevé nécessite alors de les soulever à l'aide d'un appareil mécanique. Denses, elles contribuent à l'isolation acoustique et à l'inertie thermique en cas d'isolation par l'extérieur.

Les briques silico-calcaires creuses sont des blocs fabriquées par autoclavage entre 160 et 200 °C à partir d'eau, de calcaire, de sable siliceux moulés sous pression (16 bars). Leur procédé de fabrication, breveté en 1880, ne produit pas d'émissions toxiques, elles ne contiennent pas de substances nocives et leur contenance en éner-



Mur en briques silico-calcaires.

LES BRIQUES SILICO-CALCAIRES	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> Calcaire et sable siliceux (92%) : paysage, bruit et poussière Chaux vive (8%) : Rejets de CO₂ et consommation d'énergie
	Mise en œuvre	Manutention peu aisée due au poids, mais des outils facilitent la pose.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Participe au confort hygrothermique (l = 0,70 W/m.K, r = 1 400 kg/m³) et à la qualité acoustique Qualité sanitaire : bon comportement à l'humidité.
Fin de vie	Déchet inerte recyclable en remblai après concassage.	

Elles peuvent être laissées apparentes à l'intérieur ou à l'extérieur, et ont un comportement vis-à-vis de la vapeur d'eau proche de celui de la brique de terre cuite. Elles ont une performance thermique médiocre qui doit être complétée par un isolant rapporté.

LES PRODUITS DE LIAISON

Les liants doivent être adaptés aux produits : il est impératif de respecter les préconisations des fabricants. Ainsi on utilise un mortier-colle à joints minces pour garder les propriétés thermiques du monomur, un mortier spécial pour les blocs de béton cellulaire.

Les **liants aériens** sont à base de chaux (2,5 à 4 volumes de sable pour un volume de chaux). Celle-ci est obtenue en cuisant du calcaire pur à environ 1 100°C avec dégage-

ment de CO₂. Ils s'utilisent pour les parois à éléments poreux comme les briques anciennes ou les pierres à petits pores.

Les **liants hydrauliques** comprennent la chaux hydraulique et les ciments :

- La chaux hydraulique vient de la cuisson de calcaires argileux ou d'un mélange argile plus calcaire à une température comprise entre 900 et 1 100°C. Combinée avec du ciment Portland, elle donne le "mortier bâtard".

- Le ciment Prompt est obtenu par la cuisson de marnes aux mêmes températures. C'est un ciment à prise rapide, mais de résistance médiocre.

- Le ciment Portland provient de la cuisson à 1 400-1 450°C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le clinker ainsi obtenu est broyé et mélangé à du gypse.

LES PRODUITS DE LIAISON	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Ciment : cf. fiche "Murs coulés en place". • Chaux vive : Rejets de CO₂ et consommation d'énergie fossile.
	Mise en œuvre	Manutention pénible due au poids des sacs.
	Vie en œuvre	Participent à la durabilité de l'ouvrage si le choix des constituants et leur mise en œuvre sont corrects.
	Fin de vie	Déchets inerte recyclable en remblai après concassage.

POUR EN SAVOIR PLUS

- Briques terre cuite : FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques)
17 rue Letellier - 75015 Paris
Tél. : 01 44 37 07 10 - Fax : 01 44 37 07 20
- Blocs béton : CERIB (Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton Manufacturé)
BP 59 - 282331 Epernon cedex
Tél. : 02 37 18 48 00 - Fax : 02 37 83 67 39
www.cerib.com

- Béton cellulaire : SNBC 23 rue de la Vanne
92126 Montrouge Cedex
Tél. : 01 49 65 09 09 - Fax : 01 49 65 08 61
- Brique silico-calcaire : parmi les nombreux fabricants belges et allemands, on peut citer par exemple :
Silicaatsteen Staatstuinwijk 36
3600 Genk Belgique
Tél. : 00 32 89 32 31 60 - Fax 00 32 89 32 31

- Terre crue : CRATERRE,
60 av. de Constantine, BP 2636
38036 Grenoble cedex 02,
Tél. : 04 76 40 66 25 - Fax : 04 76 22 72 56
www.craterre.archi.fr

Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth, avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).

Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org

LES PLANCHERS

CE QU'IL FAUT RETENIR

- ✓ Les planchers assurent des fonctions multiples, dont deux (isolation thermique et acoustique) contribuent directement à la qualité environnementale des bâtiments.
- ✓ Leur durée de vie est généralement égale à celle du bâtiment et leur adaptabilité à l'évolution des usages et des exigences (charges utiles, acoustique, tenue au feu) nécessite souvent des travaux de réhabilitation importants.
- ✓ Les matériaux utilisés sont variés (béton, bois, acier, brique, polystyrène) et les impacts environnementaux liés à leur fabrication et à leur fin de vie sont également abordés dans d'autres fiches (murs coulés en place, ossatures, couvertures, maçonneries de petits éléments, isolants thermiques).

DES FONCTIONS MULTIPLES

Les planchers assurent différentes fonctions :

- Supporter les charges (poids des structures et actions permanentes) et les surcharges (actions variables et accidentelles) et les transmettre aux éléments porteurs de l'ossature
- Transmettre des efforts horizontaux aux éléments de contreventement
- Contribuer le moins possible à la charge permanente
- Donner aux locaux un sol et un plafond
- Résister au feu
- Assurer une bonne isolation acoustique entre locaux :
 - protection contre les bruits aériens (assurée essentiellement par la masse du plancher),
 - protection contre les bruits d'impact sur le plancher assurée par :
 - le revêtement de sol et d'éventuelles couches isolantes entre plancher et revêtement
 - l'indépendance entre la chape flottante et la structure (couche résiliente)
- Assurer une bonne correction acoustique du local : durée de réverbération déterminée par la nature des revêtements (sols durs ou souples, faux-plafonds)
- Assurer l'isolation thermique des locaux chauffés en contact par un plancher avec l'extérieur ou avec des locaux non chauffés
- Incorporer la distribution de fluides, particulièrement l'électricité

- Eventuellement protéger contre l'effraction
- Eventuellement participer au confort hygrothermique (plancher ou plafond chauffant ou rafraîchissant)
- Conserver dans le temps ses qualités physiques, mécaniques, acoustiques, son aspect et sa planéité (protection correcte des éléments de structure : par exemple épaisseur minimale d'enrobage des armatures pour le béton armé)

DES MATÉRIAUX ET TECHNIQUES ADAPTÉS AU TYPE DE CONSTRUCTION

Les matériaux utilisés pour réaliser les planchers sont liés au système constructif et aux caractéristiques du bâtiment.

PLANCHERS EN BÉTON

Le béton est le matériau le plus employé. Il apporte une masse favorable à l'isolation acoustique entre niveaux. Les portées déterminent l'épaisseur et le poids de l'ensemble du plancher fini.

Béton armé

(voir fiche *Ciment, béton, béton armé*)

Le béton armé est le matériau le plus couramment utilisé. La grande majorité des planchers sont réalisés en béton armé coulé sur chantier. Ces planchers sont compatibles avec presque tous les modes constructifs et leur coût est relativement faible. Leur masse apporte de l'inertie thermique et une bonne isolation acoustique, sauf pour la transmission latérale.



Coffrage de dalle en béton au moyen de systèmes modulaires.

En revanche, le béton a une conductivité thermique élevée ($\lambda = 2 \text{ W/m.K}$) et les ponts thermiques des abouts de plancher doivent être traités pour ne pas pénaliser la performance thermique du bâtiment.

Par ailleurs, la laitance et l'huile de décoffrage du béton coulé in situ peuvent polluer le chantier (cette pollution peut être évitée par l'emploi de bacs de décantation et d'huiles d'origine végétale biodégradables)

Enfin, les constructions en béton sont généralement difficiles à transformer ultérieurement.

La réalisation est très simple, surtout quand on a recours à des coffrages industrialisés.

Un parement inférieur soigné peut être réalisé par un simple enduit de 3 à 5 mm de plâtre. La face supérieure est généralement recouverte d'une chape et d'un revêtement. On peut également poncer la chape et la cirer ou utiliser un béton autoplaçant pour réaliser une chape laissée brute après lissage à "l'hélicoptère".

Le plancher en béton coulé in situ peut incorporer des canalisations électriques, des tubes de chauffage ou des conducteurs électriques chauffants

Pour réduire le poids propre, on utilise du béton de granulats légers qui présente un poids spécifique de 15 à 20 kN/m³, soit de 20 à 40% inférieur à celui du béton traditionnel à résistance comparable.

Par contre, le prix est sensiblement plus élevé et la mise en œuvre suscite quelques difficultés, notamment un risque de ségrégation des agrégats (plus légers que le mortier de ciment). Les déformations instantanées et différées d'une structure en béton léger sont plus importantes.

Prédalles

Les prédalles en béton sont réalisées en usine. On coule une épaisseur de 5 cm environ de béton sur un treillis soudé. Sur le chantier, les prédalles sont utilisées en fond de coffrage. Il suffit de quelques rangées d'étais pour les soutenir. Elles peuvent être en béton armé simple ou avec des raidisseurs (cela permet d'espacer les étais) ou en béton précontraint.



Prédalles.

Le choix de cette technique dépend de l'entreprise et de son outillage. Elle permet un gain de temps et d'outillage en remplaçant le coffrage.

Les planchers à dalle alvéolée

Les dalles alvéolées sont des éléments de plancher en béton généralement précontraint comportant des alvéoles longitudinales. Elles peuvent être mises en œuvre seules, mais on les utilise plutôt avec une chape rapportée en béton coulé en œuvre. Il s'agit d'un système constructif de plancher très performant pour les grandes portées : elles permettent des portées allant de 7 à 12 m, voire même 16 m. En revanche, elle est trop onéreuse pour les faibles portées pour lesquelles les planchers à poutrelles ou aux dalles pleines ou à prédalles sont, sauf en cas de charges d'exploitation très élevées, plus adaptés.



Construction en béton préfabriqué.

Elles manquent de souplesse : tout doit être prévu avant l'exécution du chantier, les trémies sont assez difficiles à réaliser. Par ailleurs, les joints visibles en plafond. Mais la mise en œuvre ne demande pas d'étalement et peu de béton coulé en place.

Pour créer les alvéoles, on peut aussi utiliser des tubes en acier ou en carton ou encore des évidements coffrés ou des blocs de polystyrène. Ces solutions sont coûteuses. La poussée mécanique qui agit sur ces coffrages perdus nécessite des ancrages solides et les cavités ne doivent pas être exposées à l'eau.

Planchers à poutrelles légères en treillis métallique

À partir d'un treillis métallique soudé à base pré-enrobée constitué généralement de deux aciers inférieurs filants et d'un acier supérieur reliés par des cadres triangulaires soudés, la poutrelle est réalisée en enrobant les deux aciers inférieurs dans un talon en béton de section rectangulaire. Ce talon a deux fonctions : il cofre en partie basse le béton de nervure coulé en œuvre et il sert d'appui aux entrevous.

L'avantage de ce système est l'extrême légèreté des poutrelles (10 à 15 kg/m), qui les rend manportables par deux personnes.

Planchers à poutrelles précontraintes

Des poutrelles pré-comprimées en forme de T renversé en béton précontraint par pré-tension d'armatures adhérentes forment la membrure tendue du plancher. La membrure comprimée est réalisée par une dalle de répartition en béton armé formant table de compression, coulée en place sur les poutrelles et les entrevous en béton, en terre cuite ou en polystyrène expansé, préalablement posés sur les talons des poutrelles.



Poutrelles et entrevous.

