

Partie 1 de la version complète,
soit 14 heures au lieu de 5
heures



Réhabilitation énergétique

Jour 1 : Parois, isolation, inertie, humidité...



Samuel COURGEY
Réfèrent technique
Auteur – Formateur



SOMMAIRE

Journée 1 de 2

1. Intro (Thermique - Confort thermique
- L'environnement en nouvel enjeu)
2. Une isolation performante
3. Focus "Inertie"
4. Focus "Humidité"

+ Ressources, échanges
& Annexes



SOMMAIRE

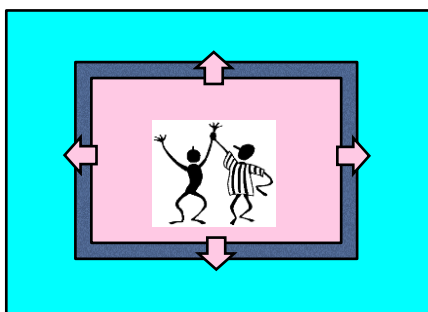
Journée 1 de 2

1. **Intro** (Thermique - Confort thermique - L'environnement en nouvel enjeu)
2. Une isolation performante
3. Focus "Inertie"
4. Focus "Humidité"

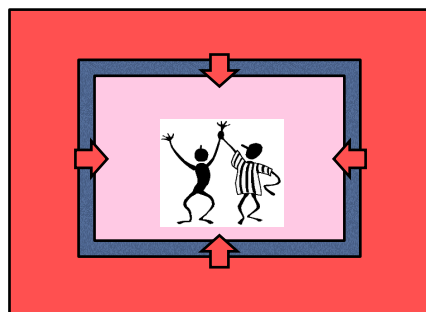
+ Ressources, échanges
& Annexes



THERMIQUE - LES BASES



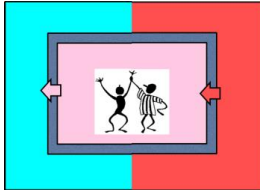
Hiver



Été



THERMIQUE - LES BASES



- Le flux (thermique) se fait du chaud au froid
- L'intensité du flux dépend des matériaux constituant la paroi et de la différence de température (Δt), de part et d'autre de la paroi
- Ça « marche » dans les deux sens... et peu importe la saison
- La conductance (thermique) "**U**" (ou "coefficient de transmission thermique surfacique"), en **W/m²K** exprime l'aspect conducteur/isolant d'une paroi
- Pour calculer le U d'une paroi, il faut d'abord calculer son inverse "**R**", c'est-à-dire sa "résistance thermique" (en m²K/W)

11

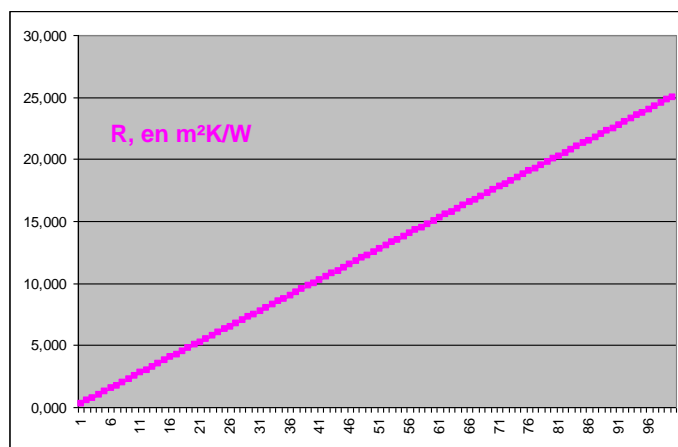


***Mais,
est-ce le U ou
le R qui nous
intéresse ?***

12



Résistance thermique **R** d'une couche d'isolant (λ de 0,04) selon épaisseur :

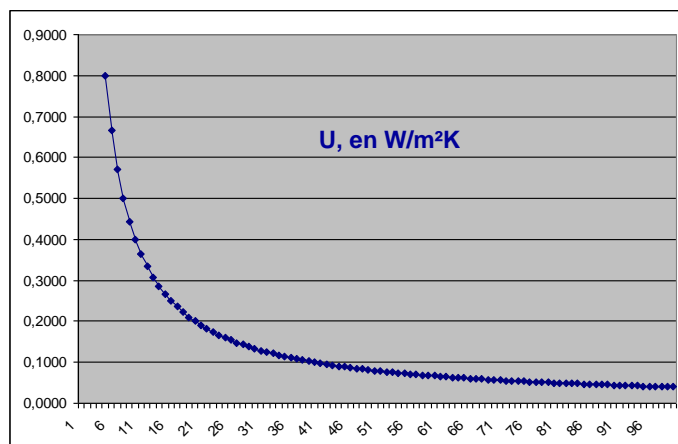


La résistance thermique **R** correspond à une étape de calcul permettant de déterminer la conductance (**U**)

13



Conductance thermique **U** d'une couche d'isolant (λ de 0,04) selon épaisseur :



La conductance **U** nous renseigne de la capacité d'une couche de matériau ou d'une paroi à laisser passer les calories.

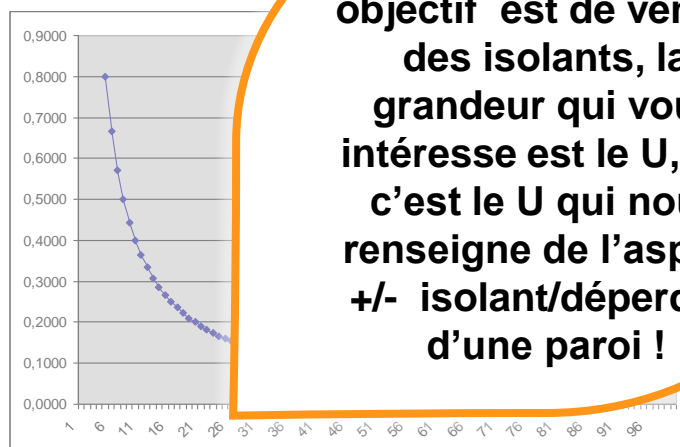
14



Conductance thermique d'une couche d'isolant

(λ d'isolant) sur :

Sauf si votre objectif est de vendre des isolants, la grandeur qui vous intéresse est le U, car c'est le U qui nous renseigne de l'aspect +/- isolant/déperditif d'une paroi !

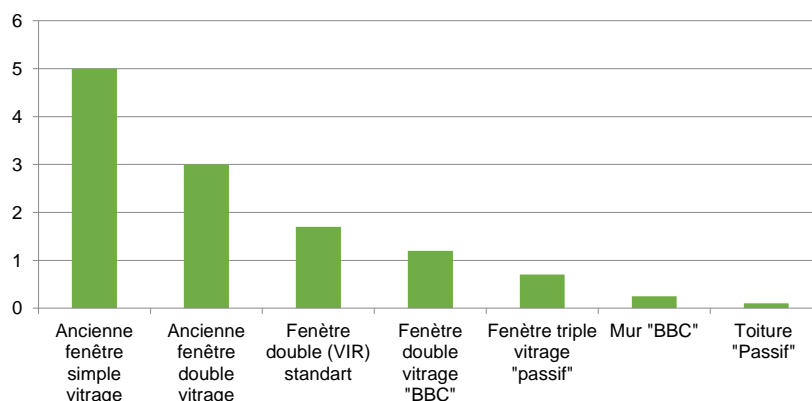


Conductance U
renseigne de
capacité d'une
de matériau
d'une paroi à
laisser passer les
calories.

15



Exemples de conductances (Valeur U, en W/m  K)

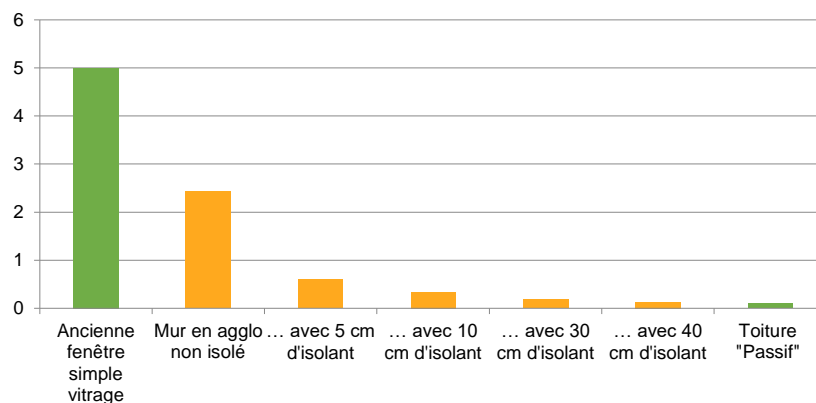


16



Exemples de conductances (Valeur U, en W/m²K)

Calculs réalisés avec un isolant ayant une conductivité λ de 0,04 W/mK

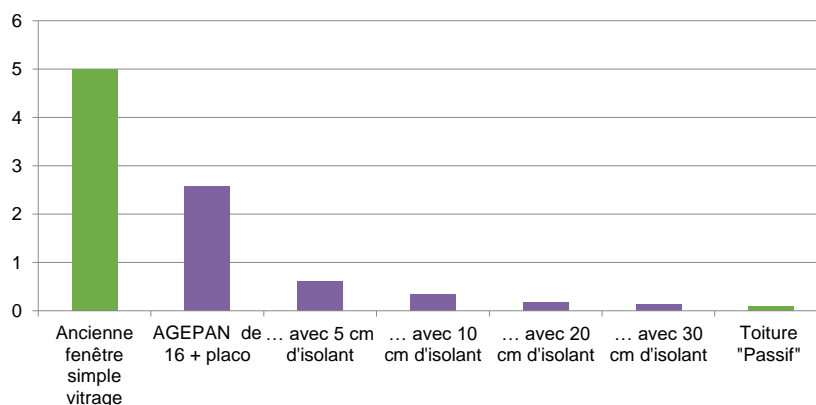


17



Exemples de conductances (Valeur U, en W/m²K)

Calculs réalisés avec un isolant ayant une conductivité λ de 0,04 W/mK



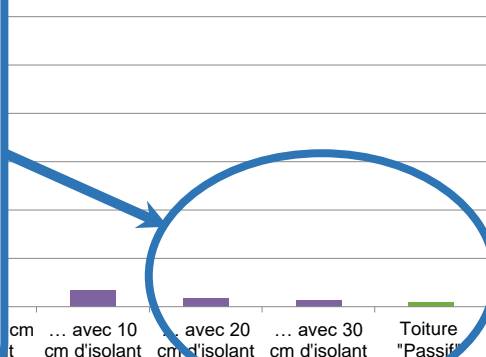
20



Pour les parois opaques, nous faisons désormais référence à des U de l'ordre de 0,25 (\approx mur BBC)   0,10 W/m^2K (\approx toiture passive)

de conductances

pour U , en W/m^2K)



22



Le calcul du U de chaque paroi est la base de toute étude thermique.

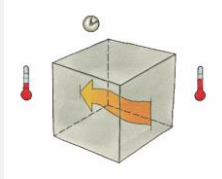
Rapide présentation du calcul du U d'une paroi



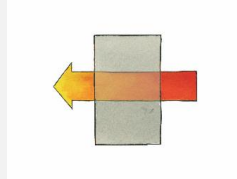
23



Calcul des déperditions d'une paroi



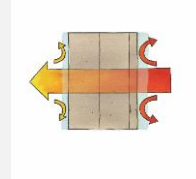
Conductivité thermique (λ) : flux de chaleur traversant 1 m² d'une paroi de 1m d'épaisseur lorsque la différence de température est de 1°C



Résistance thermique (R)

$$R = e/\lambda$$

e (épaisseur) en m
 λ en W/mK



$$R \text{ (paroi)} = R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{si}$$

Pour les murs extérieurs :
 $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$



24



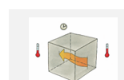
Calcul des déperditions d'une paroi

Le flux thermique ayant un peu de peine à rentrer et sortir de la paroi, on ajoute, pour connaître le R d'une paroi, une petite résistance à son entrée comme à sa sortie, d'où les valeurs **R_{se}** et **R_{si}**.

En calcul réglementaire :

- Si le flux est ascendant (plancher, toiture) :
 $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_{si} = 0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Si le flux est descendant (plancher, toiture) :
 $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_{si} = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Si la paroi donne sur un local non chauffé :
 $R_{se}=R_{si}=0.04\text{m}^2\text{K/W}$

Calcul des déperditions d'une paroi



Conductivité thermique (λ) : flux de chaleur traversant 1 m² d'une paroi de 1m d'épaisseur lorsque la différence de température est de 1°C



Résistance thermique (R)
 $R = e/\lambda$
e (épaisseur) en m
 λ en W/mK



$R \text{ (paroi)} = R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{si}$
Pour les murs extérieurs* :
 $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$

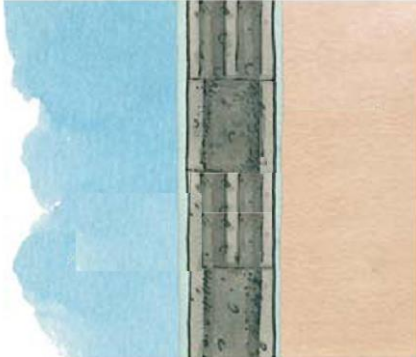


25

25



Calcul des déperditions d'une paroi



$$R = R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{si}$$

$$= 0.04 + 0.02/1.3 + 0.20/1 + 0.015/0.57 + 0.13$$

$$= 0.04 + 0.015 + 0.20 + 0.026 + 0.13$$

$$R = 0.41 \text{ m}^2\text{K/W}$$

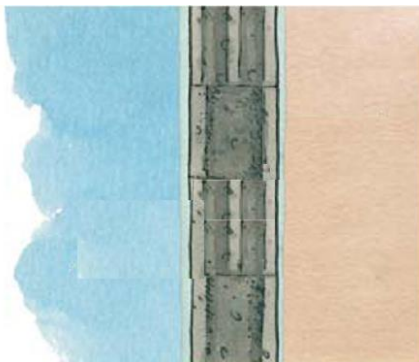


26



Calcul des déperditions d'une paroi

également appelé coefficient de transmission thermique (surfactive)



$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.41$$

$$U = 2.43 \text{ W/m}^2\text{K}$$



27



Calcul des déperditions d'une paroi

Un U de $2,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ signifie que chaque m^2 de paroi est soumis à un flux thermique (du chaud au froid) d'une puissance de $2,43 \text{ W}$ si la différence de température de part et d'autre est de 1°C .

Cela signifie également qu'en une heure, une quantité d'énergie de $2,43 \text{ Wh}$ traverse la paroi.

coefficient de transmission thermique (surf  cique)

$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.41$$

$$U = 2.43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

28



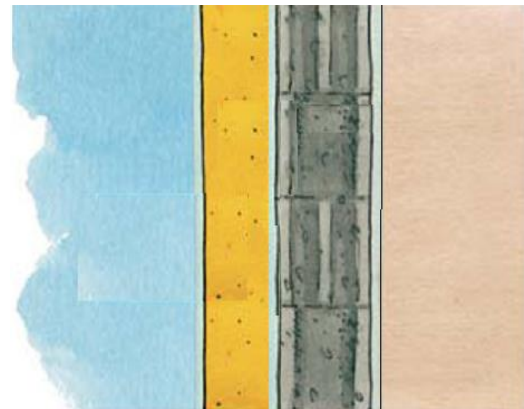
Calcul des déperditions d'une paroi

$$R = R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_{si}$$

$$= 0.04 + 0.015/1.3 + 0.15/0.035 + 0.02/1.3 + 0.20/1 + 0.015/0.57 + 0.13$$

$$= 0.04 + 0.012 + 4.29 + 0.015 + 0.20 + 0.026 + 0.13$$

$$R = 4.71 \text{ m}^2\text{K/W}$$



29

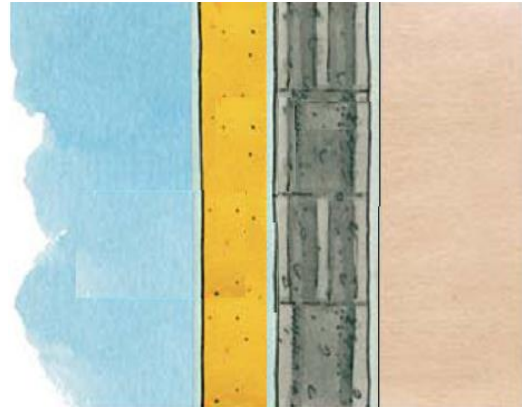


Calcul des déperditions d'une paroi

$$U = 1/R$$

$$U = 1/4.71$$

$$U = 0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$$

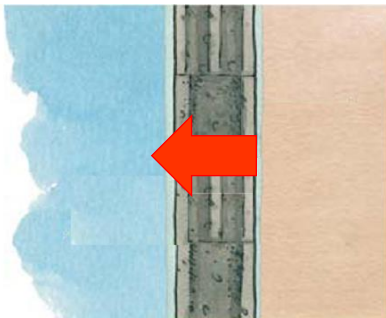


30

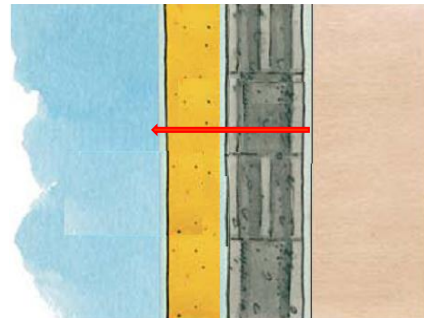


Calcul des déperditions d'une paroi

Un U de 2,43 au lieu de 0,21 signifie que, chaque fois qu'il y a une différence de 1°C de part et d'autre d'une paroi : 2,22 Wh de plus la traversent par heure.



$$U = 2.43 \text{ W/m}^2\text{K}$$



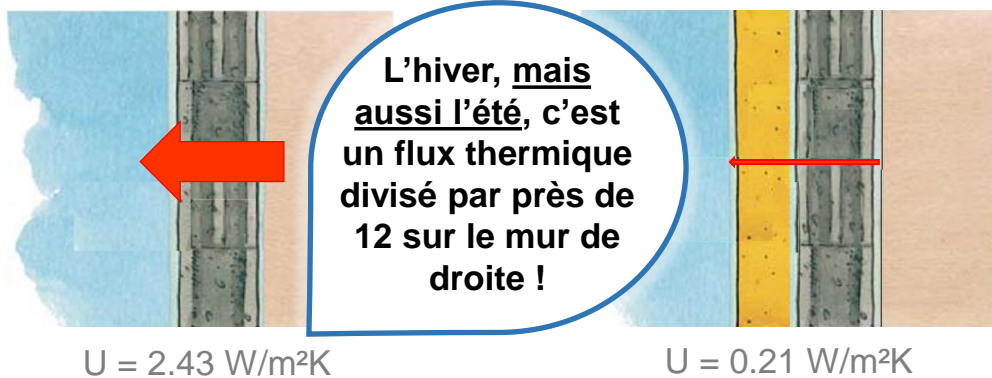
$$U = 0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$$

31



Calcul des déperditions d'une paroi

Un U de 2,43 au lieu de 0,21 signifie que, chaque fois qu'il y a une différence de 1°C de part et d'autre d'une paroi : 2,22 Wh de plus la traversent par heure.



