

# GUIDE DES MATÉRIAUX ISOLANTS

MANUEL TECHNIQUE

POUR UNE ISOLATION EFFICACE  
ET DURABLE



## BIEN ISOLER : UNE NÉCESSITÉ !

La réduction des consommations d'énergie dans le bâtiment est un enjeu majeur pour faire face à la raréfaction des ressources énergétiques fossiles et au problème du changement climatique. Pour répondre à ce défi, l'isolation des bâtiments est une nécessité et représente un moyen efficace et rentable. Une division par 4 à 10 des consommations de chauffage est possible pour la majorité des bâtiments grâce à une isolation performante.

### SOMMAIRE

#### > PAGE 3 - 8 : DÉFINITIONS

Retenir la chaleur : conductivité et résistance thermique p.3

Réguler la chaleur : inertie thermique et déphasage thermique p.4

Gérer les flux de vapeur d'eau, comportement hygroscopique des parois p.5

Impact environnemental et énergie grise p.6

Impact sanitaire p.7

Réaction au feu  
Reconnaissance technique et assurance p.8

#### > PAGE 9 - 10 : OBJECTIF BBC COMPATIBLE

Approche globale : les 7 clés de la basse consommation  
Isolation  
Étanchéité à l'air p.9

Ventilation et gestion de l'humidité p.10

#### > PAGE 11 - 26 : FICHES MATÉRIAUX

Matériaux biosourcés p.12

Matériaux minéraux p.19

Matériaux synthétiques p.22

Autres p.26

TABLEAU DE SYNTHÈSE p.27

On trouve sur le marché un grand nombre de produits d'isolation qui permettent d'apporter des solutions aux problématiques techniques des différents systèmes constructifs. Ce guide a pour objectif de vous éclairer sur les propriétés des différents produits d'isolation qu'ils soient biosourcés, minéraux ou synthétiques et de vous aider dans votre choix. Une série de fiches techniques associées aux principaux matériaux d'isolation vous permettra d'avoir une vision la plus objective possible du panel de solutions d'amélioration thermique de votre bâtiment.

Pour vous aider à comparer et à choisir les matériaux adaptés à la paroi et au bâtiment à isoler, il est nécessaire d'apporter en premier lieu des définitions utiles concernant les propriétés physiques des produits d'isolation et des éclairages sur les exigences et indicateurs en matière de durabilité, de réaction au feu ou d'impact environnemental et sanitaire.



## DÉFINITIONS

### RETENIR LA CHALEUR : CONDUCTIVITÉ THERMIQUE ET RÉSISTANCE THERMIQUE

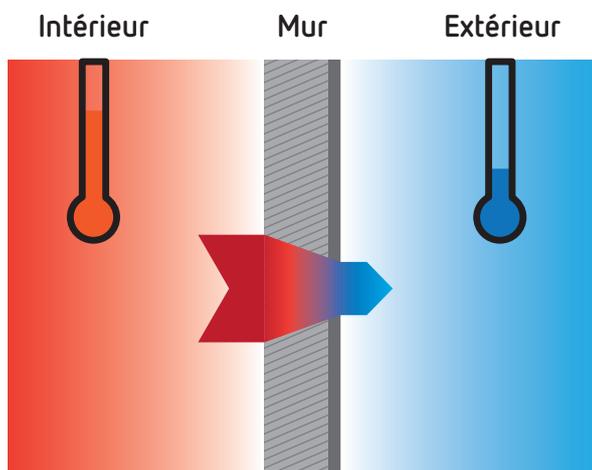
Les caractéristiques définies ci-dessous traduisent les capacités des matériaux à résister au passage de la chaleur.

#### ➤ LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE $\lambda$ (Lambda)

La conductivité thermique traduit la propriété qu'ont les corps à transmettre la chaleur par conduction. Elle correspond au flux de chaleur qui traverse en 1 seconde un matériau d'une surface de 1m<sup>2</sup> et de 1m d'épaisseur pour un écart de température de 1°C entre les 2 faces.

Elle est désignée par le coefficient exprimé en W/(m.K).

**Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant.**



#### ➤ LA RÉSISTANCE THERMIQUE $R$

La résistance thermique d'un matériau traduit sa capacité à résister à la transmission de chaleur. Elle dépend de l'épaisseur du matériau (e, en mètre) et de sa conductivité thermique ( $\lambda$ ) :

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

Elle est désignée par le coefficient R et exprimée en m<sup>2</sup>.K/W.

La résistance thermique totale d'une paroi est égale à la somme des résistances thermiques de chacune des couches de matériau qui la constitue :  $R_{\text{paroi}} = R_{\text{matériau1}} + R_{\text{matériau2}} + \dots$

**Plus la résistance thermique est élevée, plus la paroi considérée est isolante.**

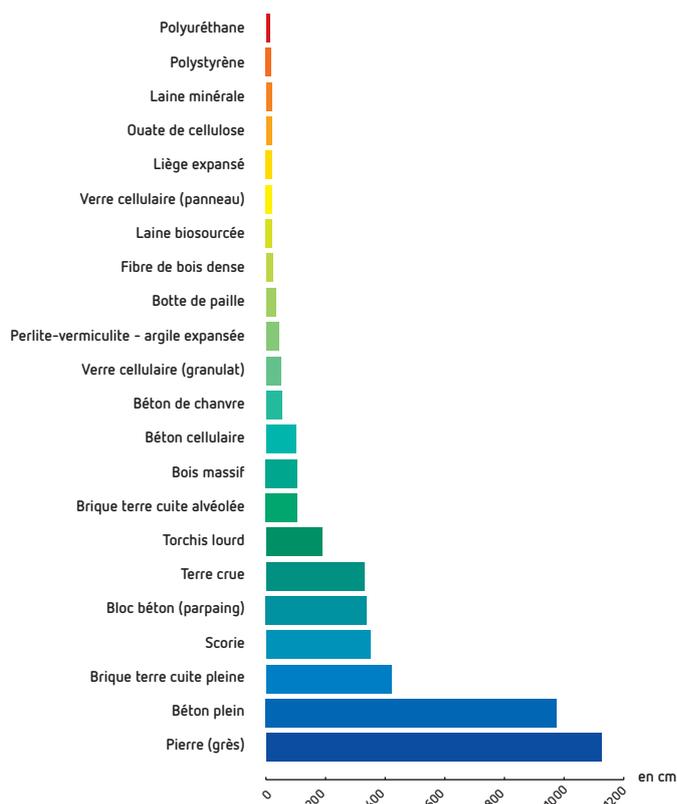


#### ➤ LA TRANSMISSION THERMIQUE $U$

Pour caractériser une paroi, on utilise aussi fréquemment le coefficient de transmission surfacique (U), qui est l'inverse de la résistance thermique (R) :  $U = 1/R$ . Ce coefficient est exprimé en W/(m<sup>2</sup>.K).

**Plus la valeur de U est faible, plus la paroi est performante thermiquement.**

U est également utilisé pour quantifier la performance des vitrages (U<sub>g</sub>, g comme Glass), des menuiseries (U<sub>f</sub>, f comme Frame) et des fenêtres (ensemble menuiserie et vitrage) (U<sub>w</sub>, w comme Window).



Épaisseur équivalente moyenne pour une résistance thermique R=5 m<sup>2</sup>.K/W

## 🎯 RÉGULER LA CHALEUR : INERTIE THERMIQUE ET DÉPHASAGE THERMIQUE

Retenir la chaleur est essentiel pour limiter les consommations d'énergie mais insuffisant pour assurer un bon confort thermique tout au long de l'année. Il faut également pouvoir stocker de la chaleur dans le bâtiment pour limiter les variations de température et valoriser au mieux les apports solaires gratuits. C'est la notion d'inertie thermique qui entre en jeu.

### ➤ LA CAPACITÉ THERMIQUE MASSIQUE (OU CHALEUR SPÉCIFIQUE) $C_p$

C'est la capacité du matériau à emmagasiner la chaleur par rapport à son poids. Elle caractérise la quantité de chaleur à apporter à 1 kg de matériau pour élever sa température de 1°C. Elle est exprimée en J/(kg.K).

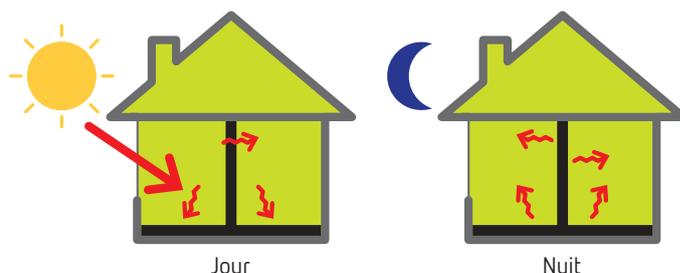
### ➤ INERTIE THERMIQUE

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur ou de la fraîcheur. Elle dépend principalement de la masse volumique et de la capacité thermique massique du matériau. Plus ces dernières sont élevées, plus un matériau présente une inertie importante. Ce sont donc généralement les parois lourdes (mur ou dalle maçonnés, chape, cloison lourde, etc.) qui participent à l'inertie thermique d'un bâtiment permettant de lisser les variations de sa température intérieure.

### ➤ DÉPHASAGE THERMIQUE

Le déphasage thermique définit le temps que met un front de chaleur pour traverser une épaisseur donnée de matériau. Cette notion dynamique dépend également principalement de la masse volumique et de la capacité thermique massique du matériau. La prise en compte du déphasage thermique est notamment utile en été pour décaler au cœur de la nuit plus fraîche la pénétration de la chaleur reçue par les parois extérieures durant la journée.

**L'inertie d'une paroi n'est pas, à proprement parler, bonne ou mauvaise, mais adaptée ou non à une situation. Dans le cas d'un bâtiment à occupation intermittente (résidence secondaire par exemple), une trop forte inertie n'est pas souhaitable puisque les murs auraient à peine le temps de se réchauffer le temps de l'occupation.**



### ➤ LA MASSE VOLUMIQUE $\rho$ (Rhô)

La masse volumique ou densité d'un matériau est exprimée en kg/m<sup>3</sup>. Il s'agit de la masse du matériau par unité de volume. D'une manière générale, les matériaux apportant de l'inertie possèdent une forte masse volumique.

### ➤ CAPACITÉ HYGROTHERMIQUE

En complément de l'inertie thermique, certains matériaux peuvent apporter une plus value dans la régulation de la température et de l'humidité des locaux, grâce à leur capacité hygrothermique.