Fabriquées sur des bancs de grande longueur (60 à 100 mètres), la précontrainte augmente la résistance de ces poutrelles et facilite leur transport. Elles remplacent de plus en plus les poutrelles en béton armé car elles permettent une économie d'acier.

Les planchers mixtes bois - béton

Les planchers à poutres ou poutrelles mixtes bois-béton sont utilisés surtout pour la réhabilitation des planchers traditionnels (poutres en bois + solives + parquet) ou nervurés en bois : sur des poutres en bois hérissées de clous qui servent de membrure tendue on coule du béton qui sert de membrure comprimée.

Hourdis en béton

Les hourdis posés sur des poutres porteuses en béton armé, en acier ou en bois, sont ensuite recouverts d'une chape coulée. Ils ne remplissent pas de fonction statique et les charges du plancher sont réparties sur les parties porteuses du plancher.



Liaison plancher haut de rez-de-chaussée avec poutrelles treillis et entrevous béton.

PLANCHERS EN BOIS

Le bois a longtemps servi à réaliser les planchers. C'est un matériau hydrophile, susceptible de gonflement et de retrait sous les influences alternées d'humidité et de sécheresse. Un plancher en bois travaille constamment. Il est donc nécessaire que les appuis permettent un certain jeu des solives et des sommiers. Il faut surtout protéger les têtes de ces pièces de l'humidité que peuvent contenir les murs.

Les parquets devant peu bouger, les bois à utiliser ne doivent pas contenir plus de 8 % d'humidité.

Planchers en bois massif

Ces planchers sont assemblés entre eux à l'aide d'emboîtement et cloués sur des solives, elles mêmes posées sur des poutres. Pour des raisons acoustiques, on interpose des bandes d'isolation acoustique entre les poutres et les solives. Ces bandes peuvent être faites de produits synthétiques, de fibres de bois ou de coco ou de liège.

L'espace entre les solives était autrefois rempli d'augets en plâtre ou de gravois et de sable pour assurer l'isolation acoustique du plancher. Il est maintenant rempli d'isolant acoustique, c'est-à-dire d'isolant non rigide. On utilise généralement des produits fibreux.

Planchers en bois flottants

Ces planchers sont posés sur un matériau souple (matériau résilient synthétique ou en fibres de bois ou de coco ou en liège) sur une surface plane, une chape de ciment ou un panneau de bois. Ces planchers sont assemblés à la colle.

Poutres à âme fine et base de bois

Ces poutres composites sont utilisées comme pannes de toiture ou poutres de planchers. Elles permettent des portées supérieures à 5 m. Ce sont des poutres en forme de I dont les membrures hautes et basses sont en bois massif, contrecollé ou lamellé-collé. L'âme est en contreplaqué, en OSB (Oriented Strand Boards), en panneaux de fibres à hautes performances, voire en tôle d'acier (voir fiche Cloisons). Elles permettent de pallier au deux défauts du bois : son poids et son prix.

PLANCHERS EN ACIER

L'acier a plusieurs usages :

- Les poutres sont utilisées depuis le milieu du XIX^e siècle dans les constructions maçonnées, associées au bois (lambourdes et parquet) ou à la terre cuite (voû-

tains ou hourdis et dallages) ;

- Les constructions métalliques ont des planchers faits de divers composants comprenant des poutres en acier, des matériaux isolants acoustiques, en général des fibres minérales, des panneaux de bois ou des bacs de métal
- Les bacs collaborants en acier recouvert de béton sont adaptés à tous les types de constructions.



Structure acier.

L'acier permet des gains de matière et donc de poids, mais nécessite des dispositions particulières pour répondre aux exigences de résistance au feu et d'isolation acoustique. Pour un plancher avec tôle d'acier porteuse, la résistance au feu minimale est assurée sur la face supérieure par 5 cm de béton et par 25 mm d'enduit de vermiculite ou de perlite, projeté sur la face inférieure. Pour une résistance plus longue, il faut une plaque de vermiculite de 18 mm collée sous la face inférieure avec 5 cm de béton au-dessus.

La protection des poutres en acier entraîne un enrobage du pourtour. Une peinture intumescente est suffisante pour assurer une résistance au feu minimale. Pour obtenir une résistance plus longue, il faut projeter 20 à 25 mm d'épaisseur de vermiculite, de perlite ou des fibres minérales avec des liants inorganiques, appliqués sur des surfaces exemptes de rouille et de calamine. Les poutres peuvent aussi être totalement enrobées de béton projeté d'au moins 20 mm d'épaisseur ou par des plaques de protection en béton de même épaisseur.

Planchers métalliques et à bacs collaborants

Ces planchers ne sont utilisés en France que depuis la fin des années 60.

Il s'agit de bacs en tôle d'acier profilée à froid sur lesquels est coulé du béton. Le profil de la tôle est fait d'ondes qui lui donnent une raideur longitudinale suffisante et permettent au béton de s'accrocher aux bacs, qui constituent le coffrage perdu et l'armature du béton. Il peut toutefois y avoir des armatures d'appoint.

En plafond, les bacs peuvent rester apparents. Ils sont alors peints en sous-face.

Ils permettent des portées d'environ 4 m. Ils sont rapides à mettre en œuvre.

Le plancher obtenu est peu épais, et la transmission des bruits d'impacts ou aériens doit être traitée par des matériaux complémentaires.

PLANCHERS ET COMPOSANTS DE PLANCHERS EN AUTRES MATÉRIAUX

Hourdis en terre cuite ou en polystyrène

Ces hourdis sont posés sur des poutres porteuses en béton armé, acier ou bois et recouverts d'une chape en béton coulée.

Les hourdis de polystyrène peuvent avoir une languette qui assure la continuité de l'isolation. Ils ont l'avantage d'être légers et thermiquement très performants (cf. la fiche isolation).



Hourdis de terre cuite.

Planchers préfabriqués en briques ou en béton cellulaire

Il existe des planchers préfabriqués en briques ou en béton cellulaire armé. Il est possible avec ces systèmes d'éviter les ponts thermiques en rive de plancher. Dans les constructions en béton cellulaire, les planchers peuvent être constitués de panneaux de grande portée en béton cellulaire.

Planchers à pavés de verre

Les planchers transparents permettent d'éclairer les locaux qu'ils surmontent. Ils peuvent être en pavés de verre ou en verre feuilleté sur ossature acier. Ils sont délicats à réaliser.



Planchers à pavés de verre.

Pour les planchers en pavés de verre, le béton de liaison est dosé à 350 kg de ciment par m³ de sable fin lavé mélangé à du gravillon tamisé (2 parts de sable et 1 de gravillon) et de l'eau (140 l). On peut utiliser du ciment blanc. Le béton doit être mouillé constamment pendant 4 jours consécutifs, pour éviter le retrait du ciment.

L'armature est constituée de fers ronds homogènes; les aciers à haute résistance et ceux à adhérence améliorée ne doivent pas être employés. On introduit du carton-feutre bitumé entre chaque rangée de pavés et

en périphérie entre la surface d'appui et le panneau. La dilatation sera absorbée par du polystyrène expansé ou un autre matériau élastique. Un scellement au silicone ou au mastic d'asphalte ou au ciment plastique assure l'étanchéité à l'eau.

Dalles allégées

Des dalles peuvent être réalisées en perlite, vermiculite ou chanvre mélangé à de la chaux hydraulique naturelle pure et du sable. Ces matériaux ont une conductivité thermique plus faible que le béton.

Avec ces dalles, les planchers peuvent être

réalisés en cave ou en RdC sur hérisson, gravier, terreplein sec compact ou cave voûtée, sans polyane, treillis métallique ni joint de dilatation. Ils offrent une alternative intéressante au béton. Ils protègent aussi de l'humidité en base de mur.

OUVRAGES COMPLÉMENTAIRES

Revêtements de sol durs

Un carrelage ou des dalles de pierre naturelle sont posés sur une chape flottante séparée du plancher par une épaisseur d'isolant.

Planchers chauffants

Un chauffage par le sol peut être posé entre l'isolant et la chape, sous forme de tubes en polyéthylène réticulé ou de câbles électriques. La réalisation des planchers chauffants fait l'objet d'Avis Techniques du CSTB.

Isolation

Les planchers en contact avec l'extérieur ou avec des locaux non chauffés (terre-plein, cave ou combles) doivent être isolés.

L'isolant peut être :

- 1 incorporé dans le plancher sous forme de hourdis en polystyrène ou d'isolant logé dans un plancher à ossature,
- 2 placé entre une dalle et une chape flottante,
- 3 posé en sous-face, sous forme de panneaux ou de flocage.

LES PLANCHERS	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Béton : cf. fiches "Ossatures" et "Murs coulés en place" • Bois : cf. fiche "Bois" • Acier : cf. fiches "Couvertures" et "Ossatures" • Brique : cf. fiche "Murs en maçonnerie de petits éléments" • Polystyrène : cf. fiche "Isolants thermiques et acoustiques" • Verre : cf. fiche "Menuiseries et vitrages extérieurs"
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Les techniques mettant en jeu des éléments manportables évitent le recours à des engins de levage • Les éléments de grandes dimensions sont en général plus rapides à mettre en œuvre, mais nécessitent des moyens de levage mécanisés. • Certaines techniques nécessitent des précautions particulières : laitances et huiles de décoffrage (béton), élimination des emballages des peintures intumescents (acier) et des produits de traitement des bois
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Les planchers participent au confort acoustique • Les planchers en contact avec l'extérieur ou avec des locaux non chauffés contribuent à la gestion de l'énergie • Les planchers chauffants participent à la gestion de l'énergie et au confort hygrothermique • Les revêtements intérieurs concourent à la gestion de l'entretien et de la maintenance et à la qualité sanitaire des espaces
	Fin de vie	Les planchers sont des composites plus ou moins faciles à séparer et donc à recycler. Ils ne contiennent pas de déchets dangereux, sauf les bois traités avec certains produits. Ils sont aujourd'hui peu recyclés.

POUR EN SAVOIR PLUS

- Composants en béton préfabriqué : CERIB (Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton Manufacturé)
BP 59 - 282331 Epernon cedex
Tél. : 02 37 18 48 00 - Fax 02 37 83 67 39
www.cerib.com
- Béton cellulaire : SNBC 23 rue de la Vanne
92126 - Montrouge Cedex
Tél. : 01 49 65 09 09 - Fax 01 49 65 08 61
- Entrevous en terre cuite : FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques)
17 rue Letellier - 75015 Paris
Tél. : 01 44 37 07 10 - Fax 01 44 37 07 20
- Bois : CTBA, Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Pôle construction
allée de Boutaut, 33028 Bordeaux Cedex,
Tél. : 05 53 17 19 60 - Fax 05 56 43 64 80
www.ctba.fr
- Acier : OTUA, Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier,
Immeuble PACIFIC, 11-13 Cours Valmy
92070 Paris La Défense 7,
Tél. : 01 41 25 58 00 - Fax 01 41 25 55 70

Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth, avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud). Contact Arene IdF : Dominique Sellier - Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org

LES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS À OSSATURE

CE QU'IL FAUT SAVOIR

- ✓ Les systèmes constructifs à ossature présentent en principe l'avantage de limiter l'emprise des points porteurs, et donc d'offrir une plus grande liberté dans l'aménagement du plan, tant à la conception que lors des modifications ultérieures du bâtiment.
- ✓ Les descentes de charge étant concentrées en quelques points, la résistance des matériaux de structure verticale (poteaux) à la compression, mais aussi au flambement doivent être élevées. De même, la raréfaction des points porteurs verticaux impose des résistances à la flexion et au cisaillement importantes pour les éléments d'ossature ramenant les charges des planchers vers ces points porteurs. Le contreventement des ouvrages peut être assuré par des éléments d'ossature linéaires (poutres, tirants obliques), ou par combinaison avec des éléments plus massifs formant voiles ou diaphragmes.
- ✓ Les systèmes à ossature utilisent souvent des matériaux performants, parfois plus chers en coût de fourniture, mais qui optimisent la quantité de matière mise en œuvre, réduisant ainsi le délai d'exécution et donc le coût d'investissement global.
- ✓ Certains systèmes à ossatures légères (ossature bois type "balloon-frame", ou ossature métallique à petits profilés en tôle pliée) ne visent pas tant à libérer l'espace qu'à alléger le bâtiment et diminuer la quantité de matière utilisée : les montants verticaux très rapprochés reconstituent pratiquement, avec les parements de contreventement auxquels ils sont associés, des parois continues.

ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Ces enjeux sont d'abord liés aux quantités de matières employées et au déroulement du chantier.

Avec les ossatures, les éléments constituant la structure peuvent être préparés en usine et montés rapidement et facilement sur le chantier. Les déchets sont limités et traités en usine, les dimensions des éléments sont plus précises, leur manutention est souvent plus

facile, ce qui rend le montage moins éprouvant pour les ouvriers et permet aussi de limiter l'emploi d'engins mécaniques ;

L'emploi des ossatures bois ou acier, plus légères que le béton peut générer des économies de matière, notamment au niveau des fondations, et supprime le recours à l'eau, avec des conséquences multiples : pas de gaspillage d'eau, pas d'humidité à évacuer dans les parois, pas d'attente

pour le durcissement des ouvrages, pas de rejets comme la laitance du béton qui peut colmater les réseaux d'assainissement ou polluer les eaux superficielles par des Matières en Suspension.

Lorsque le climat ou le type d'usage du bâtiment nécessite une forte inertie thermique, les ouvrages à ossature doivent être associés à des parois lourdes, ce qui peut leur faire perdre une partie de leur intérêt.

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX PAR PROCÉDÉ CONSTRUCTIF

Bois

La qualité environnementale des bois de construction utilisés dans les ossatures dépend principalement de deux facteurs :

- **leur provenance** : ils doivent être issus de forêts gérées durablement, c'est-à-dire de forêts plantées et exploitées dans des conditions qui assurent leur renouvelabilité et qui ne détruisent pas de façon irréversible des réservoirs de biodiversité (pas de bois tropicaux ou de forêts d'Amérique du Nord issus de forêts primaires non titulaires d'un label de gestion durable de type FSC – Forest Stewardship Council - ou équivalent).

- **les traitements de protection** :

Les traitements de protection contre les moisissures, insectes et champignons, les colles ou les peintures et vernis utilisés peuvent affecter la santé des ouvriers en charge de leur fabrication ou de leur mise en œuvre et faire des produits ainsi traités des déchets dangereux coûteux à éliminer. Une vigilance s'impose sur l'étiquetage réglementaire de ces produits, identifiable sur les Fiches de Données de Sécurité (cf. introduction).

Les ossatures bois sont le plus souvent protégées des intempéries, et ne risquent pas d'être humidifiées. Même lorsqu'elles

sont exposées à la pluie, la disposition des assemblages et la liaison avec le sol doivent permettre d'éviter toute stagnation d'humidité. Aussi, pour bon nombre d'essences (chêne, châtaigner, douglas, pin sylvestre, ... naturellement résistants aux agressions biologiques en classe 3) peuvent être utilisées sans traitement ; pour les autres essences, des traitements relativement peu toxiques (sans métaux lourds ou arsenic notamment) existent, néanmoins bon nombre des bois commercialisés en France sont encore traités par les CCA (Cuivre-chrome, arsenic).

Structures porteuses en grands éléments

Les structures en bois traditionnelles présentent en général des systèmes de poteaux, de poutres, de portiques ou de fermes, régulièrement espacés de plusieurs mètres, sur lesquels viennent reposer des solives de plancher, des pannes de toiture, des poutres secondaires d'ossature de murs. Ces structures en bois massif sont limitées par la longueur et la section des bois disponibles, en particulier pour les éléments de structure horizontales.

Les sections rectangulaires sont relativement standardisées (madriers, bastings,...). Les bois ronds présentent l'avantage de meilleures performances mécaniques, à section égale, du fait qu'on évite totalement de couper les fibres, mais ils sont relativement peu utilisés (en particulier pour des questions d'assemblage, et de variation de la section le long d'un fût).

Aujourd'hui, le lamellé-collé permet de façonner à la demande des poutres de grande hauteur, autorisant des portées plus importantes, avec une assurance sur la constance des propriétés du matériau. Il permet de valoriser des bois de moindre qualité. Néanmoins, il importe de vérifier la composition des colles, afin notamment de limiter les dégagements de formaldéhyde lors de leur mise en œuvre.

Pour alléger la structure des ossatures horizontales, ont également été développés des systèmes de poutres composées, avec âme triangulée à partir de petits éléments, ou âme en panneau dérivé du bois (contreplaqué, OSB) susceptibles de dégager des composés organiques volatiles, et notamment du formaldéhyde (vérifier le classement E1 des OSB).

Ossatures bois

Les structures bois les plus répandues sont aujourd'hui, sur les modèles du nord de l'Europe ou de l'Amérique du Nord "balloon frame", des ossatures à montants de très faible section (4 à 6 cm sur 12 à 15 cm) peu espacés (45 à 60 cm entre montants) : associées le plus



Ossature bois : bâtiment du CTBA de Bordeaux, architectes Philippe Pascal et Alain Loisier

souvent à un panneau de contreplaqué formant contreventement, elles sont conçues essentiellement pour la maison individuelle ; elles sont complétées par un parement interne, un parement externe (enduit ou bardage) et une isolation dans l'épaisseur de l'ossature, pour former des parois complètes composites, montées sur place ou en atelier. Ces structures, utilisant des sections standardisées, permettent de valoriser des essences courantes et de faibles sections. Elles prolongent plutôt l'esprit de ce que furent les colombages, et les propriétés de la structure, non apparente, sont difficilement dissociables de celle de l'ensemble de la paroi (remplissage, parements) Le bois présente une relativement bonne résistance thermique, ce qui fait que les ponts thermiques liés à l'ossature sont modérés. Par contre, une barrière d'étanchéité à l'air et un pare-vapeur interne doivent être incorporée à tout mur extérieur à ossature bois.

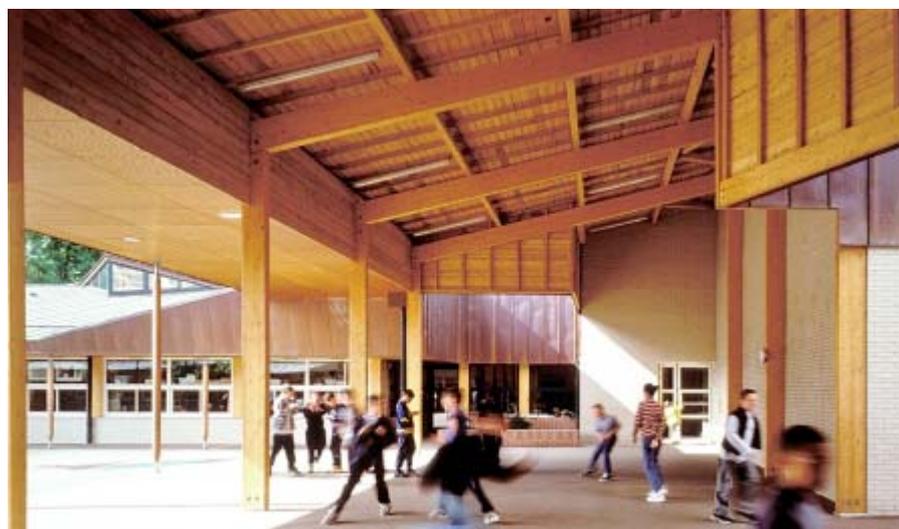


Bardage en bois.

Assemblages

Les assemblages entre éléments d'ossature bois font pratiquement tous appel au métal : clouage, boulonnage, plaques connecteurs, platines, sont choisis en fonction de la simplicité de mise en œuvre, de la rigidité ou de la souplesse recherchée des articulations, de la géométrie et de l'importance des efforts à transmettre. La possibilité de démontage sans détérioration est également un critère à prendre en compte.

Ci-dessous, ossature bois en lamellé-collé.



Assemblage métallique pour structure bois.

BÉTONS

Les éléments d'ossature en béton, soumis à des contraintes mécaniques importantes, sont réalisés en béton armé ; pour répondre à des sollicitations particulières, on fait appel à des bétons précontraints ou à des bétons à haute résistance.

Les propriétés générales et les enjeux environnementaux de la composition et de la fabrication des bétons sont présentés dans le chapitre "murs coulés en place".

Le béton armé

Le béton supporte bien les efforts de compression mais mal les efforts de traction, de flexion, de torsion ou de cisaillement. Afin de répondre à la totalité des efforts possibles, un composé de deux matériaux complémentaires a été créé, le béton armé. Cette alliance n'a été possible que parce que les coefficients de dilatation sont à peu près égaux. Les deux matériaux adhèrent bien l'un à l'autre et l'oxydation de l'acier est protégée par l'alcalinité du ciment. Le pH, dans un béton sain, est compris entre 12,5 et 13,5. Dans un tel environnement, l'acier est passif et la corrosion ne peut intervenir.

Les évolutions du béton armé :

On utilise de plus en plus souvent des éléments réalisés hors chantier, en usine de préfabrication, permettant un meilleur contrôle des performances des éléments d'ossature, et réduisant les interventions "humides" sur le chantier et par conséquent de mieux maîtriser les impacts environnementaux. C'est le cas des éléments en béton précontraint et en béton à haute résistance. Le béton précontraint Un élément tel qu'une poutre en béton

LES OSSATURES EN BÉTON ARMÉ ONT

pour avantages :	... et pour inconvénients :
<ul style="list-style-type: none"> • de libérer les espaces intérieurs, facilitant ainsi leur reconfiguration • une souplesse de mise en œuvre et la possibilité de moulage (formes architecturales) • une bonne résistance aux agents extérieurs • une certaine résistance au feu 	<ul style="list-style-type: none"> • un poids propre et une consommation de matières premières relativement importants • une mise en place des coffrages et un façonnage des armatures coûteux • une mise en œuvre le plus souvent humide, avec des problèmes de propreté de chantier, de temps de séchage, de retrait, de risques de fissuration • une transmission des bruits d'impact • une rigidité de ses liaisons (manque de souplesse, donc d'adaptation aux efforts secondaires ou imprévus) • une conductivité thermique élevée • rigidité des assemblages compliquent le remaniement et la déconstruction des bâtiments

précontraint s'obtient par la mise en tension, après durcissement du béton, d'un câble, d'un tendeur ou d'une armature préalablement introduit à l'intérieur de celui-ci. Cet effort de compression préalable qui permettra d'éviter la fissuration de la zone inférieure tendue de l'élément soumis en œuvre à un effort de flexion. A quantité de matière égale, on obtient ainsi des portées plus importantes avec des sections plus faibles.

Des câbles en matériaux composites à base de fibres longues sont utilisés pour réaliser des ouvrages en béton précontraint ou renforcer des ouvrages existants. Ces matériaux comportent des fibres à l'état brut (verre, bore, céramique, carbone, aramide) ou enrobées dans une matrice époxy, polyester, vinyl-ester, phénolique ou thermoplastique. Les pertes de précontrainte avec des câbles composites sont du même ordre qu'avec des câbles en acier bien que leur relaxation soit trois fois supérieure (pour

des raisons de redistribution des contraintes, de fluage du béton...).