32



Pour une étude thermique :

- le U de chaque paroi est multiplié par sa surface, puis additionné aux autres parois et aux déperditions des ponts thermiques
- on multiplie par les DJU (Degrés Jour Unifiés, exprimant la rigueur climatique du lieu)
- on y additionne les déperditions dues aux inétanchéités à l'air et au renouvellement d'air
- on intègre les apports solaires par les baies vitrées et les apports internes
 - et on intègre le rendement des systèmes

Le calcul du U de chaque paroi est la base de toute étude thermique.

Rapide présentation du calcul du U d'une paroi



31

33



***Bon d'accord, la
thermique peut être
plus compliquée, mais
la base est là !***

*... Surtout si l'on parle de
l'approche simplifiée des RT
et DPE (= thermique statique)*

34



La **thermique statique** permet dans de très nombreux cas d'avoir un premier avis pertinent sur la performance des bâtiments.

... En revanche elle s'avère insuffisante si l'objet est d'ajuster le confort estival, d'optimiser la captation solaire, ou encore de comprendre le fonctionnement des bâtiments anciens. Il faudra alors composer avec une approche plus complète... mais également plus complexe : **la thermique dynamique**.



35


SYNANOMIE BFC - Dec. 2022

Samuel Courgey - Arcanie

Réhabilitation énergétique 1/2

***Mais au fait,
que recherche-
t-on ?***

37




SYNANOMIE BFC - Dec. 2022


Samuel Courgey - Arcanie

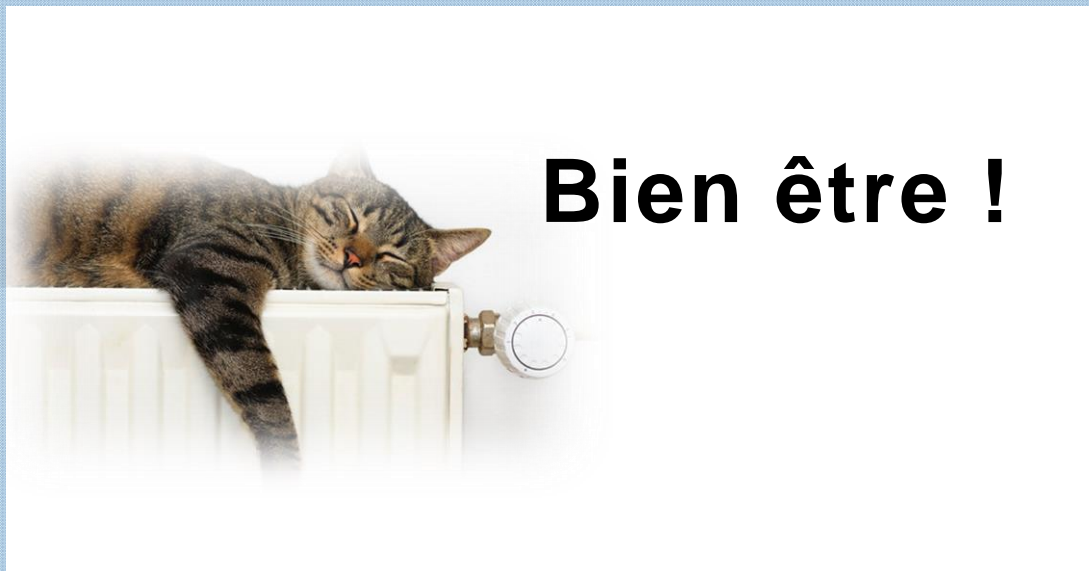
Réhabilitation énergétique 1/2

Être bien !



38





Bien être !

39



~~Être bien~~

~~Bien être~~

CONFORT THERMIQUE

40



Le confort thermique

*... c'est à dire, n'avoir
ni trop chaud, ni trop froid !*

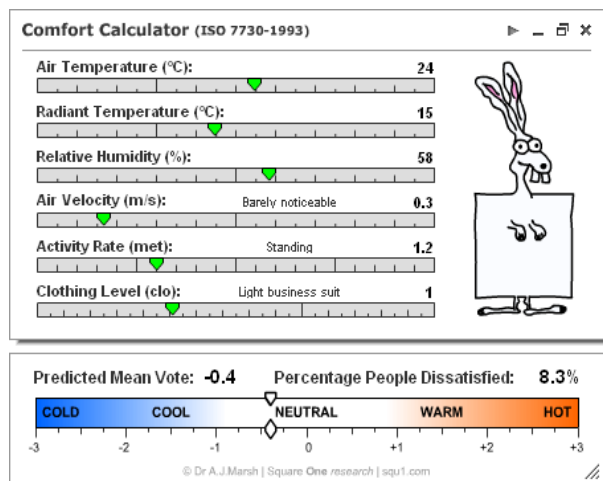


La norme **NF EN ISO 7730** définit le confort thermique

41



Le confort thermique



La norme
NF EN ISO 7730
donne un pourcentage de
personnes statistiquement
satisfaites/ insatisfaites du
confort thermique.

Source : <http://squ1.com>

42



Le confort thermique

D'après la norme **NF EN ISO 7730**, en plus de l'habillement et de l'activité physique, quatre critères interviennent dans le confort thermique :

- la température de l'air
- la température des parois
- le mouvement de l'air
- l'humidité de l'air

Ce qui coûte le plus cher à produire, au porte-monnaie comme à l'environnement, c'est élever la t° de l'air (selon le type de bâtiment : 7 à 20% de chauffage en plus par degré supplémentaire).

45



Un des objets étant d'économiser l'énergie, nous interviendrons pour être bons sur les points 2, 3 et 4. Pour l'hiver ceci signifie :

- Ne pas avoir de parois froides
- Ne pas avoir de courants d'air perceptibles
- Ne pas avoir un air trop sec ou trop humide

Le confort thermique

D'après la norme **NF EN ISO 7730**, en plus de l'habillement et de l'activité physique, quatre critères interviennent dans le confort thermique :

- la température de l'air
- la température des parois
- le mouvement de l'air
- l'humidité de l'air

Ce qui coûte le plus cher à produire, au porte-monnaie comme à l'environnement, c'est élever la t° de l'air (selon le type de bâtiment : 7 à 20% de chauffage en plus par degré supplémentaire).

44

46

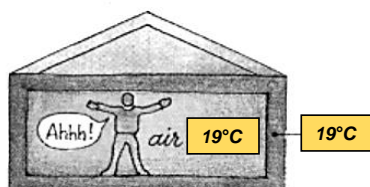
Le confort thermique



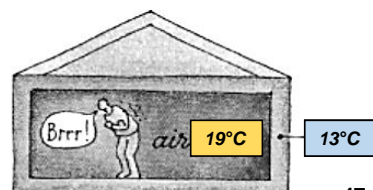
Avec une humidité relative moyenne (30 à 60%) et en l'absence de mouvement d'air* :

$$t^{\circ} \text{ ressentie (ou opérative)} = \frac{1}{2} \times (t^{\circ} \text{ Air} + t^{\circ} \text{ Parois})$$

T° ressentie par les occupants = 19 °C



T° ressentie = 16 °C,
... soit une sensation d'inconfort



* Ces conditions sont estimées respectées si l'installation de renouvellement d'air est effective, et si les espaces intérieurs ne souffrent d'aucune réelle inétanchéité à l'air.

47



D'après la norme 7730, un air à 19°C ne permet le confort que si les parois sont en moyenne à 19°C, ce qui est quasiment impossible. Demander de limiter la température de l'air à 19 ne permet donc pas le confort.

Le confort thermique

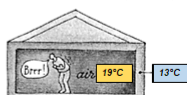
Avec une humidité relative moyenne (30 à 60%) et en l'absence de mouvement d'air* :

$$t^{\circ} \text{ ressentie (ou opérative)} = \frac{1}{2} \times (t^{\circ} \text{ Air} + t^{\circ} \text{ Parois})$$

T° ressentie par les occupants = 19 °C



T° ressentie = 16 °C,
... soit une sensation d'inconfort



* Ces conditions sont estimées respectées si l'installation de renouvellement d'air est effective, et si les espaces intérieurs ne souffrent d'aucune réelle inétanchéité à l'air.

* Et dans des conditions idéales quant aux 2 autres éléments : sans gênes dues aux courants d'air ou à l'humidité

48

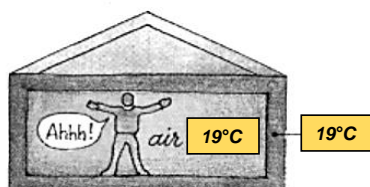


Le confort thermique

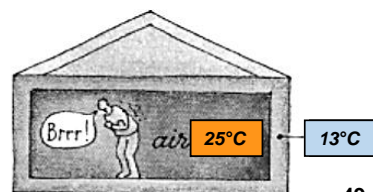
Avec une humidité relative moyenne (30 à 60%) et en l'absence de mouvement d'air* :

$$t^{\circ} \text{ ressentie (ou opérative)} = \frac{1}{2} \times (t^{\circ} \text{ Air} + t^{\circ} \text{ Parois})$$

T° ressentie par les occupants = 19 °C



Toujours une sensation d'inconfort...



* Ces conditions sont estimées respectées si l'installation de renouvellement d'air est effective, et si les espaces intérieurs ne souffrent d'aucune réelle inétanchéité à l'air.

49



Le confort thermique

Avec une humidité relative moyenne (30 à 60%) et en l'absence de mouvement d'air* :

$$t^{\circ} \text{ ressentie (ou opérative)} = \frac{1}{2} \times (t^{\circ} \text{ Air} + t^{\circ} \text{ Parois})$$

T° ressentie par les occupants = 19 °C



T° ressentie = 13,5 °C
... soit une sensation d'inconfort



* Ces conditions sont estimées respectées si l'installation de renouvellement d'air est effective, et si les espaces intérieurs ne souffrent d'aucune réelle inétanchéité à l'air.

En hiver, à partir du moment où la t° des parois est inférieure de plus de 4 à 6°C à celle de l'air, une réelle sensation d'inconfort intervient.

On y remédie souvent en augmentant encore la t° de l'air...



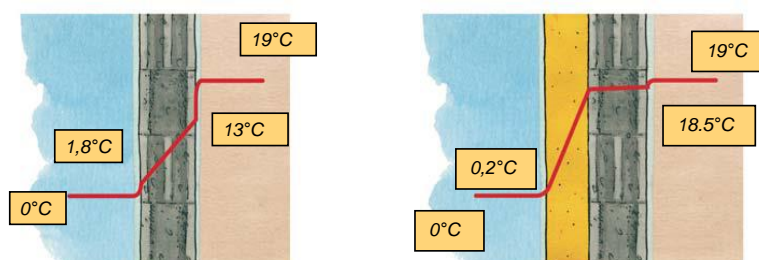
50



Le confort thermique

Pour avoir des parois d'enveloppe tempérées ?

Il faut d'abord et avant tout les isoler !



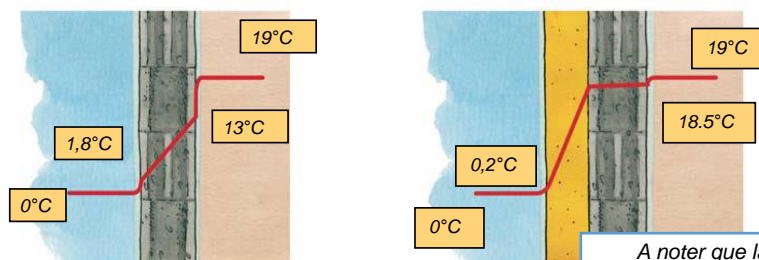
51



Le confort thermique

Pour avoir des parois d'enveloppe tempérées ?

Il faut d'abord et avant tout les isoler !



A noter que la T° du parement intérieur serait identique avec une ITI.

52



Calcul des déperditions d'une paroi



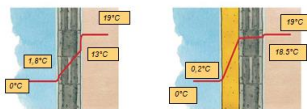
44



Le confort thermique



Pour avoir des parois tempérées ?
Il faut d'abord et avant tout les isoler !



48

**Il n'y a pas 1, mais
3 avantages à l'isolation :**

- pour réduire les déperditions en hiver ;
- pour limiter les entrées de chaleur en été (apports) ;
- et en hiver, également pour avoir des parements dont la température s'approche de celle de l'air intérieur !

53



1^{er} chapitre : Introduction

~~Thermique~~

~~Confort thermique~~

**L'environnement en nouvel
enjeu**

54



L'environnement en nouvel enjeu



- Changements climatiques
- Risque sur la santé humaine et sur la biodiversité
- Épuisement des ressources naturelles
 - Fin de l'énergie bon marché
 - Conflits engendrés par la localisation géographique des ressources...

Le bâtiment représente entre 25 et 40% des émissions de GES...

Plus d'acides, couche d'ozone...

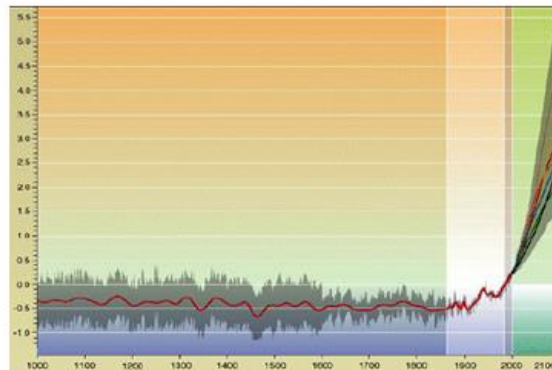
Le bâtiment utilise plus de 40% de l'énergie, 50% des matières premières...

48

56



Avec une première priorité : lutter contre le dérèglement climatique



Evolution de la température terrestre selon divers scénarii de production de GES.

52

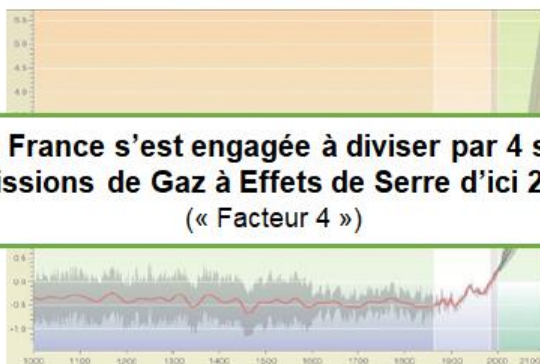
60



Avec une première priorité : lutter contre le dérèglement climatique



La France s'est engagée à diviser par 4 ses émissions de Gaz à Effets de Serre d'ici 2050 (« Facteur 4 »)



54

62



**Pour y arriver,
il faut diviser par environ
3 nos consommations
d'énergie, soit entre autres :**

- ne construire que des bâtiments de type « **passif** »
- réhabiliter l'ensemble du parc, et ce, à un niveau de type « **facteur 4** »



73

64



Les leviers actionnables pour rendre un bâtiment énergétiquement performant



58

67



Les leviers actionnables pour rendre un bâtiment énergétiquement performant



Une action quasi-incontournable pour l'ensemble des parois, et très séduisante pour rendre un bâtiment beaucoup plus facile à chauffer l'hiver, et beaucoup moins sujet aux surchauffes d'été :

→ Isoler thermiquement ses parois !

60

69



ISOLER !

Différents matériaux possibles

70



71



***Avant de se poser
la question des
matériaux, posons
nous celle de
l'isolation !***

72



SOMMAIRE

Journée 1 de 2

1. Intro (Thermique - Confort thermique
- L'environnement en nouvel enjeu)

2. Une isolation performante

3. Focus "Inertie"
4. Focus "Humidité"

*+ Ressources, échanges
& Annexes*

74



Qu'est-ce que pourrait être une isolation performante ?

75



Une isolation performante ?

- Une isolation qui permet des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit une isolation :
 - conséquente
 - générant très peu de ponts thermiques
 - accompagnée d'une réelle étanchéité à l'air
 - composant judicieusement avec l'inertie
 - pérenne

76



Une isolation performante ?

- Une isolation qui permet des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit une isolation :
 - **conséquente**
 - générant très peu de ponts thermiques
 - accompagnée d'une réelle étanchéité à l'air
 - composant judicieusement avec l'inertie
 - pérenne

77



Une isolation conséquente

	MURS	U en W/m².K	Isolant (cm)	
Anciennement	Non isolé			
Hier	Isolé	0,40	10	
Désormais	Très, et bien isolé	≈ 0,25 à 0,15	15 à 30	R > ≈ 4, voire jusqu'à ≈ 7
	TOITURE	U en W/m².K	Isolant (cm)	
Anciennement	Non isolé			
Hier	Isolé	< 0,20	20 à 30	
Désormais	Très, et bien isolé	≈ 0,15 à 0,10	30 à 40	R > ≈ 7, voire jusqu'à ≈ 10
	SOLS	U en W/m².K	Isolant (cm)	
Anciennement	Non isolé			
Hier	Isolé	0,60	6 à 8	
Désormais	Très, et bien isolé	≈ 0,30 à 0,15	10 à 25	R > ≈ 3 voire jusqu'à ≈ 7

Epaisseurs calculées avec un λ d'environ 0,035/0,04 W/mK pour murs et toitures, d'env. 0,025/0,035 pour les sols. Pour les toitures terrasses isolées en PUR ou PIR, compter 15 à 25 cm pour les U recherchés.

78



Ces lignes sont
renseignées vis-à-vis de
l'approche contemporaine : présence
ou non d'isolant thermique.
Lorsque nous étudierons le bâti ancien,
nous réaliserons qu'il peut exister une
« intelligence thermique » actionnant
d'autres pistes (espace tampon, mur
massif ouvert au soleil, parement à
faible effusivité...)

