



**Cerema**

Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

# Les matériaux d'isolation thermique

## Introduction de l'éco-construction



# Plan de la présentation

*27-29 janvier 2014*

*« Développement des compétences de la DGBC liées à l'introduction de l'éco-construction »*

- Introduction : l'isolation thermique en France
- Procédés d'isolation dans le neuf ou en rénovation
- Les matériaux d'isolation conventionnels
- Les matériaux d'isolation bio-sourcés ou à caractère écologique



Introduction

# L'isolation thermique en France

29/01/2014

# Le volume représenté par les travaux d'isolation

- Dans le secteur de la construction neuve, l'ensemble des projets sont concernés par l'isolation.
  - Cf Réglementation thermique 2012
- Le parc de bâtiment en France se renouvelle à un rythme de :
  - 1% par an pour les logements
  - 3% par an pour le secteur tertiaire
- En rénovation, 25% des travaux sont de l'isolation pour 13,5% du budget des dépenses.
- Le marché de l'isolation thermique génère un chiffre d'affaire de 1,3 milliard d'euros par an.

# Le marché de l'isolation en France

- En 2013, c'est environ 26 millions de m<sup>2</sup> d'isolation posé.
  - Dont 4 millions en isolation par l'extérieur (marché en pleine ascension, +20% par an).
  - Le nord Est est la région la plus active et le sud Ouest la moins active.
- En 2013, L'isolation thermique par l'intérieur représente encore 85% des opérations.
  - Pour les projets labellisés BBC Effinergie, on retrouve 24% d'isolation par l'extérieur
- Les coûts constatés sont d'environ:
  - 30 à 40€ HT/m<sup>2</sup> pour l'isolation par l'intérieur
  - Autour de 100€ HT/m<sup>2</sup> pour l'isolation par l'extérieur.

# Les matériaux utilisés en France il y a 10 ans

La répartition par type d'application et par type de produit du marché Français, pour 60% d'utilisation dans le neuf et 40% en réhabilitation

	Planchers et sol, en %	Toiture et combles, en %	Murs et façades, en %	Autres non définis, en %
Laines minérales	15	91	50	
Polystyrène expansé	77	4	46	
Polyuréthane	3	4	2	
Polystyrène extrudé	5	1	2	
Total	13	42	34	10

# L'évolution ces dix dernières années

- Réglementation thermique 2005 et 2012:
  - Généralisation de l'usage d'isolant en couche plus épaisse et ou plus performante dans le neuf.
- Réglementation thermique existant, globale et élément par élément (2007):
  - Exigence d'isolation des parois opaques lors de rénovation de ces éléments.
- Labels : Effinergie, Passivhaus, Minergie, ...
  - Incitation à avoir des enveloppes plus performantes donc une isolation conséquente et efficace.
- Mise sur le marché de produits et développement de filières dite "bio-sourcés"
  - Notion d'énergie grise, d'isolation écologique, utilisation de produits naturels
  - Prise de conscience de l'importance du comportement hygrothermique des matériaux utilisés (hygroscopicité, capillarité et perméance)