Encore peu caractérisée, cette notion est particulièrement présente dans le cadre des matériaux biosourcés qui agissent comme de véritables matériaux à changement de phase. En attendant les résultats des études en cours sur ce sujet, les fiches de ce guide présentent pour chaque matériau leur niveau estimé de capacité hygrothermique.

**Application :** L'inertie d'un bâtiment est complémentaire d'une bonne isolation thermique de son enveloppe. En hiver, une forte inertie permet d'emmagasiner la chaleur de la journée due aux apports solaires puis de la restituer plus tard dans la journée lorsque la température extérieure commence à chuter. En été, une forte inertie liée à une ventilation nocturne permet d'atténuer les surchauffes durant la journée.

Aussi, dans le cas d'un projet de rénovation, il convient de trouver le bon compromis entre isolation thermique et utilisation de l'inertie existante du bâti afin de conjuguer économies d'énergie et confort thermique toute l'année. La position de l'isolation, à l'intérieur ou à l'extérieur, va fortement influencer sur l'inertie du bâtiment.

Dans le cas d'une maison en grès ou en maçonnerie, une isolation thermique placée à l'intérieur va empêcher les murs de participer à l'inertie thermique du bâtiment. À l'inverse, une isolation par l'extérieur permet de profiter de l'inertie des murs existants.

# GÉRER LES FLUX DE VAPEUR D'EAU, COMPORTEMENT HYGROSCOPIQUE DES PAROIS

D'importants échanges de vapeur d'eau ont lieu entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment, du fait de différences de température et d'humidité entre ces deux milieux. Les parois d'un bâtiment sont donc soumises à des flux importants d'humidité sous forme d'eau liquide et vaporisée, mais aussi à d'éventuelles remontées capillaires ou à des pluies battantes sur les façades exposées. La gestion de ces flux est complexe et nécessite une attention particulière.

En effet, une mauvaise gestion de l'humidité des parois peut entraîner des désordres rapides sur le bâti (fissures, moisissures, etc.) voire à plus long terme mettre en péril la structure du bâtiment. Il faut donc s'assurer des capacités de séchage des murs et de l'évacuation de l'humidité vers l'extérieur.

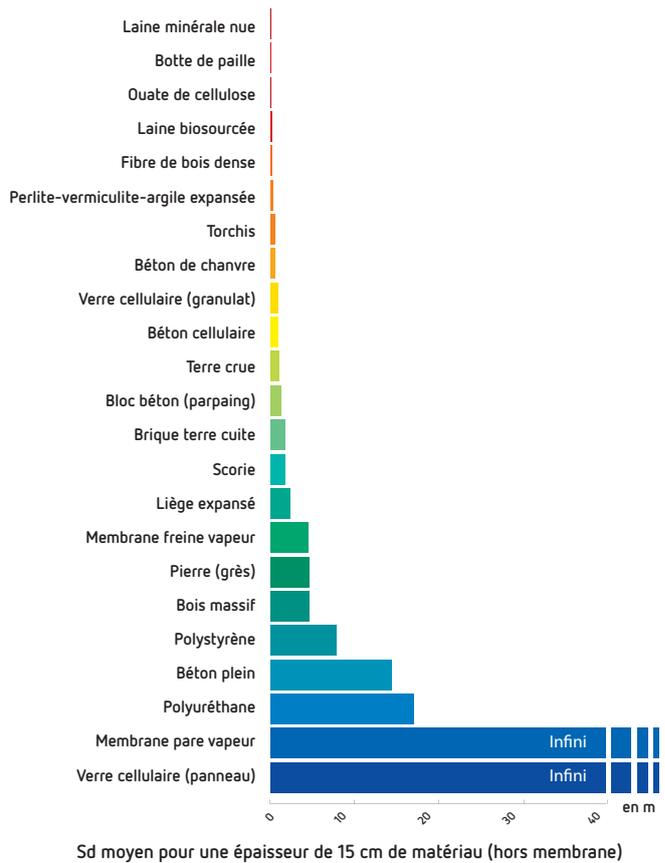
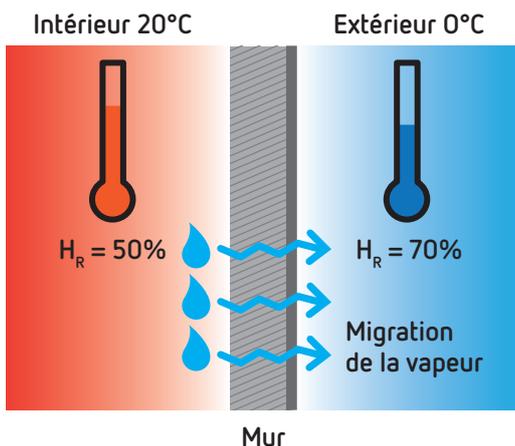
La gestion des flux de vapeur d'eau d'une paroi est principalement caractérisée par le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau ( $\mu$ ) d'un matériau et l'épaisseur de lame d'air équivalente ( $S_d$ ) d'une épaisseur donnée d'un matériau.

## ► LE COEFFICIENT DE RÉSISTANCE À LA DIFFUSION DE VAPEUR D'EAU ( $\mu$ )

Il caractérise la capacité du matériau à empêcher son franchissement par la vapeur d'eau. C'est un coefficient sans unité.

**Plus le  $\mu$  est élevé, plus le matériau est étanche à la vapeur d'eau.**

Par convention, on considère que l'air immobile possède un coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau  $\mu = 1$ . Un matériau peu résistant à la diffusion de vapeur d'eau est également qualifié de « perspirant ».



## ► L'ÉPAISSEUR DE LAME D'AIR ÉQUIVALENTE ( $S_d$ )

En pratique, l'épaisseur de lame d'air équivalente ( $S_d$ ) remplace le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur ( $\mu$ ). Ces deux grandeurs sont reliées par la relation suivante :  $S_d = \mu \times e$

où  $e$  est l'épaisseur du matériau en question.

Le  $S_d$  s'exprime en m.

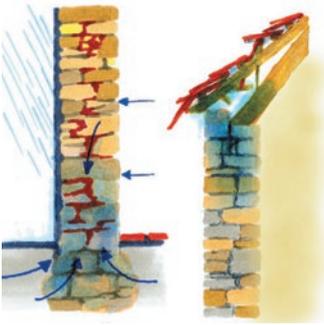
**Plus le  $S_d$  est élevé, plus le matériau s'oppose à la migration de vapeur d'eau.**

Cet indicateur rend bien mieux compte de la capacité du matériau mis en œuvre à se laisser traverser par la vapeur, puisqu'il tient compte de l'épaisseur de ce dernier. Il est également plus simple à appréhender : 1 cm d'un matériau de  $\mu=10$  s'oppose au passage de la vapeur d'eau comme 10 cm d'air.

Ainsi, un matériau disposant d'un  $\mu$  élevé mais mis en œuvre en faible épaisseur peut aussi bien résister au passage de la vapeur d'eau qu'un matériau disposant d'un  $\mu$  plus faible mais mis en œuvre en épaisseur plus importante. C'est le cas par exemple des membranes pare-vapeur qui présentent ainsi des  $S_d$  importants alors que leur épaisseur est très faible.

De manière générale, il faut faciliter l'évacuation de la vapeur d'eau par l'extérieur des murs. En première approche, on considère que le  $S_d$  de chaque couche de matériaux constituant une paroi doit être dégressif de l'intérieur vers l'extérieur, avec un  $S_d$  du parement extérieur d'un mur 5 fois plus faible que celui du parement intérieur.

## ► LE CAS DE LA RÉNOVATION DU BÂTI ANCIEN (BÂTI D'AVANT 1950)



La gestion de l'humidité dans le bâti ancien est un axe fondamental lors d'un projet de rénovation. Contrairement aux constructions nouvelles, où la stratégie adoptée est de se couper de tout risque d'humidité (matériaux hygrophobes et imperméables à la vapeur d'eau), les matériaux utilisés dans le bâti ancien sont généralement poreux et laissent migrer l'humidité, qu'elle soit sous forme de vapeur ou d'eau liquide.

Il est nécessaire de tenir compte de cette particularité lors de toute intervention. Il faut veiller à maintenir les capacités du mur à réguler et évacuer l'humidité qu'il contient de manière naturelle (par évaporation principalement), tout en limitant les apports d'humidité (limiter les remontées capillaires, maintenir un bon état des enduits, éviter les risques de condensation, assurer une ventilation efficace du bâtiment). Afin d'assurer la pérennité du bâti après rénovation et d'éviter

tout désordre, il est fortement recommandé de faire appel à un professionnel spécialiste du bâti ancien ou a minima de suivre les quatre préconisations suivantes en complément des règles générales.

1. Privilégier l'isolation thermique par l'extérieur à l'isolation par l'intérieur;
2. Recourir à des matériaux capillaires et perméables à la vapeur d'eau, que ce soit pour l'isolant, les éventuelles membranes ou les revêtements de finition intérieure et extérieure (enduit...);
3. Limiter l'exposition des façades aux pluies (débord de toiture, bardage, etc.) et aux remontées capillaires (drainage des pieds de mur, etc.);
4. En cas d'isolation rapportée par l'intérieur, limiter à 10-12 cm l'épaisseur de l'isolation.

Pour plus d'informations sur ces préconisations, consulter les résultats :

- l'étude **HYGROBA** sur la réhabilitation thermique des parois anciennes;
- les fiches conseils **ATHEBA**, Amélioration Thermique du Bâti ancien.

Ces documents ont été réalisés avec le **CEREMA** et Maisons Paysannes de France.

[www.est.cerema.fr](http://www.est.cerema.fr)

## IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET ÉNERGIE GRISE

### ► ANALYSE DE CYCLE DE VIE



**Nota :** Les valeurs d'énergie grise proposées à titre indicatif dans les fiches de ce guide sont issues prioritairement de Déclarations Environnementales (disponibles lors de l'édition de ce guide) de produits représentatifs. Les valeurs sont proposées à titre d'ordre de grandeur et sont rapportées en kWh par kg d'isolant, l'énergie grise d'un matériau étant fortement liée à sa masse de matière plutôt qu'à son volume. Toute comparaison entre différents produits devra donc être établie sur la base d'une même unité fonctionnelle, en tenant compte de la masse volumique et de la conductivité thermique des matériaux comparés.

Toute activité humaine, dont la fabrication de produits ou biens de consommation, a un impact sur l'environnement et les ressources naturelles.