Les bétons à haute résistance sont obtenus par :

- un compactage très poussé,
- l'amélioration de l'adhérence ciment/granulats
- l'utilisation de granulats très résistants
- l'emploi de ciments et de granulats spéciaux
- de nouvelles techniques de mise en œuvre, par exemple des pressions très importantes sur le béton frais et l'essorage pour éliminer une partie de l'eau de gâchage,
- l'emploi de certains adjuvants permettant une réduction importante de la quantité d'eau.

Ils permettent de construire des ouvrages en béton précontraint plus légers. Ils peuvent atteindre des résistances 3 à 4 fois celles des bétons classiques (350 MPa).

ACIER

Fabrication

Les principales matières premières de la fabrication de l'acier sont le minerai de fer et les ferrailles. La filière haut-fourneau utilise comme source de fer essentiellement du minerai (80 % minimum) et du charbon, tandis que la filière aciérie électrique utilise essentiellement des ferrailles. Le choix de la filière est surtout dicté par les exigences de pureté de l'acier produit : il est impossible de réaliser toutes les nuances d'acier à partir de la filière électrique du fait de la présence de polluants provenant des ferrailles incorporées, et ce malgré les tris en amont (notamment présence de cuivre). En 1996, 43% de l'acier est consommé en Europe par le BTP⁽¹⁾.

En 1998, 65% de l'acier est produit en Europe en haut-fourneau et 35% en aciérie électrique.

Pour des raisons essentiellement techniques, les produits longs en acier utilisés en Europe dans les ossatures de bâtiment (profilés, poutrelles et armatures) sont fabriqués en aciérie électrique, à partir de ferrailles issues de chutes neuves de fabrication d'appareils électroménagers, mécaniques et automobiles. Ces ferrailles sont triées, calibrées, broyées puis fondues dans un four à arc électrique à 1600 °C. L'acier en fusion est ensuite versé dans un second four (station d'affinage) où il subit (à 1600 °C ou plus) divers traitements destinés à ajuster sa qualité selon son utilisation : ajout d'élé-



Production d'acier en haut fourneau.

Structure acier (système Styltech)



© Arcelor



ments d'alliage (aluminium, manganèse, chrome, ...), dégazage, homogénéisation, etc. Cet acier liquide est solidifié par moulage dans une machine de coulée continue : il est versé dans une filière en cuivre à la sortie de laquelle il est brutalement refroidi par pulvérisation d'eau. A la sortie, on obtient des demi-produits : des barres de section rectangulaire (brames) ou carrée (blooms ou billettes), qui sont les ébauches des formes finales. Ces ébauches sont transformées en produits finis par laminage, dont certains subissent des traitements thermiques (trempe) ou mécaniques (écrouissage).

Impacts sur l'environnement liés à la fabrication ⁽²⁾

Cf. la fiche toitures inclinées.

Concernant les aciéries électriques, en Europe, 70% des laitiers d'acier au carbone sont mis en décharge (1,242 Mt/a) et 59% des laitiers des aciers faiblement alliés (231 kt/a) (étude de l'UE, 1996). En France, 1/3 des poussières issues de la filtration des fumées (90 kt/a) sont traitées par le procédé Waelz pour récupérer le zinc et 2/3 partent en décharge (Hoffmann, 1997).

Protection contre la corrosion

L'acier est sensible à la corrosion : un acier ordinaire rouille pour une humidité relative ambiante > 65%. Une conception adaptée permet de limiter ce risque en évitant le contact prolongé avec des poussières humides favorisant les phénomènes de corrosion : éviter les interstices, les faux contacts, les couvre-joints et orienter de façon judicieuse les profils, simplifier les formes et les assemblages, utiliser des cordons continus de soudure, puis éviter, lors du chantier, la détérioration des surfaces finies et leur empoussièrément.

Une structure en acier placée dans un milieu agressif (eau, air humide ou marin, agents agressifs) doit donc être protégée contre la corrosion. Une peinture seule n'est généralement pas suffisante car l'oxygène peut progresser par des microporosités du revêtement. C'est pourquoi on utilise divers procédés de protection :

Prépeinture après grenailage, à l'aide d'une

peinture, généralement au chromate de zinc ou de plomb. Ce produit est toxique : son emploi en épaisseur très limitée (15 à 20 microns) pour ne pas incommoder les soudeurs, en limite l'efficacité à quelques mois ;

Peintures appliquées en atelier et sur chantier. Les peintures de protection ont une durée de vie d'au moins 10 ans dans des milieux moyennement agressifs, à condition que l'acier ait été traité au préalable avec une protection "active" à base de métaux, plomb ou zinc.



Galvanisation.

Protection par galvanisation à chaud.

Les opérations sont les suivantes ⁽³⁾ :

- Dégraissage
- Rinçage
- Décapage
- Rinçage
- Bain de flux : cette opération a pour objectif de :
 - Parfaire la préparation de surface
 - Protéger la surface des pièces par un

film de flux et éviter l'oxydation

- Assurer une bonne mouillabilité par le zinc fondu;

Les flux employés sont composés de chlorure de zinc et de chlorure d'ammonium sous forme de sels double. Le rôle du flux est d'apporter à la température de galvanisation (environ 450°C) un décapant sous forme de gaz chlorhydrique par décomposition des sels de chlorure d'ammonium.

• **Galvanisation :**

Il existe 2 procédés de galvanisation:

- La galvanisation à sec (majorité des installations), constitué des étapes suivantes : fluxage, séchage, galvanisation par voie sèche ;

Les pièces sont plongées dans une solution concentrée de flux puis séchées (120 °C) dans une étuve pour former une pellicule de flux à la surface.

- La galvanisation humide :

Le flux fondu couvre une partie du bain de zinc (épaisseur 30 cm) et les pièces sont plongées à travers cette couche pour être sorties dans une partie sans flux.

• **Refroidissement et contrôle.**

- Eventuellement, application d'une ou deux couches de peinture pour augmenter la durabilité de la protection.
- Métallisation, après grenailage, par pulvérisation au pistolet de zinc ou d'aluminium en fusion. Cette protection peut être ensuite complétée par une peinture de protection.

Vie en œuvre

De même que les armatures du béton armé, les mailles métalliques des ossatures constituent des cages de Faraday qui isolent l'intérieur des bâtiments des champs électromagnétiques extérieurs, ce qui peut perturber certains appareils (récepteurs radio notamment). Par ailleurs, elles nécessitent une mise à la terre soignée afin d'éviter des cou-

LES OSSATURES ACIER	
ont pour avantages :	...et pour inconvénients :
<ul style="list-style-type: none"> • de permettre une préfabrication en usine afin de réduire le travail sur chantier • de pouvoir se concevoir comme un "Meccano™" à partir d'éléments modulaires • en limitant l'encombrement des ossatures, de libérer les espaces intérieurs, facilitant ainsi leur reconfiguration • de permettre de grandes portées et de grandes hauteurs • de permettre un montage rapide sur chantier • de permettre un démontage facile en cas d'assemblages boulonnés (parkings de supermarchés) • d'être recyclées à 95%, la revente des ferrailles couvrant souvent le coût de la déconstruction. 	<ul style="list-style-type: none"> • de nécessiter dans certains cas une protection vis-à-vis du feu • d'avoir une conductivité thermique élevée • de nécessiter la mise en œuvre d'un matériau résilient pour limiter la transmission des bruits d'impact • de nécessiter une protection contre la corrosion

rants électriques parasites, notamment en cas d'orage, courants dont l'incidence sur la santé des occupants n'a pas été établi.

Tenue au feu

Lorsqu'elle est nécessaire, la protection contre le feu des ossatures en acier peut être obtenue par flocage de laine de roche, ou par des écrans ou enrobages en plâtre ou en béton, par des mortiers ou des peintures intumes-

centes ou simplement par surépaisseur de certaines pièces pour augmenter leur inertie thermique. Le flocage à l'amiante est interdit depuis 1978.



Flocage de laine de roche.

POUR EN SAVOIR PLUS ⁽⁵⁾

- CTBA, Centre Technique du Bois et de l'Ameublement
Siège : 10 avenue de Saint-Mandé
75012 - Paris,
Tél. : 01 40 19 49 19 - Fax : 01 43 41 11 8
Pôle construction : allée de Boustaut
33028 - Bordeaux Cedex,
Tél. : 05 53 17 19 60 - Fax 05 56 43 64 80
- CNDB, Centre national de diffusion du bois, 6 avenue de Saint-Mandé
75012 - Paris
Tél. 01 40 19 49 19 - Fax 01 43 40 85 65
- OTUA, Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier,
Immeuble PACIFIC 11-13 Cours Valmy
92070 - Paris La Défense 7,
Tél. : 01 41 25 58 00 - Fax 01 41 25 55 70
- CERIB (Centre d'Etudes et de Recherches des Industries du Béton Manufacturé), BP 59,
rue des Longs Réages,
28231 - Epernon cedex,
Tél. : 02 37 18 48 00, Fax 02 37 83 67 39,
<http://www.cerib.fr>
- CTICM (Centre Technique Industriel de la Construction Mécanique)
domaine de St-Paul, route de Limours,
78470 - Saint-Rémy-lès-Chevreuse,
Tél. : 01 30 85 25 00, Fax : 01 30 52 75 38

Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth, avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).

*Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org*

⁽¹⁾ Vignes J.-L. et al., Données sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux, ENS Cachan, 7^{me} édition, 1997-1998, 458 p.

⁽²⁾ Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, Union Européenne, IPPC, Décembre 2001

⁽³⁾ Traitements de surface par immersion en bain métallique fondu, Galvanisation à chaud, technique de l'ingénieur, Traité de métallurgie, D. Quantin.

⁽⁴⁾ Les ossatures en acier sont en général associées à d'autres matériaux (panneaux sandwichs, planchers collaborants), qui améliorent le confort acoustique, notamment par la loi de masse.

⁽⁵⁾ Cette rubrique fournit des pistes d'information et d'approfondissement. Les organismes cités ne constituent pas une caution du contenu de la présente fiche.

LES TOITURES INCLINÉES

CE QU'IL FAUT SAVOIR

- ✓ Traditionnellement, les toitures inclinées sont utilisées en maison individuelle, en petit collectif et pour les petits bâtiments des secteurs agricole et industriel.
- ✓ Les toitures sont soumises à de nombreuses contraintes auxquelles on peut répondre par des solutions diverses, adaptées aux matériaux de couverture, généralement choisis en fonction du type de bâtiment et des contraintes architecturales d'intégration dans le site.

Les toitures inclinées sont constituées par une charpente en bois, acier ou béton, un support de couverture et une couverture présentés dans le tableau ci-dessous.

SYSTÈMES DE TOITURE INCLINÉE COURANTS	
Support de couverture	Couverture
Fermes, pannes, chevrons, fermettes, liteaux	Petits éléments
Fermes et pannes ou fermettes, voliges ou panneaux de particules	Petits éléments sur liteaux, feuilles métalliques ou caissons chevrons
Pannes sur refends, chevrons, volige ou panneaux de particules	Petits éléments sur liteaux, feuilles métalliques ou caissons chevrons
Fermes, pannes, chevrons	Plaques autoportantes, Sandwiches métal - isolant - métal
Isolant et membrane, voliges ou panneaux de particules	Verre ou matériaux organiques
Poutrelles & entrevous + dalle béton	Membrane ou panneaux et feuilles métallique Chaume
	Petits éléments sur liteaux

Protection contre la pluie et la neige

La pente est liée aux conditions climatiques : faible pour freiner la violence des pluies d'orage, forte pour les pluies de bruine, moyenne pour les chutes de neige abondantes afin de retenir la neige tout en permettant à l'eau de s'écouler.