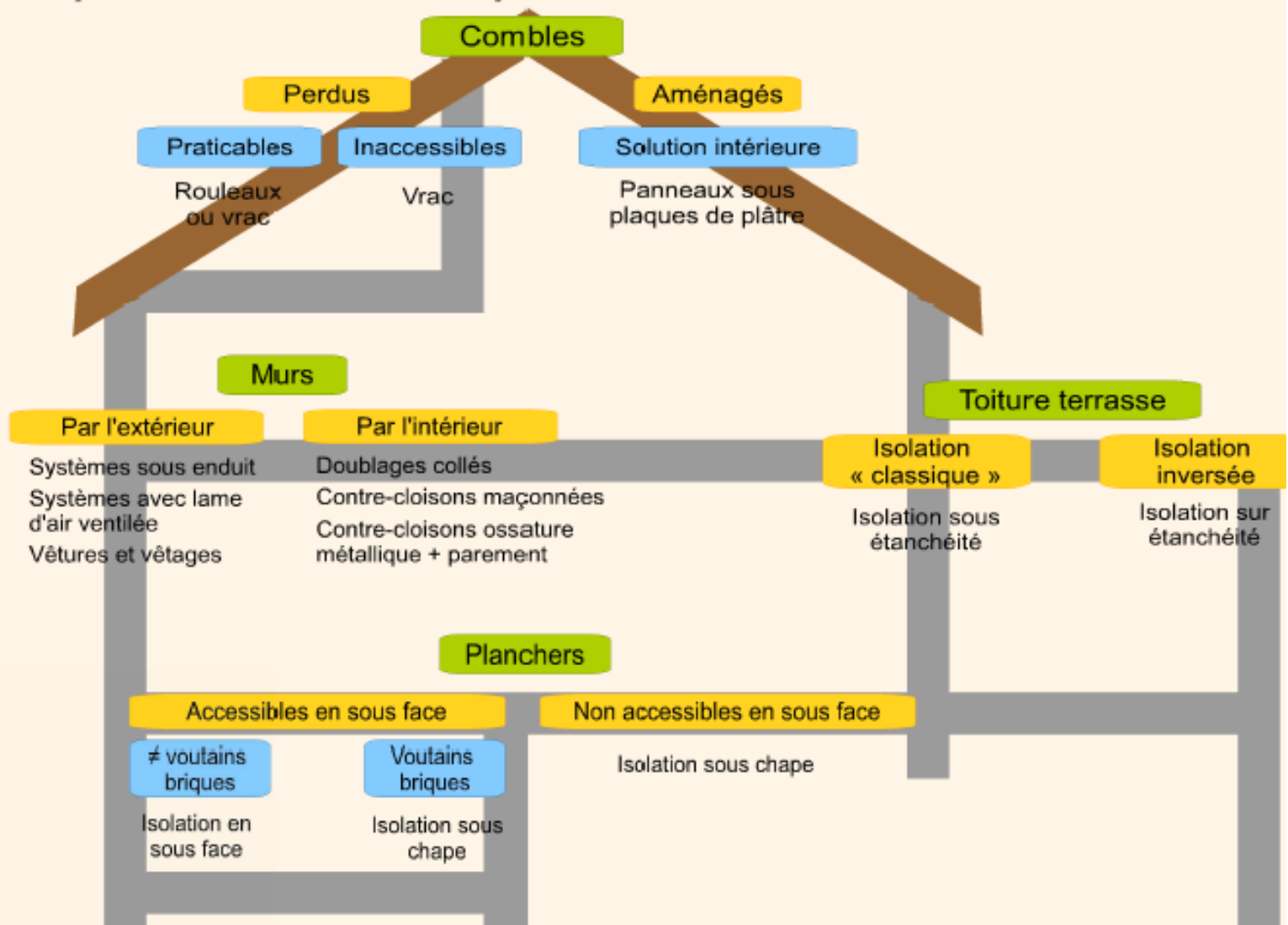


1<sup>ère</sup> Partie

# Procédés d'isolation dans le neuf ou en rénovation

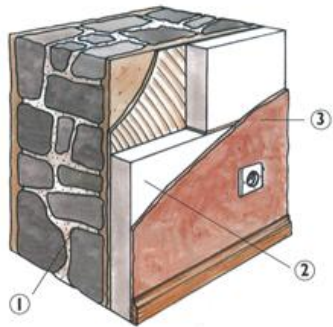


# Techniques d'isolation thermique en rénovation



# L'isolation des murs, ITE ou ITI

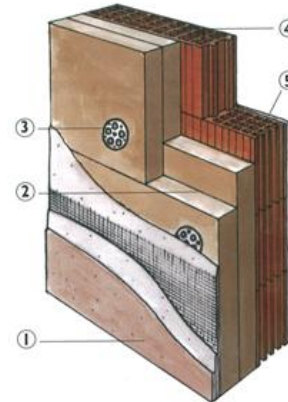
## Isolation par l'intérieur



- 1 Mur d'origine (ici en pierre calcaire, enduit traditionnel à la chaux de part et d'autre: 40 cm + 2 x 2 cm)
- 2 Mousse de pierre (10 cm Multipor® + ≈ 1 cm de mortier colle)
- 3 Enduit terre (≈ 1 cm)

- Avantages:
  - Réchauffement/Climatisation rapide de l'air intérieur
  - Conservation de l'aspect extérieur de la façade
  - Peu cher
- Inconvénients/limites:
  - Perte d'inertie
  - Risque de condensation
  - Ponts thermiques

## Isolation par l'extérieur



- 1 Enduit extérieur tramé (≈ 1,5 cm)
  - 2 Panneaux isolants (2 x 8 cm)
  - 3 Fixation mécanique par chevilles plastiques
  - 4 Mur porteur en briques maçonneries (1) (15 cm)
  - 5 Enduit plâtre (≈ 1 cm)
- (1) En neuf, la résistance mécanique de la brique permet dans de nombreux cas des murs porteurs de 15 cm. Mais en mur de 20 cm et plus, en neuf ou rénovation, nous trouverons des blocs béton, de la brique, du silico-calcaire, des murs de pierre, de terre...

- Avantages:
  - Inertie des murs
  - Réduction des ponts thermiques
  - Réduction des risques de condensation
- Inconvénients/limites:
  - Surcoût
  - Contraintes esthétiques sur les façades
  - Traitement des baies à soigner

# Exemples de coûts ITI

## Contre-cloisons maçonnées

### Coûts de fourniture et de pose de panneau de laine minérale en €HT/m<sup>2</sup>

R (K.m <sup>2</sup> /W)	< 2	2 ≤ R < 2,8	≥ 2,8
Panneau seul	4,00 à 13,40	6,75 à 17,25	9,90 à + de 19,40
Avec contre cloison	35,50 à 39,50	37,00 à 43,00	38,50 à + de 46,00

Coûts de fourniture et de pose pour l'isolation des façades par l'intérieur avec contre-cloison maçonnée (Année 2009 / 2010)

Source : CETE NP

### Mise en œuvre d'un autre isolant

Polystyrène expansé	+1 à 1,50 €HT/m <sup>2</sup>
polystyrène extrudé	X 1,5 à 2,5
polyuréthane	X 2 à 3
laine de chanvre	X 1,5 à 4
fibre de bois	X 2 à 3

### Mise en œuvre d'autres matériaux

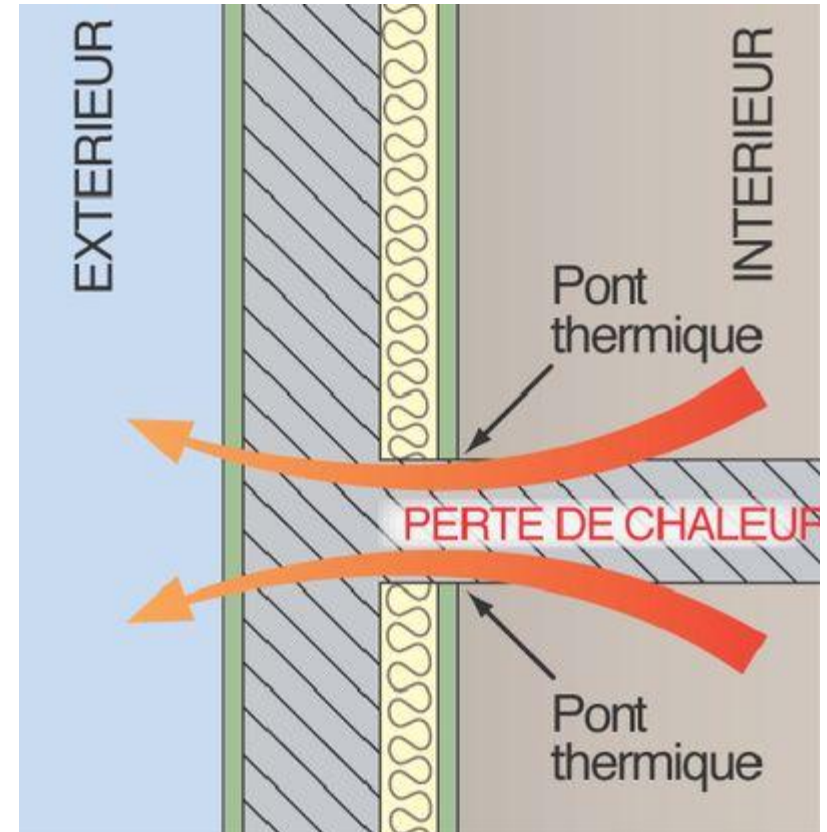
carreaux terre cuite grande dimension	+ 9,90 €HT/m <sup>2</sup>
carreaux plâtre standard	+ 8,20 €HT/m <sup>2</sup>
béton cellulaire lisse	+ 18,45 €HT/m <sup>2</sup>