Une isolation conséquente

	MURS	U en W/m².K	Isolant (cm)
Anciennement	Non isolé		
Hier	Isolé	0,40	10
Désormais	Très, et bien isolé	≈ 0,25 à 0,15	15 à 30
	TOITURE	U en W/m².K	Isolant (cm)
Anciennement	Non isolé		
Hier	Isolé	< 0,20	20 à 30
Désormais	Très, et bien isolé	≈ 0,15 à 0,10	30 à 40
	SOLS	U en W/m².K	Isolant (cm)
Anciennement	Non isolé		
Hier	Isolé	0,60	6 à 8
Désormais	Très, et bien isolé	≈ 0,30 à 0,15	10 à 25

Epaisseurs calculées avec un λ d'environ 0,035/0,04 W/mK pour murs et toitures, d'env. 0,025/0,035 pour les sols. Pour les toitures terrasses isolées en PUR ou PIR, compter 15 à 25 cm pour les U recherchés.

78

79

Une isolation conséquente

La pertinence d'une forte isolation vaut pour son pouvoir isolant qui augmente si l'on ajoute de l'isolant à l'isolant... mais également parce qu'une forte épaisseur d'isolant :

- facilite une gestion fine des ponts thermiques ;
- permet d'éloigner la couche assurant l'étanchéité à l'air des parements intérieurs.

Isolant (cm)

10

15 à 30

R > 4, voire jusqu'à ≈ 7

Isolant (cm)

20 à 30

30 à 40

R > 7, voire jusqu'à ≈ 10

Isolant (cm)

6 à 8

10 à 25

R > 3 voire jusqu'à ≈ 7

Epaisseurs calculées avec un λ d'environ 0,035/0,04 W/mK pour murs et toitures, d'env. 0,025/0,035 pour les sols. Pour les toitures terrasses isolées en PUR ou PIR, compter 15 à 25 cm pour les U recherchés.

80





Une isolation conséquente

Atteindre ces performances n'est nullement obligatoire, mais ceci facilitera grandement l'atteinte du niveau BBC.

Ne pas atteindre ces performances sera donc un choix par défaut !

U en W/m².K	Isolant (cm)	
0,40	10	
≈ 0,25 à 0,15	15 à 30	R> ≈ 4, voire jusqu'à ≈ 7
U en W/m².K	Isolant (cm)	
< 0,20	20 à 30	
≈ 0,15 à 0,10	30 à 40	R> ≈ 7, voire jusqu'à ≈ 10
U en W/m².K	Isolant (cm)	
0,60	6 à 8	
≈ 0,30 à 0,15	10 à 25	R> ≈ 3 voire jusqu'à ≈ 7

Epaisseurs calculées avec un λ d'environ 0,035/0,04 W/mK pour murs et toitures, d'env. 0,025/0,035 pour les sols. Pour les toitures terrasses isolées en PUR ou PIR, compter 15 à 25 cm pour les U recherchés.

81



Une isolation performante ?

- Une isolation qui permet des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit une isolation :
 - conséquente
 - **généralisant très peu de ponts thermiques**
 - accompagnée d'une réelle étanchéité à l'air
 - composant judicieusement avec l'inertie
 - pérenne

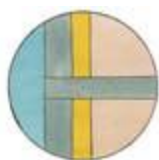
82



Des parois sans pont thermique (de liaison)

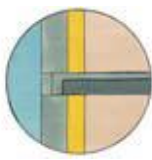
L'importance du choix du système constructif - Exemples

Déperditions par mètre de pourtour de dalle (et % des déperditions sur une hauteur d'étage*)



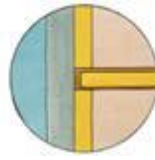
$$\Psi = 0,99 \text{ W/m.K}$$

63%



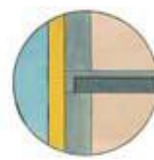
$$\Psi = 0,64 \text{ W/m.K}$$

52%



$$\Psi = 0,16 \text{ W/m.K}$$

21%



$$\Psi = 0,06 \text{ W/m.K}$$

3%

* Pour un mur isolé aux performances BBC moyennes (0,23 W/m.K), une hauteur d'étage de 2,50 m.
Valeurs ψ (psy) des règles THC (réglementation thermique).

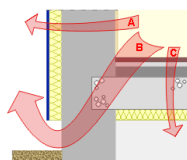
83



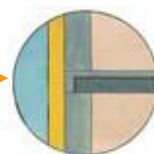
Des parois sans pont thermique (de liaison)

Constructif - Exemples

Mais attention, le bâtiment est un tout, et, si le pont thermique d'about de dalle disparaît avec l'ITE, oublier dans ce système de traiter finement les tours de baies, les bas et les hauts de murs en génère d'aussi importants : **on ne fait que déplacer le problème !**



(et % des déperditions sur une hauteur d'étage*)



K

$$\Psi = 0,06 \text{ W/m.K}$$

3%

hauteur d'étage de 2,50 m.

84



ITE / Droit de surplomb

La loi Climat a intégré un [article L. 113-5-1 au Code de la Construction et de l'Habitation](#), instaurant un droit de surplomb, qui rend possible l'isolation par l'extérieur d'un bâtiment en limite de propriété, en empiétant d'au plus 35 cm sur la propriété voisine. Une indemnité doit être versée au profit du propriétaire, dont le terrain est surplombé. Les modalités d'exercice de ce droit de surplomb doivent être définies par écrit, constatées par acte authentique ou par décision de justice. L'exercice de ce droit de surplomb permet également au propriétaire demandeur, de pouvoir installer provisoirement les installations nécessaires à la réalisation de ces travaux d'isolation (échafaudage).

(de liaison)

uctif - Exemples

(une hauteur d'étage*)



$\psi = 0,06 \text{ W/m.K}$

63%

52%

21%

3%

* Pour un mur isolé aux performances BBC moyennes (0,23 W/m.K), une hauteur d'étage de 2,50 m. Valeurs ψ (psy) des règles THC (réglementation thermique).

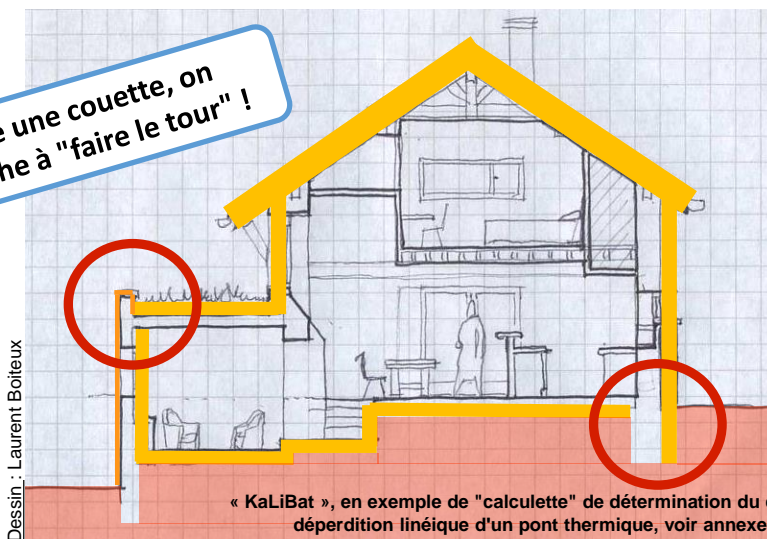
83

85



Des parois sans pont thermique (de liaison)

Telle une couette, on cherche à "faire le tour" !



« KaLiBat », en exemple de "calculatrice" de détermination du coefficient de déperdition linéique d'un pont thermique, voir annexe dédié

86

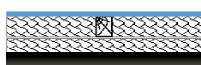


Des parois sans pont thermique (intégré)

Épaisseur d'isolant ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$) nécessaire pour un U de $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ en doublage d'un mur maçonné*.



16 cm d'isolant, si celui-ci est seulement collé



17,6 cm si une ossature bois sur 50% de son épaisseur



20,5 cm si une ossature bois traversante



32,2 cm si une ossature métallique traversante

* Mur en agglos de ciment. Calcul avec ossature (poteaux métalliques ou bois) tous les 60 cm

87



Des parois sans pont thermique (intégré)

Épaisseur d'isolant ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$) nécessaire pour un U de $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ en doublage d'un mur maçonné*.



16 cm d'isolant, si celui-ci est seulement collé



17,6 cm si une ossature bois sur 50% de son épaisseur



20,5 cm si une ossature bois traversante



32,2 cm si une ossature métallique traversante

* Mur en agglos de ciment. Calcul avec ossature (poteaux métalliques ou bois) tous les 60 cm

De plus, nous n'estimons pas ici les éventuelles faiblesses de la jonction ossature/isolant (isolant ne touchant pas parfaitement l'ossature, inétanchéités à l'air...)

88



Des parois sans pont thermique (intégré)

Doublage d'un mur maçonné : systèmes pour une isolation limitant les ponts thermiques intégrés.



Pose collée



**Connecteurs
"plastiques"**



Source : Lignotrend

**Montant ajouré,
à âme isolée...**



**Espaceurs
"plastiques"**

90

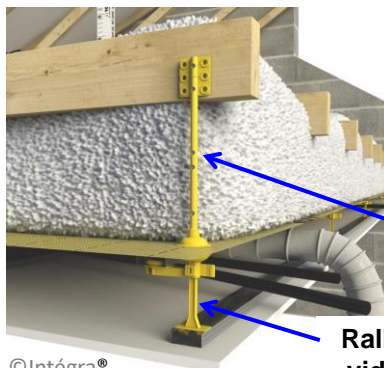


Des parois sans pont thermique (intégré)

Plafonds : également des systèmes limitant les ponts thermiques



Solution utilisant du bois



©Intégra®



©RT MAX®

Suspente de base
(recevant la membrane
d'étanchéité sur sa sous face)

**Rallonge permettant un
vide technique** (que l'on
comblera ou non d'isolant)

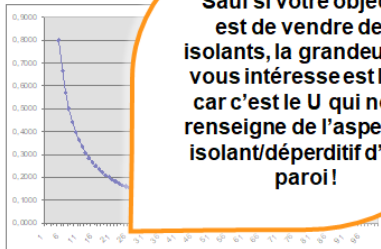
91



La valeur
« **Up** » renseigne
la conductance d'un m²
de paroi tenant compte
de l'incidence des
ponts thermiques
intégrés ; **c'est celle qui
nous intéresse !**



Sauf si votre objectif
est de vendre des
isolants, la grandeur qui
vous intéresse est le U,
car c'est le U qui nous
renseigne de l'aspect +/-
isolant/déperditif d'une
paroi!



13

94



Des parois sans pont thermique (réseaux)

Veiller à limiter les traversées d'isolants.



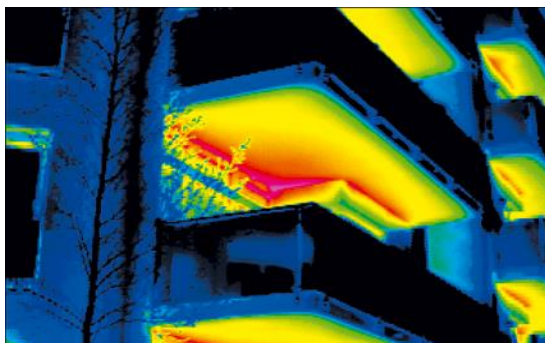
La déperdition thermique d'un cm²
cuivre ($\lambda = 380 \text{ W/m.K}$) est identique
à celle d'un m² d'isolant ($\lambda = 0,038$
W/m.K) !

... Et nous n'estimons pas ici les
éventuelles faiblesses de la jonction
fils/gaine, gaine/isolant (isolant ne
collant pas parfaitement aux pièces
métalliques et inétanchéité à l'air...).

96



Des parois sans pont thermique



Les balcons en continuité de la dalle BA, véritables « ailettes » de refroidissement en hiver... et inversement l'été !

En rénovation énergétique, la gestion des balcons doit être étudiée très en amont !

(Intégration du balcon dans le volume isolé ? Dépose ? Dépose et remplacement par des solutions bois ? Sur poteaux ?...)

98



Des parois sans pont thermique



Photo : Jean-Pierre OLIVA

Quelques fois nous n'avons pas besoin de caméra thermique !

99



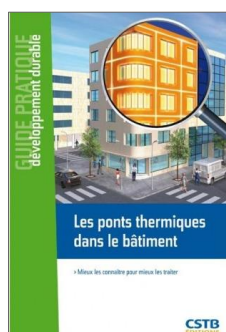
Des parois sans pont thermique, pour

- **Limitier les déperditions/apperditions thermiques**
- **Limitier les condensations.** (Condensation de surface (int.) dégradant parement et qualité de l'air intérieur, et condensation dans la masse, qui risque de dégrader les matériaux / le bâti)
- **Ne pas générer de points froids** (inconfort, risques de salissures, moisissures...)
- **Ne pas créer des vieillissements / salissures différenciés en façades**

100



Des parois sans pont thermique



Une enveloppe sans pont thermique sous entend :

- un diagnostic qui repère l'ensemble des potentiels points faibles
- une conception qui propose les détails techniques de réalisation
- une réalisation qui ne souffre d'aucun "à peu près"

→ *Ceci sous-entend, entre autres, un budget qui permet d'apporter ce soin nécessaire !*

1 chapitre
des
annexes
revient sur
le sujet

* En premier ouvrage pour appréhender le sujet « ponts thermiques »

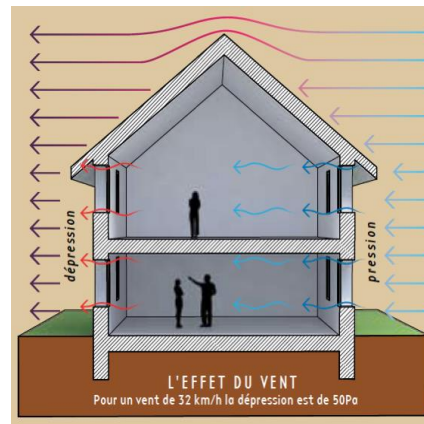
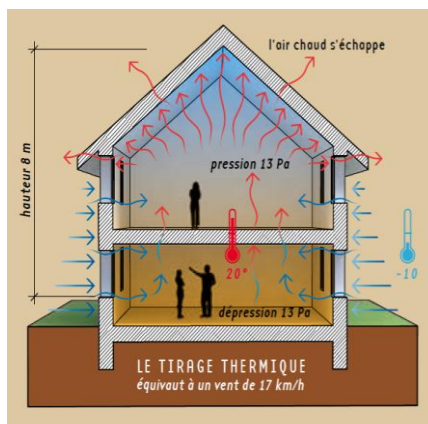
101

Une isolation performante ?

- Une isolation qui permet des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit une isolation :
 - conséquente
 - générant très peu de ponts thermiques
 - **accompagnée d'une réelle étanchéité à l'air**
 - composant judicieusement avec l'inertie
 - pérenne

102

Tout bâtiment est soumis à des pressions / dépressions d'air



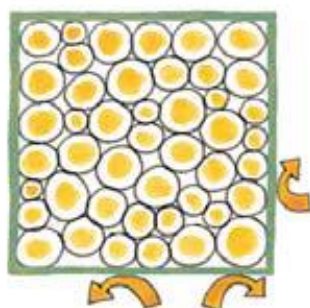
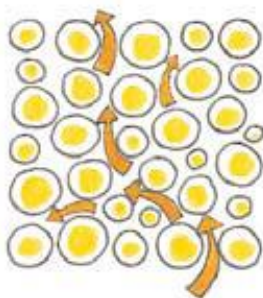
Convertisseur des vents : <https://www.convertworld.com/fr/vitesse-du-vent/noeud-min.html>

103



Une enveloppe étanche à l'air

Fonctionnement des isolants



Dessin Hervé Nallet, (L'isolation thermique écologique)

Le principe de base de l'isolation thermique repose sur la multiplication de petites « poches » d'air immobile... Mais il faut également qu'aucun courant d'air ne vienne circuler entre ces poches.

→ Pour isoler, il faut que l'isolant empêche ces mouvements d'air, ou qu'il en soit protégé.

104



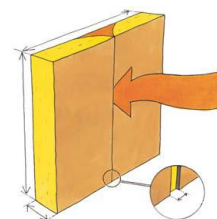
Une enveloppe étanche à l'air

Quantification des pertes thermiques dues à un pare air non continu devant un isolant non étanche à l'air (ici laine minérale)*

→ Avec une fente de 1mm pour 1m² d'isolant, le pouvoir isolant de notre m² est divisé par 4.8.



Dessin Hervé Nallet (L'isolation thermique écologique)



→ Cette même occasion de « shunter » l'isolation existe avec un doublage polystyrène lorsque :

- l'installation électrique n'est pas étanche et met en contact l'espace entre mur et isolant avec l'air des espaces intérieurs
- l'étanchéité à l'air n'est pas assurée au pourtour de l'isolant (entre sol et bas d'isolant...)

*Source : Institut de physique du bâtiment- Stuttgart. Essai réalisé sur une laine minérale avec une différence de pression de 20 Pa.

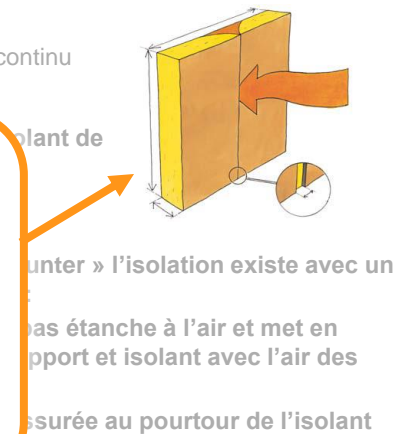
105

Une enveloppe étanche à l'air

Quantification des pertes thermiques dues à un pare air non continu devant un isolant non étanche à l'air (ici laine minérale)

Dessin Hervé Nallet (L'isolation thermique écologique)

Cet essai fait avec de la laine minérale ne montre pas une fragilité de ce seul matériau, mais de l'ensemble des isolants en vrac et en rouleaux, des panneaux peu denses d'isolants fibreux, et de certains bétons légers.



Source : Institut de physique du bâtiment- Stuttgart. Essai réalisé sur une laine minérale avec une différence de pression de 20 Pa.

106

...Ce qui a été le cas durant au moins 30 ans, et l'est encore sur certains projets !

Une enveloppe étanche à l'air

Quantification des pertes thermiques dues à un pare air non continu devant un isolant non étanche à l'air (ici laine minérale)*

Dessin Hervé Nallet (L'isolation thermique écologique)

→ Avec une fente de 1mm pour 1m² d'isolant, le pouvoir isolant de notre m² est divisé par 4.8.



- Cette même occasion de « shunter » l'isolation existe avec un doublage polystyrène lorsque :
- l'installation électrique n'est pas étanche et met en contact l'espace entre mur et isolant avec l'air des espaces intérieurs
 - l'étanchéité à l'air n'est pas assurée au pourtour de l'isolant (entre sol et bas d'isolant...)