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) d'un produit ou d'une activité humaine consiste à identifier cet impact environnemental. Elle permet de transformer des flux en impacts environnementaux quantifiés : consommation énergétique, déchets, consommation d'eau, changement climatique, pollution de l'air, pollution de l'eau, etc. Pour les produits de construction, les ACV sont présentées sous la forme de Déclarations Environnementales (EPD ou FDES). Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014, les responsables de la mise sur le marché de produits comportant des allégations à caractère environnemental ou utilisant les termes de développement durable ou ses synonymes, doivent établir et publier une déclaration environnementale.

Le site <http://declaration-environnementale.gouv.fr> répertorie l'ensemble des déclarations environnementales publiées.

### ► ÉNERGIE GRISE

Parmi tous les impacts environnementaux déclinés dans les Déclarations Environnementales, la consommation totale d'énergie primaire non renouvelable, communément appelée énergie grise, est un « aspect environnemental témoin » qui reflète généralement bien l'impact environnemental global d'un produit.

Le terme « grise » illustre le fait que cette consommation d'énergie ne se voit pas, mais qu'elle a bien été utilisée pour extraire, fabriquer, transformer, mettre en œuvre, entretenir



et gérer la fin de vie des matériaux utilisés pour la construction d'un bâtiment.

Sur des bâtiments à faible consommation d'énergie, l'énergie grise peut représenter l'équivalent de l'énergie utilisée par le bâtiment pendant plusieurs décennies. Même si l'énergie grise se situe en premier lieu dans le gros œuvre des bâtiments, il y a lieu de s'intéresser également à celle des matériaux d'isolation qui varie grandement d'un matériau à l'autre.

En rénovation, l'énergie économisée par le recours à de l'isolation sera cependant bien plus importante que l'énergie grise des matériaux d'isolation. Alors isolons !

## IMPACT SANITAIRE

### ► À LA POSE

Lors de leur pose, les risques sanitaires des matériaux isolants portent principalement sur la peau, les yeux et l'appareil respiratoire (maladies respiratoires, irritation des voies respiratoires, irritations cutanées, allergies). Ces risques dépendent de la nature du matériau mis en œuvre mais aussi de l'environnement de travail, des moyens de découpe utilisés et de la technique de pose. Aussi les principaux dangers liés aux isolants sont dus à :

- La présence de fibres,
- La présence de substances ignifugeantes, antifongiques, antimites...
- L'émission de poussières lors de la découpe, de la pose ou du retrait d'un isolant ancien.

Pour maîtriser ces risques, il convient de s'informer sur les dangers du matériau (lecture de l'étiquetage et des fiches de données de sécurité). Le suivi des recommandations de mise en œuvre du matériau généralement fourni par les fabricants doit permettre une pose correcte et sans risque.

Enfin, pour tous les matériaux et tous les types de pose et de retrait, il est impératif d'adopter des bonnes pratiques avant, pendant et après la mise en œuvre en commençant par le port d'équipements de protection individuelle (EPI) :

- Une tenue de travail ample mais ajustée au niveau des poignets, du cou et des chevilles ;
- Une casquette et des lunettes équipées de protections latérales ;
- Des gants ;



- Un appareil de protection respiratoire (masque filtrant à usage unique ou masque à ventilation assistée pour la pose d'isolant insufflé) ;
- Un casque de protection auditive (pour la pose d'isolants nécessitant une découpe).

Pour plus d'informations, vous pouvez consulter par exemple le site de l'Institut de Recherche et d'Innovation sur la Santé et la Sécurité au Travail sur [www.iris-st.org](http://www.iris-st.org).

### ► PRODUIT POSÉ

Depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2013, tous les produits de construction et de décoration vendus en France doivent posséder une étiquette qui indique le niveau d'émission du produit posé en polluants volatils dans l'air intérieur par une classe allant de A+ (très faibles émissions) à C (fortes émissions). En revanche cet étiquetage n'informe pas de la nocivité des produits lors de leur pose.

Pour plus d'informations sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments, consulter le guide [energievivre.info](http://www.energievivre.info) sur le sujet disponible sur [www.energievivre.info](http://www.energievivre.info).



**Lors de la dépose d'isolant, attention à bien vous protéger. Les isolants retirés doivent être généralement portés en déchetterie (centre de stockage de classe 2). Attention si vous avez affaire à de l'amiante, protégez-vous, limitez les émissions de poussières et n'hésitez pas à faire appel à un professionnel qualifié pour sa dépose et son élimination.**

Plus d'informations sur <http://www.developpement-durable.gouv.fr>, rubrique Bâtiment et Santé.

## RÉACTION AU FEU

La classification des matériaux et des éléments de construction par rapport au danger d'incendie est précisée par le Code de la construction et de l'habitation. On distingue deux critères qui sont la réaction au feu et la résistance au feu. La résistance au feu caractérise le temps durant lequel l'élément de construction conserve ses propriétés physiques et mécaniques, et joue son rôle de limitation de la propagation (stable au feu (SF), pare-flamme (PF), coupe-feu (CF)). La réaction au feu caractérise quant à elle le comportement d'un matériau en tant qu'aliment du feu. La classification européenne (Euroclasses) est la référence aujourd'hui pour évaluer le comportement au feu des matériaux de construction. Elle remplace progressivement l'ancienne classification « M » française (M0 à M4).

La classification européenne est définie par un classement des produits en 7 catégories (A1 à F) complété par 2 critères sur le dégagement de fumées (s) et la production de gouttes enflammées (d).

Dans certains cas particuliers des conduits d'évacuation de fumées (poêle à bois, insert), la réglementation fumisterie en vigueur impose l'emploi de composants ininflammables à proximité.

Par ailleurs, une attention particulière doit être apportée au matériel électrique et toutes sources de chaleur non protégées (spots, transformateurs...) qui ne doivent pas être en contact avec un isolant inflammable.

## RECONNAISSANCE TECHNIQUE ET ASSURANCE

### ➤ MARQUAGE CE

Apposé par le fabricant ou l'importateur, le marquage CE est obligatoire pour les produits couverts par une norme harmonisée. Tous les produits d'isolation ne sont pas encore couverts par cette obligation qui constitue un « passeport pour le marché européen ». Il est accompagné d'une fiche de déclaration de performance (DoP) décrivant entre autres son usage prévu, ses caractéristiques essentielles obligatoires (conductivité thermique, caractéristiques dimensionnelles et mécaniques, réaction au feu, etc.) ainsi que celles non

**Un matériau reconnu techniquement et mis en œuvre selon les prescriptions décrites dans les documents de référence (DTU, Règles professionnelles, Avis Techniques) et dans les documents du fabricant répond à toutes les exigences techniques assurant sa durabilité.**

obligatoires que le fabricant souhaite mettre en avant. Toute autre caractéristique non mentionnée dans la fiche de déclaration de performance ne peut pas être utilisée par le fabricant dans ses documents de publicité par exemple.

### ➤ CERTIFICATION ACERMI



La marque ACERMI est un certificat français, volontaire et non obligatoire, délivré par l'Association pour la Certification des Matériaux Isolants (ACERMI). L'ACERMI certifie les performances des produits isolants et les contrôle périodiquement. La certification ACERMI vise à garantir les performances des produits (performances thermiques, acoustiques, réaction au feu, comportement à la vapeur d'eau, etc.). La certification ACERMI est exigée, à défaut de marquage CE, pour l'obtention de l'éco-PTZ ou du crédit d'impôt Développement Durable.

Initialement définie pour les productions industrielles de masse, la certification ACERMI s'adapte progressivement au développement de produits moins industrialisés par une procédure spécifique appelée « ACERMI Tremplin » lancée courant 2013.

**Pour savoir si un produit bénéficie d'un certificat ACERMI :**  
<http://www.acermi.com/>

### ➤ MISE EN ŒUVRE DES ISOLANTS ET ASSURANCES

La bonne mise en œuvre des matériaux de construction est définie par différents documents, selon leur degré d'innovation et selon qu'ils relèvent de démarches individuelles (produit d'un fabricant en particulier) ou collectives (plusieurs produits pour un ou des usages similaires). Les techniques considérées comme courantes permettent aux entreprises une mise en œuvre sans démarche particulière auprès de leur assureur.

Ces techniques relèvent des DTU (Documents Techniques Unifiés, ayant valeur de normes) ou des règles professionnelles (transcrivant les bonnes pratiques de professionnels) validées par l'Agence Qualité Construction (AQC, réunissant les professionnels de la construction et de l'assurance) dans le cas de démarches collectives. Pour des démarches individuelles, on parle d'ATec (Avis Techniques) ou de DTA (Document Technique d'Application).

Les techniques non courantes, qui impliquent des conditions d'assurance spécifiques pour l'entreprise, relèvent de l'Appréciation Technique d'Expérimentation (Atex), du Pass Innovation ou de toutes autres démarches non reconnues et précédemment citées. Il peut également arriver que des familles de produits individuellement couverts par des ATec soient mises en observation par l'AQC : elles sont alors considérées comme relevant de techniques non courantes.

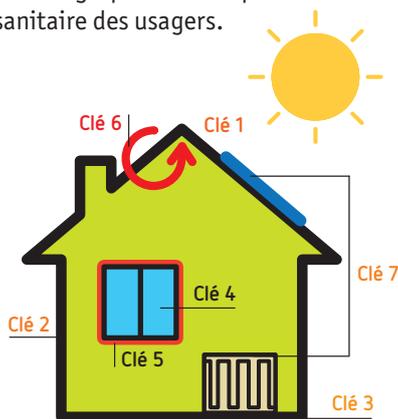
**Pour en savoir plus :** <http://www.cstb.fr/evaluations/>

## OBJECTIF BBC-COMPATIBLE

### APPROCHE GLOBALE : LES 7 CLÉS DE LA BASSE CONSOMMATION

L'enveloppe est la coquille du bâtiment : elle sépare le milieu intérieur isolé et confortable du milieu extérieur. Elle inclut murs, planchers, toitures, portes et fenêtres.

Un bâtiment performant associe une enveloppe étanche à l'air avec une isolation renforcée, à une ventilation adaptée et un chauffage performant pour assurer le confort thermique et sanitaire des usagers.



Retrouvez plus d'informations sur le guide lorrain des Espaces Info Energie « les 7 clés pour réussir son projet »

### ISOLATION

L'isolation thermique des bâtiments permet de diminuer les besoins en énergie du bâtiment. Elle représente généralement des travaux lourds qui seront réalisés pour de nombreuses années. Aussi l'objectif d'isolation doit être ambitieux, à un niveau BBC-compatible en rénovation, afin d'être le plus rentable économiquement, environnementalement et thermiquement sur le long terme.