### Finition enduite

+ 6,00 €HT/m<sup>2</sup>

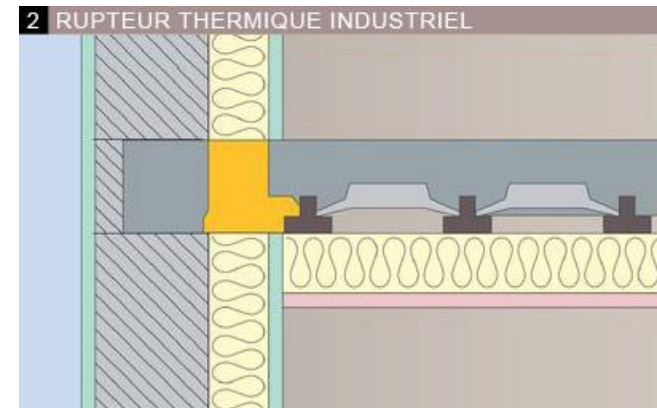
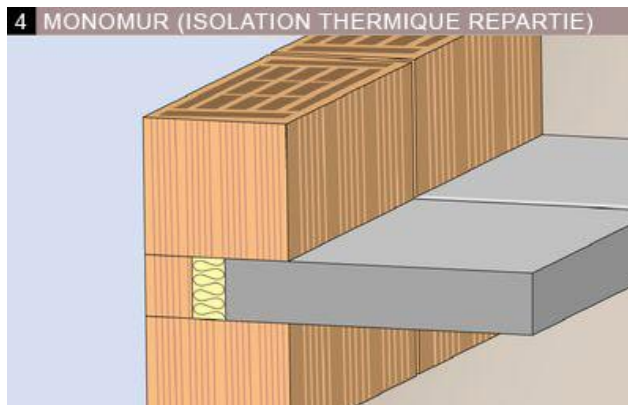
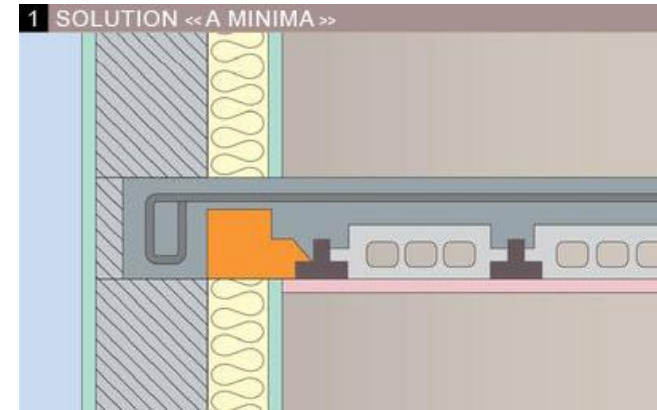
# A éviter: les ponts thermiques dû à des discontinuités dans l'isolation

- L'isolation par l'intérieur peut amener un phénomène de ponts thermiques.
- Sur un bâtiment isolé par l'intérieur sans traitement de ces ponts, les pertes thermiques peuvent être de 20% par ces phénomènes.

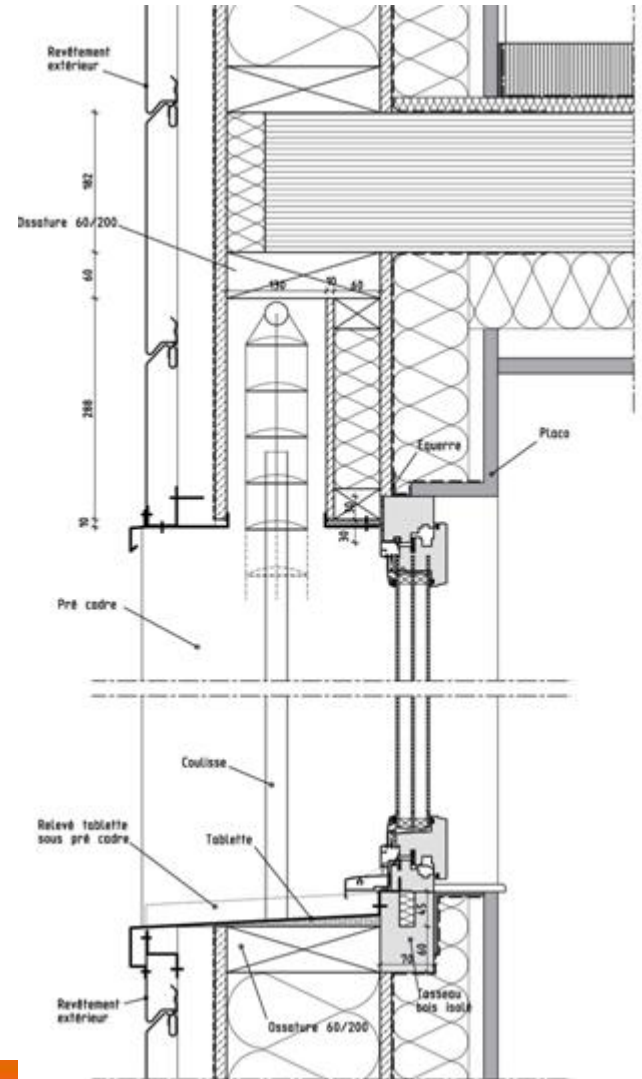
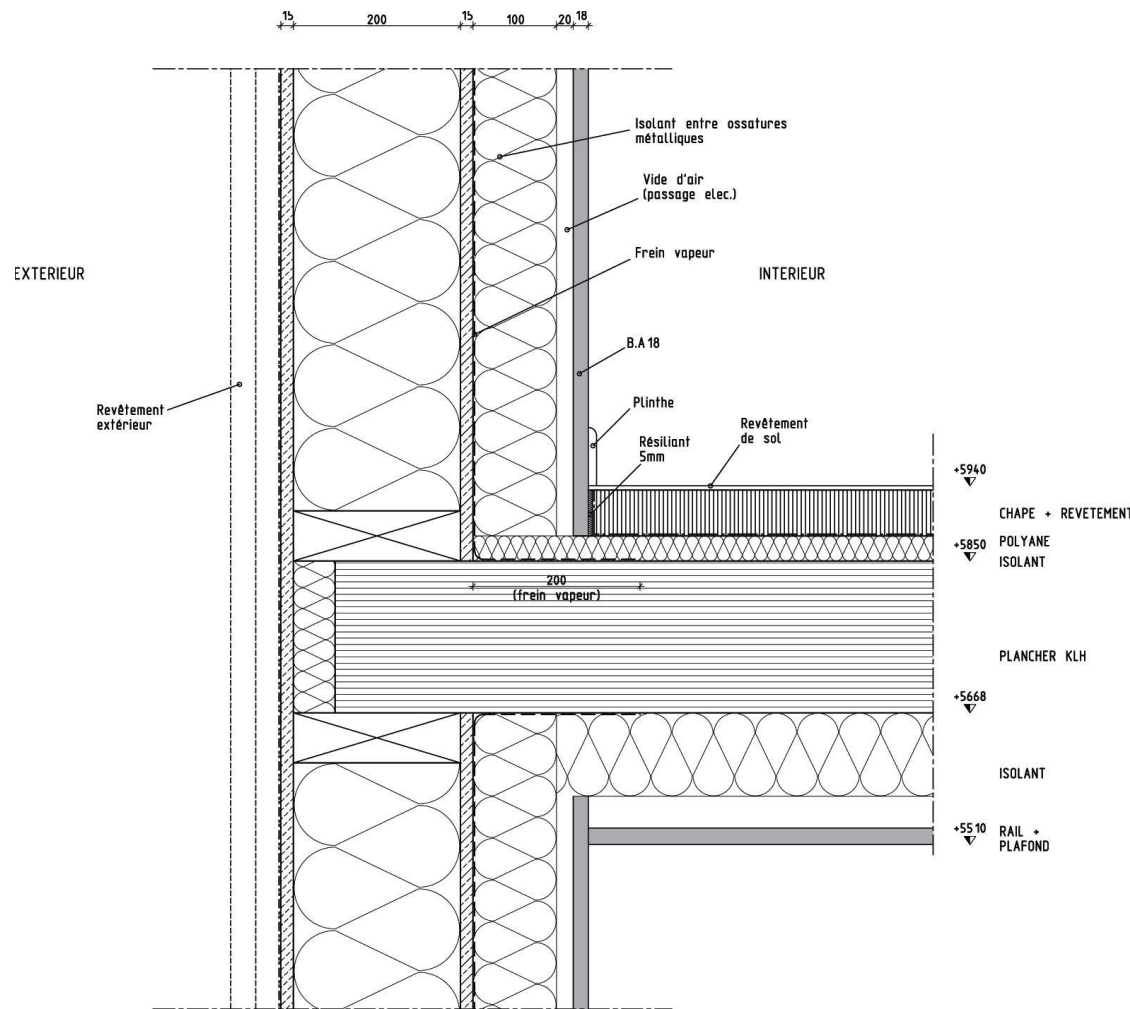