*Source : Institut de physique du bâtiment- Stuttgart. Essai réalisé sur une laine minérale avec une différence de pression de 20 Pa.

90

... Ce qui correspond à la grande majorité des cas !

107

Une enveloppe étanche à l'air



109

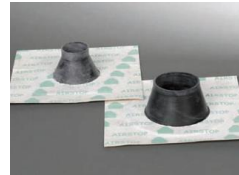
Une enveloppe étanche à l'air



110



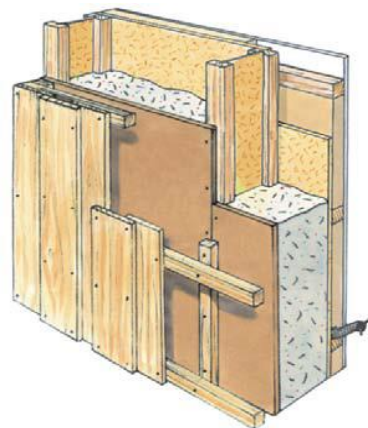
Une enveloppe étanche à l'air



111



Une enveloppe étanche à l'air



112

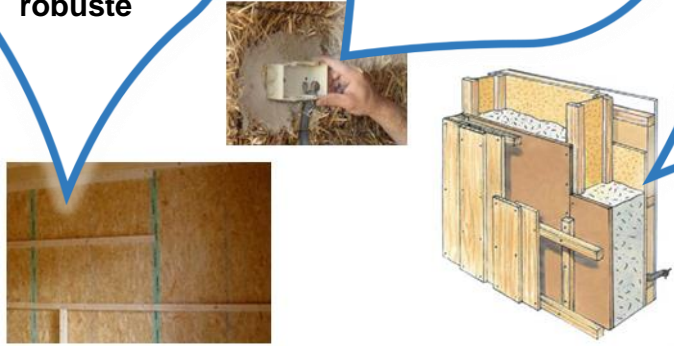
SYNAMIOME BFC - Déc. 2022
Réhabilitation énergétique 1/2
Samuel Courgey - Arcanie

Une enveloppe étanche à l'air

Choisir des panneaux plutôt que des membranes permet une étanchéité à l'air beaucoup plus robuste

Comptez sur l'enduit pour l'étanchéité à l'air oblige à des ajustements, aux interfaces, au droit des installations...

En éloignant le panneau (ou la membrane) du parement nous simplifions la pose des réseaux, et assurons une meilleure durabilité de l'étanchéité à l'air, en l'éloignant des risques de dégradation.



93

113

SYNAMIOME BFC - Déc. 2022
Réhabilitation énergétique 1/2
Samuel Courgey - Arcanie

Une enveloppe étanche à l'air, pour

- Limiter les déperditions thermiques
- Limiter les risques de condensations dans les parois, et donc de dégradations du bâti
- Ne pas générer d'inconforts dus à des mouvements d'air
- Ne pas dégrader la qualité de l'air intérieur
- Permettre un bon fonctionnement de la ventilation
- Ambitionner un réel confort acoustique

115

Une enveloppe étanche à l'air



La réussite d'une étanchéité à l'air ne s'improvise pas. En plus de produits adaptés et pérennes, cela sous-entend :

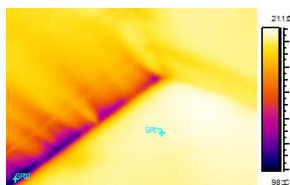
- une définition très ajustée, dès la phase Projet, des détails de réalisation ;
- une gestion de chantier qui ne laisse aucun hasard, entre autres à l'interface entre les divers intervenants.

Carnet de détails sur sites du CéRéMA (**MININFIL**), sur celui du programme PACTE...

* Pdf et vidéos téléchargeable sur le site du Pôle énergie Bourgogne-Franche-Comté une fois que sa restructuration, en cours fin 2022, sera terminée.

116

Une enveloppe étanche à l'air



Déjà des obligations de résultats !

	Maison individuelle		Logement collectif	
	Q4 (m ³ /h/m ²)	n50 (vol/h)	Q4 (m ³ /h/m ²)	n50 (vol/h)
RE 2020 (idem RT2012)	0,6	2,3	1	2,2
Passivhaus	0,16	0,6	0,28	0,6
BBC-eff. existant.	1,2	4,6	1,2 ou 1,7	2,64/3,74

Sources photos : Arcanne et CEBTP (chantier expérimental de Montholier FFB/ADEME)

117



Une enveloppe étanche à l'air

Photo : Perline Courgey



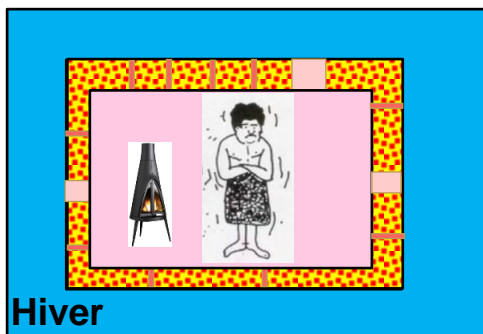
Quelques fois
nous n'avons pas
besoin de test
d'étanchéité à
l'air !

118



Une isolation performante ?

...Triste constat



Au final, l'isolation de l'enveloppe est souvent dégradée de :

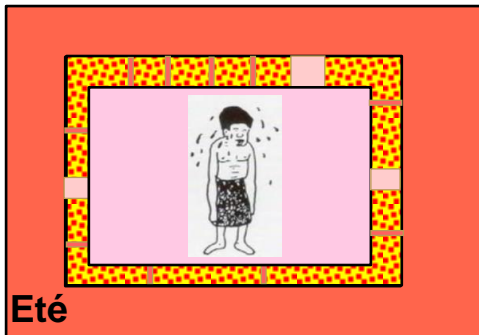
- 20 à 60% par les ponts thermiques de liaison
- 10 à 60% par les autres ponts thermiques (réseaux ou PT intégrés)
- 10 à 80% par les inétanchéités à l'air !

119



Une isolation performante ?

...Triste constat



Au final, l'isolation de l'enveloppe est souvent dégradée de :

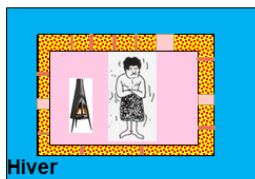
- 20 à 60% par les ponts thermiques de liaison
- 10 à 60% par les autres ponts thermiques (réseaux ou PT intégrés)
- 10 à 80% par les inétanchéités à l'air !

120



Une isolation performante ?

...Triste constat



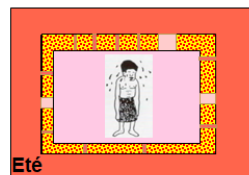
Au final, l'isolation de l'enveloppe est souvent dégradée de :

- 20 à 60% par les ponts thermiques de liaison
- 10 à 60% par les autres ponts thermiques (réseaux ou PT intégrés)
- 10 à 80% par les inétanchéités à l'air !



Une isolation performante ?

...Triste constat



Au final, l'isolation de l'enveloppe est souvent dégradée de :

- 20 à 60% par les ponts thermiques de liaison
- 10 à 60% par les autres ponts thermiques (réseaux ou PT intégrés)
- 10 à 80% par les inétanchéités à l'air !

104

Les meilleures performances correspondent à ce qui se fait en construction passive, et également souvent en éco-construction.

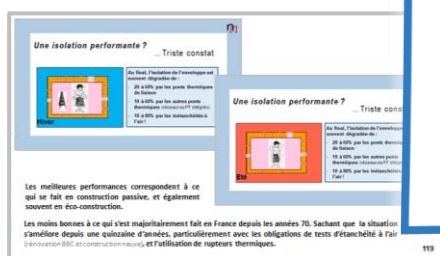
Les moins bonnes à ce qui s'est majoritairement fait en France depuis les années 70. Sachant que la situation s'améliore depuis une quinzaine d'années, particulièrement avec les obligations de tests d'étanchéité à l'air (rénovation BBC, passif, construction neuve...), et l'utilisation de rupteurs thermiques.

121



Dans les personnes qui cherchent à savoir comment rénover le parc il y a plusieurs écoles. Entre autres une qui sait que le potentiel des isolants est bien supérieur aux performances qu'ils ont montrées depuis les années 70. (J'en fais partie)

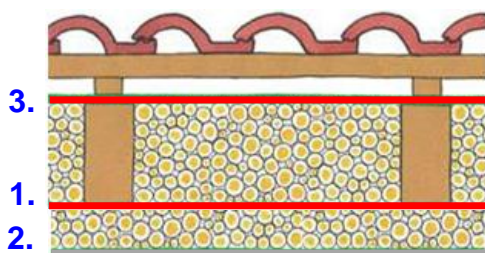
... et il y a celles et ceux qui ne l'ont pas encore réalisé, et qui de fait ne savent pas qu'une isolation bien choisie/bien posée fait faire une grosse partie du chemin pour atteindre le niveau BBC



122



Exemple d'évolution des pratiques



. Alors que ceci était demandé mais pas fait, nous avons réalisé l'importance d'avoir, côté intérieur, une **réelle étanchéité à l'air**.⁽¹⁾

. Puis, en plus de vouloir des **isolants denses** nous avons réalisé qu'il fallait **augmenter leur épaisseur** et **éviter les ossatures traversantes**. Ceci nous a donné l'occasion d'**éloigner l'étanchéité à l'air** des risques de dégradation.⁽²⁾

. Côté extérieur, une sécurité séduisante pour ne pas avoir de flux traversants est de profiter du pare-pluie pour avoir une **seconde étanchéité à l'air** (films pare-pluie collés, panneaux bouvetés...). Elle est appelée "protection au vent" pour la différencier de celle posée à l'intérieur.⁽³⁾

Dessin d'après Hervé Nallet (L'isolation thermique écologique)

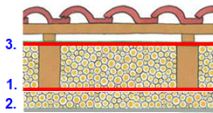
U/5 ???

123



Isolation thermique :
d'ici quelques années nous
réaliserons qu'il nous aura fallu
plus de 50 ans pour apprendre
à poser correctement
les isolants.

Exemple d'évolution des pratiques



. Alors que ceci était demandé mais pas fait, nous avons réalisé l'importance d'avoir, côté intérieur, une **réelle étanchéité à l'air**. (1)
 . Puis, en plus de vouloir des **isolants denses** nous avons réalisé qu'il fallait **augmenter leur épaisseur et éviter les ossatures traversantes**. Ceci nous a donné l'occasion d'éloigner l'**étanchéité à l'air** des risques de dégradation. (2)
 . Côté extérieur, profiter du pare-pluie pour avoir une **seconde étanchéité à l'air** (films pare-pluie collés, panneaux bouvetés...), appelée "protection au vent" pour la différencier de celle posée à l'intérieur, est une seconde sécurité séduisante pour ne pas avoir de flux traversants. (3)

Dessin d'après Hervé Hallet (L'isolation thermique écologique)

125

124



Une isolation performante ?

- Une isolation qui permet des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit une isolation :
 - conséquente
 - générant très peu de ponts thermiques
 - accompagnée d'une réelle étanchéité à l'air
 - **composant judicieusement avec l'inertie**
 - pérenne

129



SOMMAIRE

Journée 1 de 2

1. Intro (Thermique - Confort thermique
- L'environnement en nouvel enjeu)
2. Une isolation performante
- 3. Focus "Inertie"**
4. Focus "Humidité"

+ *Ressources, échanges
& Annexes*

131



***L'inertie,
c'est quoi ?***

132



L'inertie thermique

Deux grandeurs pour comprendre/expliquer l'inertie thermique :

- l'inertie intérieure (ou capacité thermique intérieure)
- l'inertie de transmission (ou capacité thermique totale)

133



L'inertie thermique

Deux grandeurs pour comprendre/expliquer l'inertie thermique :

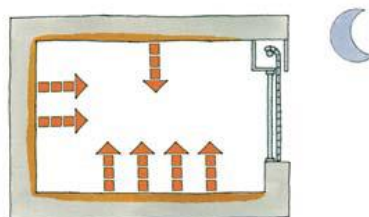
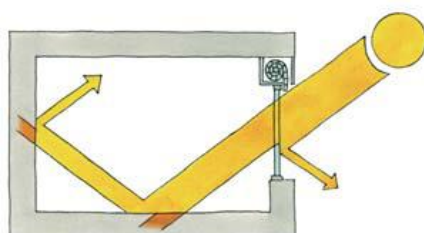
- **l'inertie intérieure** (ou capacité thermique intérieure)
- l'inertie de transmission (ou capacité thermique totale)

134

Dessin Hervé Nallet (L'isolation thermique écologique)

1. L'inertie thermique intérieure

(ou capacité thermique intérieure)



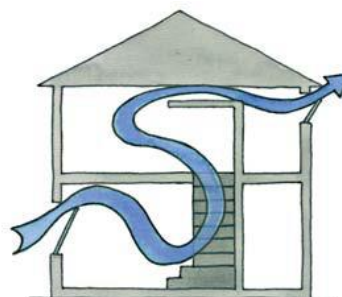
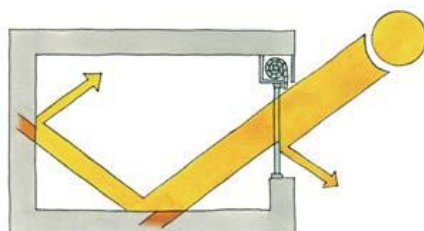
C'est un des éléments de base du bioclimatisme... mais attention, ce comportement n'est pas toujours recherché. On se posera par exemple la question de la pertinence de l'inertie pour des bâtiments utilisés de manière discontinue. De plus, toutes les pièces ne voient pas le soleil !

144

Dessin Hervé Nallet (L'isolation thermique écologique)

1. L'inertie thermique intérieure

(ou capacité thermique intérieure)

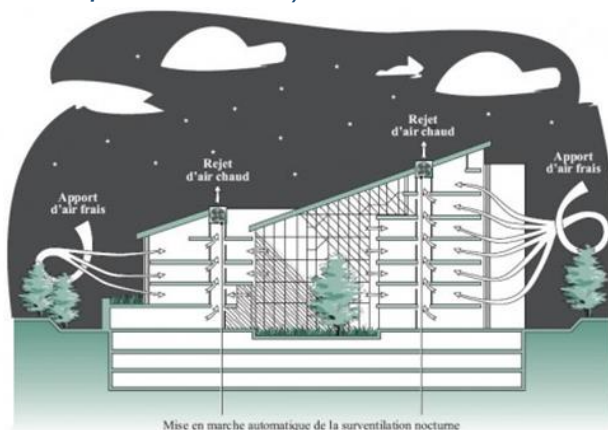
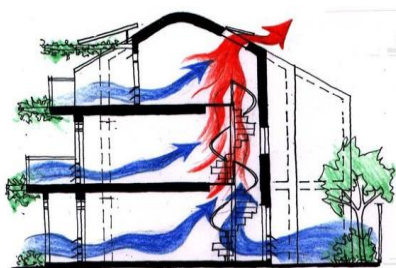


... La pertinence remarquée ici ne vaut donc réellement que si un rafraîchissement du bâtiment par sur-ventilation nocturne est possible.

148

1. L'inertie thermique intérieure

(ou capacité thermique intérieure)



Mise en marche automatique de la surventilation nocturne de 22 h à 9 h si la température extérieure < 23 °C

Surventilation nocturne d'été

150

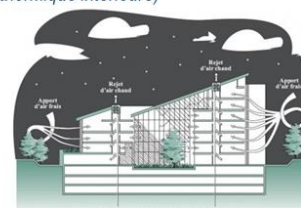
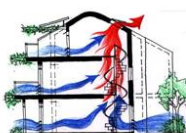
Dans les bâtiments étroits, traversants, sans risques d'intrusion et se situant dans des lieux à réelle chute de températures nocturne, la surventilation peut se résumer au simple choix d'oscillo-battants.

Dans les autres cas, une réflexion spécifique devra avoir lieu sur le sujet, qui nécessitera souvent la réalisation d'une étude fluide.

La surventilation nocturne, (night-cooling, voire free-cooling) demande des débits de l'ordre de 4 à 8 volume/heure. Elle ne se fait donc pas grâce à l'installation de ventilation hygiénique, dont les débits sont 10 à 20 fois moindres

1. L'inertie thermique intérieure

(ou capacité thermique intérieure)



Mise en marche automatique de la surventilation nocturne de 22 h à 9 h si la température extérieure < 23 °C

Surventilation nocturne d'été

139

151

Excepté quelques fois en tertiaire avec une VMC double flux pour laquelle on peut dans certains cas prévoir des débits forts, pouvant atteindre voire dépasser les 2 volumes/heure. Dans ce cas le système de VMC pourra intervenir de manière non anecdotique dans le rafraîchissement nocturne.

simple choix d'oscillo-battants.

Dans les autres cas, une réflexion spécifique devra avoir lieu sur le sujet, qui nécessitera souvent la réalisation d'une étude fluide.

La surventilation nocturne, (night-cooling, voire free-cooling) demande des débits de l'ordre de 4 à 8 volume/heure. Elle ne se fait donc pas grâce à l'installation de ventilation hygiénique, dont les débits sont 5 à 10 fois moindres

1. L'inertie thermique intérieure

(ou capacité thermique intérieure)



146

152

1. L'inertie thermique intérieure

(ou capacité thermique intérieure)

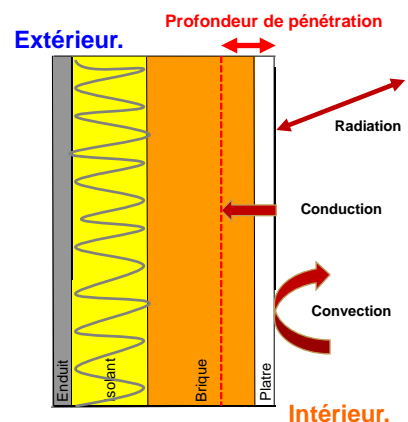
Grandeur faisant référence à la quantité de chaleur pouvant interagir avec l'air intérieur sur une période donnée.

Elle dépend de la masse, de la chaleur spécifique et de la diffusivité des matériaux, ainsi que de l'état de surface des parements (couleur, rugosité...).