Dans le coût de travaux d'isolation thermique, ce n'est pas l'isolant le poste le plus important mais la mise en œuvre complète qui est nécessaire dans tous les cas (finitions, échafaudage si isolation par l'extérieur, etc.)

Le niveau BBC-compatible à viser pour chaque paroi est détaillé ci-après à titre indicatif :

Murs	$R \geq 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Toiture	$R \geq 7,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Dalle basse	$R \geq 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$



Si l'isolation des parois est un point essentiel, il ne faut pas que celle-ci néglige le traitement des ponts thermiques. Ainsi par exemple dans le cas de l'isolation par l'extérieur, il y a lieu de bien traiter le retour de l'isolant jusque sur le dormant des menuiseries.

### ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

La résistance thermique de l'isolant seule n'est pas suffisante pour garantir son efficacité. Deux facteurs sont indissociables :

- L'isolant doit se trouver dans un environnement sans excès d'humidité qui rend le matériau plus conducteur et peut engendrer des dégradations du bâti ;
- L'isolant doit se trouver dans un environnement sans courant d'air, le principe de l'isolation étant d'emprisonner de l'air immobile.

Pour réunir ces deux conditions, le traitement de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe est indispensable en complément de l'isolation. Dans tous les cas, la mise en place d'une ventilation performante est indispensable pour assurer le renouvellement de l'air intérieur permettant l'évacuation de l'humidité et des polluants présents au sein des bâtiments.

**Attention à ne pas confondre étanchéité à l'air et étanchéité à la vapeur d'eau !**

**Ainsi il vaut mieux un bâtiment étanche à l'air et perméable à la vapeur d'eau, comme une veste en Gore-tex®, qu'un bâtiment étanche à la vapeur d'eau et perméable à l'air !**

Pour plus d'informations, consulter le guide et les 5 films sur « l'étanchéité à l'air des bâtiments » sur : [www.energievie.info](http://www.energievie.info)

## VENTILATION ET GESTION DE L'HUMIDITÉ

### ► DES PRINCIPES ESSENTIELS À GARDER À L'ESPRIT

#### BIEN VENTILER, BANNIR L'HUMIDITÉ

Une isolation doit toujours être associée à une ventilation bien réalisée, contrôlée ou assistée mécaniquement (ventilation mécanique contrôlée [VMC] hygroréglable, double flux...). Il est important qu'un logement soit correctement ventilé, notamment pour évacuer l'humidité. L'air des logements contient en effet toujours de la vapeur d'eau (en général beaucoup plus que l'air extérieur) provenant de ses occupants et de leurs activités.

En hiver, lorsque la vapeur d'eau traverse une paroi, elle se refroidit progressivement de l'intérieur vers l'extérieur. Elle peut même se condenser en eau liquide dans la paroi et y provoquer des désordres comme des moisissures, décollement des papiers peints, dégradation des murs. C'est pourquoi la pose d'un pare-vapeur ou d'un frein vapeur lors de travaux d'isolation limitera l'accumulation d'humidité derrière l'isolant.

En fonction du matériau composant les murs, le transfert d'humidité de l'extérieur vers l'intérieur et de l'intérieur vers l'extérieur pourra être plus ou moins important. Il faudra en tenir compte pour choisir l'isolant qui convient à votre

## VEILLER À L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR



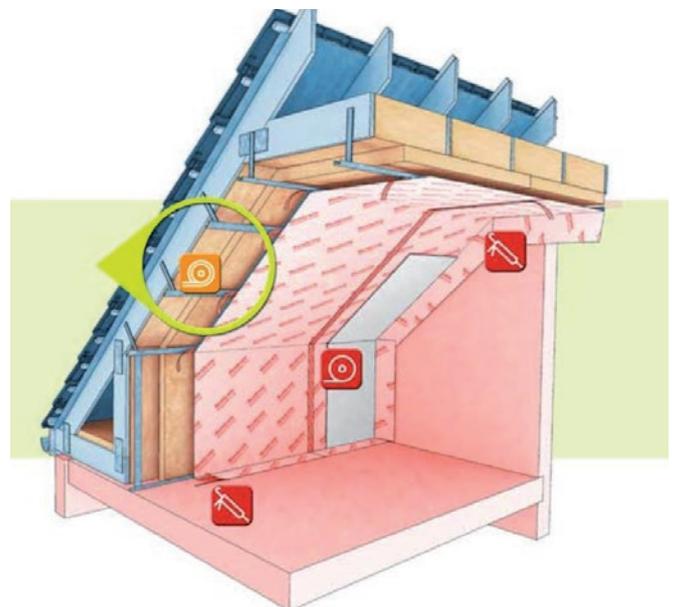
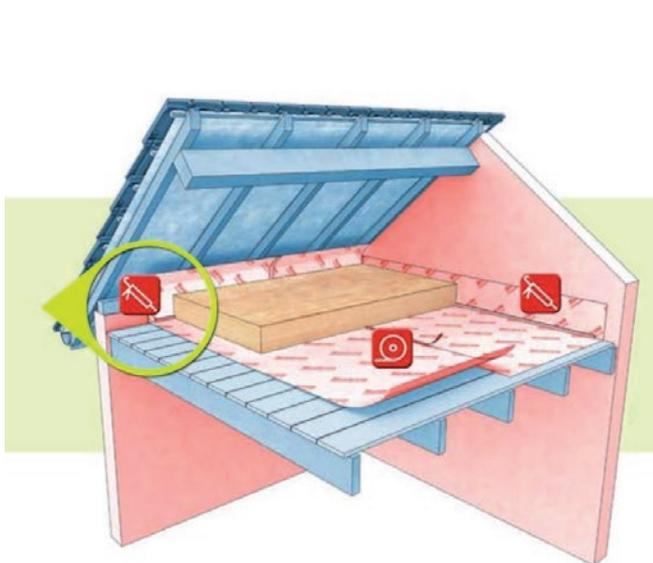
bâtiment et prendre, le cas échéant, des précautions pour protéger les murs de l'accumulation d'humidité.

Une isolation ne doit jamais être exécutée sur une paroi présentant des signes d'humidité. Les causes d'humidité sont multiples (mauvaise ventilation, remontée d'humidité du sol...).

Seul un professionnel peut établir un diagnostic qui identifiera les parties d'ouvrage nécessitant un traitement avant d'être isolées.

Effectuer l'isolation des parois sans faire la chasse aux entrées d'air parasites est une perte d'argent : elles peuvent augmenter très sensiblement la facture de chauffage, être une source d'inconfort et remettre en cause l'utilité des travaux d'isolation et le bon fonctionnement de la ventilation. Éviter ces défauts demande un grand soin dans la mise en oeuvre des travaux d'isolation (par exemple en utilisant des bandes adhésives spéciales pour réaliser les jonctions des freins vapeur), des installations électriques et dans la pose des portes et fenêtres.

Pour en savoir plus : <http://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/habitation/reover/etancheite-a-lair>



Source : Guide de l'étanchéité à l'air des combles perdus ou aménagés (FILMM)

## FICHES MATÉRIAUX

Les principaux matériaux d'isolation disponibles actuellement vous sont présentés dans les fiches suivantes, classées en 3 grandes familles selon l'origine de leur matière première :



Les matériaux biosourcés



Les matériaux minéraux



Les matériaux synthétiques

### LES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS

**Les matériaux biosourcés**, constitués principalement de fibres végétales ou animales. Leur matière première est donc largement issue de ressources renouvelables et valorise majoritairement des co-produits de l'agriculture ou de l'industrie du bois.

À la différence des autres types de matériaux d'isolation, la majeure partie des matériaux biosourcés présente un comportement hygroscopique qui associe forte perméabilité à la vapeur d'eau et régulation de l'humidité. Bien valorisé, ce comportement est particulièrement intéressant pour la rénovation du bâti ancien, pour lequel il faut assurer la continuité des transferts d'humidité dans les parois.

Afin de mutualiser leurs efforts et d'être représentées au sein des instances de décisions nationales, les filières des matériaux biosourcés sont désormais regroupées au sein de l'association Constructions et Bioressources.

### LES MATÉRIAUX MINÉRAUX

**Les matériaux minéraux**, constitués principalement de ressources minérales vierges ou issus en partie du recyclage pour certains. Sous forme de laines de verre ou de roche, ce sont les produits d'isolation les plus répandus sur le marché français.

### LES MATÉRIAUX SYNTHÉTIQUES

**Les matériaux synthétiques**, issus de ressources pétrochimiques, donc non renouvelables et fortement émetteurs de gaz à effet de serre. Pour la plupart dépourvus de toute sensibilité à l'humidité, ces matériaux peuvent être particulièrement indiqués pour le traitement des zones fortement soumises à l'humidité (soubassement, sous-dalle...). Cette caractéristique les rend par contre impropres à un usage sur des parois à fort enjeu hygroscopique que l'on rencontre fréquemment dans le bâti ancien. Le développement de l'isolation par l'extérieur a également beaucoup profité au polystyrène, bien que ce ne soit pas le seul matériau utilisable pour cette application.

**Les informations proposées, issues prioritairement des données de fabricants, ne peuvent toutefois pas être exhaustives et n'engagent pas notre responsabilité. Elles peuvent être complétées ou modifiées sur demande.**

**Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les isolants biosourcés ne sont pas plus soumis au risque de pénétration de rongeurs que les autres isolants.**

**Attention donc aux points faibles du bâti : défauts d'enduits, canalisations ou aérations non protégées, jonctions entre parois, etc. La pose de grilles anti-rongeurs est une des principales solutions.**

## BIOSOURCÉS

### OUATE DE CELLULOSE



#### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

La ouate de cellulose est obtenue à partir de papiers recyclés (journaux neufs invendus et/ou chutes de coupes de papiers neufs d'imprimerie), auxquels sont ajoutés des additifs pour assurer la résistance au feu et aux moisissures du produit.

La ouate de cellulose est utilisée comme isolant depuis les années 1930 aux Etats-Unis et en Scandinavie, où plusieurs centaines de milliers de bâtiments privés et publics ont utilisé ce matériau.