Le débord d'une toiture en pente rejette l'eau loin du bâtiment. Les gouttières permettent de limiter le débord et de faire des économies de matière.

Un écran de sous-toiture, membrane perméable à l'air est nécessaire en région froide de montagne pour éviter la pénétration des flocons de neige. Sa pose nécessite de grandes précautions.

Le souci récent de gestion et de récupération des eaux pluviales modifie les choix techniques : une toiture végétalisée peut retenir l'eau d'une pluie d'orage pour écrêter le débit de pointe dans le réseau d'assainissement, ou l'évacuation peut aboutir soit à un puits d'infiltration, soit à un réservoir,



Toiture à double pente.

enterré ou en sous-sol, dans le cas d'une récupération.

Protection contre le froid, le soleil, l'humidité

Il faut intégrer les exigences :

- d'isolation et de protection thermique et solaire des baies incluses dans la toiture,
- de renouvellement d'air dans les locaux sous toiture,
- de préservation de la couverture et de son

support, notamment par la ventilation sous les couvertures en petits éléments,

- de contrôle des transferts d'humidité intérieure. Ce contrôle, obligatoire, se fait à l'aide d'un pare-vapeur, posé côté intérieur de la paroi en cas d'isolation intérieure.

Protection contre le bruit

En environnement bruyant, une couverture sur support continu est préférable à une couverture par petits éléments sur liteaux car elle crée une première barrière acoustique, surtout dans le cas des combles aménagés. L'isolation acoustique souhaitée peut être obtenue en ajoutant un isolant thermoacoustique. La position du pare-vapeur doit alors être déterminée par le calcul.

Tenue au vent

Le système d'accrochage (crochet, clou, ciment) se détermine en fonction de la pente et de la nature du support de couver-

ture. Pour les couvertures en petits éléments, le choix des matériaux et des pentes dépend de l'exposition au vent. Les pentes autorisées en fonction du matériau de couverture, de la zone d'exposition au vent et à la pluie et du type de fixation sont fixées par les normes DTU du CSTB de la série 40.

Etanchéité à l'eau

C'est une des fonctions premières des toitures. Elle est garantie entre autres par les recouvrements des systèmes à petits éléments, par les coutures des plaques ou par leurs recouvrements, par les membranes ou les étanchéités coulées, par les solins qui entourent tous les éléments émergeant du toit.



Toiture en ardoises.

Qualité architecturale

La toiture peut participer à l'intégration du bâtiment dans son environnement, par sa forme, ses pentes et les matériaux choisis.

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
TOITURES INCLINÉES	Fabrication	Utilisation de ressources renouvelables (bois planté) ou non (bois tropicaux issus de forêts primaires), recyclées (cuivre ou zinc recyclé) ou non (cuivre ou zinc vierge), recyclables (métaux, bois, béton) ou non (composites).
	Transport	Consommation de ressources fossiles (pétrole) et pollution de l'air (poussières, NOx, COV) minimisées par la réduction des distances et l'usage de transports sobres et propres (voie d'eau ou fer).
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité pour les poseurs : faibles pentes, facilité de mise en œuvre / de démontage de la couverture et de l'isolation • Nature des déchets de chantier et de déconstruction (charpentes en bois traité avec des produits dangereux = déchets spéciaux) • Potentiel de réutilisation / recyclage : démontabilité, existence de filières de recyclage.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Choix du procédé et du type de couverture : intégration dans le site, qualité architecturale, adaptation au climat • Choix du matériau de couverture : durabilité, risque de pollution par lessivage par les pluies • Gestion de l'énergie : aptitude à recevoir des équipements environnementalement intéressants : capteurs solaires (pan orienté au sud, d'inclinaison égale à la latitude, existence de solutions d'intégration à la toiture du type fenêtre de toiture) • Confort hygrothermique d'hiver : isolation thermique, contribution à l'inertie thermique • Confort hygrothermique d'été : albedo de la couverture (aptitude à réfléchir le rayonnement solaire), inertie thermique • Gestion de l'entretien et de la maintenance : fréquence et nature des opérations d'entretien et de maintenance.

LES MATÉRIAUX DE COUVERTURE

Les petits éléments

Ardoise et lauze

L'ardoise est une roche dérivée du schiste qui se débite en fines feuilles (3 à 9 mm) pour être mises en œuvre en toiture (35 à 70 kg/m²). Les mines fermées telles que les ardoisières d'Angers sont abandonnées au profit des carrières à ciel ouvert d'Espagne pour des questions de coût, ce qui peut induire des distances de transport considérables.

Les lauzes sont des pierres épaisses et lourdes utilisées dans l'habitat rural ancien de certaines régions de montagne, qui nécessitent des charpentes très résistantes (poids 90 à 130 kg/m²). Ardoises et lauzes requièrent des poseurs expérimentés (plaques inégales dont il faut assurer le recouvrement). Elles peuvent être réutilisées.

Impacts environnementaux

- Ressource locale limitée, distances de transport parfois très importantes
- Produits lourds : surcoût de charpente, mise en œuvre pénible et risquée
- Possibilité de réutilisation



Bardeaux de bois.

Bardeaux de bois

Le bois utilisé doit être résistant aux intempéries (classe d'exposition 3). Il est souhaitable d'utiliser des essences qui ne nécessitent pas de traitement. Leur aspect architectural particulier (teinte grisée plus ou moins claire et uniforme) limite leur utilisation aux sites et aux usagers des bâtiments qui l'acceptent.

Impacts environnementaux

- Voir ci-dessous les impacts environnementaux des supports de couverture.

Tuiles de terre cuite et de béton

Extrudées ou moulées, puis séchées et cuites à l'aide d'une quantité d'énergie assez importante (en général fuel ou gaz naturel), les tuiles actuelles de **terre cuite** ont un niveau de performance garanti et constant. Elles restent néanmoins généralement gélives et ne peuvent donc être utilisées sous tous les climats. Les tuiles anciennes sont réutilisables.

Les **tuiles de béton** existent depuis plus d'un siècle. Initialement de meilleure qualité (stabilité dimensionnelle) que les tuiles



Tuiles de béton.

de terre cuite, leurs caractéristiques techniques et leur gamme sont aujourd'hui comparables, seuls diffèrent leur résistance au gel (garanti trente ans) et leur aspect en particulier de planéité : le béton teinté dans la masse permet des coloris plus variés que la terre cuite, mais la teinte, plus homogène que les tuiles de terre cuite, donne des couvertures plus uniformes et un aspect vernissé que n'ont généralement pas les tuiles de terre cuite.

Qu'elle soit en terre cuite ou en béton, les qualités principales d'une tuile sont l'étanchéité à la pluie, la résistance aux intempéries (soleil, gel) et la résistance à la traction par flexion (neige, vent).

Les tuiles en béton peuvent être mises en œuvre par les couvreurs ou par les maçons. Elles sont principalement utilisées en habitat individuel.

Impacts environnementaux
Tuiles de terre cuite et tuiles béton ont des performances environnementales comparables. Utilisant des matières premières non renouvelables mais abondantes, elles sont réutilisables dans les deux cas. Leur mode de fabrication actuel utilise des quantités d'énergie notables (cuisson de la terre ou du ciment); la cuisson du clinker utilisé pour la fabrication du ciment utilise comme combustible (à hauteur de 30%) des déchets et sous-produits industriels parfois difficiles à éliminer autrement, alors que la terre cuite est séchée et cuite dans des fours généralement chauffés au fioul ou au gaz.

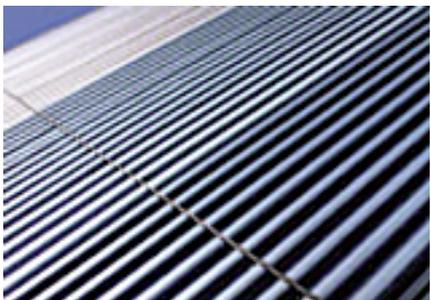
Les couvertures en plaques autoportantes

Tôle d'acier nervurée

Pour des raisons essentiellement techniques, les produits plats du bâtiment (tôles et feuillards) sont fabriqués à partir d'acier de haut-fourneau alors que les produits longs (profilés, poutrelles et armatures) le sont en aciérie électrique.

La protection anti-corrosion des produits plats au carbone utilisés en toiture est obtenue par un revêtement de zinc, d'aluminium ou d'alliage zinc-aluminium (sauf pour l'acier auto-patinable Indaten) généralement complétée par une couche de peinture primaire d'accrochage et une couche de finition au minimum.

Les laquages par peinture poudre à dépôt électrostatique et cuisson au four, qui présentent l'avantage d'être exemptes de solvants et de métaux lourds, font l'objet de nombreuses recherches : les techniques actuelles ne permettent pas de satisfaire les contraintes techniques et financières imposées par le marché.



Panneaux sandwichs métal / isolant / métal

Plats ou cintrés de grande dimension, ces panneaux sont très utilisés pour les bâtiments industriels. L'isolant utilisé est généralement du polyuréthane.

Impacts environnementaux
 (cf. également la fiche Ossatures)

Couverture métallique.

PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
Extraction du minerai de fer	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation de ressources non renouvelables : 4^{ème} élément de la coûte terrestre, le fer est disponible en abondance (réserves exploitables 175 ans, réserves prouvées : 265 ans), facilement recyclable et recyclé à plus de 40%. • Emissions et nuisances : érosion du sol et altération du paysage, bruit et poussières pour les travailleurs et les riverains.
Fabrication ¹	<ul style="list-style-type: none"> • La fabrication d'une tonne d'acier brut consommait en 1995 en Europe en moyenne 950 kg de minerai (importé en totalité depuis 1997), 510 kg de ferrailles, 400 kg de charbon, 140 kg de calcaire, 7,9 m³ d'eau et 5 GJ d'énergie électrique (aciérie électrique) ou 19,3 GJ (haut-fourneau), dont 65% de charbon et 29% d'électricité (France 1996). • Dans les aciéries modernes, cette fabrication rejette 2 kg de poussières et 2,45 kg de SO₂. En 1990, elle rejetait dans l'air 71 kg de zinc (35% des émissions totales de l'Europe des 15), 78 kg de plomb (9%, en 1996), 8 kg de chrome (55%), 1 kg de cadmium (19%), et, en 1995, 37 µg I-TEQ de dioxines et furanes (19%).
Mise en œuvre et déconstruction	<ul style="list-style-type: none"> • Les protections rapportées (peintures²) sont sensibles aux chocs et nécessitent un soin particulier à la pose. A l'inverse, le revêtement de zinc déposé par galvanisation est réputé pour sa résistance à l'abrasion et au choc. Cette opération est réalisée soit en continu sur les bandes d'acier, soit à façon sur des pièces finies (au trempé). • La nature des fixations et des supports de couverture doit être conforme aux préconisations du fabricant pour éviter la corrosion de l'acier par effet de pile. • Les faibles pentes permises par le matériau limitent les risques de chute des poseurs.
Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance et entretien minimes si pose correcte (absence de corrosion). • Pour les sandwichs acier + isolant + acier, la continuité de la peau intérieure en acier de la couverture limite le risque de dégagement d'acide cyanhydrique par pyrolyse du polyuréthane dans le bâtiment en cas d'incendie.
Fin de vie	<ul style="list-style-type: none"> • Les feuilles d'acier monomatériau sont faciles à recycler et leurs chutes ne sont pas des déchets dangereux. • Les sandwichs métal / isolant / métal sont recyclables par broyage, récupération du métal envoyé à la refonte et incinération de la mousse isolante (procédé à l'étude). Dans certains cas, les matériaux sont facilement séparables sans recourir au broyage. • La galvanisation crée une fine couche de zinc qui se retrouve dans les poussières filtrées dans les fumées des aciéries électriques, dont 2/3 partent en centre de stockage de classe 1 et 1/3 est traité pour récupérer le zinc, réutilisé en galvanoplastie.