Elle s'exprime en $\text{Wh/m}^2\text{K}$, généralement pour une période de :

- **1 jour.** On parle d'inertie intérieure (ou CTI) **quotidienne**
- **12 jours.** On parle d'inertie intérieure (ou CTI) **séquentielle**

Note : la CTI ou « inertie intérieure », est quelques fois appelée « inertie de stockage / déstockage ». De plus, elle peut être accompagnée des adjectifs "utile", ou "efficace". Elle se calcule selon la norme NF EN ISO 13786



153

1. L'inertie thermique intérieure

(ou capacité thermique intérieure)

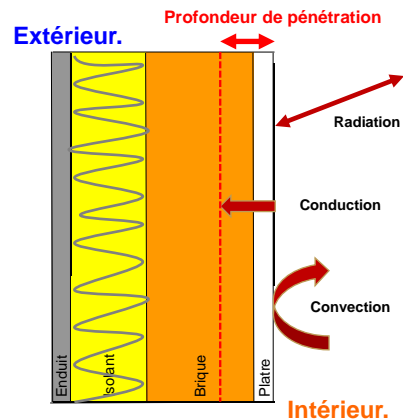
Grandeur faisant référence à la quantité de chaleur pouvant interagir avec l'air intérieur sur une période donnée.

Elle dépend de la masse, de la chaleur spécifique et de la diffusivité des matériaux, ainsi que de l'état de surface des parements (couleur, rugosité...).

Elle s'exprime en $\text{Wh/m}^2\text{K}$, généralement pour une période de :

- **1 jour.** On parle d'inertie intérieure (ou CTI) **quotidienne**
- **12 jours.** On parle d'inertie intérieure (ou CTI) **séquentielle**

Note : la CTI ou « inertie intérieure », est quelques fois appelée « inertie de stockage / déstockage ». De plus, elle peut être accompagnée des adjectifs "utile", ou "efficace". Elle se calcule selon la norme NF EN ISO 13786

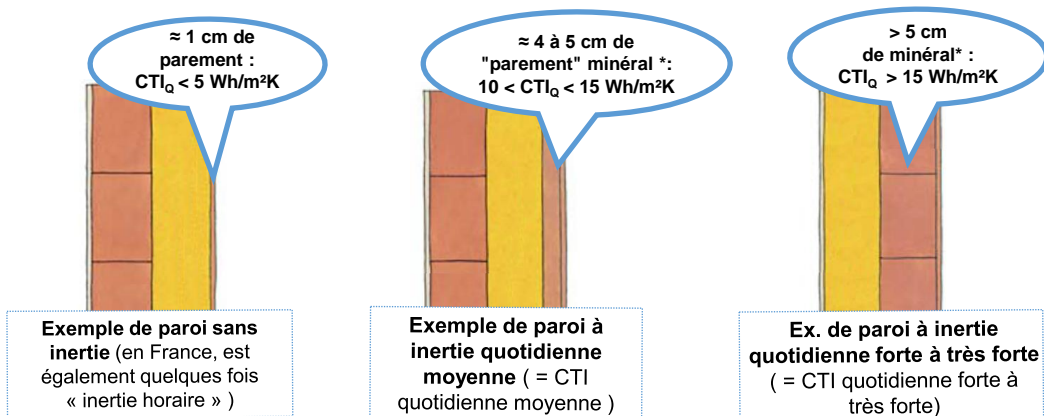


154

1. L'inertie thermique intérieure

1.a. L'inertie intérieure (ou CTI) quotidienne

Dessin Hervé Nallet (L'isolation thermique écologique)



* Béton, pierres, terre crue, terre cuite, enduit minéraux non allégés...

155



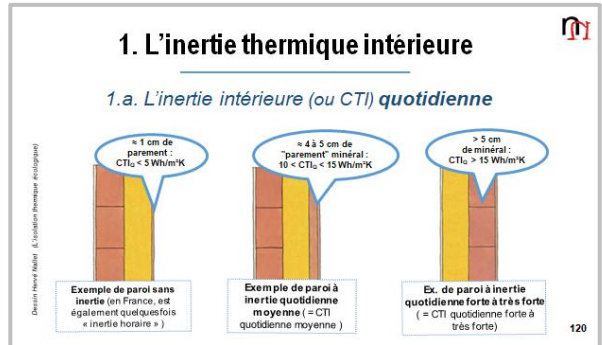
1 L'inertie thermique intérieure

Inertie thermique intérieure (CTI) quotidienne. Inertie (ou CTI) quotidienne

Avoir en parement intérieur 4 à 5 cm de matériaux "lourds" est une réelle sécurité quant au confort d'été*

C'est également un gage de performance en hiver pour les pièces ouvertes au soleil.

* Sous condition d'une sur-ventilation nocturne (night-cooling / free-cooling) efficiente



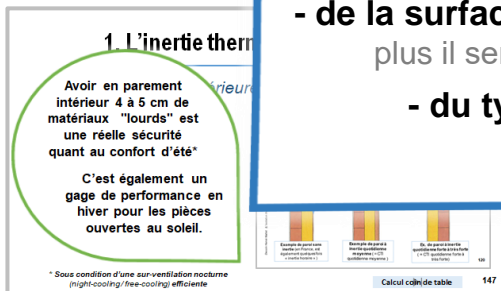
Calcul coin de table

156



Si le comportement estival des pièces à inertie thermique intérieure quotidienne est toujours séduisant, l'intérêt pour l'hiver dépendra :

- de l'orientation des espaces concernés (par exemple, inutile de chercher à optimiser le captage solaire d'une pièce orientée au nord) ;
- de la surface des baies vitrées (plus elle sera grande, plus il sera séduisant de composer avec l'inertie)
- du type d'utilisation (plutôt continue ou par réelles intermittences ?...)



158

Calcul "coin de table"



Inertie thermique intérieure quotidienne

- Pour des pièces pour lesquelles les incidences d'une inertie thermique quotidienne sont recherchées, nous serons tentés par des valeurs de l'ordre **de 35 à 40 Wh/m  K minimum***, sachant que :
 - ✓ plus elle est répartie sur l'ensemble des parois, plus son incidence est réelle
 - ✓ il lui faut être en priorité sur les surfaces recevant le soleil, ou sur celles aisément refroidies par les flux d'air nocturne
 - ✓ l'aspect sombre et rugueux des parements augmente les échanges thermiques
- **Pour calculer la CTI d'un m   de paroi** : voir norme ISO 13786 et/ou parois type en annexe.
- **Pour calculer la CTI d'une pièce** : on multiplie la CTI de chaque paroi par leur surface, on additionne l'ensemble des parois de la pièce que l'on divise par la surface de plancher.

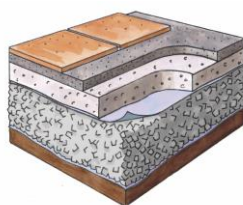
** Valeur moyenne pour une ouverture au soleil de 20 à 30 % de la surface au sol des façades SE    SO, 10 à 13% pour les autres, sachant que plus nous aurons de surfaces vitrées, plus il faudra de l'inertie pour un comportement similaire des espaces*

159

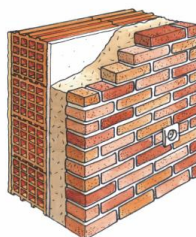
Calcul "coin de table"



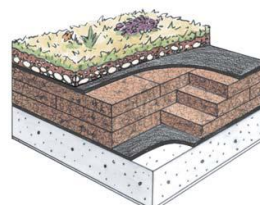
Inertie thermique intérieure quotidienne

**Sol :**

CTI quotidienne :
17 Wh/m  K
Surface : 35 m  

**Mur :**

CTI quotidienne :
21 Wh/m  K
Surface : 45 m  

**Plafond :**

CTI quotidienne :
25 Wh/m  K
Surface : 35 m  

$$= ((35 \times 17) + (45 \times 21) + (35 \times 25)) / 35 \text{ soit } 69 \text{ Wh/m  K}$$

161

Rappel

1. L'inertie thermique intérieure

(ou capacité thermique intérieure)

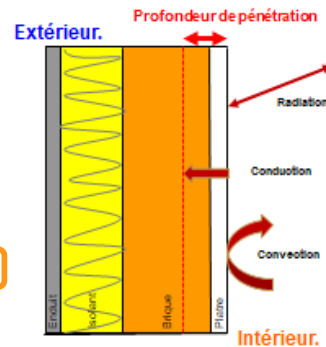
Grandeur faisant référence à la quantité de chaleur pouvant interagir avec l'air intérieur sur une période donnée.

Elle dépend de la masse, de la chaleur spécifique et de la diffusivité des matériaux, ainsi que de l'état de surface des parements (rugosité...).

Elle s'exprime en $\text{Wh/m}^2\text{K}$, généralement pour une période de :

- 1 jour. On parle d'inertie intérieure (ou CTI) quotidienne
- 12 jours. On parle d'inertie intérieure (ou CTI) séquentielle

Note : la CTI ou « inertie intérieure », est quelques fois appelée « inertie de stockage / déstockage ». De plus, elle peut être accompagnée des adjectifs "utile", ou "efficace". Elle se calcule selon la norme NF EN ISO 13786



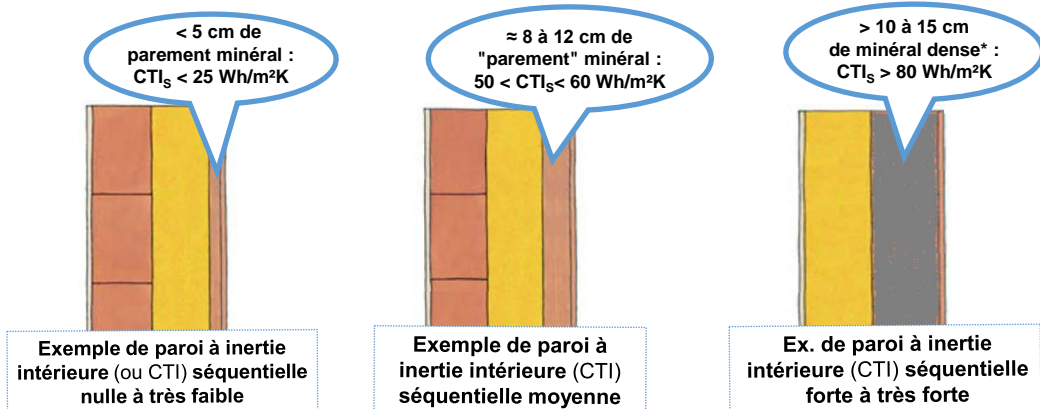
118

162

1. L'inertie thermique intérieure

1.b. L'inertie intérieure (ou CTI) séquentielle

Dessin Hervé Nallet (L'isolation thermique écologique)



* Béton, pierre dense ou terre crue. (On exclut donc là les éléments de terre cuite, insuffisamment denses)

163



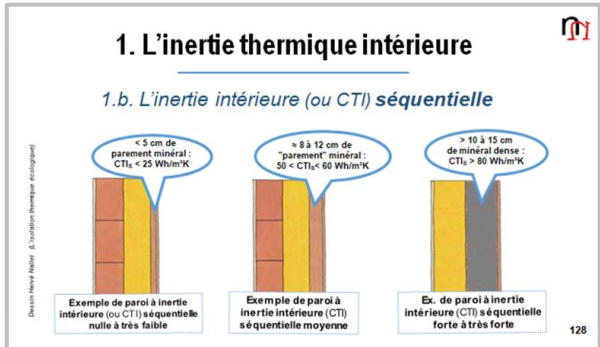
1 L'inertie thermique intérieure

Inertie thermique intérieure (CTI) séquentielle. Inertie (ou CTI) séquentielle

Avoir en parement plus de 10 cm de matériaux lourds est une réelle sécurité quant au confort d'été, et ce malgré qq jours de canicule*

En hiver, cela permet de retrouver un intérieur encore tempéré après qq. jours sans chauffage.

* Sous condition d'une sur-ventilation nocturne (night-cooling / free-cooling) efficace



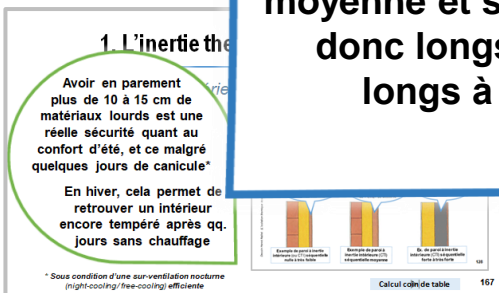
Calcul coin de table

165



Avoir des espaces moins sensibles aux canicules et/ou moins dépendants d'un système de chauffage continu ne semble pas encore faire partie des préoccupations exprimées, mais ceci ne va-t-il pas changer ?

Mais attention, les espaces à inertie séquentielle moyenne et surtout forte sont peu réactifs. Ils sont donc longs à monter à température l'hiver, et longs à descendre en température l'été, il faut en tenir compte !



166

Calcul "coin de table"



Inertie thermique intérieure séquentielle

- Pour des pièces pour lesquelles les incidences d'une inertie thermique séquentielle sont recherchées, nous serons tentés par des valeurs de l'ordre **de 200 à 250 Wh/m  K minimum***, sachant que :
 - ✓ plus elle est répartie sur l'ensemble des parois, plus son incidence est réelle
 - ✓ il lui faut être en priorité sur les surfaces recevant le soleil, ou sur celles aisément refroidies par les flux d'air nocturne
 - ✓ l'aspect sombre et rugueux des parements augmente les échanges thermiques
- **Pour calculer la CTI d'un m   de paroi** : voir norme ISO 13786 et/ou parois type en annexe.
- **Pour calculer la CTI d'une pièce** : on multiplie la CTI de chaque paroi par leur surface, on additionne l'ensemble des parois de la pièce que l'on divise par la surface de plancher.

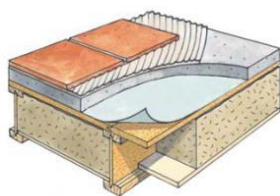
** Valeur moyenne pour une ouverture au soleil de 20 à 30 % de la surface au sol des façades SE    SO, 10 à 13% pour les autres, sachant que plus nous aurons de surfaces vitrées, plus il faudra de l'inertie pour un comportement similaire des espaces*

167

Calcul "coin de table"



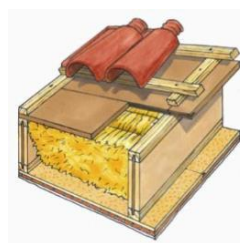
Inertie thermique intérieure quotidienne

**Sol :**

CTI quotidienne :
55 Wh/m  K
Surface : 35 m  

**Mur :**

CTI quotidienne :
29 Wh/m  K
Surface : 45 m  

**Plafond :**

CTI quotidienne :
29 Wh/m  K
Surface : 42 m  

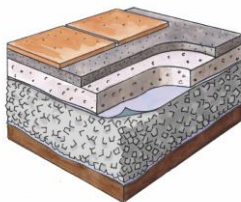
$$= ((35 \times 55) + (45 \times 29) + (42 \times 29)) / 35 \text{ soit } 127 \text{ Wh/m  K}$$

168

Calcul "coin de table"

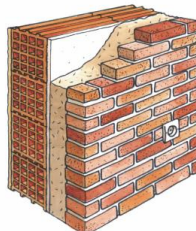


Inertie thermique intérieure quotidienne



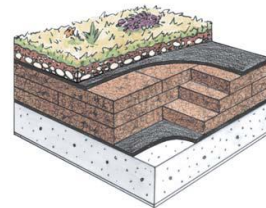
Sol :

CTI quotidienne :
95 Wh/m²K
Surface : 35 m²



Mur :

CTI quotidienne :
85 Wh/m²K
Surface : 45 m²



Plafond :

CTI quotidienne :
128 Wh/m²K
Surface : 35 m²

$$= ((35 \times 95) + (45 \times 85) + (35 \times 128)) / 35 \text{ soit } 332 \text{ Wh/m}^2\text{K}$$

Suite

169



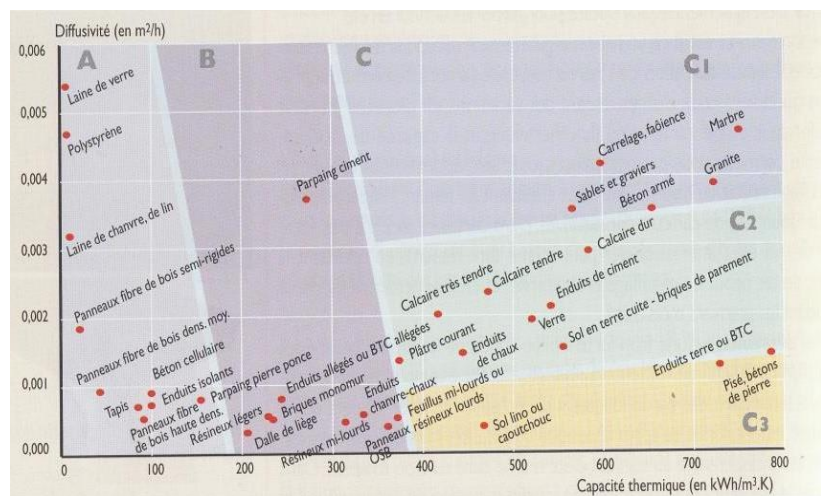
1. L'inertie thermique intérieure

Zone A : Matériaux non adaptés à la création d'inertie.

Zone B : Matériaux pouvant apporter un peu d'inertie.

Zones C : Matériaux adaptés à la création d'inertie intérieure :

- quotidienne. Dans des épaisseurs allant de 3 cm (C3) à 6 cm (C1) ;
- séquentielle. Dans des épaisseurs allant de 15 cm (C3) à 25 cm (C1).



171



1. L'inertie thermique intérieure

... en murs

Il y a le béton et la pierre... mais pas que !



Enduit terre



Panneau de terre



BTC devant panneau terre / roseau



Briques de terre comprimée (BTC)

172



1. L'inertie thermique intérieure

... en cloison

Il y a le béton plein... mais pas que !



Briques de terre crue (BTC...)



Briques silico-calcaire



Les cloisons lourdes ont l'avantage d'apporter de l'inertie dans les deux pièces contiguës !



Blocs de pierre sciés, pisé préfabriqué...

173



1. L'inertie thermique intérieure

... en plafond

Il y a le béton... mais pas que !



Panneaux terre cuite



Voutains en briques de terre crue



Et le plâtre sous dalle ?
Il enlève de la réactivité à la
masse que représente le béton...



174



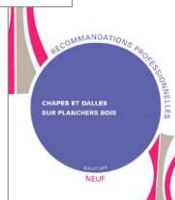
1. L'inertie thermique intérieure

... en plancher

Il y a le béton, le carrelage, la terre cuite... mais pas que !