#### Composition principale

- Papier recyclé
- Adjuvant : principalement sel de bore (< 5%)

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (recyclable, mais non compostable)

#### Format et type de mise en œuvre

- Vrac pour soufflage, insufflation, flocage
- Panneaux semi-rigides (épaisseur de 45 à 140 mm)

#### Cadre normatif

- Marquage CE
- Produits principalement sous Avis Techniques
- Certains produits bénéficient d'un certificat ACERMI

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	30 - 70 kg/m <sup>3</sup> selon les types de mise en œuvre
Conductivité thermique $\lambda$	0,037 à 0,042 W/(m.K) selon produits et types de mise en œuvre
Capacité thermique massique $C_p$	2000 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	2
Capacité hygrothermique	moyenne
Énergie grise	1 - 2 kWh/kg
Réaction au feu	B s2 d0 à E selon produits

## OUATE DE CELLULOSE ET ADJUVANTS

Soumis à une restriction d'usage par la directive européenne REACH, le sel de bore reste utilisable uniquement à des concentrations inférieures à 5,5%.

À partir de 2011, la Commission Chargée de Formuler les Avis Techniques (CCFAT) a souhaité ne plus délivrer d'avis technique à des produits contenant des sels de bore, ce qui a conduit les producteurs de ouate de cellulose à recourir à des sels d'ammonium. Mais des émissions d'ammoniac par les ouates de cellulose ainsi traitées ont conduit la CCFAT en 2013

à re-délivrer des avis techniques à des produits contenant des sels de bore et l'État à interdire la commercialisation des ouates de cellulose traitées aux sels d'ammonium.

La CCFAT a accordé aux fabricants de ouate de cellulose un délai jusqu'au 30 juin 2015 pour qu'ils proposent de nouveaux substituts au sel de bore. Ce dernier reste autorisé jusqu'à cette date.

À noter que le sel de bore est également utilisé pour d'autres types d'isolants pas uniquement biosourcés.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"><li>• Prix compétitif</li><li>• Offre commerciale importante</li><li>• Faible énergie grise</li></ul>	Risque de tassement si non respect des densités prescrites	moins de 1 €/kg, acheté en vrac. Prix indicatif avril 2015

## FIBRES DE BOIS DENSES



© Badias -Région Alsace

### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

La fibre de bois est obtenue par défilage thermomécanique de résidus de bois résineux. À ce stade de transformation, elle peut être proposée sous forme de fibres en vrac pour une mise en œuvre par soufflage ou insufflation. Agglomérée par voie sèche ou humide, elle forme des panneaux plus ou moins denses et avec éventuellement adjonction de liant selon les applications.

La fibre de bois est particulièrement utilisée sous forme de panneaux denses pour assurer la fonction de pare-pluie en toiture ou en façade, ou pour assurer la fonction de support d'enduits dans le cas d'isolation par l'extérieur (ITE).

Particulièrement développés en Scandinavie et dans les pays frontaliers de l'Alsace, les isolants à base de fibres de bois sont désormais également produits dans plusieurs régions de France.

#### Composition principale

- Déchets de bois résineux (résidus forestiers, déchets de scieries)
- Adjuvant potentiel : paraffine et/ou latex pour procurer des propriétés de pare-pluie. Colle vinylique (PVAc) ou polyuréthane (PMDI) selon les cas

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (valorisation énergétique, recyclable, éventuellement compostable selon la composition)

#### Format et type de mise en œuvre

- Panneaux rigides, d'épaisseurs variables (22 mm à 240 mm)
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : mur (ITE, pare-pluie), toiture, plancher

#### Cadre normatif

- Marquage CE
- Domaine traditionnel pour les applications principales
- Certaines applications sous Avis Techniques
- Nombreux produits sous ACERMI

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	110 - 240 kg/m <sup>3</sup> selon produits
Conductivité thermique $\lambda$	0,038 à 0,049 W/(m.K) selon produits
Capacité thermique massique $C_p$	2000-2100 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	3 à 5
Capacité hygrothermique	moyenne
Énergie grise	1 - 3 kWh/kg
Réaction au feu	E

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistance à la compression</li> <li>• Diversité de produits et d'applications</li> <li>• Possibilité d'être pare-pluie ou support d'enduit</li> </ul>	Non intégralement biodégradable selon les liants et adjuvants incorporés	30 à 40 €/m <sup>2</sup> , acheté en panneau. Prix indicatif avril 2015

# BIOSOURCÉS

## LAINES BIOSOURCÉES (CHANVRE, LIN, BOIS, TEXTILE RECYCLÉ, MOUTON, MIXTE)



© Le Relais-Métise

### ➤ PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

Les laines biosourcées sont constituées de fibres végétales (bois, chanvre, lin), de fibres textiles recyclées, de fibres d'origine animale (mouton) ou d'un mixte de ces matériaux, texturées sous forme de rouleaux ou de panneaux par l'ajout de fibres polymères (polyester principalement) auxquelles sont ajoutés des adjuvants pour assurer la résistance au feu et aux moisissures des produits.

Les laines à base de textile recyclé sont également intéressantes puisqu'elles valorisent une part non négligeable de nos vêtements devenus inutilisables, principalement via des entreprises de l'économie sociale et solidaire.

La laine de mouton est obtenue à partir de la tonte régulière de la toison des moutons, après lavage, traitement et mise en forme.

#### Composition principale

- Fibres de bois, de chanvre, de lin, de laine de mouton ou de textiles recyclés
- Liant : 10-15 % (polyester ou polyéthylène essentiellement, développement en cours de liants à base de polymères biosourcés)
- Adjuvant ignifugeant et antifongique (principalement sel de bore (< 1%))

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (valorisation énergétique, recyclable, éventuellement compostable selon la composition (liant, adjuvants)).

#### Format et type de mise en œuvre

- Vrac de fibres de bois, de chanvre, de laine de mouton et de textiles recyclés pour soufflage ou insufflation et/ou pose manuelle
- Panneaux semi-rigides, rouleaux (épaisseur de 45 à 200 mm)
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : mur, toiture, plancher, cloison

#### Cadre normatif

- Marquage CE pour la laine à base de fibres de bois
- Plusieurs produits sous Avis Techniques
- Plusieurs produits bénéficient d'un certificat ACERMI

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	20 - 80 kg/m <sup>3</sup> selon produits
Conductivité thermique $\lambda$	0,032 à 0,047 W/(m.K) selon produits
Capacité thermique massique $C_p$	1350 - 1800 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	1 à 3
Capacité hygrothermique	moyenne
Énergie grise	5 - 10 kWh/kg
Réaction au feu	de B s1 d0 à E - F selon produits

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en œuvre similaire à celle de laines minérales</li> <li>• Capacité d'absorption acoustique importante</li> <li>• Capacité hygrothermique relativement importante</li> </ul>	Non intégralement biodégradable selon les liants et adjuvants incorporés	15 à 20 €/m <sup>2</sup> , acheté en rouleau. Prix indicatif avril 2015

## BÉTON DE CHANVRE



© YH

### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

Le chanvre (*cannabis setiva L*) est une plante annuelle utilisée depuis près d'un millénaire en France qui est le premier pays producteur européen.

Agronomiquement intéressante puisqu'elle ne nécessite que très peu d'intrants (traitement, engrais, irrigation), l'ensemble de la plante est valorisé. Si les fibres constituant la périphérie de la tige de chanvre sont utilisées dans le textile ou pour la fabrication de laine isolante, l'intérieur de la tige, appelé chènevotte, est également valorisé, par exemple sous forme de béton de végétal dans le secteur du bâtiment.

En association avec un liant (chaux, ciment,...) prescrit avec des dosages variant selon les applications et les couples liant-chanvre utilisés, ce matériau de remplissage peut alors être mis en forme sur chantier selon différentes techniques particulièrement adaptées à la rénovation du bâti ancien.

#### Composition principale

- Chènevotte
- Liant : essentiellement de la chaux, ou du ciment prompt naturel ou courant

#### Fin de vie

Déchet inerte biodégradable

#### Format et type de mise en œuvre

- Mise en œuvre du béton sur chantier par banchage, projection ou enduit
- Disponible également sous forme de brique chaux-chanvre ou d'éléments préfabriqués de grandes dimensions
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : mur, toiture, plancher

#### Cadre normatif

- Mise en œuvre respectant les règles professionnelles d'ouvrages en béton de chanvre, requérant un professionnel formé et un couple chènevotte-liant caractérisé et reconnu par l'association Construire en Chanvre. [www.construction-chanvre.asso.fr](http://www.construction-chanvre.asso.fr)
- Autre démarche pour la reconnaissance de micro-filières locales portée par l'association Chanvre en Circuit Court (3C)

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	200 - 800 kg/m <sup>3</sup> selon couples chaux-chanvre et selon type de mise en œuvre
Conductivité thermique $\lambda$	0,06 à 0,15 W/(m.K) selon dosage et application
Capacité thermique massique $C_p$	1350 - 1800 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	5 à 8
Capacité hygrothermique	moyenne
Énergie grise	1,8 kWh/kg
Réaction au feu	A2 s1 d0

#### AVANTAGES

- Capacité hygrothermique apportant une régulation thermique intéressante
- Particulièrement adapté pour la rénovation du bâti ancien
- Résistance au feu importante / • Qualité sanitaire de la chaux

#### INCONVÉNIENTS

Temps de séchage relativement long pour les fortes épaisseurs mises en œuvre sur chantier

#### PRIX

NC

## BOTTE DE PAILLE



© Badias - Région Alsace

### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

Utilisée depuis des siècles sous forme de torchis, la paille revient dans le bâtiment sous forme de bottes de paille utilisées comme isolant et support d'enduit. Les démarches entreprises par le Réseau Français de la Construction en Paille (RFCP) ont abouti à la validation par l'AQC de règles professionnelles de construction en paille fin 2011.

La première maison construite en France grâce à ce matériau remonte à 1921 et est toujours habitée. Elle témoigne de la pérennité de cet isolant permettant de réaliser des parois très performantes thermiquement à partir d'un sous-produit agricole largement disponible.