# Solutions anti ponts thermiques

- Solutions à l'aide de rupteurs de pont thermiques souvent en polystyrène.
- Solution d'isolation répartie



# Exemple d'un bâtiment passif

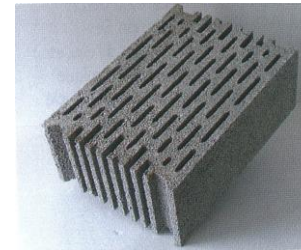


# L'isolation répartie

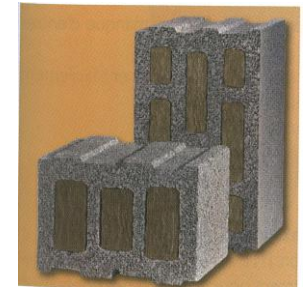
- Les blocs monomur, le béton cellulaire et les blocs bi-matières permettent l'isolation répartie en construction

- Avantageux en climat doux
- Bonne longévité dans le temps
- Murs épais, à partir de 37 cm.
- Mise œuvre soignée nécessaire
- Enduits nécessaires
- Permet une inertie thermique appréciable

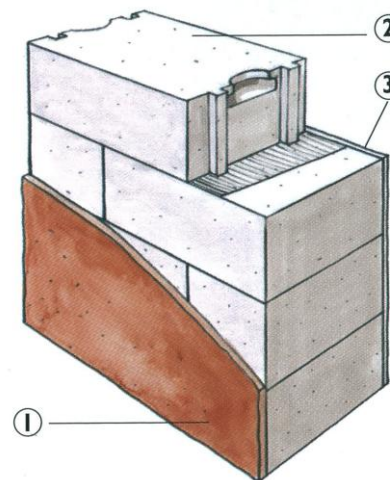
- Conductivité thermique équivalente :  $\lambda \approx 10 \text{ W/mK}$



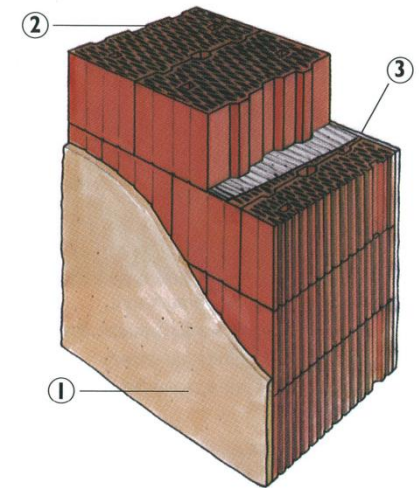
Monomur béton allégé de pierre ponce



Béton allégé avec isolation laine de roche

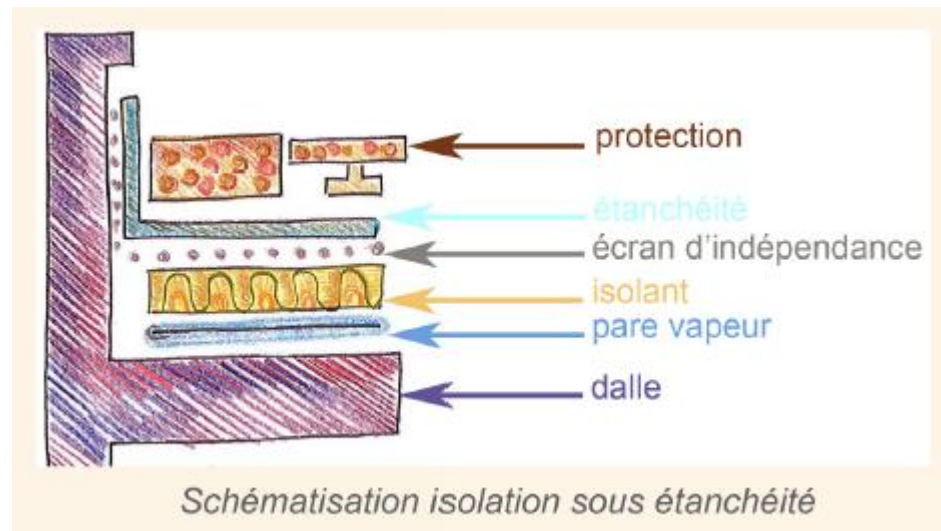
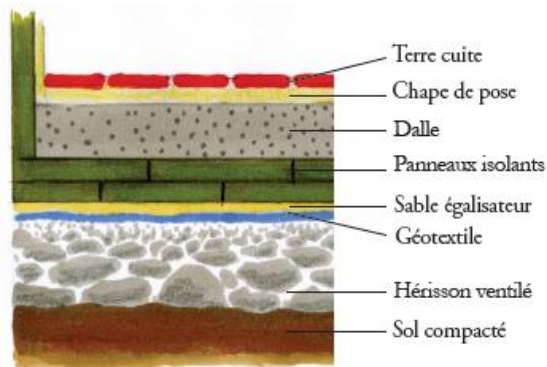


- 1 Enduit extérieur à base de chaux ( $\approx 2 \text{ cm}$ )
- 2 Monomur béton cellulaire (Thermopierre® de 42,5 cm)
- 3 Enduit intérieur à base de plâtre ( $\approx 1 \text{ cm}$ )



- 1 Enduit extérieur à base de chaux ( $\approx 2 \text{ cm}$ )
- 2 Monomur terre cuite (Brique Wienerberger® de 50 cm, pose roulée)
- 3 Enduit plâtre ( $\approx 1 \text{ cm}$ )

# L'isolation sol et toiture



- De l'isolation peut être également utilisé pour le sol et la toiture, beaucoup de configurations sont possibles tant que certaines précautions sont respectées:
  - Attention aux chocs thermiques pour les toitures terrasses
  - Attention aux surchauffes estivales en se privant d'inertie au niveau du sol
  - Attention à la protection de l'isolant placé sur la toiture par rapport aux intempéries



# Coûts liés à l'isolation des toitures terrasses

## Coûts de fourniture et de pose isolant polystyrène en €HT/m<sup>2</sup>

R (K.m <sup>2</sup> /W)	< 2,5	2,5 ≤ R < 3	≥ 3
Polystyrène expansé	6,25 à 22,35	11,10 à 36,25	17,35 à + de 39,75
Polystyrène extrudé	7,40 à 28,10	11,50 à 41,65	17,45 à + de 40,75

Coûts de fourniture et de pose pour l'isolation des toitures terrasses (Année 2009 / 2010) Source : CETE NP

### Mode de pose de l'isolation thermique

Pose libre	1,34 à 2,76 €HT/m <sup>2</sup>
Collage à froid	4,35 à 12,50 €HT/m <sup>2</sup>
Collage à chaud	6,35 à 8,50 €HT/m <sup>2</sup>
Fixation mécanique	2,35 à 7,45 €HT/m <sup>2</sup>

### Travaux de réhabilitation

Pontage fissure ancienne étanchéité	3,10 €HT/m <sup>2</sup>
Suppression des irrégularité de surface	15,30 €HT/m <sup>2</sup>

### Travaux complémentaires

Pare vapeur	15 à 30 €HT/m <sup>2</sup>
Étanchéité (arrachage)	8,90 à 17,60 €HT/m <sup>2</sup>
Étanchéité (mise en œuvre)	25 à 40 €HT/m <sup>2</sup>

### Coûts complémentaires liés à la protection

Dépose gravillons (4 cm)	5,25 €HT/m <sup>2</sup>
Dépose dalles et de plots ou lit de sable	12,58 à 20,97 €HT/m <sup>2</sup>
Repose gravillons (4 cm)	5,25 €HT/m <sup>2</sup>
Repose dalles	19,18 à 41,05 €HT/m <sup>2</sup>

# L'isolation par enduits isolants



*Béton de chanvre projeté, taloché*

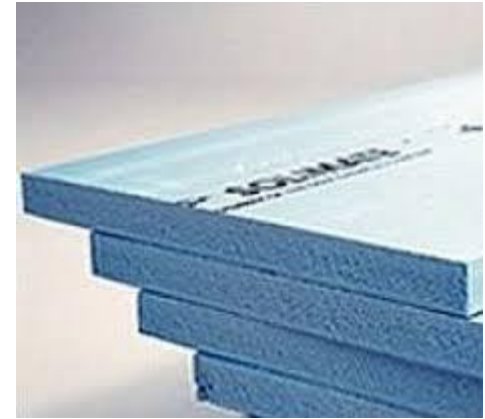


*Projection de mousse polyuréthane*



*Enduit épais chaux, plâtre, chaux-  
chanvre, ... pour correction thermique*

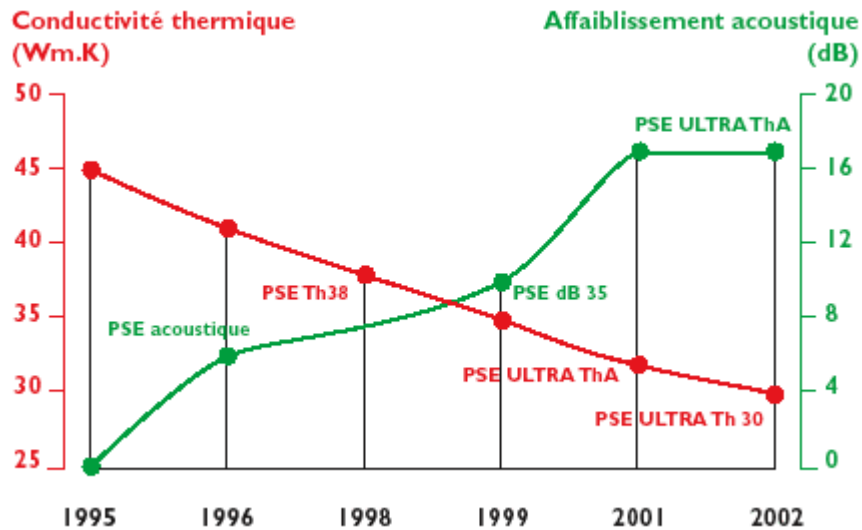
- Mise en œuvre simple, même dans le cas de surface non-plane.
- Apporte une correction thermique (une résistance thermique supplémentaire) :
  - Exemple : 5cm d'enduits chaux-chanvre :  $R=5\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$
- Peut permettre l'utilisation de matériaux respectant le comportement hygrométrique de la paroi.



2<sup>ème</sup> Partie

# Les matériaux d'isolation conventionnels

# La maturité des produits conventionnels



Source: Saint- Gobain  
Isolation

Les évolutions des  
performances du polystyrène  
expansé

- Les produits phares de l'isolation utilisés dans les années 90 sont toujours utilisés aujourd'hui sous la même appellation mais la recherche a permis d'améliorer leurs performances.

# Laines minérales



*Laine de verre*



*Laine de roche*

- Ce sont les isolants les plus répandus en France et les moins cher. Ces laines sont obtenues par fusion de matières minérales à environ 1500°C, puis par centrifugation, soufflage et extrusion.
  - Pour la laine de verre, la matière première employée est du verre de récupération et du sable siliceux
  - Pour la laine de roche, ce sont des roches volcaniques, basaltes...
  - Les fibres sont enrobées de résines durcie par polymérisation pour assurer la tenue mécanique de l'ensemble
- Ces matériaux disposent d'avis techniques et de DTU et sont commercialisés par des grands groupes qui dominent le marché des isolants.