Plancher collaborant
bois/béton



Panneaux de terre stabilisés

* Image active

175



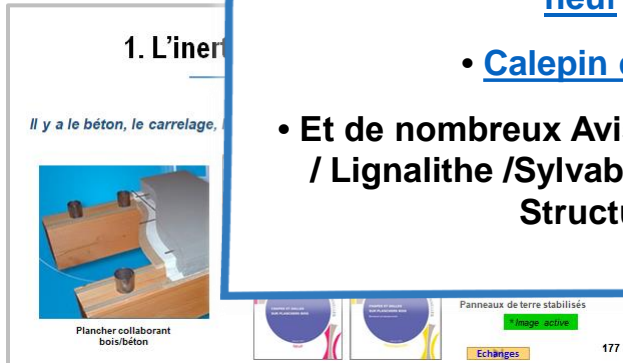
Plancher collaborant bois béton

(appelé également Plancher mixte bois béton)

- **Recommandations Professionnelles RAGE**
neuf et rénovation

- Calepin de chantier PACTE

- **Et de nombreux Avis Technique & DTA (AIA / SFS / Lignalithe / Sylvabat / Tecnaria / Concept Bois Structure / Incoperfil)**



* Liens actifs

176



L'inertie thermique

Deux grandeurs pour comprendre/expliquer l'inertie thermique :

- l'inertie intérieure (ou capacité thermique intérieure)
- **l'inertie de transmission** (ou capacité thermique totale)

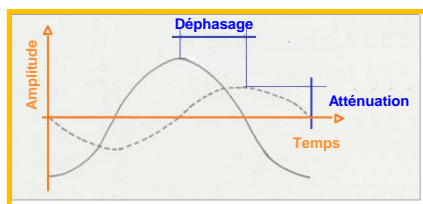
177

2. L'inertie thermique de transmission

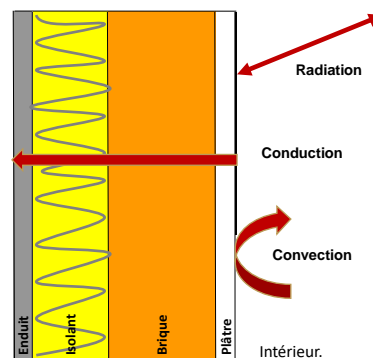
(ou capacité thermique totale)



La CTT fait référence à la quantité de calories pouvant être stockée par 1m^2 de paroi. (En $\text{Wh/m}^2\cdot\text{K}$, elle dépend de la masse volumique, de l'épaisseur et de la chaleur spécifique des matériaux)



L'inertie de transmission permet de calculer le **déphasage** (h) d'un flux de chaleur, et l'**atténuation de son amplitude** (%)



178

A quoi ça sert de connaître le déphasage du flux de chaleur et l'atténuation de son amplitude ?



179

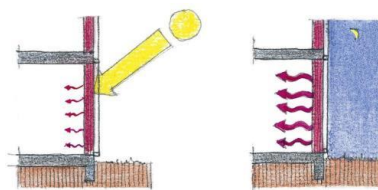
2. L'inertie thermique de transmission

(ou capacité thermique totale)

Composer avec l'inertie de transmission sert d'abord et avant tout à :

- dimensionner les murs capteurs et les murs de fonds de serre

Fonctionnement type
d'un mur capteur à



- comprendre le comportement des murs massifs*

* Murs épais, composés de matériaux lourds (pierre, béton...) et/ou à faible diffusivité (bois et terre principalement)

180

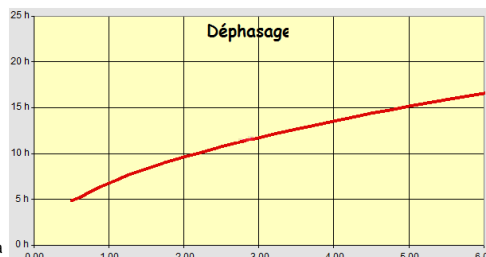
Calcul "coin de table"

Inertie thermique de transmission (CTT)

Calcul* pour un mur de pierres calcaires de 50 cm d'épaisseur :

$e = 0,50 \text{ m}$; $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; c (chaleur spécifique) : 1000 J/kgK

Constante de temps relative ($= R.C/86400$). (Rappels : $R = e/\lambda$ et $C = \rho \cdot c \cdot e$)



* D'après F-M Camia

182

Calcul "coin de table"



Inertie thermique de transmission (CTT)

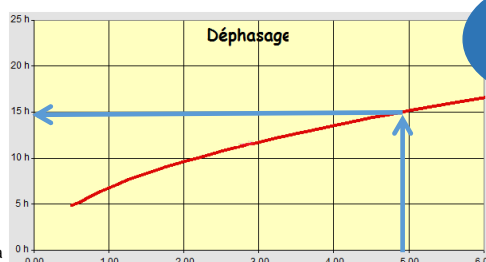
Calcul* pour un mur de pierres calcaires de 50 cm d'épaisseur :

$e = 0,50 \text{ m}$; $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; c (chaleur spécifique) : 1000 J/kgK

Constante de temps relative ($= R.C/86400$). (Rappels : $R = e/\lambda$ et $C = \rho \cdot c \cdot e$)

Constante de temps relative :
 $((0,13 + (0,50/2) + 0,04) \times (2000 \times 1000 \times 0,50)) / 86400$
 soit **4,86**

* D'après F-M Camia



Soit un déphasage de 15 h

184

Calcul "coin de table"



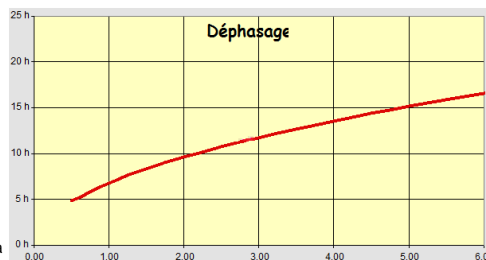
Inertie thermique de transmission (CTT)

Calcul* pour un mur de pierres calcaires de 25 cm d'épaisseur :

$e = 0,25 \text{ m}$; $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; c (chaleur spécifique) : 1000 J/kgK

Constante de temps relative ($= R.C/86400$). (Rappels : $R = e/\lambda$ et $C = \rho \cdot c \cdot e$)

* D'après F-M Camia



185

Calcul "coin de table"



Inertie thermique de transmission (CTT)

Calcul* pour un mur de pierres calcaires de 25 cm d'épaisseur :

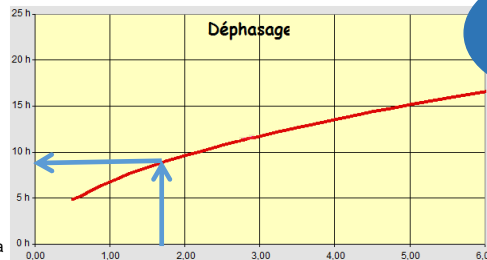
$e = 0,25 \text{ m}$; $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; c (chaleur spécifique) : 1000 J/kgK

Constante de temps relative ($= R.C/86400$). (Rappels : $R = e/\lambda$ et $C = \rho \cdot c \cdot e$)

Constante de temps relative :

$$((0,13 + (0,25/2) + 0,04) \times (2000 \times 1000 \times 0,25)) / 86400$$

soit **1,71**



Soit un déphasage de 9 h

* D'après F-M Camia

186

C'est une des clés pour comprendre :

- l'incidence des parois lourdes vis-à-vis du confort d'été
- pourquoi les murs massifs recevant le soleil sont moins déperditifs que ce que nous en dit la thermique statique (calculs RT, DPE...)

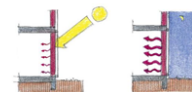
2. L'inertie thermique de transmission

(ou capacité thermique totale)

Composer avec l'inertie de transmission sert d'abord et avant tout à :

- dimensionner les murs capteurs et "fonds de serre"

Fonctionnement type d'un mur capteur à



- comprendre le comportement des murs massifs*

* Murs épais, composés de matériels lourds (pierre, béton...) et/ou à faible diffusivité (bois et terre principalement)

134

Murs massifs

Confort d'été

188



**C'est une des clés
pour comprendre :**

**- l'incidence des parois lourdes
vis-à-vis du confort d'été**

- pourquoi les murs massifs
recevant le soleil sont moins
déperditifs que ce que nous en
dit la thermique statique
(calculs RT, DPE...)

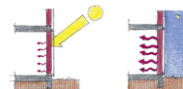
2. L'inertie thermique de transmission

(ou capacité thermique totale)

Composer avec l'inertie de transmission sert d'abord et avant tout à :

- dimensionner les murs capteurs et "fonds de serre"

Fonctionnement type
d'un mur capteur →



- comprendre le comportement des murs massifs*

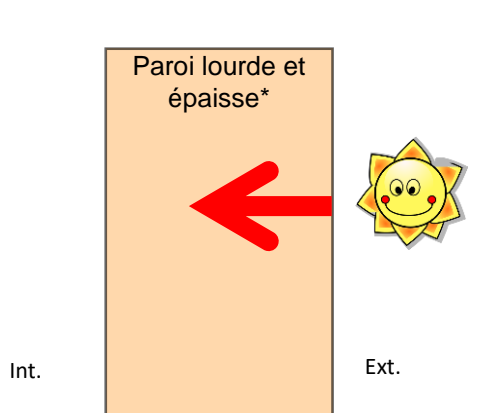
*Murs épais, composés de matériaux lourds (pierre, béton...) et/ou à faible diffusivité (bois et terre principalement)

134

190



Comportement des murs massifs en été

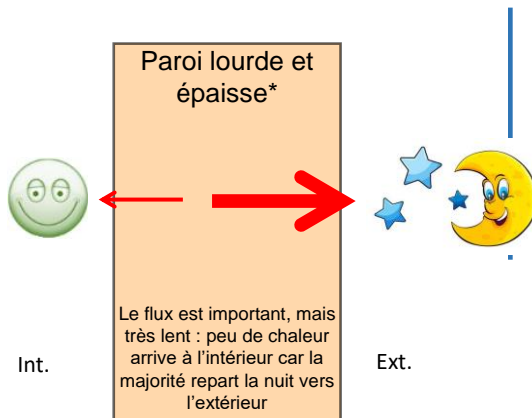


*à forte "inertie de transmission" ou "capacité thermique totale"

191



Comportement des murs massifs en été



C'est ce que nous avons avec des gros murs maçonnés, mais également avec les toitures terrasses végétalisées, où là de plus nous profitons de l'évapotranspiration du végétal

*à forte "inertie de transmission" ou "capacité thermique totale"

192



C'est une des clés pour comprendre :

- l'incidence des parois lourdes vis-à-vis du confort d'été
- pourquoi les murs massifs recevant le soleil sont moins déperditifs que ce que nous en dit la thermique statique (calculs RT, DPE...)

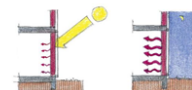
2. L'inertie thermique de transmission

(ou capacité thermique totale)

Composer avec l'inertie de transmission sert d'abord et avant tout à :

- dimensionner les murs capteurs et "fonds de serre"

Fonctionnement type d'un mur capteur →



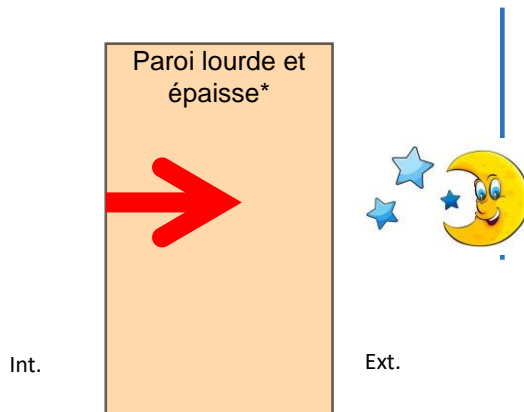
- comprendre le comportement des murs massifs*

*Murs épais, composés de matériaux lourds (pierre, béton...) et/ou à faible diffusivité (bois et terre principalement)

134

193

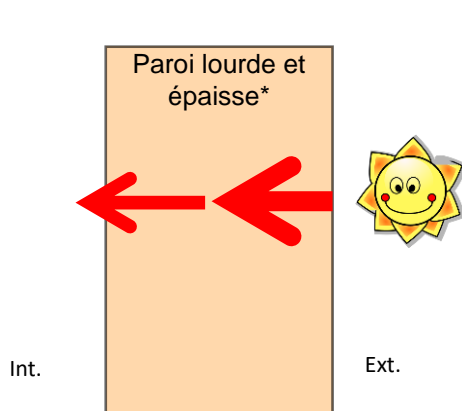
Comportement du mur massif ^{sud} en hiver



*à forte "inertie de transmission" ou "capacité thermique totale"

194

Comportement du mur massif ^{sud} en hiver



Lors des journées ensoleillées, le mur massif sud fonctionne comme un mur capteur.

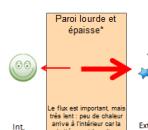
Dans certains cas/certaines régions, il pourra être aussi capteur que déperditif sur l'hiver

*à forte "inertie de transmission" ou "capacité thermique totale"

195



Comportement des murs massifs en été



C'est ce que nous avons avec des gros murs maçonnés, mais également avec les toitures terrasses végétalisées, où là de plus nous profitons de l'évapotranspiration du végétal

"à forte "perte de transmission" ou "l'apacité thermique totale"

176

Comportement du mur massif en hiver



Lors des journées ensoleillées, le mur massif sud fonctionne comme un mur capteur.

Dans certains cas/certaines régions, il pourra être aussi capteur que déperditif sur l'hiver

"à forte "perte de transmission" ou "l'apacité thermique totale"

179

Ce fonctionnement, décrit entre autres dans un article de Jean-Pierre Moya ([lien](#)), est encore augmenté avec la terre crue, matériau hygroscopique.

Néanmoins, cette reconnaissance du bilan réel des murs massifs ne remet pas en question la pertinence de les isoler, excepté éventuellement certains murs sud.

196



Les vendeurs d'isolants biosourcés denses parlent de déphasage du flux de chaleur pour vanter leurs produits.

... Et ces derniers seraient particulièrement performants en été, contrairement aux isolants conventionnels (laine minérale, PSE...)

198

Calcul "coin de table"



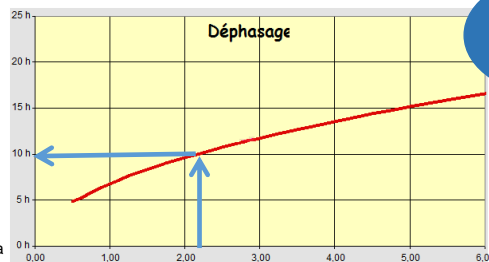
Inertie thermique de transmission (CTT)

Calcul* pour une isolation en ouate de cellulose de 35 cm :

$e = 0,35 \text{ m}$; $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$; c (chaleur spécifique) : 2000 J/kgK
 Constante de temps relative ($= R.C/86400$). (Rappels : $R = R_{se} + e/\lambda + R_{si}$ et $C = \rho \cdot c \cdot e$)

Constante de temps relative :
 $((0,13 + (0,35/0,04) + 0,04) \times (30 \times 2000 \times 0,35))/86400$
 soit **2,17**

* D'après F-M Camia



Soit un déphasage de 10 h

200

Calcul "coin de table"



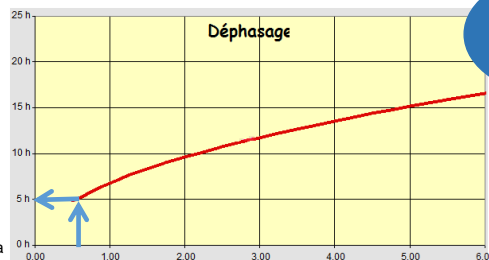
Inertie thermique de transmission (CTT)

Calcul* pour une isolation en laine minérale de 35 cm :

$e = 0,35 \text{ m}$; $\rho = 17 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$; c (chaleur spécifique) : 900 J/kgK
 Constante de temps relative ($= R.C/86400$). (Rappels : $R = R_{se} + e/\lambda + R_{si}$ et $C = \rho \cdot c \cdot e$)

Constante de temps relative :
 $((0,13 + (0,35/0,035) + 0,04) \times (17 \times 900 \times 0,35))/86400$
 soit **0,63**

* D'après F-M Camia



Soit un déphasage de 5 h

202

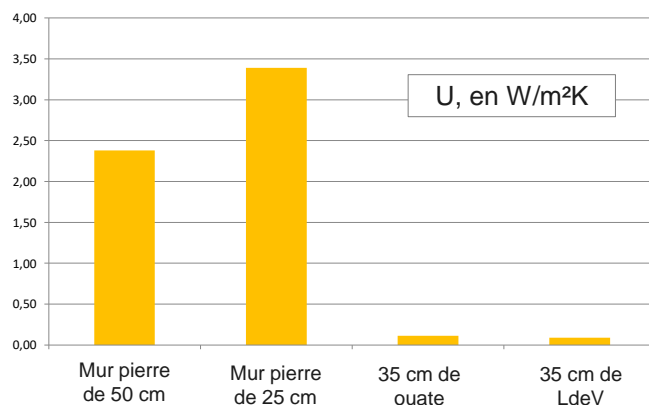


**Génial : je sais
calculer un déphasage,
et je réalise que les
biosourcés denses
"déphasent"
effectivement plus que
les isolants
conventionnels peu
denses !!!**

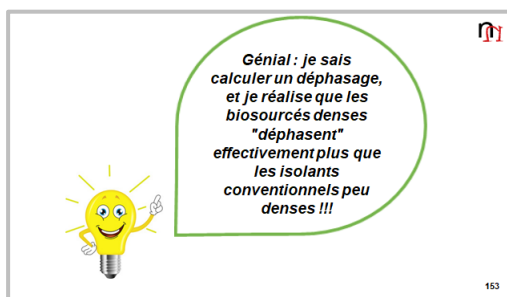
203



**Rappel : la principale valeur permettant de renseigner la quantité
d'énergie pouvant traverser une paroi est sa conductance th° "U"**



204



153

→ S'il est vrai que les isolants biosourcés denses déphasent plus le flux de chaleur, il ne faut pas oublier que normalement*, une paroi fortement isolée laisse traverser très peu de calories

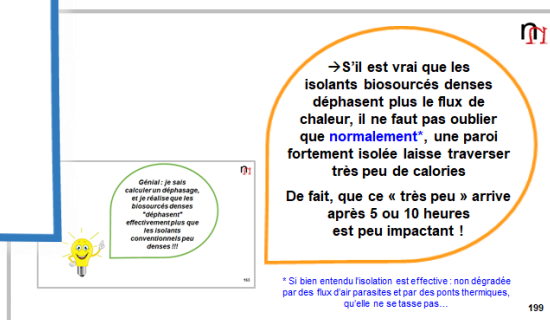
De fait, que ce « très peu » arrive après 5 ou 10 heures est relativem.^t peu impactant.

* Si bien entendu l'isolation est effective : non dégradée par des flux d'air parasites et par des ponts thermiques, qu'elle ne se tasse pas...