(1) Sources : Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, Union Européenne, IPPC, Décembre 2001 et Vignes J.-L. et al., Données sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux, ENS Cachan, 7^{me} édition, 1997-1998, 458 p.

(2) Les peintures à base aqueuse sont de plus en plus utilisées. Sans solvant, elles sont a priori préférables aux laques solvantées pour la santé des travailleurs, à condition qu'elles ne contiennent pas de dérivés de l'éthylène glycol. Eviter si possible les peintures contenant des sels ou des oxydes de métaux lourds (plomb, cadmium, cobalt, chrome, antimoine, nickel, mercure) et les peintures dont les emballages comportent un étiquetage de produits dangereux (T+, T, Xn ou Dangereux pour l'Environnement), repérable sur les Fiches de Données de Sécurité (Voir § traitement des bois au chapitre ossatures).

Ardoises ou plaques en fibres-ciment

Les ardoises en fibres-ciment sont de petits éléments destinés à se substituer aux ardoises naturelles en zone de montagne ou sur des constructions traditionnelles, du fait de la rareté des ardoises naturelles ou des distances de transport importantes qui grèvent leurs coûts.

Les plaques ondulées (1,25 m à 2,05 m sur 0,90 à 1,10 m environ, de 16,1 kg à 32,2 kg/plaque) permettent de construire sous avis technique des toitures à aspect de tuile canal à coût et temps de pose réduits. Jusqu'à l'interdiction de l'usage de l'amiante dans le bâtiment, les fibres de renfort utilisées étaient en amiante. Depuis l'interdiction, ce sont des fibres naturelles ou synthétiques sans risque pour la santé.

Plaques en matière organique de synthèse (PVC, polyester, polycarbonate)

Cf. Fiche Menuiserie et vitrages, § Vitrages en matériaux de synthèse.

En PVC, polyester armé de fibres de verre ou polycarbonate, les plaques ondulées sont utilisées quand on recherche une couverture légère et translucide. Utilisées principalement dans les bâtiments agricoles ou industriels, ces plaques présentent l'inconvénient d'une résistance au feu limitée et d'une qualité acoustique médiocre (bruit de la pluie ou de la grêle. En outre, un éclairage zénithal favorise les surchauffes d'été dues aux apports solaires et n'est donc pas favorable au confort hygrothermique d'été.

Aluminium

Les couvertures en aluminium présentent des caractéristiques mécaniques supérieures à celles en zinc et sont plus légères que celles en acier. Elles existent également en panneaux sandwichs alu + isolant + alu (cf. ci-dessous).

Impacts environnementaux

La fabrication de l'aluminium est très énergivore (12 kWh/kg d'électricité) et les réserves exploitables de bauxite sont actuellement évaluées à 80 ans. Une partie des mines exploitées contribuent, par leur localisation (bande intertropicale), à la destruction de la forêt tropicale primaire, réservoir de biodiversité. En revanche, c'est un matériau recyclable, pour un coût énergétique faible (5% de l'énergie utilisée pour la production), sauf les panneaux sandwichs (voir panneaux acier).

LES COUVERTURES EN FEUILLES MINCES SUPPORTÉES

Zinc

Le zinc est un matériau résistant, peu sensible à la corrosion, mais attaqué par les fumées soufrées émises par la combustion du fioul domestique. Adapté aux faibles pentes, il est aussi très utilisé pour les ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux pluviales (gouttières, chéneaux, descentes), de protection des points singuliers et des émergences (faîtages, arêtières, noquets, jouées des lucarnes). Il couvre la plupart des immeubles parisiens.



© VM zinc/umicore

Toits de zinc.

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
LE ZINC	Extraction	<ul style="list-style-type: none"> Ressource non renouvelable disponible en quantités limitées (réserves exploitables : 20 ans, réserves prouvées : 67 ans), le zinc est facilement recyclable. 25 à 30% du zinc utilisé aujourd'hui dans l'industrie occidentale (toutes applications confondues) est issu du recyclage. Pour des raisons de facilité de mise en œuvre, le zinc des toitures est un alliage de zinc de 1^{ère} fusion, de cuivre et de titane, faute de disponibilité de zinc recyclé contenant la proportion adéquate de cuivre et de titane. Minerai : érosion du sol et altération du paysage, bruit et poussières pour les travailleurs et les riverains Comme beaucoup de minerais métalliques, le minerai de zinc (goéthite) contient de l'arsenic qui se retrouve dans les déchets d'affinage, non valorisables et stockés en site contrôlé.
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> Processus connu et maîtrisé pour lequel les impacts environnementaux sont aujourd'hui réduits en France grâce à la coopération des industriels avec les DRIRE (Direction Régionale de la Recherche, de l'Industrie et de l'Environnement). Consommation d'énergie : 3 à 3,5 kWh/kg d'électricité (soit 10 kWh/kg d'énergie primaire).
	Mise en œuvre et déconstruction	<ul style="list-style-type: none"> Les faibles pentes permises par le matériau limitent les risques de chute des poseurs. En fin de vie, les toitures sont récupérées pour la galvanisation. Les tôles d'acier galvanisé récupérées à leur tour en fin de vie sont refondues en aciérie électrique, et le zinc récupéré dans les poussières en sortie de four pour être réutilisé en galvanoplastie. Les chutes de feuilles de zinc sont faciles à recycler et ne sont pas des déchets dangereux.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Exposé à l'humidité, le zinc se couvre d'une fine pellicule terne d'hydroxycarbonate de zinc insoluble dans l'eau qui le protège d'une oxydation en profondeur. Afin d'éviter les risques de corrosion, le zinc ne doit pas être en contact direct avec le plâtre, la chaux, le ciment, le bois de chêne et de châtaignier et le cuivre. Le zinc est un oligo-élément dont la présence en faible quantité est nécessaire aux organismes vivants, mais qui peut être toxique à doses plus importantes. Le zinc ne présente aucun risque de pollution par lessivage même en environnement pollué. Par contre, la pollution de l'atmosphère agit sur la durée de vie de la couverture : 80 ans en environnement urbain, 50 ans en environnement fortement pollué (sites industriels).
	Fin de vie	Le zinc en feuilles utilisé en toiture est facilement recyclable. Sinon c'est un DIB.

Cuivre

Les couvertures de cuivre peuvent durer plus de cent ans, et l'énergie nécessaire pour les produire est de l'ordre du tiers de celle nécessaire à la production de couvertures en aluminium. Les réserves mondiales de minerai de cuivre sont limitées, mais 40 à 50% du cuivre utilisé aujourd'hui (toutes applications confondues) est issu du recyclage.



Couverture en cuivre.

Plomb

La feuille de plomb se plie bien à des modénatures diverses et crée une très bonne protection des points singuliers (traversée de cheminée, angles, faitage, corniches, etc.).

Impacts environnementaux

Le plomb est toxique par ingestion ou inhalation, et son usage est aujourd'hui limité à la restauration des monuments historiques.

Les bardeaux bitumineux (Shingles)

Appelés couramment shingles, il s'agit d'un matériau souple fabriqué par imprégnation à 200 à 260°C par de l'asphalte ou du bitume de bandeaux de feutre renforcé de fibre de verre pour donner la rigidité et colorée par des granulés minéraux, refroidi à l'eau et séché à l'air.

Présenté en bandes rectangulaires équivalentes à quatre ardoises, c'est un matériau léger (9kg/m²) qui peut être posé :

- sur voligeage jointif ou panneaux de particules de bois avec fixation par agrafage ou clouage, "à l'américaine"
- sur liteaux aux crochets. Cette méthode est moins rapide et nécessite de prévoir une excellente isolation thermique en sous-toiture, "à la française",
- collé ou thermo-collé sur voligeage jointif ou panneaux de particules de bois.

Malgré une apparente simplicité, il est indispensable de faire appel à un professionnel pour éviter les désagréments liés à une pose défectueuse : mauvaise fixation des

LE CUIVRE	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Extraction et fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Ressource non renouvelable disponible en quantités limitées (réserves exploitables : 36 ans, réserves prouvées : 62 ans), le cuivre est facilement recyclable et 40 à 50% du cuivre utilisé aujourd'hui dans l'industrie occidentale (toutes applications confondues) est issu du recyclage (le taux de recyclage fluctue en fonction du cours du métal vierge). • Erosion du sol et altération du paysage, bruit et poussières pour les travailleurs et les riverains. • Consommation d'énergie : 3 à 3,5 kWh/kg d'électricité (soit 10 kWh/kg d'énergie primaire).
	Mise en œuvre et déconstruction	Les faibles pentes permises par le matériau limitent les risques d'accident pour les poseurs. Les feuilles de cuivre sont faciles à recycler et leurs chutes ne sont pas des déchets dangereux.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Exposé à l'humidité extérieure, le cuivre se couvre au fil des ans d'une fine pellicule terne de sels hydratés, la patine, qui le protège d'une oxydation en profondeur. • Peu de risque de pollution par lessivage, sauf peut-être en zone industrielle (fumées acides). • Le cuivre supporte le contact direct avec le plâtre, la chaux, le ciment ou les bois acides. • Le cuivre est un oligo-élément dont la présence en faible quantité est nécessaire aux organismes vivants, mais qui peut être toxique à doses plus importantes. Les quantités libérées par le lessivage des couvertures en cuivre par la pluie sont trop faibles pour induire un effet significatif sur le milieu ou sur la santé humaine.
	Fin de vie	Le cuivre est largement récupéré en fin de vie.

plaques qui, par l'effet de retrait et dilatation du matériau lors de gros écarts de température, se soulèvent et mettent en péril l'étanchéité de l'ensemble.

Ce produit permet de couvrir les toitures à faible pente (15° minimum). Entre 15 et 25°, prévoir un renfort d'étanchéité en sous-couche (par exemple une membrane PVC). Comme pour les autres matériaux, il est important d'assurer une bonne ventilation de la sous-toiture.



Bardeaux bitumineux (Shingle).

BARDEAUX BITUMINEUX OU SHINGLES	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	Ceux du bitume ou de l'asphalte (voir chapitre toitures terrasses).
	Mise en œuvre	Produit léger maniable. Pose collée : dégagement possible de COV.
	Vie en œuvre	La couleur noire chauffe au soleil et peut causer des surchauffes des locaux sous toiture. La légèreté du produit n'isole pas des bruits de choc (pluie, grêle). Risque de désordres si recouvrement insuffisant (retrait-dilatation importants).
Fin de vie	Récupération possible si pose collée et non clouée. Incinérable avec récupération d'énergie. Certains produits anciens peuvent contenir des goudrons, DIS éliminable en incinérateur agréé.	

Toitures végétalisées

Certaines essences végétales, telles que les Sedums, permettent de végétaliser des toitures jusqu'à des pentes de 100%. Cf. chapitre toitures terrasse.



Sedum utilisé en toiture.



Label du "Forest Stewardship Council (FSC).

SUPPORTS DE COUVERTURE ET FIXATIONS

Les supports de couverture sont décrits dans les DTU et dépendent du matériau de couverture utilisé. Ils sont soit en bois massif d'essence adaptée, soit en panneaux de contreplaqué ou de particules.

Les fixations concernent les couvertures et les bardages. Elles doivent être conformes aux exigences des DTU applicables ou à celles des avis techniques concernés.