#### Composition principale

Paille de céréales

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (valorisation énergétique, compostage)

#### Format et type de mise en œuvre

- Botte de paille : format principal 37x47cm sur 50 à 120 cm de longueur
- Mise en œuvre : mur et toiture

#### Cadre normatif

- Mise en œuvre selon les règles professionnelles de construction en paille requérant un professionnel formé reconnu par le RFCP
- Certains produits préfabriqués sous avis techniques

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	80 - 120 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique $\lambda$	0,052 à 0,080 W/(m.K) selon orientation des fibre
Capacité thermique massique $C_p$	1550 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	1 à 2
Capacité hygrothermique	moyenne
Énergie grise	0,1 kWh/kg
Réaction au feu	B s1 d0 paille - enduit chaux

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilan environnemental très intéressant</li> <li>• Rapport performance/coût matière inégalé</li> <li>• Filière dynamique permettant une bonne reconnaissance technique</li> </ul>	Choix de ce matériau à intégrer très en amont, dès la conception du projet	0,80 à 2 €/botte, acheté à la botte auprès d'un fournisseur. Prix indicatif avril 2015

## LIÈGE EXPANSÉ



© Badias - Région Alsace

### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

Le liège expansé est obtenu à partir du chêne liège, poussant essentiellement sous climat méditerranéen (Portugal, Algérie, Italie, sud de la France). Le prélèvement de l'écorce, appelé démasclage, s'effectue tous les huit à dix ans et, en exploitation raisonnée, ne nuit pas au bon équilibre des arbres. Cette matière première est ensuite réduite en granules puis expansée à la vapeur à 300 °C. Les granules brunissent, se dilatent et s'agglomèrent entre elles sous l'action de la subérine, la résine naturelle qu'elles contiennent. Ce matériau est utilisé depuis plus de 150 ans en isolation thermique.

À noter que c'est le seul isolant biosourcé qui soit imputrescible, ce qui permet son usage en milieu humide (isolation des soubassements enterrés, sous chape, pièces humides...).

#### Composition principale

Liège

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (recyclage, valorisation énergétique)

#### Format et type de mise en œuvre

- Vrac pour pose manuelle ou insufflation, ou en incorporation pour des bétons légers
- Panneaux semi-rigides, épaisseur 10 à 240 mm
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : mur, toiture, plancher. Particulièrement adapté pour les parois où le recours à un isolant imputrescible et résistant à la compression est nécessaire : sous dalle, sous chape, soubassement...

#### Cadre normatif

- Marquage CE
- Plusieurs produits bénéficient d'un certificat ACERMI

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	65 (vrac) à 180 kg/m <sup>3</sup> panneaux denses
Conductivité thermique $\lambda$	0,037 à 0,044 W/(m.K) selon produits
Capacité thermique massique $C_p$	1600 - 1900 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	5 à 30
Capacité hygrothermique	faible
Énergie grise	2 - 7 kWh/kg
Réaction au feu	E

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolant imputrescible et résistant à la compression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressource renouvelable mais de disponibilité limitée</li> <li>• Coût</li> </ul>	130 €/m <sup>3</sup> , acheté en vrac. Prix indicatif avril 2015

# BIOSOURCÉS

## CHANVRE EN VRAC



### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

La culture du chanvre est avantageuse à plus d'un titre. Ainsi, un plant peut fournir des fibres longues, des graines et des feuilles, mais aussi de la chènevotte, c'est-à-dire des tiges.

Ces dernières sont broyées et calibrées avant d'être conditionnées pour être mises en vente. La chènevotte possède une structure extrêmement poreuse, ce qui lui confère un pouvoir isolant intéressant. La confection de mortiers isolants à base de chènevotte et d'un liant type chaux est une solution particulièrement intéressante du point de vue économique et écologique.

Ces deux matériaux présentent un cycle de vie plutôt positif, puisque le chanvre fixe le carbone pendant sa croissance, et que la chaux, malgré la quantité d'énergie qu'elle nécessite pour sa fabrication, compense largement ce point noir par sa durabilité et sa capacité à permettre à la vapeur de ne pas se condenser sur les parois.

#### Composition principale

Tige de chanvre découpée en paillette

#### Fin de vie

Entièrement recyclable, compostable et assimilable dans l'environnement

#### Format et type de mise en œuvre

- Chapes isolantes, bétons légers, enduits et blocs préfabriqués
- Isolation des murs par l'extérieur
- Isolation intérieure, planchers, toitures en rampants et combles

#### Cadre normatif

- Mise en œuvre selon les règles professionnelles de construction en paille requérant un professionnel formé reconnu par le RFCP
- Certains produits préfabriqués sous avis techniques

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	110 à 210 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique $\lambda$	0,048 W/(m.K)
Capacité thermique massique $C_p$	200 à 370 kJ/m <sup>3</sup> .K
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	1 à 2
Capacité hygrothermique	NC
Énergie grise	Faible grâce au cycle de vie du chanvre
Réaction au feu	B : Difficilement inflammable

#### AVANTAGES

- Régulateur hygrométrique
- Ressource renouvelable et puits de carbone
- Recyclage, compostage (non traité/bitumée)
- Pas de dégagements toxiques en cours d'utilisation et en cas d'incendies
- Valorisation d'un sous produit du chanvre
- La culture du chanvre permet de régénérer les sols
- Pas de dangers sanitaires
- La minéralisation rend la matière organique insensible aux moisissures

#### INCONVÉNIENTS

Les produits bituminés empêchent les parois de respirer et dégagent du sulfure d'hydrogène en cas d'incendie

#### PRIX PRODUIT BRUT

environ 1 €/kg, acheté en vrac.  
Prix indicatif avril 2015

# MINÉRAUX

## LAINES MINÉRALES DE VERRE (LV) OU DE ROCHE (LR)



© Badias - Région Alsace

### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

La laine de verre est produite à base de sable, de fondants et de produits verriers de recyclage (calcin), alors que la laine de roche est principalement issue de la transformation de basalte ou de laitier de hauts fourneaux. Après fibrage à 1400 °C, la matière est mise en forme par l'ajout de liants et d'adjuvants.

La résistance thermique et la pérennité de la laine de verre étant dégradées en présence d'humidité, les laines de verre sont principalement commercialisées revêtues d'un pare-vapeur en kraft.

La laine de roche diffère principalement de celle de verre par sa densité plus importante qui permet des mises en œuvre comme support d'enduits ou sous étanchéité de toitures plates.

#### Composition principale

- Fibre de verre produite par fusion de sable, de verre recyclé (calcin) et de fondant
- Laine de roche produite par fusion de basalte ou de laitier de hauts fourneaux, avec fondants et coke
- Liants et adjuvants variables selon les produits, de composition non publiée

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (potentiellement recyclable, mais principalement mis en décharge)

#### Format et type de mise en œuvre

- Vrac pour soufflage ou insufflation
- Panneaux semi-rigides, rouleaux (épaisseur de 45 à 400 mm), nu ou revêtu d'un pare-vapeur en kraft, ou collé sur panneaux de plaque de plâtre
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : mur, toiture, plancher, cloison

#### Cadre normatif

- Marquage CE
- Nombreux produits sous Avis Techniques pour des applications spécifiques
- La majeure partie des produits bénéficie d'un certificat ACERMI

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	10 à 28 kg/m <sup>3</sup> laine de verre 28 à 150 kg/m <sup>3</sup> laine de roche
Conductivité thermique $\lambda$	0,030 à 0,045 W/(m.K) selon produits
Capacité thermique massique $C_p$	800 - 1000 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	1-2 produit nu ↗ ↗ avec kraft ou autres
Capacité hygrothermique	non
Énergie grise	7 à 10 kWh/kg
Réaction au feu	A1 produit nu à E-F produit revêtu d'un kraft

### REMARQUE

Depuis 2001, le Centre International de recherche sur le Cancer (CIRC) a changé le classement des fibres constituant les laines minérales de verre, de roche et de laitier du groupe 2B (cancérogène possible) au groupe 3 (inclassable quant à leur cancérogénicité). Les productions de laines minérales des industriels européens répondent aux critères d'exonération de cancérogénicité définis par l'Union Européenne, via une certification de leur faible biopersistance par l'EUCEB (European Certification Board for Mineral Wool Products, comité créé par les fabricants européens de laines minérales).

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Large diffusion</li> <li>• Variété de produits adaptés à chaque application</li> <li>• Coût</li> </ul>	Revêtu d'un kraft, comportement hygroscopique inadapté à un usage sur des parois à fort enjeu hygroscopique (bâti ancien)	3 à 12 €/m <sup>2</sup> , acheté en rouleaux équivalent r=7. Prix indicatif avril 2015

# MINÉRAUX

## VERRE CELLULAIRE



### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

Le verre cellulaire est fabriqué à base de verre broyé auquel on ajoute du carbone. La matière est expansée à une température d'environ 1 000°C à laquelle le carbone s'oxyde pour former des bulles de gaz.

#### Composition principale

Verre (principalement recyclé), carbure de silicium

#### Fin de vie

Déchet inerte, potentiellement recyclable, utilisable en remblai

#### Format et type de mise en œuvre

- Granulat (10 -75 mm) pour remblai porteur
- Panneau rigide (épaisseur de 40 à 180 mm)
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : murs (ITE), toiture terrasse, plancher (sous chape, sous dalle). Particulièrement adapté pour les parois où le recours à un isolant imputrescible et résistant à la compression est nécessaire : sous dalle, sous chape, soubassement...

#### Cadre normatif

Marquage CE

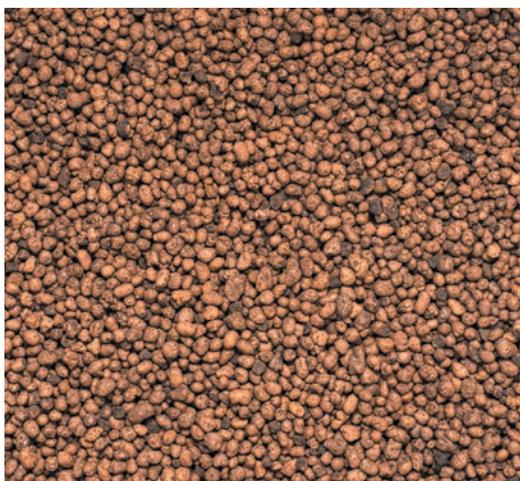
#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	115 kg/m <sup>3</sup> panneau 170 à 250 kg/m <sup>3</sup> granulat, selon compactage
Conductivité thermique $\lambda$	0,041 W/(m.K) panneau 0,075 à 0,120 W/(m.K) granulat, selon produits, compactage et humidité
Capacité thermique massique $C_p$	1000 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	panneaux totalement imperméables à la vapeur d'eau granulat drainant
Capacité hygrothermique	non
Énergie grise	2,5 granulat 6 kWh/kg panneau
Réaction au feu	E

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistance à la compression</li> <li>• Résistance au feu</li> <li>• Insensibilité à l'humidité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En panneaux, comportement hygroscopique inadapté à son usage sur des parois à fort enjeu hygroscopique (bâti ancien)</li> <li>• Coût</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 80 à 100 €/m<sup>2</sup>, livré par le fournisseur.</li> <li>• 48 à 64 €/m<sup>2</sup> panneau 16 cm équivalent <math>r=3,7</math></li> <li>Prix indicatif avril 2015</li> </ul>

## MINÉRAUX

### PERLITE, VERMICULITE, ARGILE EXPANSÉE



#### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

La perlite est une roche volcanique siliceuse alors que la vermiculite est une roche micacée. Avec l'argile expansée, ces 3 matériaux sont obtenus par cuisson de granules à des températures de 1100-1200 °C.