205



Pour l'instant les chantiers d'éco-construction sont majoritairement réalisés avec soin, contrairement à la majorité des mises en œuvre d'isolants conventionnels. De plus le lambda des BS est moins dégradé que celui des isolants conventionnels lorsque leur température augmente. De fait les retours de terrain confirment l'info comme quoi les isolants BS sont beaucoup plus performants l'été !



199

→ S'il est vrai que les isolants biosourcés denses déphasent plus le flux de chaleur, il ne faut pas oublier que normalement*, une paroi fortement isolée laisse traverser très peu de calories

De fait, que ce « très peu » arrive après 5 ou 10 heures est peu impactant !

* Si bien entendu l'isolation est effective : non dégradée par des flux d'air parasites et par des ponts thermiques, qu'elle ne se tasse pas...

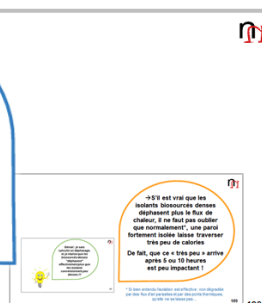
207



Si l'utilisation d'isolants à "forte" capacité thermique (biosourcés denses) peut influencer sur le confort d'été, c'est surtout sur les parois non massives, non fortement isolées et/ou ayant une isolation non effective (particulièrement les parois bois sans réelle étanchéité à l'air)

Le flux de chaleur ? On cherche désormais à le limiter par l'isolation. Mais avant l'aire des isolants, entre autres pistes, on cherchait à le déphaser, ce que font les parois lourdes.

Pour l'instant les chantiers d'éco-construction sont majoritairement réalisés avec soin, contrairement à la majorité des mises en œuvre isolants conventionnels. De fait les retours de terrain confirment l'info comme quoi les isolants biosourcés denses sont beaucoup plus performants l'été !



208



Si, avec une isolation correctement réalisée composer avec le déphasage des fortes isolations joue dans la marge, qu'elles sont les principales pistes permettant de lutter contre les risques de surchauffes ?



→ S'il est vrai que les isolants biosourcés denses déphasent plus le flux de chaleur, il ne faut pas oublier que **normalement***, une paroi fortement isolée laisse traverser très peu de calories
De fait, que ce « très peu » arrive après 5 ou 10 heures est peu impactant !

* Si bien entendu l'isolation est effective : non dégradée par des flux d'air parasites et par des ponts thermiques, qu'elle ne se tasse pas...

199

209




**Si composer
avec le déphasage des
fortes isolations influe
secondairement, quelles
sont les principales
pistes permettant de
lutter contre les risques
de surchauffes ?**

210



Le confort d'été ?

Avoir des parois fortement isolées* (env. $U \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ en toiture, et $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ en mur) **et/ou des parois massives** (lourdes et épaisses) **est réellement impactant sur le confort d'été, mais également :**

- **installer des protections solaires** (et ce côté extérieur du vitrage)
- **ajuster/limiter la surface des baies vitrées** (éventuellement choisir des vitrages spéciaux) 
- **aménager les abords** (végétalisation, plan d'eau...)
- **avoir des parements intérieurs lourds**
- **surventiler la nuit** (on parle de night-cooling ou free-cooling)
- **proposer une surventilation des parements exposés au soleil**

* Si bien entendu l'isolation est effective : non dégradée par des flux d'air parasites... (Cf. Chapitre « Isolation »)

212



Confort d'été

Même si certaines équipes de conception, aidées de STD (simulation thermique dynamique) se permettent de sortir des proportions courantes, on trouve souvent un seuil maxi de 15 à 20% de surfaces vitrées*, dont au moins 40% sur la façade sud.

* Surface baies en pourcentage de la surface habitable

Le confort d'été

Si avoir une paroi fortement isolée (env. $U \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ en toiture*, et $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ en mur*) et/ou des parois massives (lourdes et épaisses) est réellement impactant sur le confort d'été, il faudra également veiller à :

- installer des protections solaires (et ce côté extérieur du vitrage)
- **ajuster/limiter la surface des baies vitrées** (éventuellement choisir des vitrages spéciaux)
- aménager les abords (végétalisation, plan d'eau...)
- avoir des parements intérieurs lourds
- surventiler la nuit (on parle de night-cooling ou free-cooling)
- proposer une surventilation des parements exposés au soleil

* Si bien entendu l'isolation est effective : non dégradée par des flux d'air parasites...

208

213



Le confort d'été ?

Avoir des parois fortement isolées* (env. $U \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ en toiture, et $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ en mur) et/ou des parois massives (lourdes et épaisses) est réellement impactant sur le confort d'été, mais également :

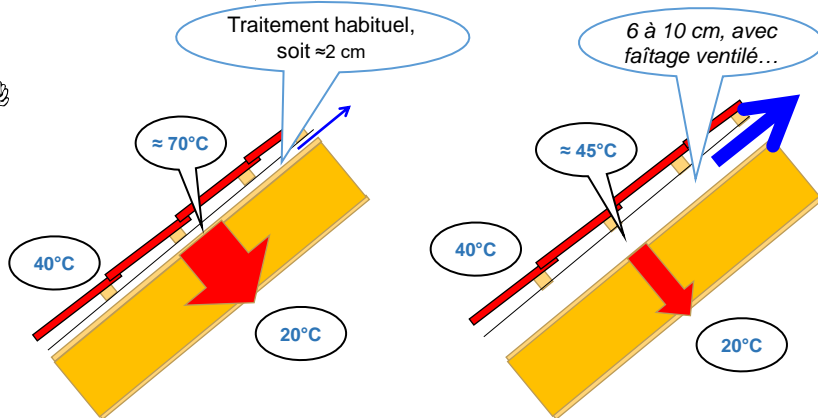
- installer des protections solaires (et ce côté extérieur du vitrage)
- ajuster/limiter la surface des baies vitrées (éventuellement choisir des vitrages spéciaux)
- aménager les abords (végétalisation, plan d'eau...)
- avoir des parements intérieurs lourds
- surventiler la nuit (on parle de night-cooling ou free-cooling)
- **proposer une surventilation des parements exposés au soleil**

* Si bien entendu l'isolation est effective : non dégradée par des flux d'air parasites... (Cf. Chapitre « Isolation »)

214



... La pertinence de sur-ventiler les parements exposés au soleil d'été !



Situation pouvant correspondre à un milieu de matinée en été après une nuit fraîche

→ Le flux de chaleur étant proportionnel à la différence de température de part et d'autre, le complexe de gauche laisse passer 2 fois plus de calories que celui, identique, de droite.

216

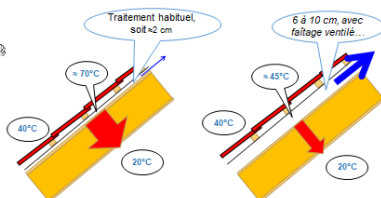


En fait, le flux thermique est plus de 2 fois moindre côté droit car le pouvoir isolant des matériaux baisse lorsque la température s'élève*.

Par exemple pour une laine minérale ayant un λ de 0,034 à 0°C, il est alors de l'ordre de 0,054 W/mK à 80°C.



... La pertinence de sur-ventiler les parements exposés au soleil d'été !



→ Le flux de chaleur étant proportionnel à la différence de température de part et d'autre, le complexe de gauche laisse passer 2 fois plus de calories que celui, identique, de droite.

216

* Cette dégradation du pouvoir isolant est plus importante avec les matériaux conventionnels (laine minérale, PSE, PUR...) car non hygroscopiques, contrairement aux isolants biosourcés.

217



« Simplement : on met le bâtiment à l'ombre ! »

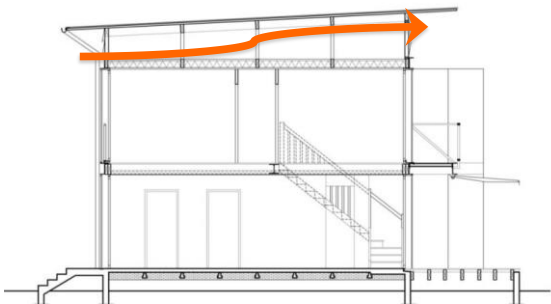
Jean-Marie Haquette, archipentier, Arcanne



Le "toit parasol" antillais



Pose de cellules photovoltaïques sur toiture terrasse :



Aline Hannouz & Fabrice Janneau architectes
Les Floribondas - 15 logements PLS à Cannes La Bocca



... ou le grenier laissé en espace tampon



220



Le confort d'été



Le confort d'été

Si avoir une paroi fortement isolée (env. $U \leq 0,12$ en toiture*, $0,20$ en mur*) et/ou des parois lourdes et épaisses est réellement impactant sur le confort d'été, il faudra également veiller à :

- installer des protections solaires (et ce côté extérieur du vitrage)
- ajuster/limiter la surface des baies vitrées (éventuellement choisir des vitrages spéciaux)
- aménager les abords (végétalisation, plan d'eau...)
- avoir des parements intérieurs lourds
- surventiler la nuit (on parle de night-cooling ou free-cooling)
- proposer une surventilation des parements exposés au soleil

* Si bien entendu l'isolation est effective : non dégradée par des flux d'air parasites...

179



Premier ouvrage pour rentrer sur le sujet.

Y accéder en cliquant sur l'image.

221



La norme ISO 13786 citée dans le chapitre sur l'inertie intérieure propose 2 types de calculs : un tenant compte des résistances superficielles, l'autre ne les estimant pas.

Le choix fait par l'ICEB différant de celui que nous avons retenu dans le chapitre « inertie » de ce diaporama, les valeurs de chaque document ne sont pas comparables. De fait, les valeurs proposées en référence dans notre calcul « coin de table » ne sont pas transposables à celles laissées dans ce document de l'ICEB.



222



**« ... Vous avez
besoin d'une clim ?
Mettez votre architecte
à la porte ! »**



Jean-Pierre OLIVA

223



Une isolation performante ?

- Une isolation qui permet des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit une isolation :
 - conséquente
 - générant très peu de ponts thermiques
 - accompagnée d'une réelle étanchéité à l'air
 - composant judicieusement avec l'inertie
 - **pérenne**

Humidité dans les parois

224



Une isolation pérenne

- Sensibilité au vieillissement
- Sensibilité aux tassements
- Sensibilité aux insectes et aux rongeurs
- Sensibilité au feu
- Sensibilité à l'humidité...



Protection anti-termites



Mauvais vieillissement d'isolant



Essai au feu (CSTB 2009) pour paroi d'école en ossature bois isolés de paille

225



Une isolation pérenne

Sur ces sujets, si les caractéristiques propres du matériau comptent (sensibilité à l'humidité, au feu, aux rongeurs...), c'est également

- la densité du produit mis en œuvre ;
- la possibilité de le fixer mécaniquement ;
- le type et la qualité des parements et matériaux contigus ;
- la qualité de mise en œuvre ;
- et l'entretien qui feront la différence.

226



Une isolation pérenne

- Sensibilité au vieillissement
- Sensibilité aux tassements
- Sensibilité aux insectes et rongeurs
- Sensibilité au feu
- Sensibilité à l'humidité...

En adaptation au changement climatique : mise en place systématique d'une protection anti-termite ! (= Quel que soit le lieu d'implantation du projet)



Protection anti-termite



Mauvais vieillissement d'isolant



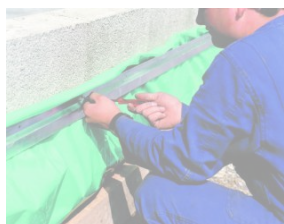
Essai au feu (CSTB 2009) pour paroi d'école en ossature bois isolés de paille

227

Une isolation pérenne

- Sensibilité au vieillissement
- Sensibilité aux tassements
- Sensibilité aux insectes et aux rongeurs
- Sensibilité au feu
- Sensibilité à l'humidité...

Pour limiter les risques de tassement, choisir des isolants denses et/ou que l'on peut fixer mécaniquement. Et faire le choix de parements limitant les risques d'intrusion des rongeurs et insectes.



Protection anti-termites



Mauvais vieillissement d'isolant



Essai au feu (CSTB 2009) pour paroi d'école en ossature bois isolés de paille

228

La législation incendie a récemment évolué. Construire en bois et utiliser des matériaux biosourcés est désormais plus aisé. Pour faire le point sur le sujet : [conférences Olivier Gaujard / Fibois ARA été 2020](#) (lien actif vers vidéos)



Protection anti-termites



Mauvais vieillissement d'isolant



Essai au feu (CSTB 2009) pour paroi d'école en ossature bois isolés de paille

229



Savoir si un matériau est adapté à tel support, telle mise en œuvre... correspond au premier critère de choix à avoir. Sur le sujet on trouvera les expressions « Adaptation à l'usage », « Domaine d'application »...

(Voir chapitre "Critères de choix des isolants" en annexe)



Une isolation pérenne

Sur ces sujets, si les caractéristiques propres du matériau comptent (sensibilité à l'humidité, au feu, aux rongeurs...), c'est également

- la densité du produit mis en œuvre ;
- la possibilité de le fixer mécaniquement ;
- le type et la qualité des parements et matériaux contigus ;
- la qualité de mise en œuvre ;
- et l'entretien qui feront la différence.

224

230



SOMMAIRE

Journée 1 de 2

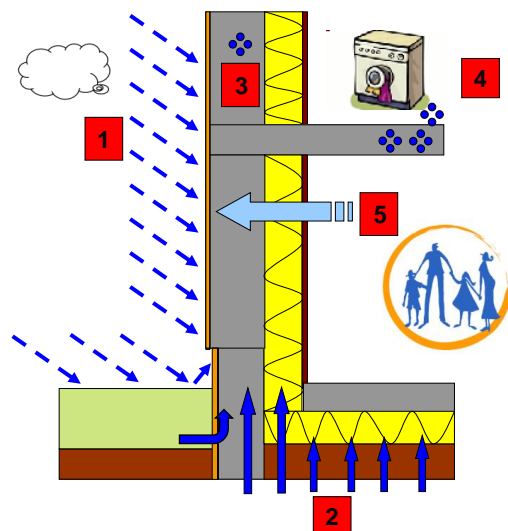
1. Thermique - Notions de base
Le confort thermique
L'environnement en nouvel enjeu
2. Une isolation performante
3. Focus "Inertie"
4. **Focus "Humidité"**

+ Ressources, échanges
& Annexes

232



Quelles sont les sources d'humidité ?



1. Pluie
2. Remontées capillaires
3. Eau contenue dans les matériaux
4. Inondation & accidents domestiques
5. Vapeur d'eau

233



T* : [lien internet actif](#)

234

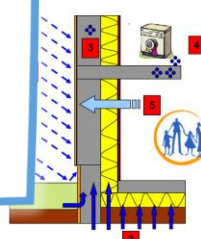


Se protéger de l'humidité est une des bases des métiers du bâtiment. Et sur le sujet, les savoir-faire sont partagés, et les *Règles de l'art sont assez pertinentes et complètes.**

Sauf sur le sujet "Gestion de la vapeur d'eau", où la connaissance collective ne s'est pas encore totalement ajustée à 3 éléments relativement récents : des baies étanches à l'air, des vitrages moins froids en hiver, et surtout, l'installation du chauffage central.

** Règles de l'art : savoir-faire et textes de référence (DTU, normes, règles pro...)*

Quelles sont les sources d'humidité ?



1. Pluie
2. Remontées capillaires
3. Eau contenue dans les matériaux
4. Inondation & accidents domestiques
5. Vapeur d'eau

22

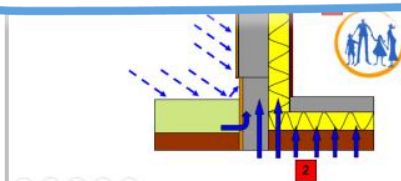
235



Chaque fois la logique est la même :

- on fait pour limiter l'humidification des parois
- on fait pour faciliter leur assèchement

Quelles sont les sources d'humidité ?



1. Pluie
2. Remontées capillaires
3. Eau contenue dans les matériaux
4. Inondation & accidents domestiques
5. Vapeur d'eau

22

236



**Mais qu'en
est-il sur cette
dernière source
possible
d'humidité ?**

humidité ?

1. Pluie
2. Remontées capillaires
3. Eau contenue dans les matériaux
4. Inondation & accidents domestiques
5. Vapeur d'eau

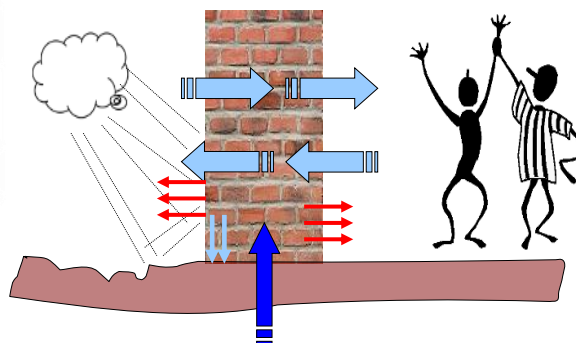
22

237



Gestion de la vapeur d'eau

Séquence
adaptée aux bâtiments
non climatisés, de classe
d'hygrométrie faible à
moyenne ([d'après annexe B
du DTU 31.2](#)), et pour les
climats tempérés (France
métropolitaine).



Travail inspiré d'une collaboration avec Jean-Pierre Oliva & Bruno JARNO

240

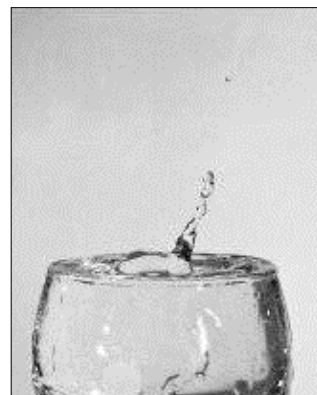
. Gestion de la vapeur d'eau dans les parois



1^{ère}

clef de compréhension

Les parois savent composer avec l'eau... mais il ne leur en faut pas trop / trop longtemps



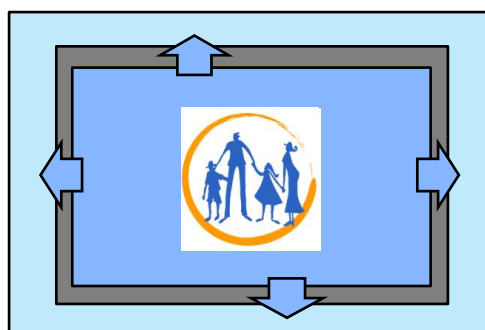
241

. Gestion de la vapeur d'eau dans les parois



2^e

clef de compréhension



L'hiver, sous nos climats, une pression de vapeur s'exerce sur les parois d'enveloppe des bâtiments, et ce, de l'intérieur vers l'extérieur.