SUPPORTS DE COUVERTURE EN BOIS OU DÉRIVÉS DU BOIS	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	cf. chapitre bois
	Mise en œuvre	cf. chapitre bois
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> Le choix des essences des bois utilisés pour les supports de couverture doit être adapté au risque d'attaque biologique de classe 2, sans traitement autre que la purge des aubiers, sauf pour les parties régulièrement exposées à la pluie, qui doivent être de classe 3. De nombreuses essences indigènes répondent à ces exigences. Eviter les bois issus de forêts primaires (exotiques ou nord-américains), à réserver pour des usages plus nobles, sinon exiger un label de certification de gestion durable des forêts (FSC – Forest Stewardship Council - ou équivalent). Pour les contreplaqués, préférer des produits à base de bois indigène (peuplier, hêtre) et non de bois tropical, sinon exiger un label de certification de gestion durable des forêts (FSC ou équivalent). Pour les panneaux de contreplaqué non revêtus situés dans l'air ambiant de locaux normalement occupés, exiger la classe A d'émission de formaldéhyde selon la norme NF EN 1084.
Fin de vie	cf. chapitre bois	

POUR EN SAVOIR PLUS ³

- CTBA, Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Pôle construction, allée de Boutaut, 33028 Bordeaux Cedex, Tél. : 05 53 17 19 60 - Fax 05 56 43 64 80 www.ctba.fr
- FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques), 17 rue Letellier - 75015 Paris Tél. : 01 44 37 07 10 - Fax 01 44 37 07 20
- CERIB (Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton Manufacturé), BP 59 - 282331 Epernon cedex Tél. : 02 37 18 48 00 - Fax 02 37 83 67 39 - www.cerib.com
- Fédération des Chambres Syndicales des Minerais Minéraux Industriels et Métaux Non Ferreux
Chambre Syndicale du Zinc et du Cadmium, Chambre Syndicale du Cuivre et de ses Alliages,
30 av Messine 75008 Paris,
Tél. : 01 40 76 44 50 ou 01 45 63 02 66,
Fax 01 45 63 61 54
contact@mineraux-et-metaux.org
www.mineraux-et-metaux.org
- Association Minéraux, Métaux Non Ferreux, Santé et Environnement (AMSE),
30 av Messine - 75008 Paris,
Tél. : 01 40 76 44 62 - Fax 01 53 75 02 13
amsante@aol.com
- Centre d'Information du Cuivre, Laitons et Alliages (CICLA), 30 av Messine - 75008 Paris
Tél. : 01 42 25 25 67 - Fax 01 49 53 03 82
centre@cuivre.org - www.cuivre.org
- Syndicat National du Profilage de Produits Plats en Acier (SNPPA)
2 rue de Logelbach - 75017 - Paris
Tél. : 01 42 12 70 75 - Fax 01 47 54 94 45
www.snppa.fr/

(3) Cette rubrique fournit des pistes d'information et d'approfondissement. Les organismes cités ne constituent pas une caution du contenu de la présente fiche.

Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth, avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).

*Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org*

LES TOITURES TERRASSES

CE QU'IL FAUT SAVOIR

- ✓ Après les désordres observés sur les bâtiments construits au lendemain de 1945, les étanchéités des toitures terrasses à base de bitume, d'asphalte ou de membranes synthétiques mises en œuvre aujourd'hui sont durables, à condition de respecter leurs avis techniques et de confier leur réalisation à des spécialistes.
- ✓ Elles permettent en outre de végétaliser les toitures, leur permettant alors d'offrir un agrément visuel aux riverains de la toiture, une niche de biodiversité au cœur de la ville, et de contribuer à la gestion des eaux pluviales, au confort thermique d'été et au confort acoustique du bâtiment sans grever les coûts d'entretien.

STRUCTURE DES TOITURES TERRASSE

Traditionnellement, les toitures terrasses sont utilisées en logement collectif et en secteurs tertiaire et industriel. Cette technique s'est développée en France après 1945 avec la reconstruction.

Une toiture-terrasse est constituée, de l'intérieur vers l'extérieur :

- d'un élément porteur
- d'un écran pare-vapeur (éventuellement disposé sur une couche de diffusion destinée à répartir la pression de la vapeur d'eau)
- d'une isolation thermique éventuelle (locaux chauffés)
- d'un revêtement d'étanchéité proprement dit
- d'une protection de ce revêtement
- de dispositifs accessoires et complémentaires (acrotères, souches, etc.)

L'élément porteur peut être un plancher en béton armé coulé en place sur ossature armée ou sur bacs acier, en béton précontraint ou encore à poutrelles et entrevous préfabriqués. Le support peut aussi être en acier (bacs de tôle nervurée), en béton cellulaire armé, voire en panneaux dérivés du bois sur ossature.

L'isolant, sous forme de panneaux, peut être :

- à base de plastique alvéolaire : polystyrène expansé ou mousse de polyuréthane parementée
- à base végétale : liège aggloméré expansé pur
- à base minérale : mousse de verre
- à base mixte : perlite-cellulose (perlite expansée et fibres celluloses agglomérées au bitume)



Gravillons sur toiture terrasse.

- composite : mousse de polyuréthane + perlite-cellulose

Le liège en tant qu'isolant thermique relève d'une norme (NF B 57-052 de novembre 1973 "Liège. Agglomérés expansés purs thermiques. Caractéristiques, échantillonnage et emballage"). Les autres isolants sont sous avis technique.

Pour les impacts environnementaux des isolants, voir le chapitre correspondant.

En général, l'isolant est placé sous l'étanchéité; il peut être mis en œuvre au-dessus (toiture inversée) mais le coût en est supérieur. Les systèmes adhérents (étanchéité solidaire de son support) conviennent aux terrasses accessibles. Les systèmes semi-indépendants sont applicables aux revêtements sur



Mise en œuvre d'une toiture végétalisée.

ouvrages en maçonnerie dont la pente est supérieure à 5% (rampes pour véhicules).

La couche d'indépendance est constituée par un complexe constitué de deux papiers kraft contre-collés par du bitume pour les supports maçonnés et d'une double couche de papier kraft ou d'une feuille de papier "entre deux sans fil" pour les panneaux isolants.

Le DTU 43.1 traite du cas des toitures de pente inférieure à 5% avec éléments porteurs en maçonnerie et revêtements d'étanchéité traditionnels en asphalte coulé ou multicouche par bitumes armés. Les autres cas relèvent des Avis Techniques. Le présent chapitre traite des étanchéités mono et multicouches à base de bitumes, d'asphalte ou de membranes synthétiques ainsi que des toitures végétalisées.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ

Le bitume

L'étanchéité **bitume** est introduite en France après 1945, en provenance d'Amérique du Nord. Il s'agit de bitumes oxydés qui, rapidement, couvriront 80% du marché de l'étanchéité. Le bitume est un mélange d'hydrocarbures, résidu lourd de la distillation du pétrole liquéfiable à chaud. Son oxydation, qui consiste à faire passer un courant d'air à travers du bitume fondu, lui confère une plus grande stabilité et une meilleure tenue à la chaleur.

Cependant, alors que les Américains n'utilisent cette technique que pour des bâtiments industriels légers de durée de vie inférieure à cinq ans, les Français n'ont pas réalisé qu'il s'agissait d'une technique non durable, nécessitant un entretien régulier, et l'appliquent à la construction neuve de logements appelés à durer longtemps, ce qui conduit, de 1945 à 1974 environ, à des désordres importants dus à des défauts d'étanchéité. A partir de 1970, le bitume oxydé est peu à peu remplacé par des bitumes élastomères de type SBS (styrène butadiène styrène), aux caractéristiques améliorées : souplesse à froid, résistance au vieillissement, tenue à la chaleur, élasticité, soudabilité.

La nécessité d'isoler thermiquement la toiture a conduit à associer des feuilles bitumées à un isolant support.

Apparues dès 1955, ce n'est qu'à partir des années 1970 que les armatures en verre remplacent les armatures cellululosiques, améliorant ainsi leur classement au feu. Dans les années 70-80, la mise en œuvre d'une armature en polyester non tissé améliore la résistance aux déformations (les supports en matériaux de synthèse sont sujets à une forte dilatation thermique) et la résistance au poinçonnement, au prix d'un moins bon comportement au feu et d'un manque de stabilité dimensionnelle.



Film bitumineux.

Une solution de compromis permettant de répondre à toutes les exigences (résistance au feu, aux déformations et au poinçonnement) est trouvée avec les armatures composites verre et polyester. Ces dernières se développent dans les années 80 mais ne connaissent un réel essor que dans les années 90. L'outillage de pose évolue lui aussi. Au départ, les bitumes oxydés sont posés avec une couche de colle intermédiaire et sont réchauffés sur chantier (pose en deux ou trois couches). La même technique est d'abord utilisée pour le bitume élastomère puis, à partir de 1975, la technique de la soudure au chalumeau à flamme est de plus en plus utilisée. Cette transition permet d'éliminer le chauffage du bitume qui constitue une source d'incendie ou de brûlures sur chantier. Le soudage se faisant à genoux, les dernières innovations dans l'outillage permettent au poseur de travailler debout.

La technique d'étanchéité utilisée dans le secteur industriel est souvent une toiture métallique en tôle d'acier nervurée avec un isolant en laine minérale et un revêtement

d'étanchéité. L'évolution de cette technique d'étanchéité est liée à celle de la mise en œuvre. Ainsi, quand la technique du collage au bitume est remplacée par la technique du soudage, la préparation de la surface du panneau de laine minérale sur laquelle on vient souder la feuille bitumée se fait en usine. Ensuite, avec l'apparition de la fixation mécanique, la préparation de surface disparaît. Cette dernière technique de mise en œuvre amène le transfert de la fonction résistance au vent de l'isolant vers l'étanchéité, ce qui est rendu possible par l'armature en polyester non tissé incluse dans la feuille de bitume.



Feuille bituminée.

LES BITUMES	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation de ressources : sous produit de la pétrochimie, le bitume, résidu lourd de distillation du pétrole, sera disponible en abondance tant qu'il y aura du pétrole. • Le sable n'est pas une ressource rare. • Le goudron issu de la carbochimie n'est plus utilisé dans le bâtiment. • Emissions et rejets : indissociables de ceux liés à la pétrochimie.
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • La pose soudée ne présente pas les risques de la mise en œuvre du bitume chaud. • L'outillage moderne permet au poseur de travailler debout et non plus à genoux. • Certains mélanges de goudron et de bitume contiennent des quantités importantes d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) dont la plupart sont réputés cancérigènes et qui font du mélange une substance dangereuse, ce que n'est pas en principe le bitume. • Les bitumes élastomères peuvent dégager des substances nocives susceptibles de provoquer des troubles respiratoires.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Les interventions de réparation se font dans les mêmes conditions que la mise en œuvre. • Pas d'incidence sur la santé des occupants des bâtiments, sauf si un défaut d'étanchéité entraîne l'apparition d'humidité et le développement de micro-organismes pathogènes dans les locaux sous toiture.
Fin de vie	<ul style="list-style-type: none"> • Le bitume est en principe réutilisable, mais les armatures rendent le recyclage impraticable. Il est incinérable avec récupération d'énergie. • C'est un déchet banal non dangereux, alors que le goudron est un DIS. 	

L'asphalte

L'asphalte ne s'applique que sur des supports de pente au plus égale à 3% en système indépendant.

Utilisé pur comme matériau étanche depuis 3200 avant JC, l'asphalte naturel est une roche sédimentaire, généralement calcaire imprégnée de bitume à l'état pur (NF B 13401), dont les principaux gisements français sont situés dans le Gard, le Puy de Dôme et la Haute-Savoie.