Sous l'effet de la chaleur et de l'humidité, les granulats s'expandent, augmentant ainsi leur capacité d'isolation. Leur résistance à la compression et à l'humidité rendent ces matériaux particulièrement utilisés en isolation de toiture terrasse ou incorporés dans des bétons isolants.

#### Composition principale

- Matières premières minérales
- Liants bitumineux pour certains produits

#### Fin de vie

Déchet inerte pour les produits en vrac

#### Format et type de mise en œuvre

- Granulat (0 -20 mm) mise en œuvre en vrac brut ou bitumé, incorporé en bétons
- Panneau rigide (épaisseur de 20 à 120 mm) : Mise en œuvre principalement en toiture terrasse, plancher (sous chape, sous dalle)

#### Cadre normatif

- Marquage CE
- Certains produits sous avis technique
- Certificat ACERMI pour la plupart des produits (panneaux)

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	90 kg/m <sup>3</sup> perlite vrac 150 à 280 kg/m <sup>3</sup> panneau perlite 75 à 130 kg/m <sup>3</sup> vermiculite 330 à 700 kg/m <sup>3</sup> argile expansée
Conductivité thermique $\lambda$	0,05 W/(m.K) perlite vrac 0,05 à 0,06 W/(m.K) panneau perlite 0,07 W/(m.K) vermiculite 0,08 à 0,12 W/(m.K) argile expansée
Capacité thermique massique $C_p$	900 à 1000 J/kg.K
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	3 perlite et vermiculite vrac 5 panneau perlite non revêtu
Capacité hygrothermique	non
Énergie grise	NC
Réaction au feu	A1 vrac C-s1, d0 à C-s2, d0 panneau

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistance à la compression</li> <li>• Résistance au feu</li> <li>• Insensibilité à l'humidité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût</li> <li>• Faible disponibilité</li> </ul>	12 €/100L, acheté en vrac. Prix indicatif avril 2015

## SYNTHÉTIQUES

### MOUSSE PLASTIQUE EXPANSÉE (MARQUE ICYNÈNE)



#### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

Il s'agit d'une mousse expansive capable de prendre une centaine de fois son volume en emprisonnant une très grande quantité d'air. Il ne contient aucun gaz expansif (expansion par réaction thermique par contact de deux produits).

La mousse est plus ou moins rigide et compressible, déformable et isolante, plus ou moins étanches à l'air et à l'eau (suivant produit), difficilement inflammable, auto-extinguible et légère.

#### Composition principale

Polymérisation de monomère d'uréthane (polyuréthane) et de polyéthylène téréphtalate de recyclage

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (pas de rejet toxique), pas de filière de recyclage à ce jour

#### Format et type de mise en œuvre

- Liquide projeté en adhérence directe sur la surface à isoler
- Mise en œuvre sur tout type de paroi intérieur : murs (ITI), toiture, plancher. Particulièrement adapté aux endroits difficiles d'accès.

#### Cadre normatif

- Marquage CE

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	8 à 40 kg/m <sup>3</sup> selon produits
Conductivité thermique $\lambda$	0,038 à 0,028 W/(m.K) selon produits
Capacité thermique massique $C_p$	NC
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	3,3 produit nu
Capacité hygrothermique	NC
Énergie grise	NC transport depuis le Canada sous forme liquide
Réaction au feu	Euroclasse F pas de classement, déclaré auto-extinguible

## REMARQUE ECOBILAN

La durabilité du produit est annoncée comme excellente, elle nécessite peu de matière mais il s'agit de plastique. En revanche, la production est faite au Canada et il n'y a actuellement pas

de filière de recyclage. Il est encore impossible de quantifier l'énergie grise nécessaire pour ce produit. Le produit est inerte et se présente comme irréprochable pour la qualité de l'air intérieur.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étanchéité à l'air (voire à l'eau suivant produit)</li> <li>• Isolation phonique</li> <li>• Frein vapeur (suivant produit)</li> <li>• Contreventement</li> <li>• Limitation des ponts thermiques</li> <li>• Application extrêmement rapide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un seul producteur au Canada</li> <li>• Relativement cher</li> <li>• Matière plastique</li> <li>• Peu d'applicateurs</li> <li>• Pas de garantie au feu</li> </ul>	NC

## SYNTHÉTIQUES

### POLYSTYRÈNE EXPANSÉ (EPS OU PSE)



© Stadler - Région Alsace

#### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

La fabrication du polystyrène expansé est effectuée par expansion de billes de monomère styrène à l'aide de pentane et de vapeur d'eau pour former un isolant à structure cellulaire fermée et remplie de pentane.

Les versions graphitées présentent une conductivité thermique améliorée (~ 20 %) par l'ajout de graphite (carbone) dans leur procédé de fabrication.

#### Composition principale

Polymérisation de monomère de styrène (pétrole), graphite

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (potentiellement recyclable, mais principalement mis en décharge)

#### Format et type de mise en œuvre

- Panneaux rigides (épaisseur de 20 à 300 mm), nu ou collé sur panneaux de plaque de plâtre
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : mur, toiture, plancher
- Privilégier la découpe au fil chaud pour limiter la dissémination dans l'environnement de billes de polystyrène lors de la mise en œuvre

#### Cadre normatif

- Marquage CE
- Nombreux produits sous Avis Techniques pour des applications spécifiques
- La majeure partie des produits bénéficie d'un certificat ACERMI

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	10 - 30 kg/m <sup>3</sup> selon produits
Conductivité thermique $\lambda$	0,032 à 0,038 W/(m.K) selon produits
Capacité thermique massique $C_p$	1200 - 1400 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	20 à 100
Capacité hygrothermique	non
Énergie grise	30 - 35 kWh/kg
Réaction au feu	E

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût</li> <li>• Possibilité d'être support d'enduits en ITE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistance à la diffusion de vapeur d'eau inadaptée à son usage sur des parois à fort enjeu hygroscopique (bâti ancien)</li> <li>• Propriété d'isolation acoustique médiocre</li> <li>• Sensibilité aux UV des polystyrènes expansés graphités (perte de performance)</li> </ul>	4 à 12 €/m <sup>2</sup> , acheté en panneaux. Prix indicatif avril 2015

## SYNTHÉTIQUES

### POLYSTYRÈNE EXTRUDÉ (XPS OU PSX)



#### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

La fabrication du polystyrène extrudé est effectuée à partir de billes de monomère styrène mélangées et extrudées avec un agent gonflant : CO<sup>2</sup> pour les performances thermiques courantes ou des gaz HFC pour des performances thermiques supérieures. Ces isolants ont une peau de surface étanche à l'air et sont à cellules fermées. Les polystyrènes extrudés diffèrent essentiellement des polystyrènes expansés par leur plus grande résistance à la compression et à l'humidité.

#### Composition principale

- Polymérisation de monomère de styrène (pétrole)
- Agent gonflant variable selon les produits : air, CO<sup>2</sup>, HFC (puissant gaz à effet de serre) ou non publié

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (potentiellement recyclable, mais principalement mis en décharge)

#### Format et type de mise en œuvre

- Panneau rigide (épaisseur de 30 à 120 mm), nu ou collé sur panneaux de plaque de plâtre
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : murs, toiture, plancher

#### Cadre normatif

- Marquage CE
- Nombreux produits sous Avis Techniques pour des applications spécifiques
- La majeure partie des produits bénéficie d'un certificat ACERMI

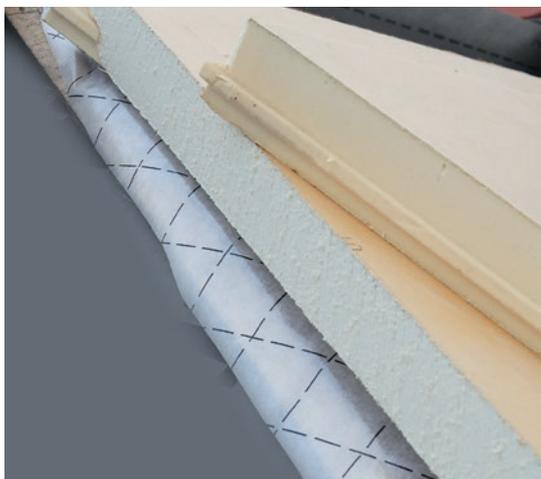
#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	15 - 30 kg/m <sup>3</sup> selon produits
Conductivité thermique $\lambda$	0,028 à 0,040 W/(m.K) selon produits
Capacité thermique massique $C_p$	1000 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	80 - 200
Capacité hygrothermique	non
Énergie grise	30 - 85 kWh/kg
Réaction au feu	E

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistance à la compression</li> <li>• Adapté aux milieux humides</li> </ul>	Comportement hygroscopique inadapté à son usage sur des parois à fort enjeu hygroscopique (bâti ancien)	20 à 25 €/m <sup>2</sup> , acheté en panneaux. Prix indicatif avril 2015

## SYNTHÉTIQUES

### POLYURÉTHANE (PUR)



© Stadler - Région Alsace

#### ► PRÉSENTATION SUCCINCTE DU MATÉRIAU

La fabrication des isolants en polyuréthane est effectuée à partir de moussage d'un composé de polyols, de méthylène diisocyanate, d'agents gonflants et d'additifs, entre deux parements d'aluminium qui assurent l'étanchéité à l'air de l'isolant et la pérennité de ses performances thermiques. La conductivité thermique des différents produits varie selon la nature du gaz remplissant les cellules fermées, la technique de production et les types de parements utilisés.

Un dérivé du polyuréthane est le poly-isocyanurate (PIR), qui présente dans l'ensemble les mêmes propriétés que le polyuréthane, à l'exception d'une réaction au feu plus favorable.