# Laines minérales

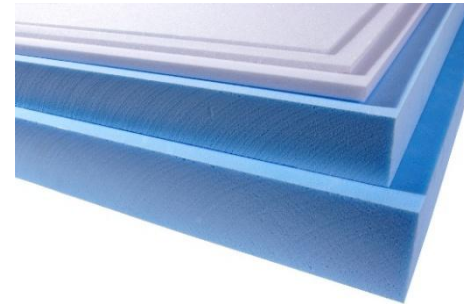
Caractéristiques techniques		
Laines :	de verre	de roche
Densité	13 à 100 kg/m <sup>3</sup>	20 à 150 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique $\lambda$	$\approx 0.039$ W/mK	$\approx 0.039$ W/mK
Capacité thermique C	14 à 104 kJ/m <sup>3</sup>	21 à 157 kJ/m <sup>3</sup>
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$	1 à 2	1 à 2
Energie grise	225 kWh/m <sup>3</sup>	150 kWh/m <sup>3</sup>
Bilan CO <sub>2</sub>	10 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF	9 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF

- Avantages:
  - Coût peu élevé
  - Peut être découpé et ajusté sans problème
  - Bonne isolation acoustique
- Inconvénients:
  - Matériaux non-renouvelables
  - Protection au feu faible
  - Doit être protégé de l'humidité (perte de performance)
  - Peut se tasser dans le temps, tenue mécanique à soigner.
  - Peu d'inertie thermique

# Polystyrène, PSE et PSX



*Plaques de polystyrène expansé*



*Plaques de polystyrène extrudé*



- Second matériau le plus utilisé en isolation. Fabriqué à partir de billes de styrène (issus du pétrole) et traité soit par extrusion soit par extension.
  - Polystyrène expansé : structures à pores partiellement ouverts
  - Polystyrène extrudé : structures à pore fermé, plus résistante à la compression.
- Ces matériaux disposent d'avis techniques et de DTU et sont abondants sur le marché.

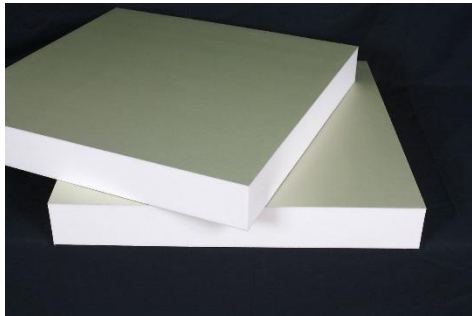
# Polystyrène, PSE et PSX

Caractéristiques techniques		
Matériaux:	PSE	PSX
Densité	10 à 30kg/m <sup>3</sup>	25 à 40 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique $\lambda$	≈0.032 à 0.038 W/mK	≈0.029 à 0.035 W/mK
Capacité thermique C	48 à 145 kJ/m <sup>3</sup>	35 à 56 kJ/m <sup>3</sup>
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$	20 à 1000000	80 à 200
Energie grise	81 kWh/m <sup>3</sup>	150 kWh/m <sup>3</sup>
Bilan CO <sub>2</sub>	10 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF	22 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF

- Avantages:
  - Coût peu élevé
  - Peut être découpé et ajusté sans problème
  - Tenue mécanique (surtout PSX)
- Inconvénients:
  - Matériaux non-renouvelables
  - Barrage à la vapeur d'eau : ne permet pas à la paroi de «respirer»
  - Peu d'inertie thermique
  - Protection au feu à surveiller (produits ignifugés à utiliser en priorité)



# Polyuréthane



*Plaques de polyuréthane*



*Mousse de polyuréthane*

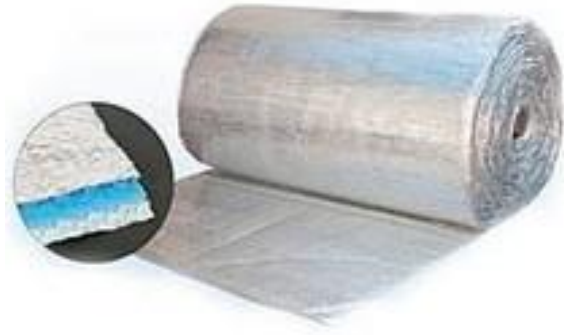
- Ce matériau est formé par réaction chimique entre des isocyanates et des polyols. Les pores fermés du matériau sont remplis par du gaz lourd (HFC, CO<sub>2</sub> ou C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>).
  - Il peut être utilisé en plaques ou projeté sous forme liquide.
  - Il est également disponible en bombe pour application locale
- Ces matériaux disposent d'avis techniques et de DTU et sont abondants sur le marché.

# Polyuréthane

Caractéristiques techniques	
<b>Matériaux:</b>	<b>Polyuréthane</b>
<b>Densité</b>	20 à 40 kg/m <sup>3</sup>
<b>Conductivité thermique <math>\lambda</math></b>	0.024 à 0.030 W/mK
<b>Capacité thermique C</b>	35 à 70 kJ/m <sup>3</sup>
<b>Résistance à la diffusion de vapeur d'eau <math>\mu</math></b>	30 à 200
<b>Energie grise</b>	115 kWh/m <sup>3</sup>
<b>Bilan CO2</b>	16 à 32 kg éq. CO2 /UF

- **Avantages:**
  - Mise en œuvre par projection possible
  - Excellente résistance thermique, une des meilleurs
- **Inconvénients:**
  - Nécessite des additifs pour la tenue au feu
  - Produit non-renouvelable et émetteurs de gaz à effet de serre
  - Plus cher que les 2 premiers produits

# Isolants minces réfléchissants



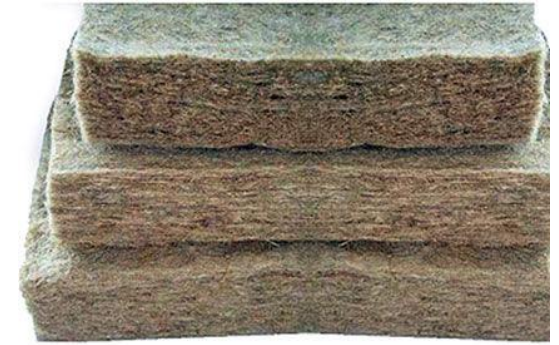
*Isolant minces ISOALU en rouleau*



- Ces éléments sont des compléments d'isolation par produits réfléchissants (d'après le CSTB).
  - Repose sur l'enrobage d'un matériau (mousse, fibre,...) par des feuilles réfléchissantes.
  - Ces feuilles réduisent les échanges par rayonnement entre les matériaux qu'elles séparent.
  - L'épaisseur est généralement entre 5 et 30 mm.
- Ces produits existent sous Avis Techniques. Leur mise en œuvre doit être précise.

# Isolants minces réfléchissants

- La pose de ces matériaux doit être précise pour garantir l'efficacité:
  - 2 lames d'air non ventilées de part et d'autre de 2 à 3 cm est la meilleure configuration.
  - Jonction par bande adhésive étanche réfléchissante.
- Ces produits sont plus efficaces en climat chaud pour réduire les besoins en climatisation.
  - Sous le toit pour réduire la part de chaleur radiante venant du soleil entrant dans le bâtiment.
  - Sur les murs Ouest (même raison)
  - Attention aux risques de condensation sur le produit (se comporte comme une barrière infranchissable pour la vapeur d'eau)



3<sup>ème</sup> Partie

# Les matériaux d'isolation bio-sourcés ou à caractère écologique

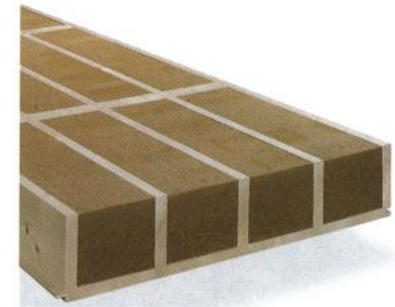
# Laines de bois



*Panneau de laine de bois*



*Laine de bois en vrac*



*Caissons remplis de laine de bois*

- Le bois feutré est obtenu à partir du défibrage de chutes de bois. La laine de bois peut être :
  - Utilisée en vrac destiné à être insufflée ou projetée
  - Transformé en pâte par adjonction d'eau puis coulé, laminé et séché pour produire des panneaux.
- Ces produits sont connus depuis longtemps mais reviennent sur le devant de la scène de part leur vertu écologique. Ils sont certifiés.

# Laines de bois

Caractéristiques techniques		
Matériaux:	Laine de bois	Bois feutré
Densité	40 à 55 kg/m <sup>3</sup>	110 à 160 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique $\lambda$	≈0.040 W/mK	≈0.042 W/mK
Capacité thermique C	80 à 110 kJ/m <sup>3</sup>	294 à 336 kJ/m <sup>3</sup>
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$	1 à 2	5
Energie grise	43 kWh/m <sup>3</sup>	61 kWh/m <sup>3</sup>
Bilan CO <sub>2</sub>	-1.5 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF	-10 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF

- Avantages:

- Diffusant à la vapeur d'eau
- Protection de la structure contre les incendies
- Ressource écologique
- Inertie thermique intéressante
- Isolation acoustique

- Inconvénients:

- Coût encore élevé
- Tassement pour les produits à faible densité
- Origine du bois à contrôler

# Laine et béton de chanvre



*Panneau de laine de chanvre*



*Béton de chanvre sur le sol*



*Béton de chanvre monté en murs*

- Une fois récolté, la filasse du chanvre est séparé de la chènevotte (la tige) puis est affinée et calibrée pour donner une laine homogène.
- Résultat de l'association de 2 matériaux naturels, copeaux de chanvre et chaux aérienne, les briques ou le béton de chanvre sont une solution constructive non porteuse et isolante.
- La laine de chanvre dispose d'un avis technique et le béton de chanvre d'un DTU et d'un avis technique en cours de réalisation.



# Laine et béton de chanvre

Caractéristiques techniques		
Matériaux:	Laine de chanvre	Bloc de chanvre
Densité	20 à 30 kg/m <sup>3</sup>	300 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique $\lambda$	≈0.039 W/mK	≈0.075 W/mK
Capacité thermique C	30 kJ/m <sup>3</sup>	510 kJ/m <sup>3</sup>
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$	1 à 2	4.5
Energie grise	30 kWh/m <sup>3</sup>	79 kWh/m <sup>3</sup>
Bilan CO <sub>2</sub>	-1 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF	2.7 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF

- Avantages:

- Diffusant à la vapeur d'eau
- Bon régulateur hygro
- Ressources renouvelables
- Aucun dégagement toxique au feu
- Énergie grise très faible
- Isolant acoustique

- Inconvénients:

- Coût encore un peu élevé
- Sel de bore nécessaire pour traitement contre insectes et rongeurs

# Ouate de cellulose



*Ouate de cellulose en vrac*



*Ouate de cellulose projeté*



*Plaques de ouate de cellulose*

- La ouate de cellulose provient du papier recyclé ou éventuellement de bois recyclé.
  - Papier défibré et réduit en flocons, puis stérilisé par incorporation d'agents de texture et d'ignifugeant : gypse, sels de bore,...
  - Utilisé depuis longtemps au Etats-Unis.
- Les avis techniques sont disponibles pour des produits à partir de ouate de cellulose

# Ouate de cellulose

Caractéristiques techniques		
Matériaux:	Ouate projeté	Ouate insufflée
Densité	30 à 60 kg/m <sup>3</sup>	30 à 100 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique $\lambda$	≈0.048 W/mK	≈0.044 W/mK
Capacité thermique C	54 à 81 kJ/m <sup>3</sup>	72 à 108 kJ/m <sup>3</sup>
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$	1 à 2	1 à 3
Energie grise	21 kWh/m <sup>3</sup>	12 kWh/m <sup>3</sup>
Bilan CO <sub>2</sub>	-10 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF	-5 kg éq. CO <sub>2</sub> /UF

- Avantages:

- Très bon rapport qualité technique, écologique et coût
- Imputrescible
- Recyclage de produit
- Hygroscopique

- Inconvénients:

- Pour insufflation : bien maîtriser la densité et la répartition
- Machine de projection à manier par un professionnel

# Liège

*Granules de liège*



- Le liège expansé est obtenue à partir du chêne liège. Le prélèvement de l'écorce, appelé démasclage, s'effectue tous les 8 à 10 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 en four autoclave.
  - Ce liège peut être utilisé en vrac, dans des bétons allégés ou en panneau aggloméré.
- En France les coûts sont d'environ 20€/m<sup>2</sup> pour des plaques de 100mm et 130€/m<sup>3</sup> pour des granules.

# Liège

Produit	Liège nature granules	Liège expansé granules	Liège nature aggloméré en panneaux compressés	Liège expansé en panneaux
Masse vol. ( $\rho$ ) en kg/m <sup>3</sup>	80 à 160	70 à 100	140 à 300	100 à 150
Conductivité thermique ( $\lambda$ ) en W/mK	0,045 à 0,060	0,034 à 0,042	0,039 à 0,050	0,036 à 0,042
Chaleur spécifique (c) en J/kg.K	1 700 à 2 000	1 700 à 2 000	1 700 à 2 000	1 700 à 2 000
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau ( $\mu$ )	1 à 3	1 à 3		5 à 30
Bilan par UF avec $\rho = 100^*-90^{**}-110^{***}$ kg/m <sup>3</sup> ; $\lambda = 0,05^*-0,04^{**}-0,04^{***}$ W/mK				
Bilan CO <sub>2</sub> en kg CO <sub>2</sub> eq	- 42,25*	- 22,14**		- 27,06***
Énergie grise en kWh	2*	35**		43***

- Inconvénients:

- Coûts élevés
- Ressource renouvelable mais en disponibilité limité.

- Avantages :

- *Imputrescible*
- *Très bonne résistance mécanique en compression*
- *Très bon isolant en dalle et plancher*
- *Peu d'énergie consommé à la fabrication*
- *Insensible aux rongeurs et aux insectes*

# Autres produits



*Laine de lin*



*Sciure de bois renforcé à l'argile*



*Paille*



*Plumes de canard traitées*

- La paille (en botte ou en torchis) à une excellente résistance thermique et est un bon régulateur d'humidité à condition de ne pas utiliser de ciment, énergie grise quasi nulle.
- La laine de lin est utilisable en vrac, en panneau ou en feutre. C'est un bon régulateur hygro, attention aux tassements et aux rongeurs.
- Les rouleaux de plumes de canard ont de bonnes propriétés mais contiennent encore des additifs non-écologiques (polyester,...) et sont assez coûteux. Produit qui va sûrement s'améliorer.
- Sciure de bois argilé à mettre en caisson fermé. Très bon en matière d'écologie. Résistance thermique intéressante. Encore peu répandu.

# Paille



- La paille propre et sèche peut être utilisée en botte comme isolant avec une structure porteuse ou même comme structure.
- Le coût varie de 0.5 à 2 € la botte. Ça peut être une source de revenu supplémentaire pour les agriculteurs.
- Les bottes peuvent être utilisées verticalement ou horizontalement (37,5 cm ou 47,5 cm d'épaisseur).
- La mise en œuvre demande de la main d'œuvre.

# Paille

Présentation	Bottes de paille moyenne densité (flux thermique transversal au sens des fibres)	Bottes de paille moyenne densité (flux thermique dans le sens des fibres)	Botte de paille haute densité	Panneaux de paille compressée
Masse vol. ( $\rho$ ) en kg/m <sup>3</sup>	80 à 120	80 à 120	150 à 250	300 à 420
Conductivité thermique ( $\lambda$ ) en W/mK	0,04 à 0,055	0,06 à 0,075	0,06 à 0,08	0,08 à 0,12
Chaleur spécifique (c) en J/kg.K	1 400 à 2 000	1 400 à 2 000	1 400 à 2 000	1 400 à 2 000
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau ( $\mu$ )	1 à 2	1 à 2	1 à 2	13
Bilan par UF avec $\rho = 90^* - 90^{**} - 200^{***}$ kg/m <sup>3</sup> ; $\lambda = 0,047^* - 0,07^{**} - 0,07^{***}$ W/mK				
Bilan CO <sub>2</sub> en kg CO <sub>2</sub> eq	- 26,44*	- 39,38**	- 87,50***	
Énergie grise en kWh	5*	7**	17***	

## ● Inconvénients:

- Concurrence avec les besoins alimentaires des animaux
- Éviter le transport

## ● Avantages:

- Résistance à la vapeur d'eau
- Isolant acoustique
- Montage rapide
- Résistance et durabilité
- Énergie très faible, puit à carbone
- Matière renouvelable chaque année en grande quantité
- Aucun produits chimiques ajoutés





# Conclusions et Perspectives

# Conclusions

- Des produits qui continuent d'évoluer
- Une demande qui continue de croître et qui s'oriente doucement vers des produits compatibles avec l'éco-construction.
- Des points de vigilance lors du choix d'une solution d'isolation :
  - Les transferts d'humidité
  - La tenue mécanique
  - La tenue au feu
  - ...

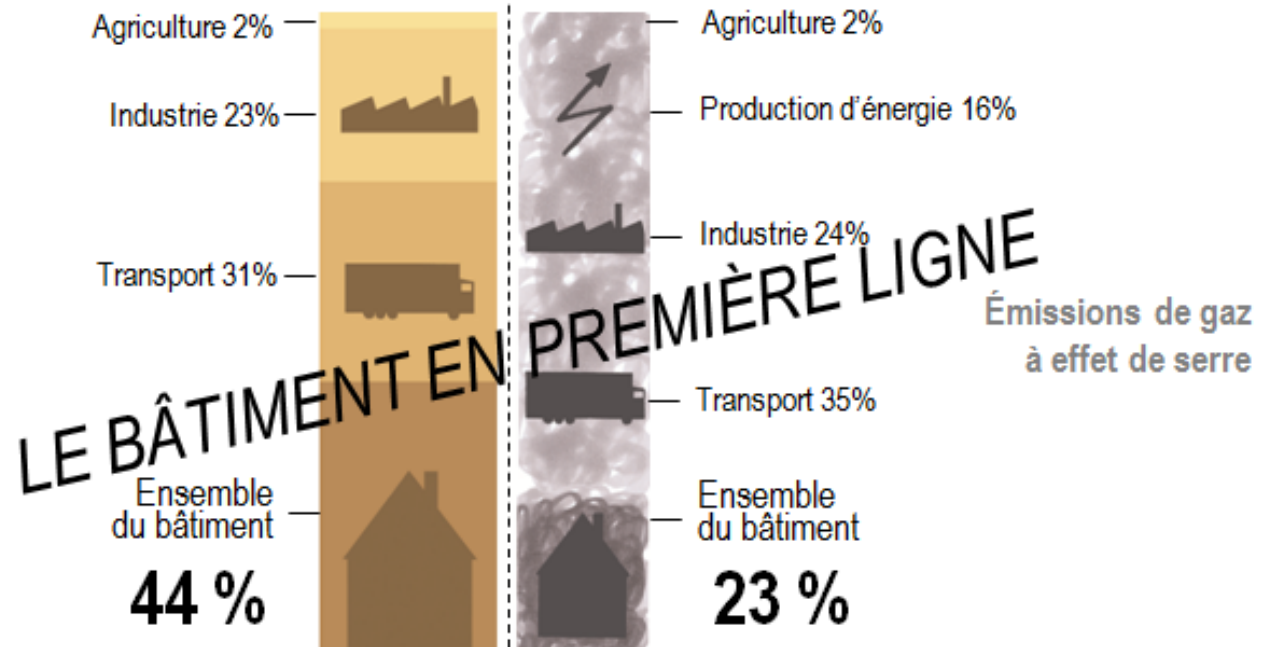
- $\lambda$  : conductivité thermique
- R : résistance thermique

	Perlite	Verre cellulaire	Laine de coco	Laine de fibres de bois	Laine de mouton	Liège expansé	Laines minérales	Laines de fibres de chanvre	Laine de lin	Laine de coton			
$\lambda$ (W/m.K)	0,050	0,049	0,048	0,047	0,046	0,045	0,044	0,043	0,042	0,041	0,040		
R (m <sup>2</sup> .K/W) Pour 20 cm	4,00	4,08	4,17	4,26	4,35	4,44	4,55	4,65	4,76	4,88	5,00		
$\lambda$ (W/m.K)			0,039	0,038	0,037	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	0,030	0,029
R (m <sup>2</sup> .K/W) Pour 20 cm			5,13	5,26	5,41	5,56	5,71	5,88	6,06	6,25	6,45	6,67	6,90
							Polystyrène expansé		Polystyrène extrudé				Polyuréthane

# Perspectives

- Les services R&D et la science travaillent sur de nouveaux produits :
  - Innovants : Aérogels (à base de silice :  $\lambda = 0.0131 \text{ W/m.K}$ ), Isolants sous vide (principe du thermos)
  - Retour à des produits traditionnels : La laine de moutons, les produits à base de bois, les végétaux,...
- Les produits existants continuent d'être améliorés et les coûts sont réduits.
  - Mise en place de filières
  - Industrialisation
  - La complémentarité isolation acoustique thermique est recherchée.

Consommation  
d'énergie



Merci d'avoir suivi cette  
présentation