L'asphalte coulé répond à la norme NF P 84-305 ; c'est un mélange chauffé à 200°-250°C d'un liant bitumineux et de poudre d'asphalte naturel avec des granulats.

Actuellement, le terme asphalte désigne l'ensemble des produits constitués par le mélange :

- d'un mastic obtenu par un mélange de bitume, produit résiduel de la distillation du pétrole, et de fines provenant soit de roche calcaire asphaltique imprégnée d'hydrocarbures lourds, soit d'une roche quelconque, généralement calcaire,
- d'un squelette minéral constitué de sables et de gravillons.

L'asphalte est aujourd'hui employé avec des additifs : styrène-butadiène-styrène (polymère améliorant les qualités adhésives), urée-formaldéhyde, polypropylène qui dégagent, lors de la pose, des gaz (COV) pouvant provoquer irritation des voies respiratoires, maux de tête et somnolence.

Bien que non élastique, l'asphalte peut encaisser certains mouvements du support. Il est sensible aux températures élevées, mais résiste bien aux basses températures.

Le revêtement d'asphalte ne nécessite pas de protection supplémentaire, sauf dans les cas suivants :

- toiture-terrasse circulaire,
- toiture-terrasse non-circulaire située dans les régions à fort contraste de température,
- sur support bois,
- sur support isolant.

Les multicouches

Les multicouches sont des revêtements d'étanchéité constitués de plusieurs feuilles, étanches, collées entre elles avec un EAC (enduit d'application à chaud), soit avec un ciment volcanique, un produit pâteux ou par soudure. Le ciment volcanique est un mélange à chaud de brai de goudron, de soufre, de résine, d'huiles anthracéniques et de fillers (éléments très fins). Il n'est pratiquement utilisé que comme EAC. L'enduit pâteux est constitué d'un liant à base de bitume ou de brai de houille ou d'élastomère

	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
LES ASPHALTES	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation de ressources : ressource naturelle relativement limitée (asphalte) ou fabriquée à partir de bitume (résidu lourd de distillation du pétrole), l'asphalte sera disponible en abondance tant qu'il y aura du pétrole. • Emissions et rejets : <ul style="list-style-type: none"> - asphalte naturel : ceux des carrières (bruit, poussières, paysages) - asphalte de synthèse : ceux de la pétrochimie.
	Mise en œuvre	Les additifs peuvent dégager des substances nocives susceptibles de provoquer des troubles respiratoires.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Les interventions de réparation se font dans les mêmes conditions que la mise en œuvre. • Pas d'incidence sur la santé des occupants des bâtiments, sauf si un défaut d'étanchéité entraîne l'apparition d'humidité et le développement de micro-organismes pathogènes dans les locaux sous toiture.
	Fin de vie	<ul style="list-style-type: none"> • L'asphalte est réutilisable et incinérable avec récupération d'énergie. C'est un déchet banal non ultime. • Certaines toitures anciennes comportent des goudrons, résidus de la carbochimie riches en HAPs (hydrocarbures aromatiques polycycliques), qui sont des déchets dangereux à éliminer en centres agréés.

res de synthèse, de charges minérales (craie, silice, kaolin) et de fibres servant d'armature ; il est employé à froid.

La technique de fabrication du multicouche a évolué, du bitume fixé pour éviter son écoulement sur une feuille de carton, au feutre (feuille de carton imprégnée) renforcé par une armature, puis à des toiles de jute, remplacées maintenant par des toiles de verre plus résistantes, armant une chape de bitume plus épaisse nécessitant moins de couches donc moins de main d'œuvre. En système indépendant, les revêtements multicouches reçoivent obligatoirement une protection lourde pour les lester.

Les membranes synthétiques

Les produits autres que le bitume et l'asphalte sont des produits d'étanchéité à base de polymères, en particulier de PVC. Les membranes synthétiques sont constituées de feuilles préfabriquées souples réalisées à base de résines de polymères de synthèse avec des adjuvants (plastifiants, stabilisants, pigments,...). Leur mise en œuvre est différente de celle des feuilles à base de bitume ou d'asphalte et le personnel de pose doit être spécifiquement formé.



Membrane synthétique.

On distingue les matériaux plastiques ou platomères et les matériaux élastiques ou élastomères :

- PVC en feuilles d'épaisseur 1,2 à 1,5 mm ou plus, utilisés en système indépendant avec protection lourde rapportée,
 - poly-isobutylène en monocouche de 1,5 mm.
- La jonction des lés se réalise soit par apport de bande entre les recouvrements, soit par dissolution.

Les élastomères sont faits de caoutchouc, butyl, éthylène, propylène, EPDM (...). Il s'agit principalement de revêtements monocouches non armés de 1 à 1,5 mm d'épaisseur. La jonction entre lés est réalisée par collage avec bande intercalaire rapportée.

Ce sont des revêtements stratifiés réalisés par application de plusieurs couches de liquide à base de polyéthylène chlorosulfoné, de polyuréthane, de polyester ou de résine acrylique. Ils forment un complexe isolant étanche et adhèrent au support. Les toitures-terrasses circulables peuvent être réalisées par ce procédé grâce à la bonne résistance mécanique de la mousse obtenue (4 daN/cm² en compression).

Les membranes sont actuellement conçues en tenant compte des impacts environnementaux.

Par exemple, la membrane SARNAFIL, à base de PVC, a les caractéristiques suivantes :

- pas d'ignifuge halogéné, ce qui permet d'éviter, en cas d'incendie, la formation de gaz de combustion corrosifs (acide bromhydrique et acide chlorhydrique) ou toxiques (dioxines poly-halogénées et

furanes) et facilite la valorisation énergétique du produit.

- propriétés mécaniques améliorées permettant de diminuer la quantité de matière utilisée (- 20%)
- produit neutre vis-à-vis de l'eau de pluie (pH, teneur en carbone organique dissous (COD) et teneur en matière inorganique inchangés).
- pas d'émanation nocives lors la mise en œuvre ou des travaux d'entretien, qui ne nécessitent aucune mesure de protection particulière.

Les toitures végétalisées

Les toitures végétalisées utilisent maintenant de très faibles épaisseurs de terre ou de substrat, sur une couverture isolée et étanche. Toutes sont sous avis technique.

Les végétaux employés peuvent offrir des coloris variés selon l'espèce, voire la saison. Ils peuvent ne nécessiter aucun entretien, en dehors de l'arrosage initial. L'entretien peut ensuite se limiter à une vérification annuelle de l'étanchéité de la toiture.

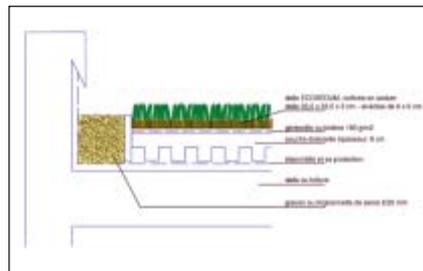
Outre la qualité architecturale apportée par une cinquième façade végétalisée aux riverains ayant vue sur la toiture, la terre et les végétaux retiennent l'eau de pluie et contribuent ainsi à réguler son évacuation dans les réseaux d'assainissement, en écrétant les pointes d'orages et en éliminant une partie par évaporation et par évapotranspiration des végétaux (jusqu'à 20% de l'eau reçue, contre quelques % pour une toiture terrasse minérale).

Ce dernier phénomène contribue en outre, avec la masse thermique constituée par la terre, à limiter les surchauffes d'été.

Par ailleurs, ils forment un matelas amortissant les bruits d'impact (pluie, grêle).

Enfin, les végétaux améliorent la qualité de l'air par la production d'oxygène et par la fixation du gaz carbonique. Le tapis végétal fixe les poussières et humidifie l'air asséché par la pollution urbaine.

LES MEMBRANES SYNTHÉTIQUES	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation de ressources : PVC : le chlore permet de limiter le recours au pétrole, ressource naturelle non renouvelable limitée EPDM, autres : issus de la pétrochimie • Emissions et rejets : PVC : des efforts significatifs sont faits par certains fabricants pour limiter le recours à des additifs nocifs pour la santé ou les écosystèmes. EPDM, autres : ceux de la pétrochimie.
	Mise en œuvre	Certains additifs peuvent dégager des substances nocives susceptibles de provoquer des troubles respiratoires.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Les interventions de réparation se font dans les mêmes conditions que la mise en œuvre. • Pas d'incidence sur la santé des occupants des bâtiments, sauf si un défaut d'étanchéité entraîne l'apparition d'humidité et le développement de micro-organismes pathogènes dans les locaux sous toiture.
Fin de vie	PVC, EPDM et autres caoutchoucs synthétiques sont des déchets banals non ultimes, incinérables avec récupération d'énergie (et filtration des fumées pour neutraliser les vapeurs d'acide dans le cas du PVC).	



Coupe de principe.



© Ecosedum



© Ecosedum

Ci-dessus, pose de panneaux de sédum.
Ci-contre à gauche, détail.

Ci-dessous, pose d'une toiture végétalisée à Paris dans le XVIII^{ème} arrondissement.



© Le Prituré

LES TOITURES VÉGÉTALISÉES	PHASE	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES
	Fabrication	La plupart des essences sont cultivées. Consommation d'eau, de fertilisants et de produits phytosanitaires, selon la nature du végétal.
	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Selon la nature de l'étanchéité sous-jacente. • Pas de problème particulier pour la couverture végétale proprement dite.
	Vie en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • La végétalisation des toitures apporte qualité d'aspect, écrêtage des débits de pointe d'orage, tampon thermique et confort acoustique. • Elle contribue à l'assainissement de l'air extérieur et offre une niche de biodiversité au cœur de la ville. • Certaines essences (mousses de type sedum) ne nécessitent aucun entretien. Sinon, arrosage périodique selon essence et désherbage.
Fin de vie	Déchet vert fermentescible compostable pour amendement et/ou biométhanisation.	

- Syndicat des Bitumineux
42 av. Marceau - 75008 Paris
Tél. : 01 53 23 20 00 - Fax 01 47 20 90 30

- Chambre syndicale française de l'Étanchéité - 6-14 rue La Pérouse
75784 Paris cedex 16
Tél. : 01 56 62 13 20 - Fax 01 56 62 13 21 -
contact@csfe.ffbatiment.fr
www.etancheite.asso.fr

Toitures végétalisées (liste non exhaustive)

- ECOSEDUM - 80 rue Nationale - BP 50062
- 57192 FLORANGE Cedex
Tél. : 03 82 59 47 52 - Fax 03 82 59 47 59
info@ecosedum.com
http://www.ecosedum.com/

- LE PRIEURE - 41160 MOISY
Tél. : 02 54 82 09 90 - Fax 02 54 82 07 29
info@naturoof.com
http://www.toiture-vegetalisee.com/

- SARNAFIL s.a.r.l. - 42 chemin du Moulin
Carron - 69130 ECULLY,
Tél. : 04 72 18 03 00 - Fax 04 78 33 62 35
contact@sarnafil.fr - www.sarnafil.fr/

- SOPREMA - 14 rue de Saint Nazaire
B.P. 121 - 67025 STRASBOURG Cedex,
Tél. : 03 88 79 84 00 - Fax 03 88 79 84 01
contact@soprema.com
www.soprema.fr www.sopranature.com

*Etude réalisée pour l'Arene Ile-de-France sous la coordination de Sophie Brindel-Beth,
avec la participation de GECOB Conseil Environnement (Serge Sidoroff et Hubert Pénicaud).
Contact Arene IdF : Dominique Sellier
Tél. : 01 53 85 61 75 - email : dsellier@areneidf.org Etude réalisée pour l'ARENE Ile-de-France*