#### Composition principale

Polyols, méthylène diisocyanate, agents gonflants et additifs

#### Fin de vie

Déchet non dangereux (potentiellement recyclable, mais principalement mis en décharge)

#### Format et type de mise en œuvre

- Panneaux rigides (épaisseur de 20 à 120 mm), revêtu sur les deux faces
- Mise en œuvre sur tout type de paroi : murs, toiture, plancher

#### Cadre normatif

- Marquage CE
- Nombreux produits sous Avis Techniques pour des applications spécifiques
- La majeure partie des produits bénéficie d'un certificat ACERMI

#### Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique $\rho$	30 - 40 kg/m <sup>3</sup> selon produits
Conductivité thermique $\lambda$	0,022 à 0,028 W/(m.K) selon produits
Capacité thermique massique $C_p$	1000 J/(kg.K)
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu$	80 - 200
Capacité hygrothermique	non
Énergie grise	25 - 35 kWh/kg
Réaction au feu	E - F (PUR) B-s2-d0 (PIR)

### POLYURÉTHANE PROJÉTÉ

Sa rapidité de pose peut rendre le polyuréthane attractif, attention toutefois au type de paroi sur lequel il est mis en œuvre. Son comportement hygroscopique est en effet inadapté à son usage sur des parois à fort enjeu hygroscopique (bâti ancien).

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	PRIX PRODUIT BRUT
<ul style="list-style-type: none"><li>• Résistance à la compression</li><li>• Résistance en milieu humide</li><li>• Conductivité thermique très faible</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coût</li><li>• Comportement hygroscopique inadapté à son usage sur des parois à fort enjeu hygroscopique (bâti ancien)</li></ul>	45 à 50 €/litre équivalent $r=3,7$ Prix indicatif avril 2015

## AUTRES

### ISOLANT AÉROGEL DE SILICE

Pour réduire la conductivité thermique des isolants, les industriels cherchent à réduire la mobilité du gaz (air ou autres) présent dans le matériau en l'emprisonnant dans des cavités de très faibles dimensions, à l'échelle nanométrique. L'aérogel de silice est le principal matériau réalisé en ce sens. Il peut être semi-transparent et présente une conductivité thermique variant entre 0,01 et 0,02 W/(m.K), tout en étant quasiment ininflammable et hydrophobe. Il peut se présenter sous forme de matelas, en béton, ou intégré dans des produits comme par exemple la laine de roche. Peu, voire aucun produit de ce type ne bénéficie actuellement de reconnaissance technique en France.

### ISOLANT SOUS VIDE (PIV)

Pour réduire encore la conductivité thermique des produits à base d'aérogel, les isolants sous vide placent des aérogels dans une enceinte sous vide, permettant de remplacer l'air par du vide à la conductivité thermique beaucoup plus faible. Enveloppés d'un revêtement multicouche à base de polymère et d'aluminium, ces panneaux présentent une conductivité de l'ordre de 0,005 W/(m.K). Si cette performance rend ces produits très intéressants pour réduire l'épaisseur des isolants à résistance thermique constante, leur vulnérabilité à la perforation de l'enveloppe étanche les rend délicats à utiliser dans l'habitat. Leur pérennité n'est également pour le moment pas assurée.

### PRODUIT MINCE RÉFLÉCHISSANT (PMR)

Ces matériaux, constitués d'un assemblage de films et de mousses synthétiques peuvent être considérés uniquement comme des compléments d'isolation. Leur performance thermique est fortement liée à la qualité de la mise en œuvre qui doit ménager la présence de lames d'air continues sur les deux faces du produit, ainsi qu'une continuité parfaite de la pose pour que le produit joue également le rôle de pare-vapeur.

Plus d'info sur les PMR : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr), «les avis de l'ADEME» sur les PMR



**LES AVIS DE L'ADEME**

## Les Produits Minces Réfléchissants (PMR)

**Enjeux**

L'isolation thermique est un moyen efficace pour diminuer la facture de chauffage et accroître le confort de la maison. Il existe des produits isolants thermiques adaptés à chaque situation : isolation intérieure ou extérieure pour murs, toitures ou planchers. Résistance thermique et épaisseur du matériau sont les premiers éléments à prendre en compte pour choisir son isolant thermique.

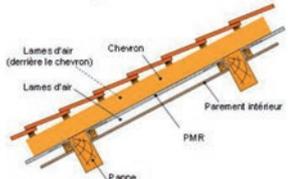
Les Produits Minces Réfléchissants (PMR) se répandent sur le marché depuis plusieurs années, sous plusieurs dénominations, dont l'appellation « isolants minces ». Au regard des enjeux énergétiques et climatiques actuels, et plus particulièrement des exigences de consommation énergétique et de performance de l'enveloppe définies par la réglementation thermique, quelles sont les performances effectives de ces produits et leur contribution à l'isolation des parois, en hiver comme en été ?

**Description**

La fabrication d'un PMR repose sur un procédé simple : enrober un matériau (fibre organique ou végétale, mousse plastique, bulles d'air...) de feuilles réfléchissantes. Ces feuilles réduisent les échanges thermiques par rayonnement entre les matériaux qu'elles séparent en diminuant l'émissivité<sup>1</sup> d'une des deux faces (principe de la couverture de survie). L'épaisseur d'un PMR est généralement comprise entre 5 et 30 mm.

**Chiffres clés**

En France, le marché des Produits Minces Réfléchissants représente environ une dizaine de millions de mètres carrés posés par an, ce qui correspond à un chiffre d'affaires de plus de 100 millions d'euros et à une part de marché d'environ 0,4 % en volume. Ces produits sont utilisés en isolation de parois verticales, de toitures (combles aménagés), ou de planchers ainsi qu'en écrans sous toiture<sup>2</sup> pour l'amélioration du confort d'été (le chiffre

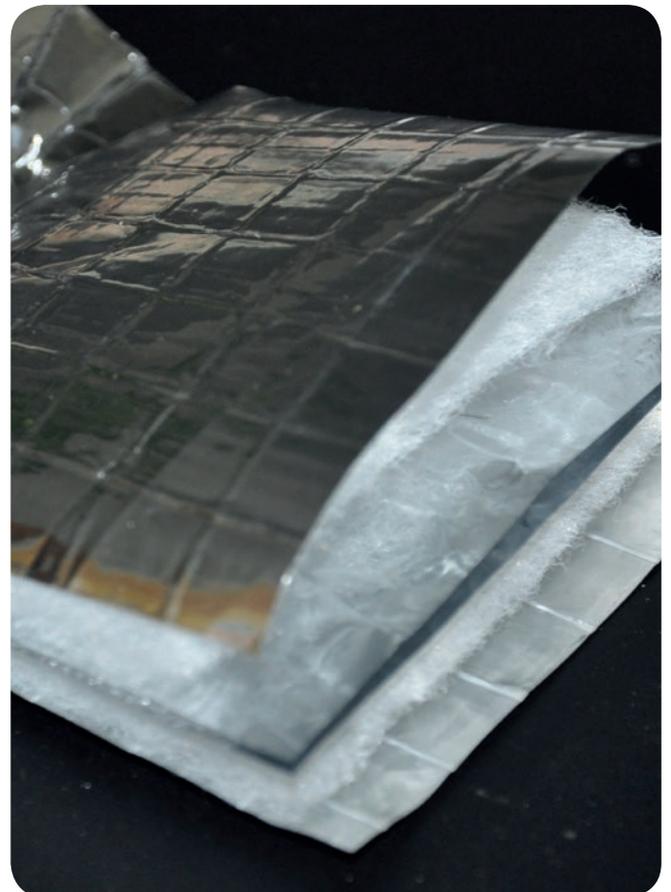


Exemple de mise en œuvre d'un PMR en rampant de comble aménagé

<sup>1</sup> L'émissivité est une propriété spécifique de la surface d'un corps caractérisant les échanges thermiques par rayonnement. Une émissivité de 0 correspond à un corps qui renvoie 100 % du rayonnement reçu et une émissivité de 1 correspond à un corps qui absorbe 100 % du rayonnement (corps noir).

<sup>2</sup> Un écran de sous-toiture est une feuille souple, déroulée, située sous les éléments de couverture, constituant un complément aux fonctions des couvertures et destinée à créer une couche de protection entre le matériau de couverture et la charpente.

Avril 2012 – Les Avis de l'ADEME



## TABLEAU DE SYNTHÈSE

	Isolant	conductivité thermique en W/m.K $\lambda$	masse volumique en Kg/m <sup>2</sup> $\rho$	capacité thermique en J/kg.K $C_p$	résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$	énergie grise en kWh/kg
Matériaux biosourcés	ouate de cellulose	0,037 - 0,042	30 -70	2 000	2	1-2
	fibres de bois denses	0,038 - 0,049	110-240	2 000-2 100	3-5	1-3
	laines biosourcées	0,032 - 0,047	20-80	1 350-1 800	1-3	5-10
	béton de chanvre	0,06-0,15	200-800	1 350-1 800	5-8	1,8
	botte de paille	0,052-0,080	80-120	1 550	1-2	0,1
	liège expansé	0,037-0,044	65-180	1 600-1 900	5-30	2-7
	chanvre en vrac	0,048	110-210	200-370	1-2	faible
Matériaux minéraux	laines minérales nues	0,030-0,045	10-150	800-1 000	1-2	7-10
	verre cellulaire panneau	0,041	115	1 000	infini	2-5
	verre cellulaire granulat	0,075-0,12	170-250	1 000	4	2-5
	perlite, vermiculite, argile expansée	0,05-0,12	90-700	900-1 000	3-5	NC
Matériaux synthétiques	mousse plastique expansée	0,038-0,028	8-40	NC	3,3	NC
	polystyrène expansé	0,032-0,038	10-30	1 200-1 400	20-100	30-35
	polystyrène extrudé	0,028-0,040	15-30	1 000	80-200	30-85
	polyuréthane	0,022-0,028	30-40	1 000	80-200	25-35

## CONSULTEZ NOS AUTRES PUBLICATIONS :



## Contacts

### Pour les particuliers :

Pour obtenir des conseils pratiques, gratuits et neutres pour rénover votre logement ainsi que des informations sur les aides financières possibles, contactez un espace info énergie au

**ESPACES INFO ÉNERGIE**  
 **N° Vert 0 800 60 60 44**

[www.eie-grandest.fr](http://www.eie-grandest.fr)



### Pour les professionnels du bâtiment :

Les centres de ressources Envirobat Grand Est

À Strasbourg : [www.energivie.pro](http://www.energivie.pro) / 03 88 14 49 96

À Nancy : [www.lqe.fr](http://www.lqe.fr) / 03 83 31 09 88

À Saint-Dizier : [www.arcad-ca.fr](http://www.arcad-ca.fr) / 03 25 94 41 18

À Reims : PQE FFB Grand Est / 03 26 48 42 06

Plus d'informations  
[www.climaxion.fr](http://www.climaxion.fr)

**climaxion**  
 anticiper • économiser • valoriser



**Grand Est**  
 ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE