



La science du bâtiment et les éco-matériaux : *efficacité énergétique et autres notions à connaître*

L'AUTRE
CAMPUS



Christophe HUON

Ingénieur Sciences du Bois
& Maître assistant associé Sciences et Techniques pour l'Architecture

christophe.huon@lautrecampus.eu
06 77 02 42 10

Les éco-matériaux ont comme composants principaux, bruts ou transformés, des produits d'origine naturelle issus :

- du sol (terre, argiles, chaux, gypse...) ;
- de la sylviculture (bois, liège...) ;
- de l'agriculture et de l'élevage (chanvre, lin, paille, laines...).



De plus, d'autres produits, issus du recyclage (reconstituables et/ou réutilisables), sont maintenant utilisés en éco-construction :

- coton (valorisation de vêtements majoritairement en coton) ;
- ouate de cellulose (essentiellement à partir de journaux recyclés) ;
- granulats de verre (obtenus par broyage de verre recyclé).

La nature est la source - et ressource limitée - des éco-matériaux.

Afin de substituer des ressources conventionnelles non renouvelables et en déclin (béton...), l'objectif est ainsi de privilégier des matériaux :

- abondants,
- si possible produits localement.

Certains matériaux sont souvent abondants (extraction et transformation) dans toutes les régions :

- bois ;
- terre ;
- argiles ;
- paille ;
- chaux...



Les autres matériaux sont souvent plus localisés : gypse, liège, lin, chanvre, laines animales...

Généralement, l'écobilan d'un matériau se mesure en termes d'énergie grise :

« Quantité d'énergie nécessaire au cycle de vie d'un matériau ou d'un produit : production, extraction, transformation, fabrication, transport, mise en œuvre, utilisation, entretien et recyclage ».

Cette notion devrait être prise en compte dans la prochaine réglementation thermique française.

Ainsi, il faut privilégier des ressources naturelles :

- le plus possible constituées de produits connexes ;
- dont la transformation est réalisée au plus près du site d'extraction ;
- dont l'extraction, la transformation et l'entretien sont peu consommateurs d'énergie (fossile ou non) ;
- recyclables.

ATTENTION à privilégier les matériaux **BIOSOURCES** :

- Renouvelables,
- Non concurrentiels avec les filières existantes...



La culture des éco-matériaux issus de la sylviculture (bois, liège...) et de l'agriculture (chanvre, lin, paille...) :

- demande peu ou pas d'intrants (amendements, engrais, produits phytosanitaires..) ;
- nourrit le sol ;
- est grande productrice d'oxygène ;
- est grande consommatrice de CO_2 (piège à carbone)...



Le bois, la terre et les argiles sont des éco-matériaux par excellence :

- peu de transport ;
- peu ou pas de déchets générés ;
- peu énergivore ;
- coûts de transformation raisonnables...



...MAIS ATTENTION : à condition que leur exploitation soit normée et respectueuse de l'environnement !

Même si la plupart des éco-matériaux offrent quelques-uns des avantages précédents, certains présentent quelques inconvénients sur un plan environnemental :

Matériau	Inconvénients
Chaux	- Très énergivore pour sa fabrication (cuisson à 900-1.100°C). - Production importante de CO₂.
Gypse	- Gestion des déchets de fabrication problématique.
Liège	- Faible mécanisation de production. - Bilan transport élevé (rapport poids/volume défavorable). - Matériau relativement cher.
Chanvre	- Investissement élevé en outillage (défibrage, coupe, cardage...).
Laines animales	- Industrialisation potentiellement consommatrice d'énergie (séchage). - Présence d'additifs (polyester).
Ouate de cellulose	- Ajouts de sels de bore et autres biocides pour protection contre le feu, les moisissures, les rongeurs...
Granulats de verre	- Transformation grande consommatrice d'énergie.

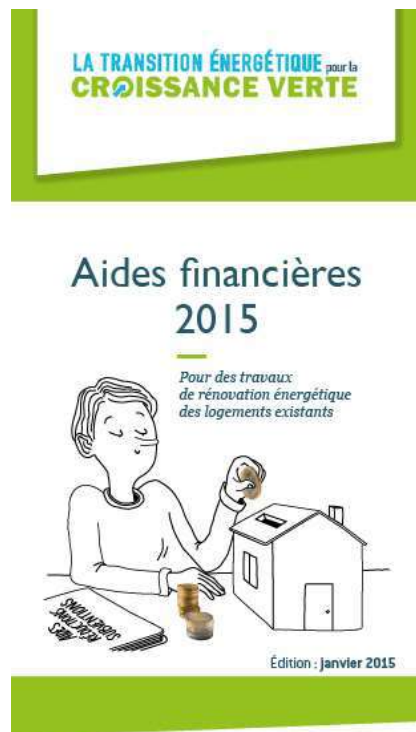
Ces différents inconvénients tendent à freiner le développement de filières industrielles dédiées.

Les éco-matériaux bénéficient actuellement en France d'une communication et promotion très importante auprès des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre.

Face à l'obligation actuelle de réduire les consommations et déperditions des ouvrages, cette promotion se fait essentiellement sur leurs caractéristiques de résistance thermique.



Auprès du tout public, les éco-matériaux sont donc toujours perçus avant tout comme des isolants.



Obligation d'incorporer du bois dans la construction des bâtiments : le décret du 15 mars 2010 est abrogé
30 mars 2015 (mis à jour le 31 mars 2015)

Pouvant remplir plusieurs fonctions, les éco-matériaux offrent une alternative technique équivalente aux matériaux conventionnels.

Dans le domaine de la construction, ils peuvent être utilisés pour la production :

- de produits isolants ;
- de structures porteuses ;
- de produits de revêtement ;
- de produits de décoration...



Le bois est LE produit à tout faire !

Des poutres à la laine de bois en passant par tous les types de panneaux, il peut être l'unique matériau de construction ou utilisé dans pratiquement tous les sous systèmes d'une construction.

La terre crue et les argiles sont les deux autres éco-matériaux pouvant servir, sous forme de briques, dans une structure porteuse.

Le liège, la terre, la paille et le coton peuvent conférer de parfaites performances phoniques.



Le chanvre est imputrescible et très peu apprécié des rongeurs.

Le gypse est incombustible et donc protecteur ou à effet retardateur quand il est utilisé avec d'autres matériaux hautement inflammables (fibre de bois, chanvre...).



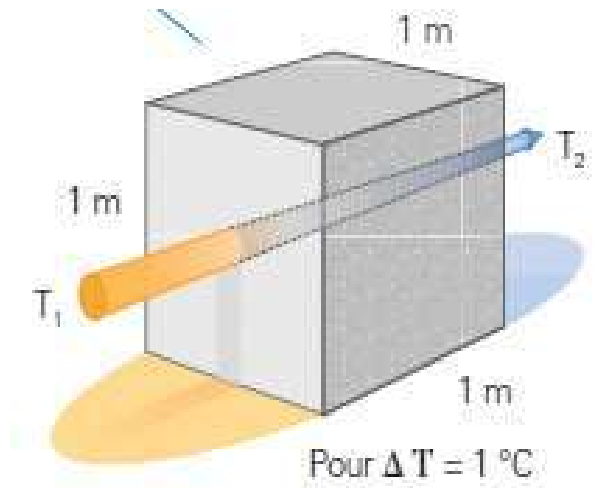
Même s'ils sont indiscutablement simples à mettre en œuvre, les éco-matériaux requièrent cependant un minimum de savoir-faire et de matériel...

La conductivité thermique traduit la capacité d'un matériau à conduire la chaleur.

Notée λ (lambda), elle est exprimée en $W/(m.K)$.

Plus λ est faible, plus le matériau est isolant.

Un matériau est dit isolant lorsque $\lambda \leq 0,065$.



Isolants sous vide : 0,005 - 0,007

Mat. à changement
de phase : 0,011 - 0,013

Polyuréthane : 0,024 - 0,030

Polystyrène extrudé : 0,029 - 0,035

Polystyrène expansé : 0,032 - 0,038

Laine de verre : 0,032 - 0,042

Laine de roche : 0,034 - 0,044

Laine de mouton : 0,035 - 0,042

Liège : 0,036 - 0,042

Laine de lin : 0,037 - 0,038

Laine de coton : 0,037 - 0,042

Ouate de cellulose : 0,038 - 0,043

Fibres de bois : 0,038 - 0,055

Chanvre : 0,040 - 0,046

Paille : 0,050 - 0,075

Argile expansée : 0,16

Bois mi-dur : 0,20

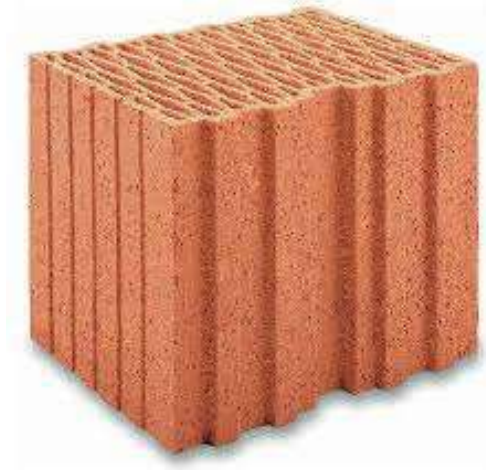
Plâtre : 0,50

Béton : 2,50

Aluminium : 230

Tous les éco-matériaux ne sont donc pas des isolants.

C'est une question de mise en œuvre du produit...



...Etanchéité à l'eau & Etanchéité à l'air...

La résistance thermique traduit la capacité d'un matériau à résister au passage de la chaleur.

Notée **R**, elle est exprimée en (m².K)/W.

Plus R est élevée, plus le matériau est isolant.

Un matériau est dit isolant lorsque $R \geq 0,5$.

Par exemple, pour obtenir un R de 4.31 (standard RBQ) , il faut une épaisseur de :

- 4 cm d'isolant sous vide
- 13 cm de laine de verre
- 16 cm de laine de mouton
- 18 cm de fibre de bois
- 61 cm de béton cellulaire
- 87 cm de bois lourd
- 749 cm de béton
- 1.208 cm de granit...

... banc d'essai MRC des Sources...

$$R = e / \lambda$$

Où e : épaisseur de matériau (m).



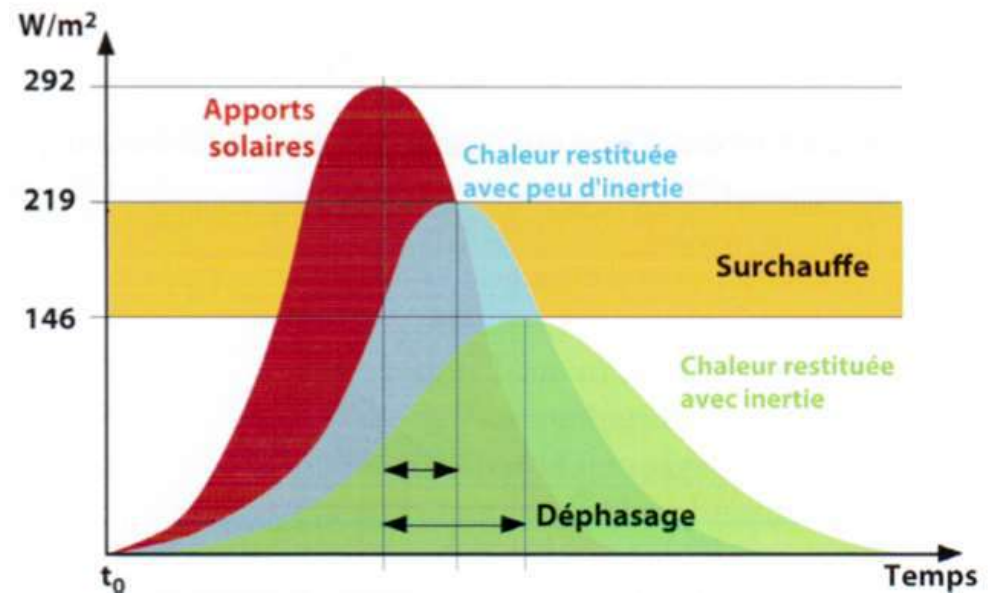
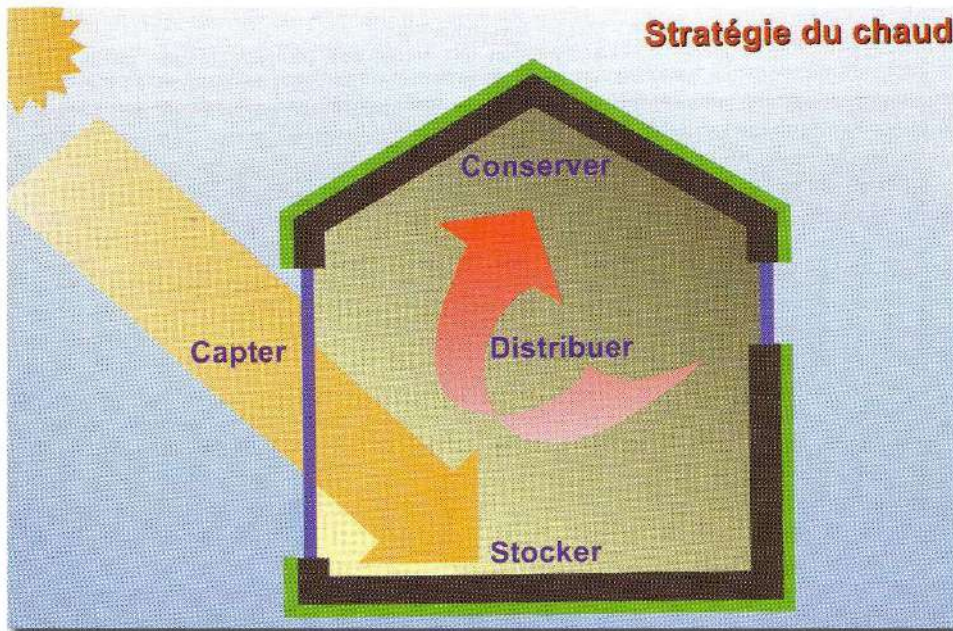
L'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois :

- l'accumulation de chaleur (amortissement) ;
- sa restitution avec un déphasage.



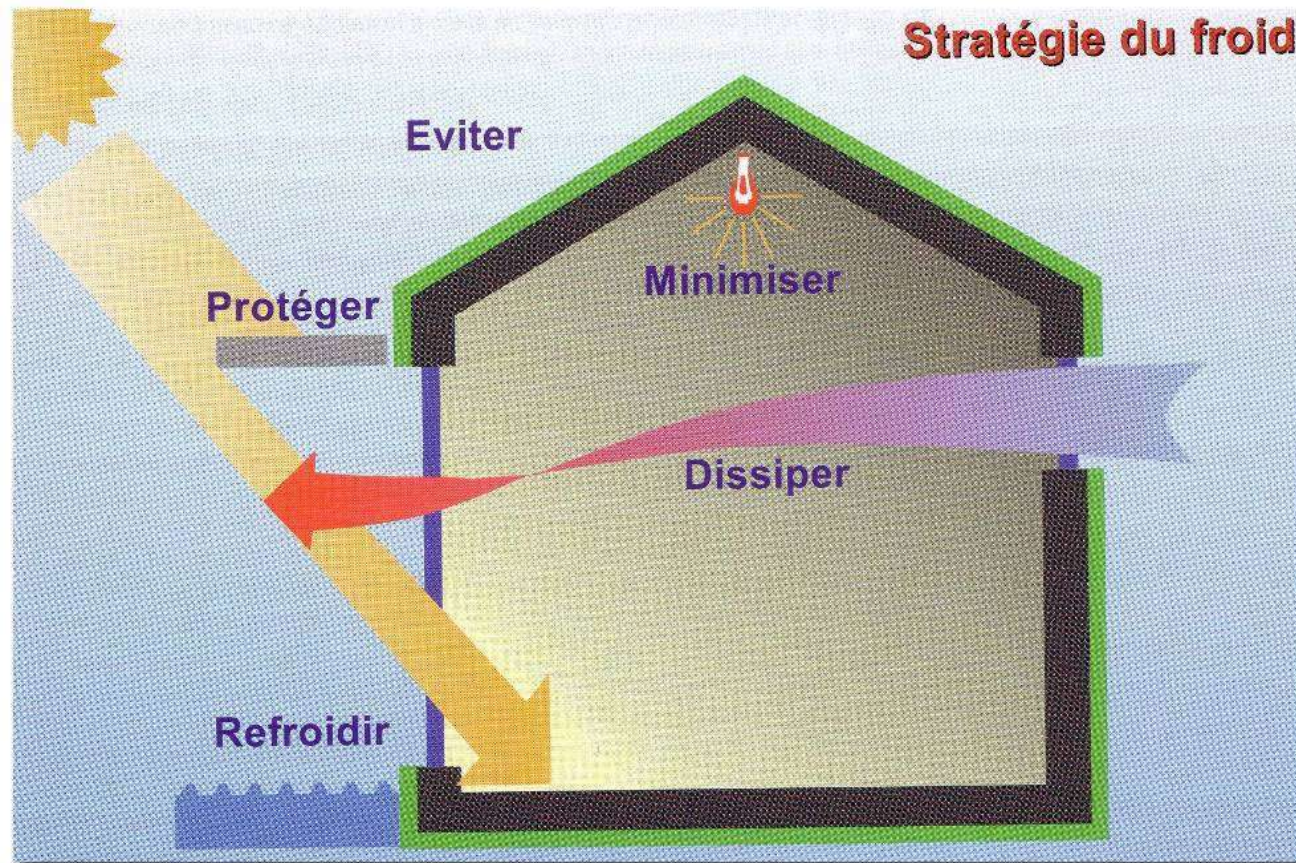
On quantifie l'inertie thermique d'un matériau essentiellement par :

- sa diffusivité thermique (tendance à favoriser la diffusion de la chaleur) ;
- son épaisseur ;
- son effusivité thermique (capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement).



Une grande inertie thermique permet la récupération de la chaleur du jour afin de la restituer la nuit.

Ceci est particulièrement intéressant dans les climats où la différence de température diurne et nocturne est importante.



Tri par ordre de Diffusivité croissante					
Rang	Matériau	Conductivité W/mK	Masse volumique kg/m ³	Chaleur spécifique J/kgK	Diffusivité x 10 ⁸ m ² /s
1	Fibre de bois SteicoTherm	0,04	160	2100	12
2	Laine de bois	0,1	400	1700	15
3	Panneau OSB	0,12	600	1150	17
4	Bois Sapin	0,15	500	1600	19
5	Bois Chêne	0,29	870	1600	21
6	Béton cellulaire	0,09	350	1000	26
7	Liège	0,05	120	1560	27
8	Plaque de plâtre	0,25	825	1000	30
9	Plâtre carreaux	0,25	820	1000	30
10	Brique pleine	0,74	1800	1000	41
11	Laine de roche	0,044	100	1030	43
12	Polyuréthane	0,03	34	1400	63
13	Béton plein	1,8	2300	1000	78
14	PSE extrudé	0,04	34	1450	81
15	Pierre	1,7	2000	1000	85
16	Laine de verre	0,04	25	1700	94
17	PSE expansé	0,04	26	1450	106
18	Acier	50	7800	450	1 425
19	Aluminium	230	2700	880	9 680
20	Cuivre	380	8900	380	11 236

Inertie en transmission : atténuation de l'influence des conditions extérieures (impacts du rayonnement solaire sur la température intérieure du bâtiment...).

Repose essentiellement sur une isolation thermique avec une très bonne diffusivité thermique du côté extérieur de l'enveloppe du bâtiment.

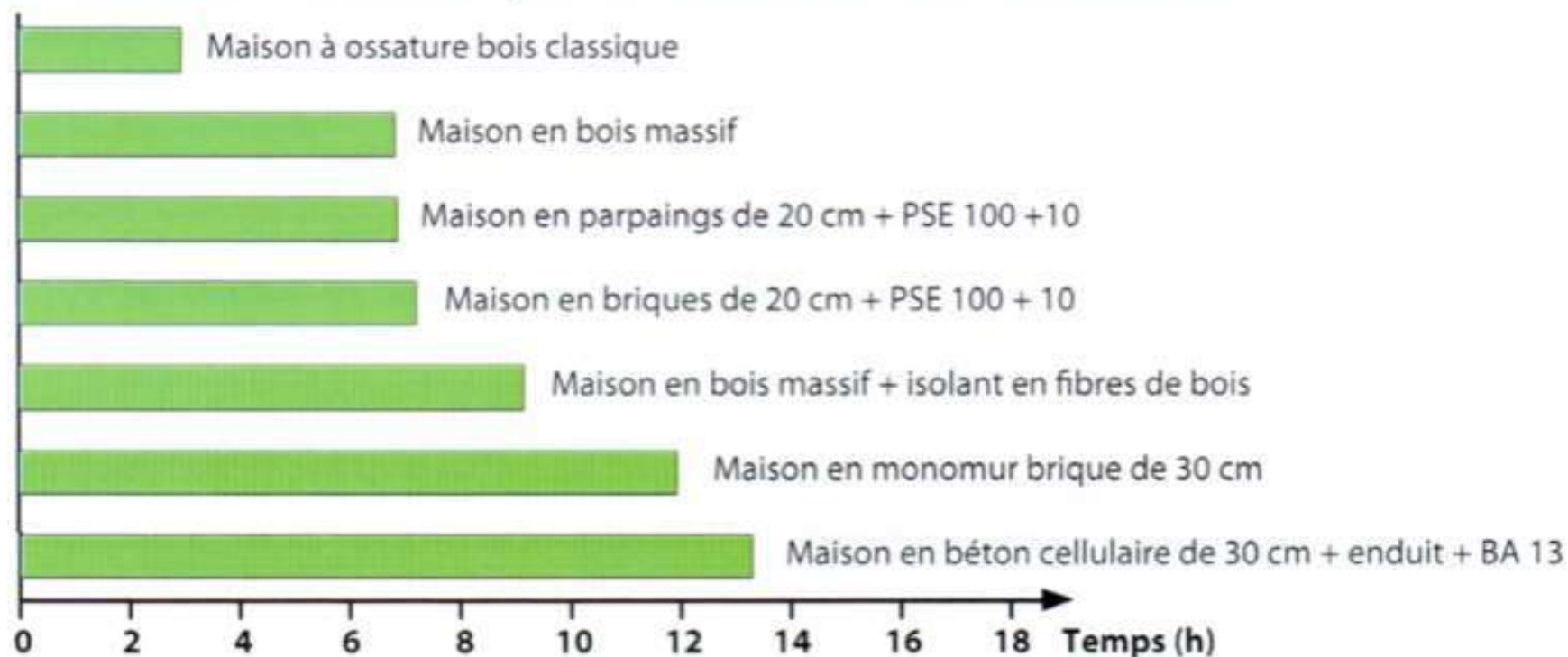
La fibre de bois, en isolation par l'extérieur, est le matériau le plus efficace du point de vue inertie par transmission.

Tri par ordre d'Effusivité décroissante					
Rang	Matériau	Conductivité W/mK	Masse volumique kg/m ³	Chaleur spécifique J/kgK	Effusivité J/m ² ·K·s ^{1/2}
1	Cuivre	380	8900	380	35 849
2	Aluminium	230	2700	880	23 377
3	Acier	50	7800	450	13 248
4	Béton plein	1,8	2300	1000	2 035
5	Pierre	1,7	2000	1000	1 844
6	Brique pleine	0,74	1800	1000	1 154
7	Bois Chêne	0,29	870	1600	635
8	Plaque de plâtre	0,25	825	1000	454
9	Plâtre carreaux	0,25	820	1000	453
10	Bois Sapin	0,15	500	1600	346
11	Panneau OSB	0,12	600	1150	288
12	Laine de bois	0,1	400	1700	261
13	Béton cellulaire	0,09	350	1000	177
14	Fibre de bois SteicoTherm	0,04	160	2100	116
15	Liège	0,05	120	1560	97
16	Laine de roche	0,044	100	1030	67
17	PSE extrudé	0,04	34	1450	44
18	Laine de verre	0,04	25	1700	41
19	PSE expansé	0,04	26	1450	39
20	Polyuréthane	0,03	34	1400	38

inertie par absorption :
concerne l'accumulation
de chaleur ou de
fraîcheur dans les
cloisonnements et les
parois de la structure en
contact avec l'intérieur du
bâtiment.

Le matériau le plus efficace du point de vue inertie par absorption est le béton plein.
Il régule le mieux les variations des flux de chaleur qui peuvent rendre l'ambiance
intérieure inconfortable.

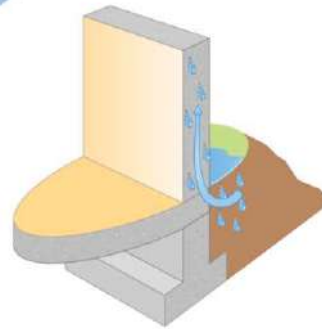
Retard en heures de différents systèmes constructifs de maisons individuelles



**Pendant la
construction**



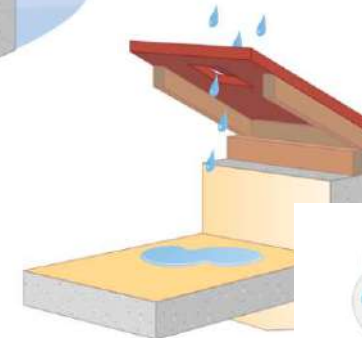
Humidité ascensionnelle



Humidité traversante

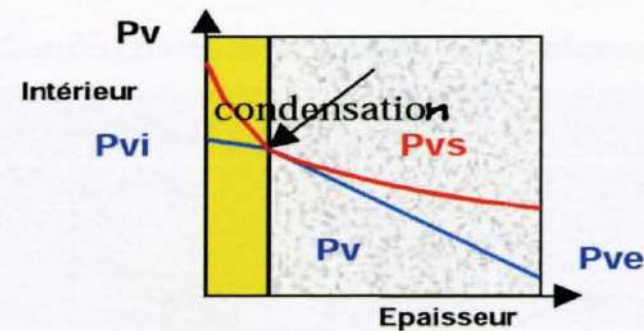
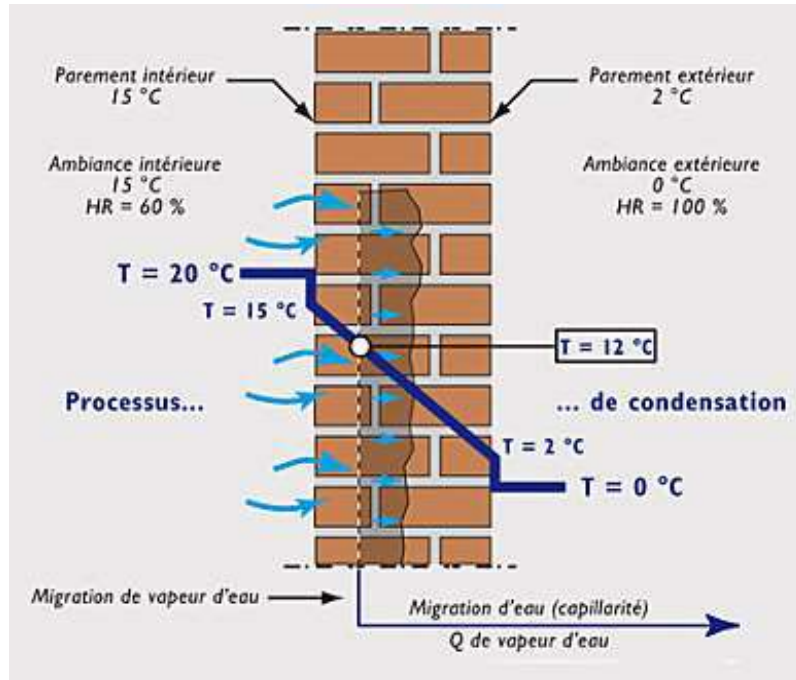


Humidité accidentelle

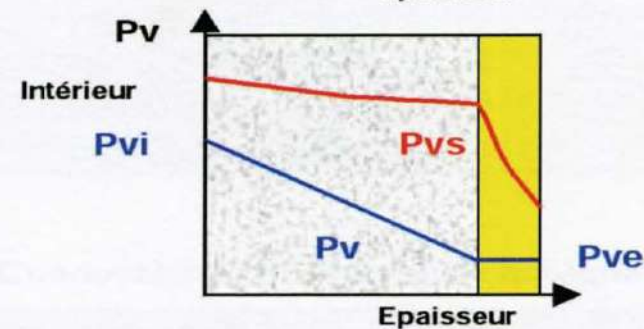


Humidité interne

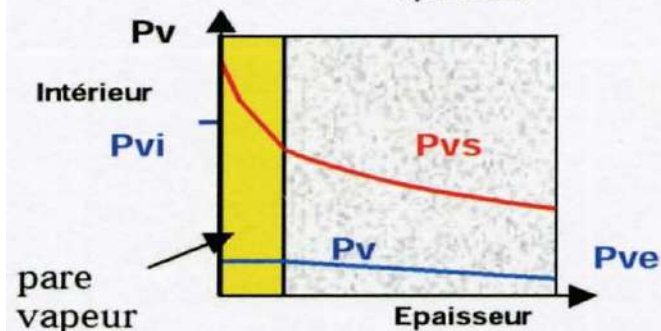




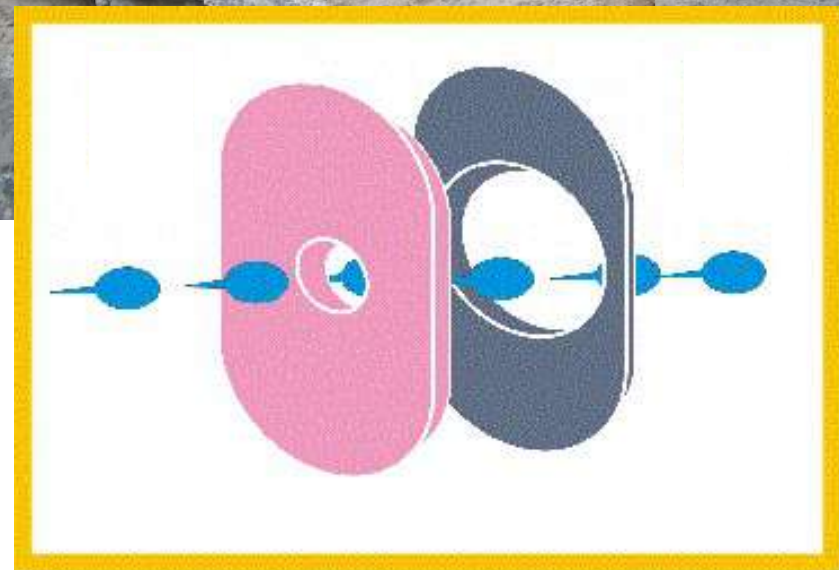
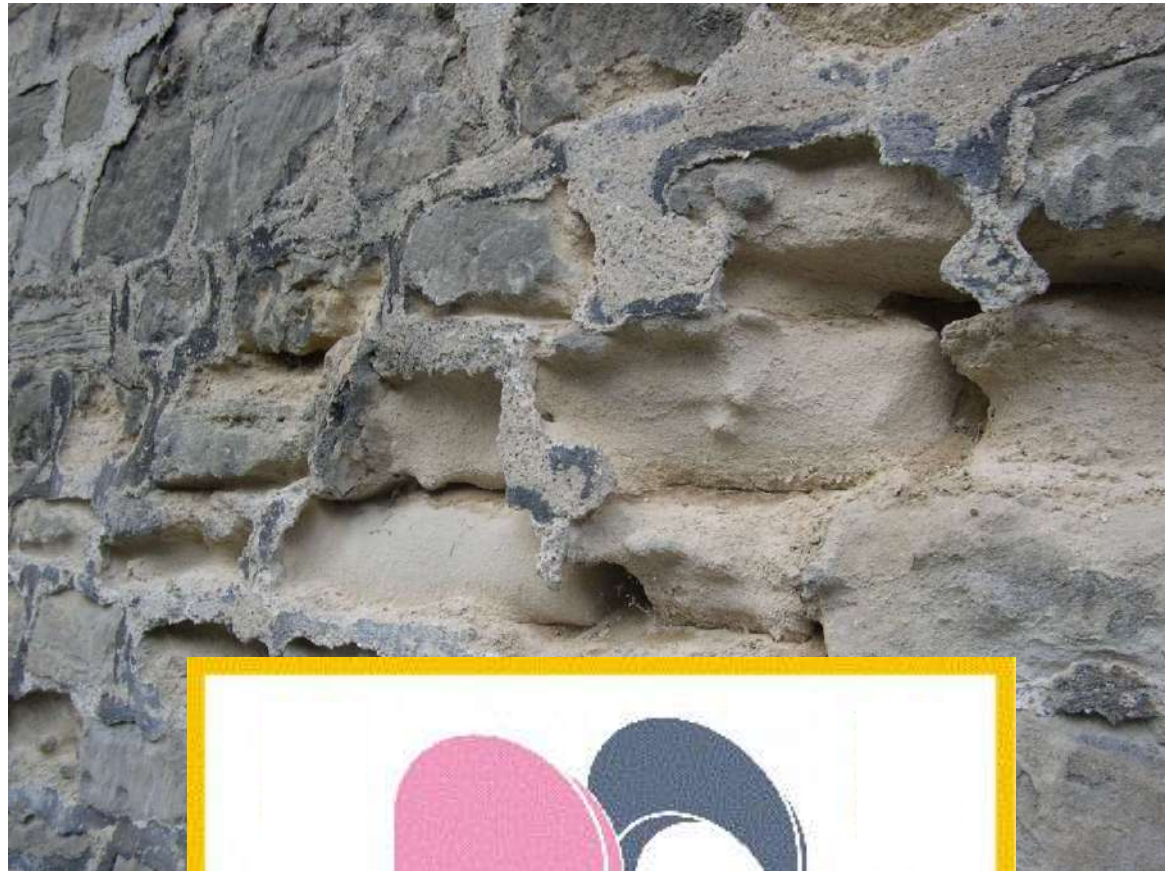
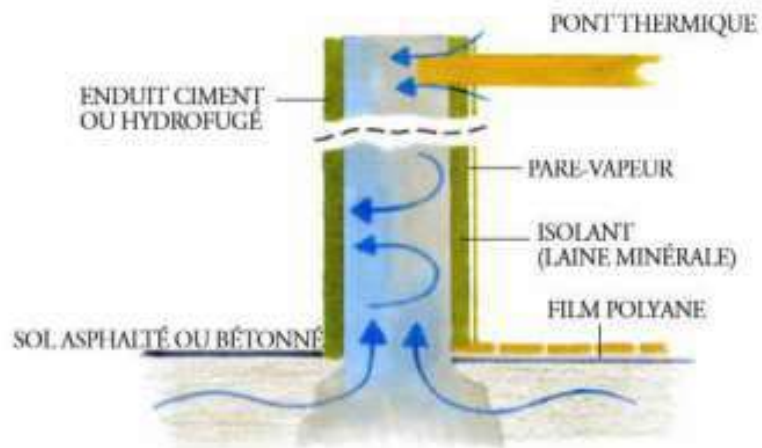
Laine de verre côté intérieur. La température chute dans l'isolant, mais pas la pression de vapeur. Il y a risque de condensation



Béton côté intérieur. La pression de vapeur chute dans le béton, pas la température. Pas de risque de condensation.



Laine de verre côté intérieur, avec un pare vapeur. La pression de vapeur chute au passage du pare vapeur. Pas de risque de condensation.



Eco-matériaux & Sinistralité...



©AQC



Un matériau donné, poreux et à pores ouverts placés dans un air humide, va absorber une certaine quantité d'humidité qui dépend uniquement de l'humidité relative de l'air.

Un matériau hygroscopique présente un pourcentage élevé de pores très étroits ($< 0,1\mu$). La condensation capillaire s'y forme alors rapidement pour des humidités relatives faibles.

Matériau	Masse volumique (kg/m ³)	Pourcentage de micropores (% du volume de matériau) en (m ³ /m ³)
Brique	1 950	0,8 - 1,1
Béton cellulaire	40	4 - 12
Plafonnage de chaux	1 800	4,7
Plaques de plâtre	800 - 1 400	10
Bois résineux	500	12 - 15

Les matériaux traditionnels de parachèvement (plaques de plâtres, plafonnage à base de chaux, bois) sont les plus hygroscopiques.

Analyser et prendre en compte le terrain, l'environnement proche et le micro-climat (soleil, vent, végétation).

Concevoir un dessin général de l'habitation présentant une bonne compacité et répartissant les différentes pièces selon les orientations des façades.

Isoler avec soin pour conserver la chaleur l'hiver et éviter qu'elle ne pénètre durant la saison chaude.

Capter le soleil pendant la période de chauffage par les vitrages, une véranda ou des murs massifs, tout en se protégeant du rayonnement d'été.

Stocker l'énergie dans la masse du bâtiment et amortir les variations de température grâce à l'inertie thermique.

Limiter les infiltrations d'air parasite et prévoir un renouvellement de l'air utilisant au mieux la ventilation naturelle ou une ventilation contrôlée efficace.

Laisser entrer largement la lumière du jour pour favoriser l'éclairage naturel en veillant aux risques d'éblouissement ou de surchauffe.

Choisir un appoint de chauffage approprié et peu polluant.

Mur usuel

R = 4,24



- REVÊTEMENT DE BOIS
- FOURRURES DE BOIS
- ISOCLAD (polystyrène) 25.4 mm
- SOUS-ENTREMISES EN "Z"
- COLOMBAGES 38 mm X 140 mm
- LAINE DE VERRE 140 mm
- PANNEAU ÉNERMAX 12.7 mm (fibre bois + PV alu)
- FOURRURES MÉTALLIQUES HORIZONTALES
- GYPSE 12.7 mm

Mur BMA

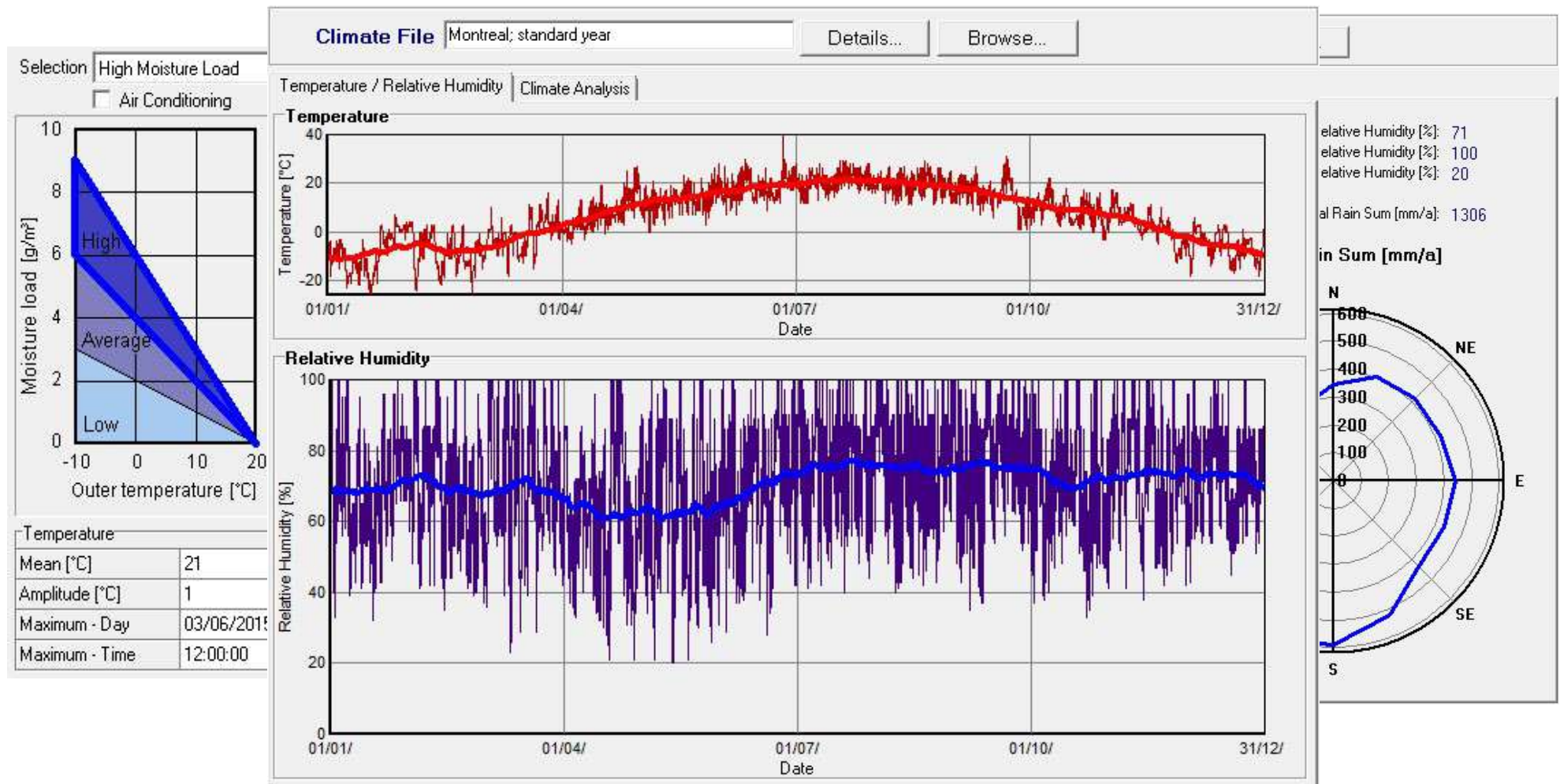
R = 4,54



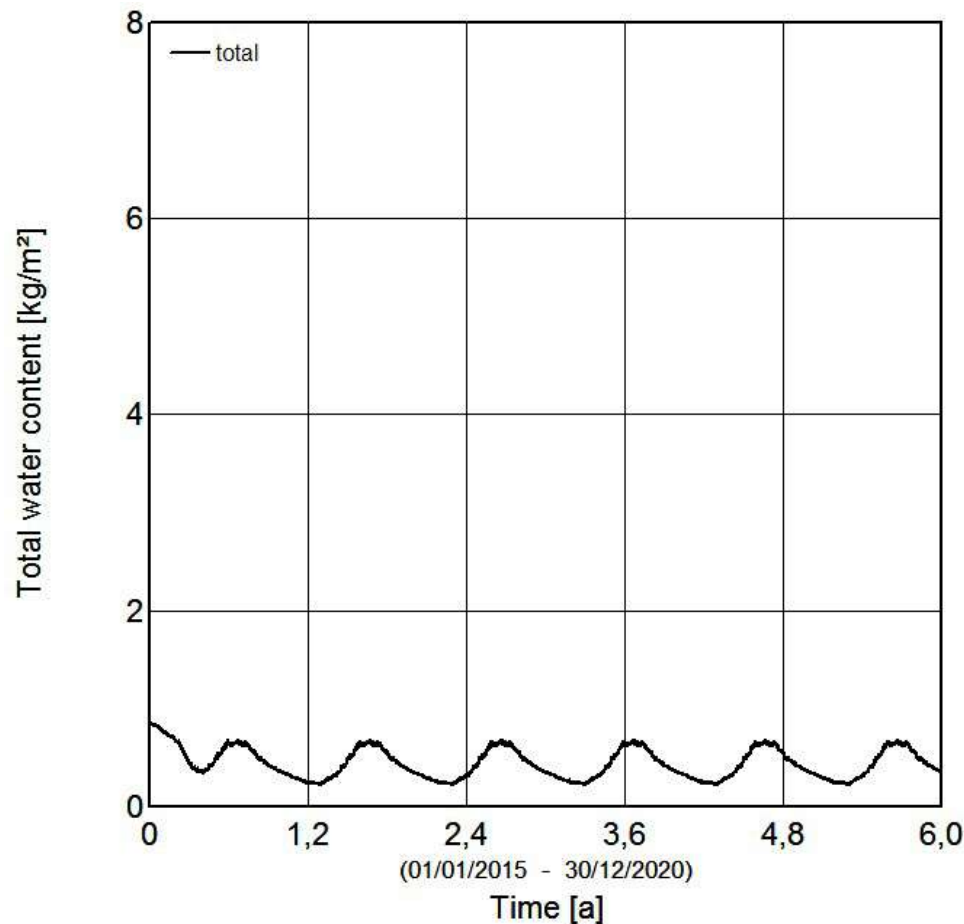
- REVÊTEMENT LÉGER
- FOURRURES DE BOIS
- MEMBRANE PARE-AIR TYVEK
- PANNEAU FIBRE DE BOIS ISOLANT 1-½"
- COLOMBAGES DE BOIS
- LAINE DE ROCHE 5½"
- CARTON FIBRE SEC ½"
- PARE-VAPEUR
- FOURRURES DE BOIS
- GYPSE 1/2"

Climat intérieur : High Moisture Load

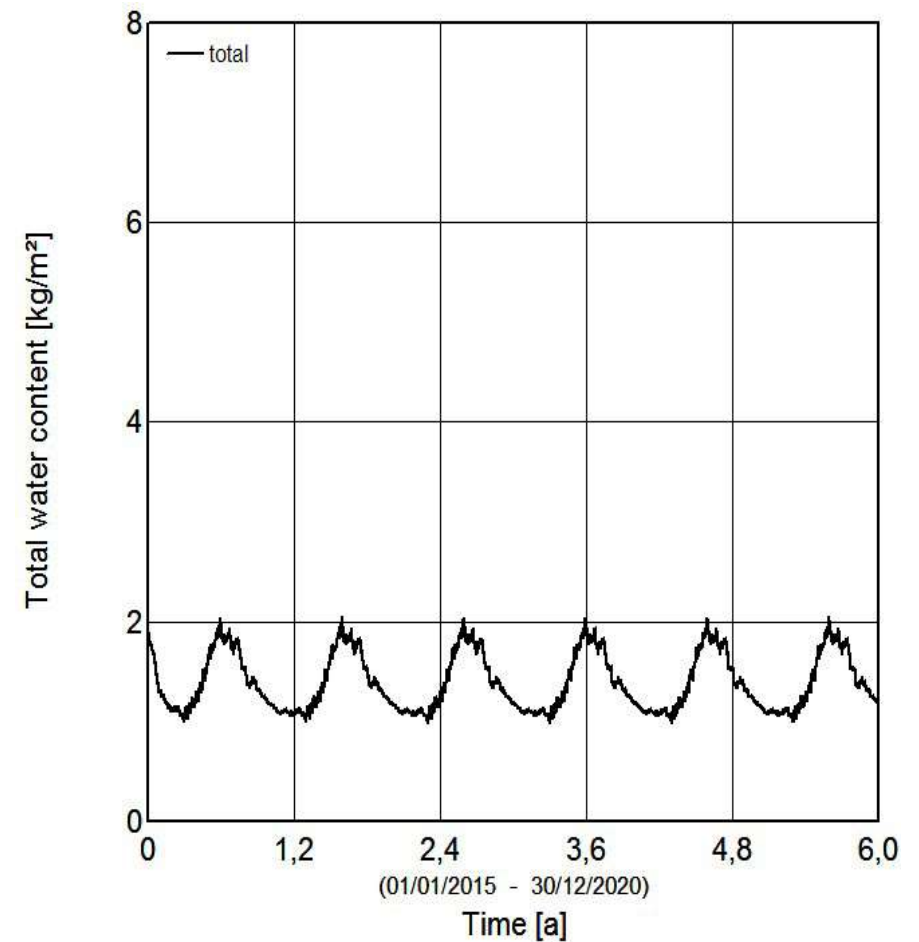
Climat extérieur : Montréal - Année standard



Mur usuel

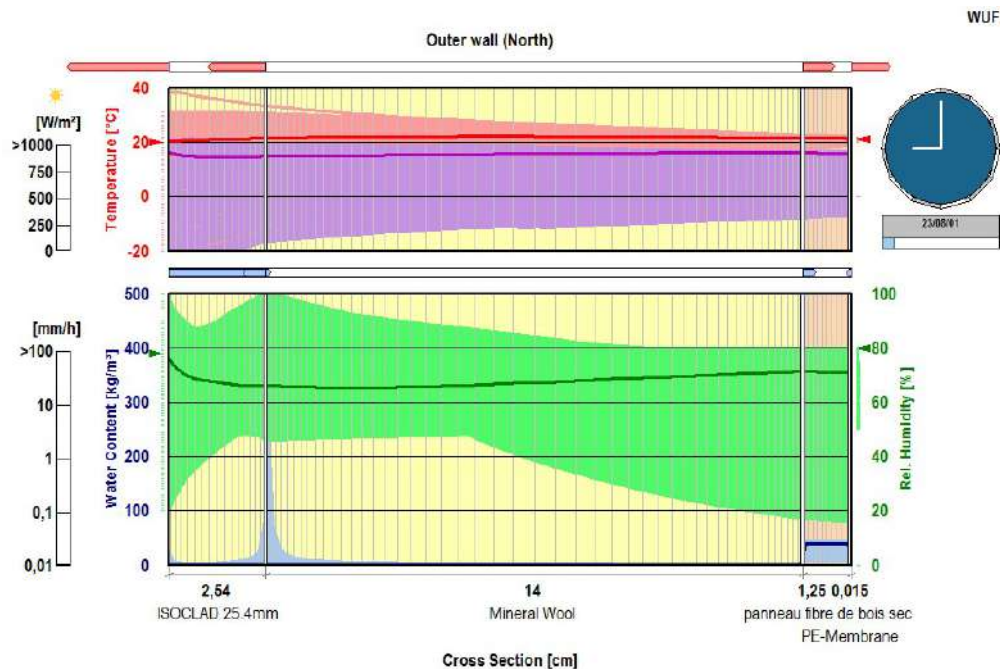


Mur BMA

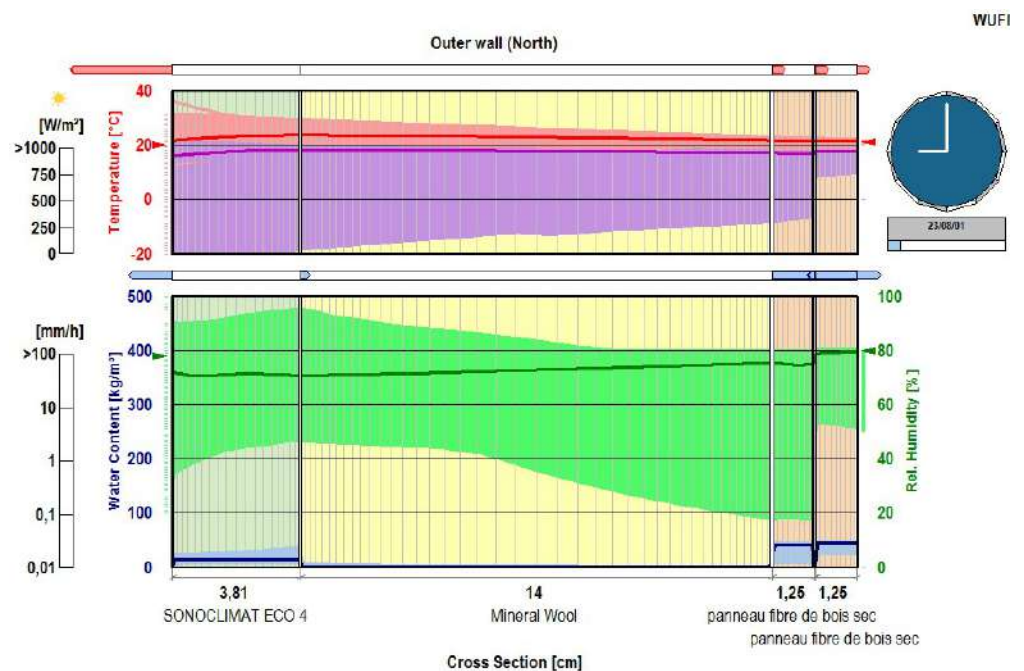


Les deux murs sont stables du point de vue du stockage et assèchement.

Mur usuel

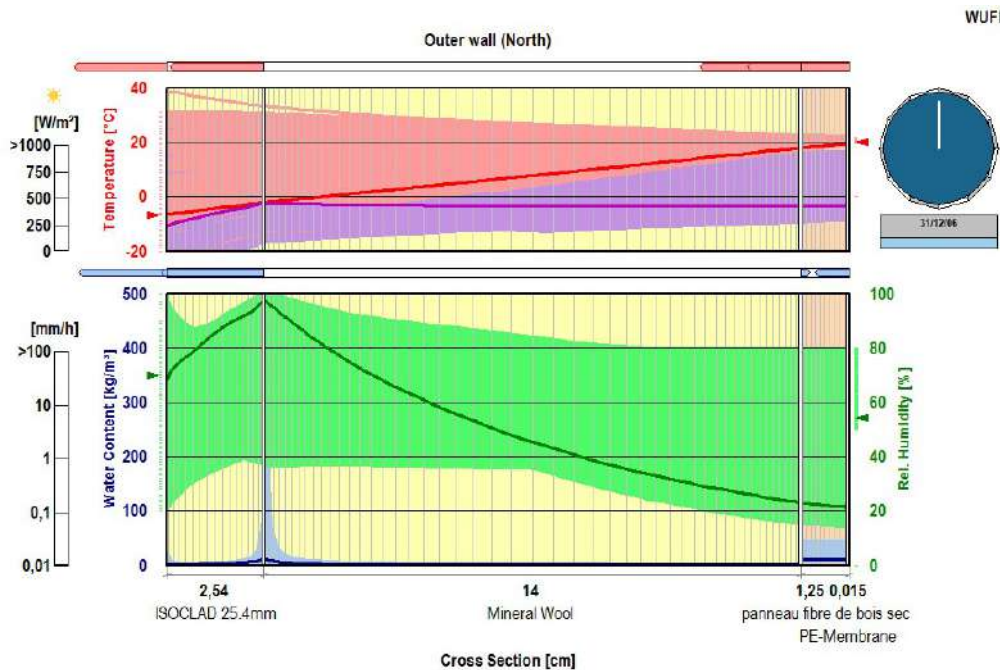


Mur BMA

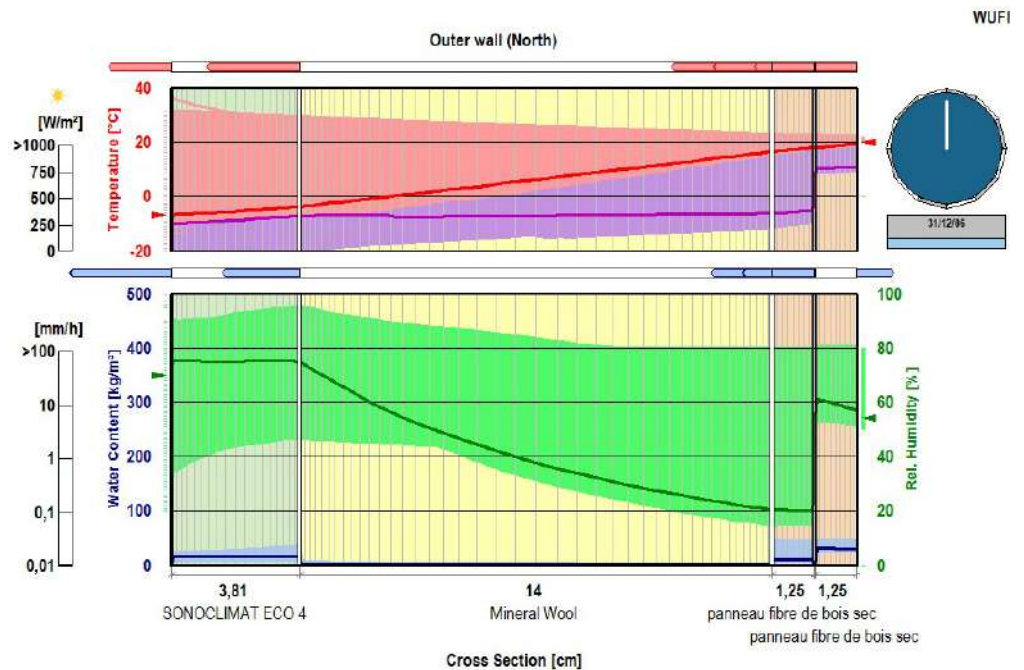


Les deux murs ne présentent pas de risque de condensation à aucun endroit de la paroi.

Mur usuel



Mur BMA



Le mur usuel présente un risque faible de condensation mais un développement probable de moisissures en hiver à l'interface entre ISOCLAD (ou tout autre isolant équivalent) et laine minérale.

Ce résultat est le même pour un climat extérieur « QUEBEC - Année froide ».

Le mur usuel est régulièrement soumis à un phénomène d'augmentation de l'humidité relative qui atteint régulièrement 96% à l'interface entre ISOCLAD et laine minérale.

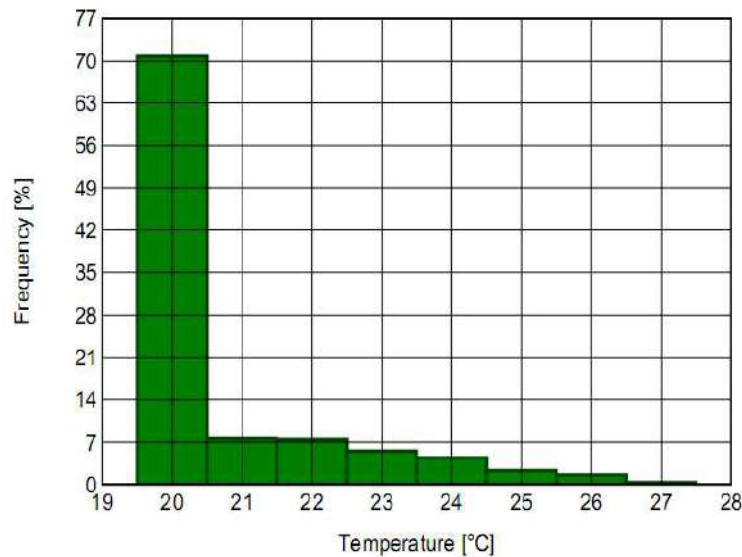
Sa stabilité hygrothermique dans le temps peut ainsi se dégrader...

Si l'ISOCLAD ne souffre pas de cette humidité du point de vue structurel, il est fort probable que la laine minérale vienne à se tasser, se déformer et perdre peu à peu ses caractéristiques thermiques.

Au-delà de 80% d'humidité relative, les matériaux organiques tels que le bois sont susceptibles de se dégrader par voie biologique et des moisissures peuvent se développer dans cette ambiance humide.

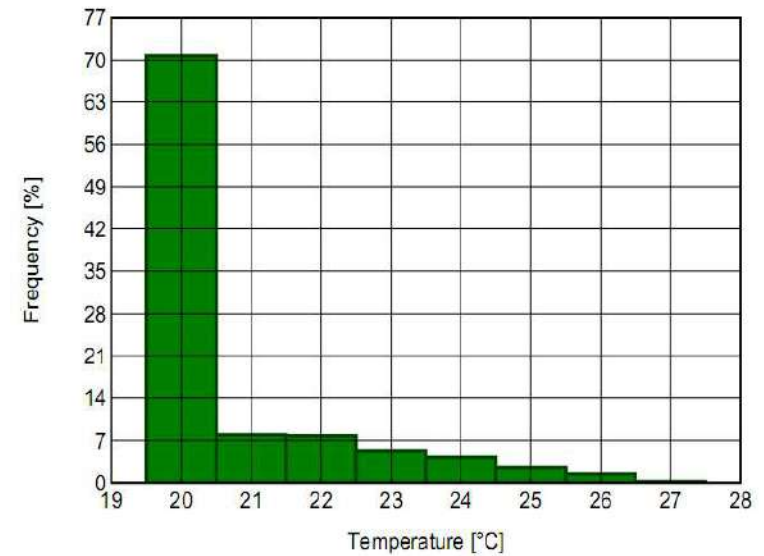
Ainsi, les faces extérieurs des colombages - en contact avec la laine minérale et l'ISOCLAD - sont susceptibles de pourrir.

Mur usuel



Temperature (+/- 0,5 °C)	Time [h]	Fraction [%]
20	37207	70,8
21	4003	7,6
22	3907	7,4
23	2891	5,5
24	2307	4,4
25	1214	2,3
26	819	1,6
27	188	0,4

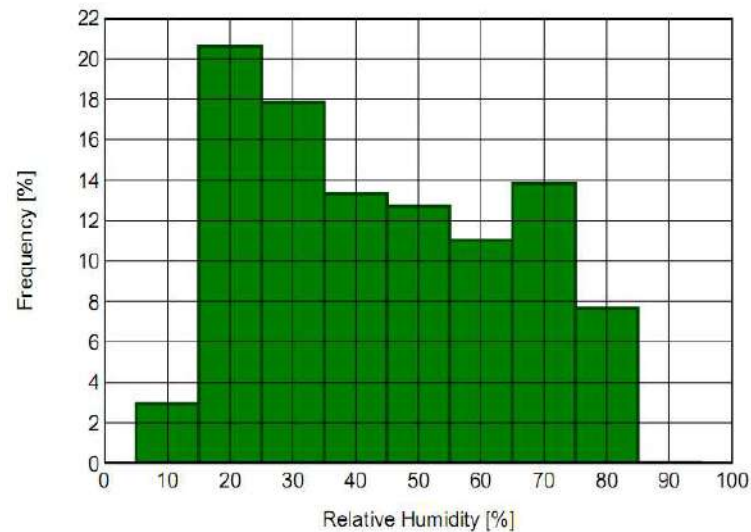
Mur BMA



Temperature (+/- 0,5 °C)	Time [h]	Fraction [%]
20	37179	70,8
21	4146	7,9
22	4056	7,7
23	2789	5,3
24	2169	4,1
25	1307	2,5
26	783	1,5
27	107	0,2

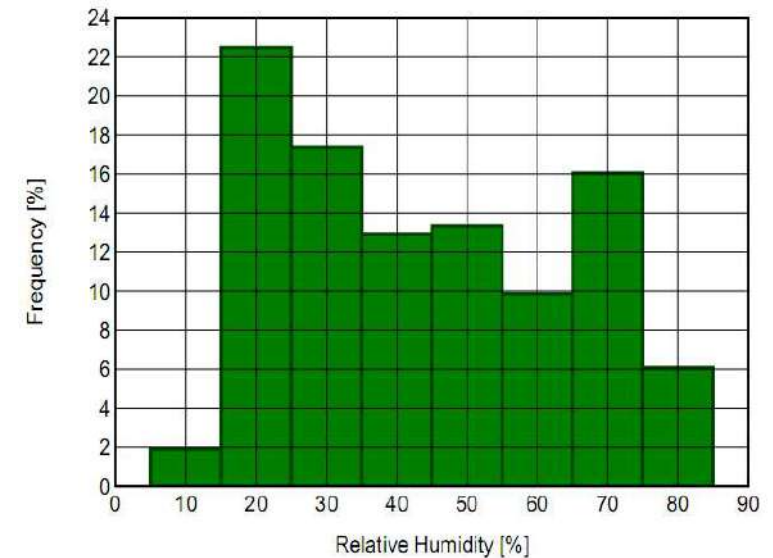
Le mur BMA est légèrement plus performant pour gérer naturellement la surchauffe.

Mur usuel



Rel. Humidity (+/- 5 %) [%]	Time [h]	Fraction [%]
10	1538	2,9
20	10837	20,6
30	9375	17,8
40	7011	13,3
50	6682	12,7
60	5796	11,0
70	7254	13,8
80	4036	7,7
90	7	0,0

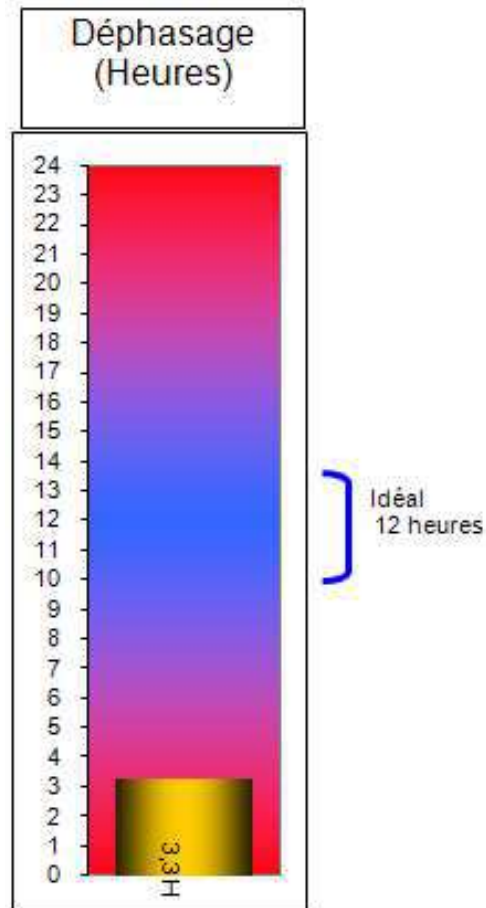
Mur BMA



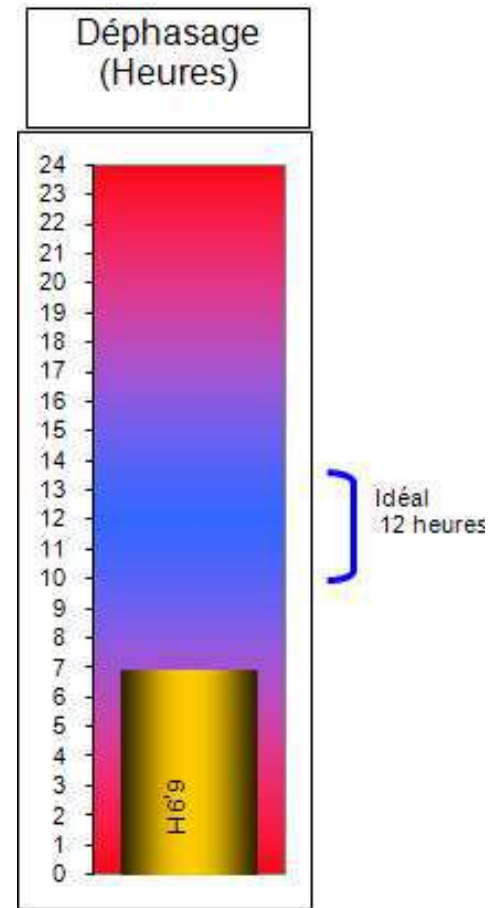
Rel. Humidity (+/- 5 %) [%]	Time [h]	Fraction [%]
10	1000	1,9
20	11799	22,5
30	9136	17,4
40	6775	12,9
50	7019	13,4
60	5180	9,9
70	8432	16,0
80	3195	6,1

Le mur BMA est plus performant pour gérer naturellement l'humidité relative intérieure.

Mur usuel



Mur BMA



Le mur BMA présente un déphasage du double de celui du mur usuel et offre ainsi un potentiel bioclimatique important.

Les éco-matériaux représentent actuellement une part de marché très faible des matériaux de construction préconisés et mis en œuvre.

Au Québec, l'industrialisation des filières éco-matériaux est primordiale car la période de construction est courte à cause du climat.

La préfabrication est ainsi à favoriser...



Ces filières sont à concevoir, lancer et développer...

ATTENTION : Un produit présent en abondance et ne demandant que peu de transformation (terre, bois... soleil !) a très souvent du mal à intéresser une filière industrielle et souffre d'un réel déficit de notoriété !

Les éco-matériaux sont-ils plus chers ?

- OUI (et encore !) si le calcul se limite a une simple addition.
- NON car, sur le long terme, ils sont plus stables, moins susceptibles de dégradation et bien moins coûteux en terme d'impact environnemental.

Energie grise de l'isolation thermique :

Fibres de lin :	30 kWh/m ³
Fibres de chanvre :	40
Cellulose de bois :	50
Laine de mouton :	55
Laine de roche :	150
Laine de verre :	250
Argile expansée :	300
Panneau de liège :	450
Polystyrène expansé :	450
Polystyrène extrudé :	850
Mousse de polyuréthane :	1.200
Panneau fibre de bois :	1.400

Energie grise des enduits :

Enduit argile / terre crue :	30 kWh/m ³
Enduit à la chaux :	450
Enduit plâtre :	750
Enduit ciment :	1.100
Enduit synthétique :	3.300

Energie grise des charpentes :

Bois d'œuvre :	180 kWh/m ³
Bois lamellé-collé :	2.200

Energie grise de la couverture :

Tuile terre cuite :	1.400 kWh/m ³
Tuile fibrociment :	4.000

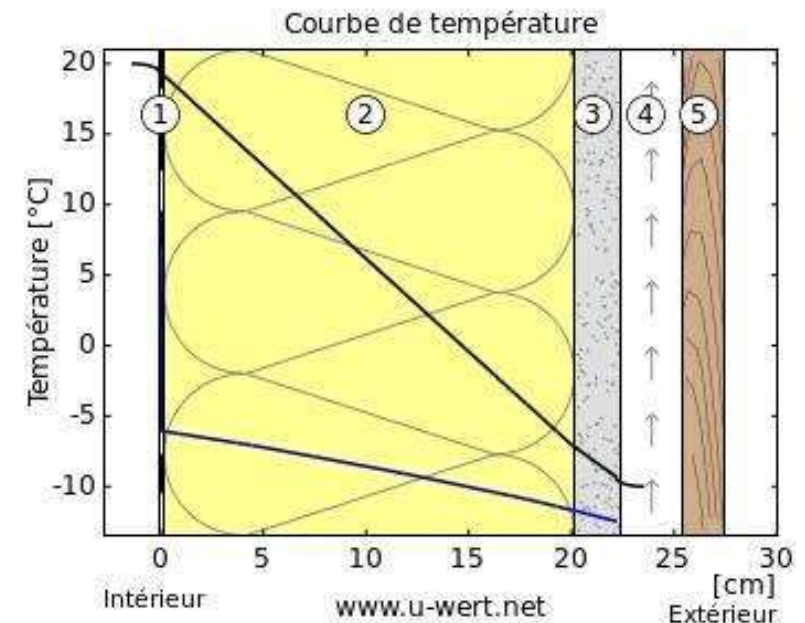
Les éco-matériaux deviennent des alternatives essentielles si l'on adopte une démarche d'éco-construction : *« équilibre raisonnable entre les apports de la nature et de la technologie, dans la recherche d'un bilan neutre et humainement soutenable »*.

Il s'agit ainsi de se préserver (santé et qualité de vie) tout en respectant les autres (moindre impact).

Leur comportement à l'humidité nécessite cependant une mise en œuvre parfaitement maîtrisée.

L'utilisation de ces produits va donc de pair avec une démarche innovante quant à la configuration et constitution des parois.

« Entre éco-matériaux et éco-bâtiment se logent l'éco-conception et l'éco-construction ! »





**Merci pour votre
attention !**

L'AUTRE
CAMPUS



Christophe HUON

Ingénieur Sciences du Bois
& Maître assistant associé Sciences et Techniques pour l'Architecture

christophe.huon@lautrecampus.eu
06 77 02 42 10