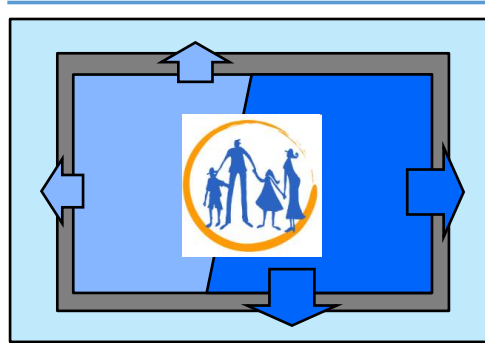
242

. Gestion de la vapeur d'eau dans les parois



3^e

clef de compréhension



Plus l'air intérieur est humide, plus la quantité de vapeur envoyée dans les parois est importante.

→ Besoin d'un renouvellement permanent de l'air intérieur !

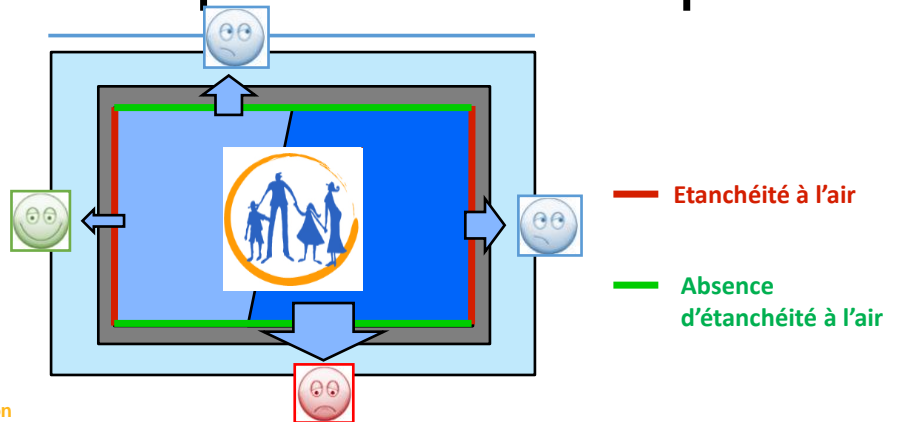
243

5. Gestion de la vapeur d'eau dans les parois



4^e

clef de compréhension



Le flux de vapeur est fortement limité dans le cas d'une étanchéité à l'air.

244



Vu que nous savons qu'une étanchéité à l'air ne peut pas être parfaite, il est nécessaire de prévoir des solutions suffisamment robustes afin que la paroi ne soit pas affectée au droit des inétanchéités à l'air.

5. Gestion de la vapeur d'eau dans les parois



245

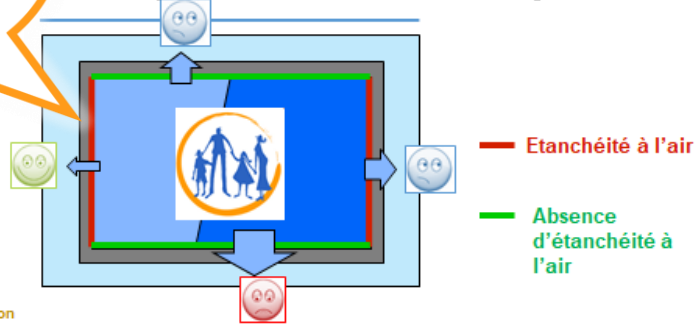


Les inétanchéités à l'air dans cette zone nous font basculer dans une zone plus risquée d'un cran, telle celle, du haut, où il n'y aurait pas d'étanchéité à l'air (C'est-à-dire, ici : bleu, et non rouge)

la vapeur d'eau dans les parois

4^e clef de compréhension

Le flux de vapeur est fortement limité dans le cas d'une étanchéité à l'air.



37

246

Diapo conclusion n°1



Humidité - Posons le sujet

- Même si avec la perte des savoir-faire certains bonnes pratiques sont moins connues, protéger les bâtiments de l'humidité est une des bases des savoir-faire des professionnel(le)s du secteur.
- Quelque soit le métier, l'approche est la même : on cherche à limiter l'humidification des parois, et parallèlement à faciliter leurs assèchement.
- La gestion de la vapeur d'eau est une problématique assez récente pour laquelle quelques questions restent encore en suspend. Néanmoins nous savons déjà que pour limiter les risques de condensation il faut :
 - renouveler régulièrement l'air intérieur
 - travailler finement l'étanchéité à l'air

247

Si respecter ces exigences permet de limiter fortement les risques, d'autres éléments, non anecdotiques dans certains cas, sont à prendre en considération !

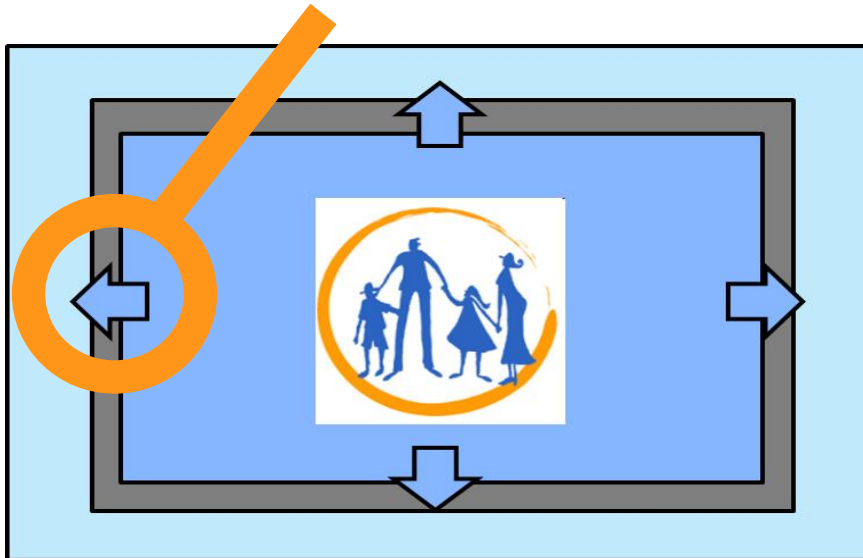
Diapo conclusion

Humidité - Posons le sujet

- Même si avec la perte des savoir-faire certains bonnes pratiques sont moins connues, protéger les bâtiments de l'humidité est une des bases des savoir-faire des professionnel(le)s du secteur.
- Quelque soit le métier, l'approche est la même : on cherche à limiter l'humidification, et parallèlement à faciliter l'assèchement.
- La gestion de la vapeur d'eau est une problématique assez récente pour laquelle quelques questions restent en suspend. Néanmoins nous savons déjà que pour limiter les risques de condensation il faut :
 - renouveler régulièrement l'air intérieur
 - travailler finement l'étanchéité à l'air

57

248



249



Prenons la loupe

- Le point de rosée
- Le comportement des matériaux

250



Prenons la loupe

- **Le point de rosée**
- Le comportement des matériaux

251



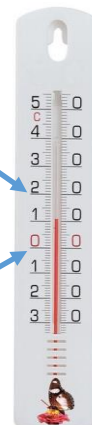
Le point de rosée

Condensation par saturation de vapeur d'eau

- Plus l'air est chaud, plus il peut contenir de la vapeur d'eau.
 - Si l'on produit de la vapeur dans un air saturé : le surplus se condense.
- C'est "**le point de rosée**".

A 20°C un air peut contenir 14,6 g de vapeur d'eau par kg d'air sec

A 0°C un air peut contenir 3,8 g_{VE} /kg_{AS}.



252



Comment savoir quand un air arrive à saturation ?

Le point de rosée

Condensation par saturation de vapeur d'eau

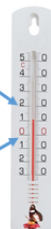
est chaud, plus il
tient de la vapeur

A 20°C un air peut
contenir 14,6 g de vapeur
d'eau par kg d'air sec

Si on produit de la vapeur
dans un air saturé : le
surplus se condense.

→ C'est "le point de rosée".

A 0°C un air peut
contenir 3,8 g_ve / kg_{AS}.



46

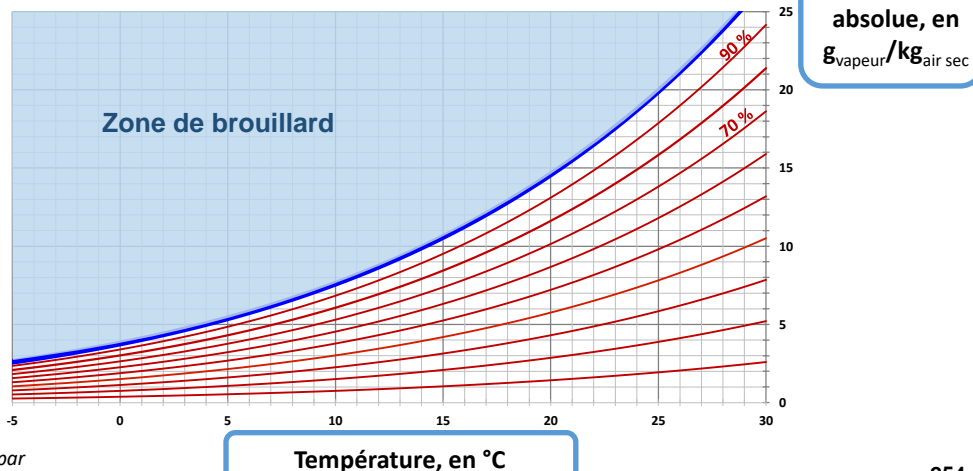
253



Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air*)

En rouge :
humidité relative,
en %

Courbe bleue :
courbe de
saturation
(HR de 100 %)



* Ce diagramme est appelé par
certains "diagramme de Mollier"

254

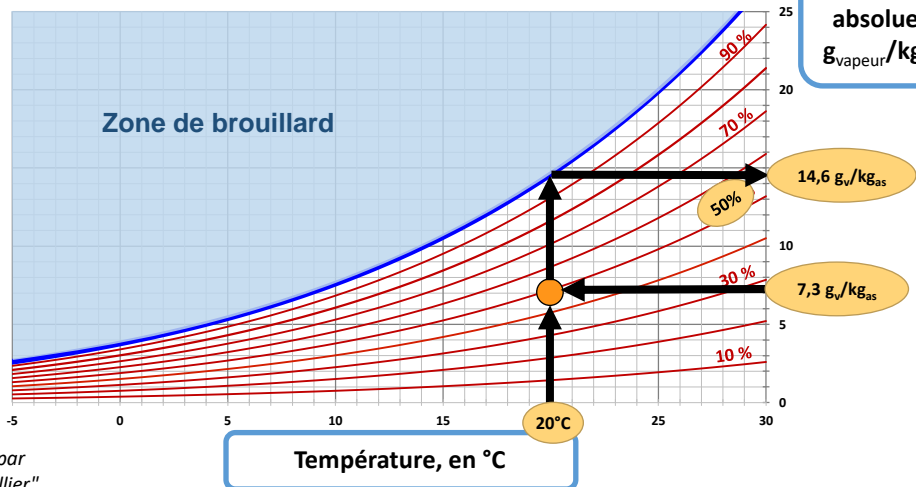
Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air*)



Humidité absolue, en $g_{\text{vapeur}}/kg_{\text{air sec}}$

En rouge :
humidité relative, en %

Courbe bleue :
courbe de saturation
(HR de 100 %)



* Ce diagramme est appelé par certains "diagramme de Mollier"

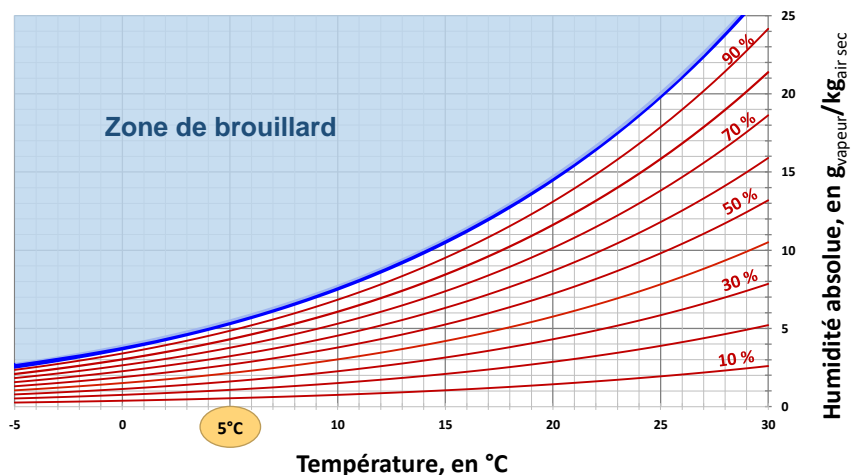
255

?

Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)



Quelle est la quantité maximum de vapeur d'eau dans un air à 5°C ?



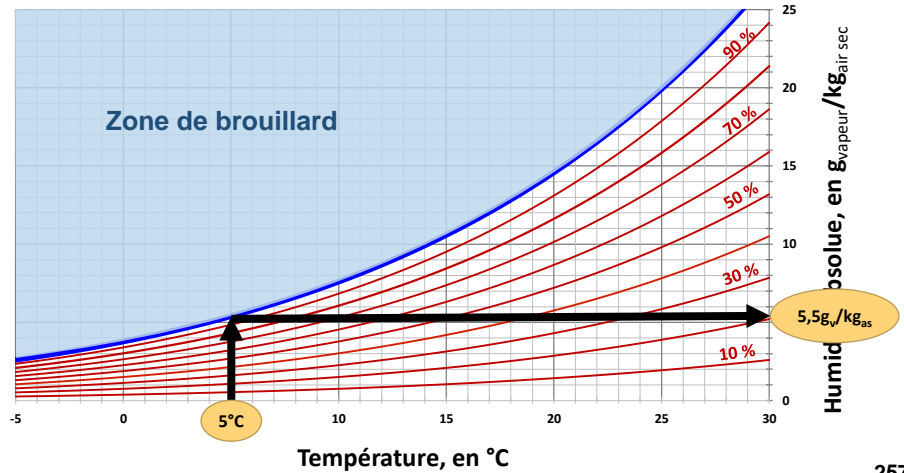
256



?

Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)

Quelle est la quantité maximum de vapeur d'eau dans un air à 5°C ?



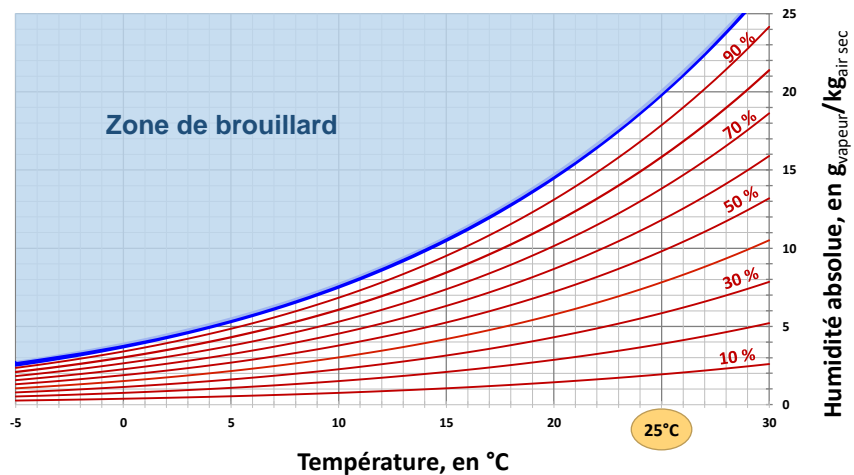
257



?

Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)

Quelle est la quantité maximum de vapeur d'eau dans un air à 25°C ?

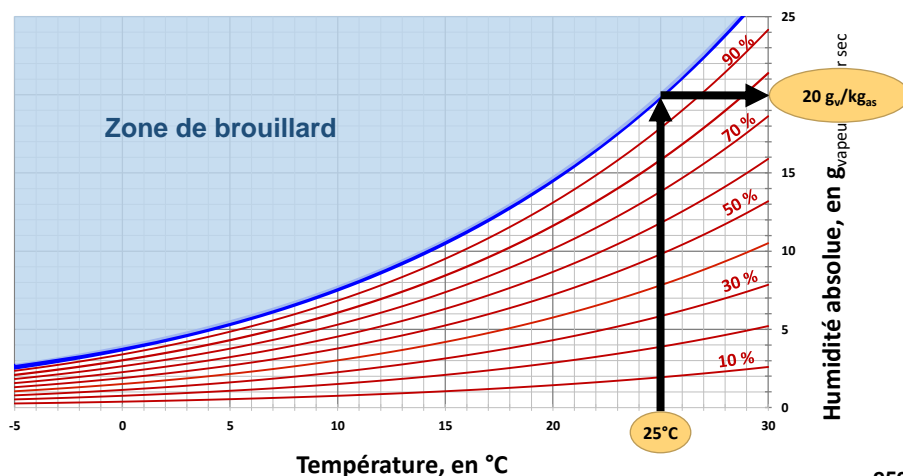


258



Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)

Quelle est la quantité maximum de vapeur d'eau dans un air à 25°C ?



259



Regardons désormais ce qui se passe à l'intérieur des parois en hiver

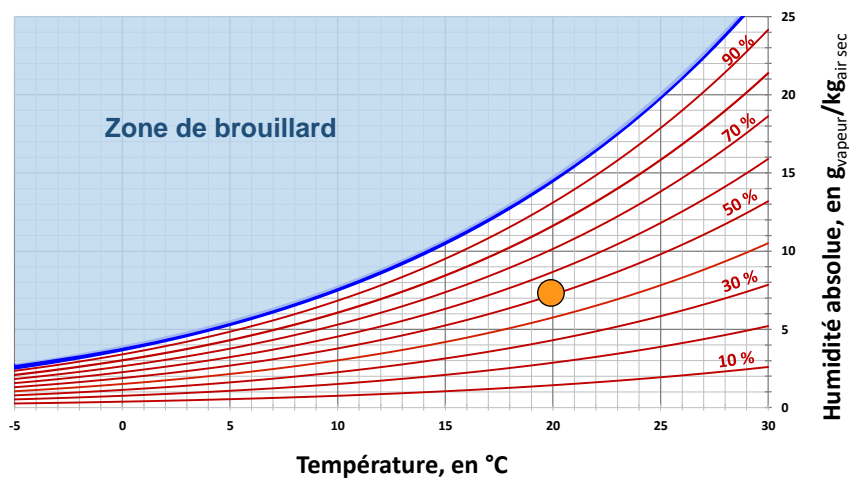
263



Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)

Courbes rouges :
humidité relative,
en %

Courbe bleue :
courbe de
saturation (HR de 100
%)



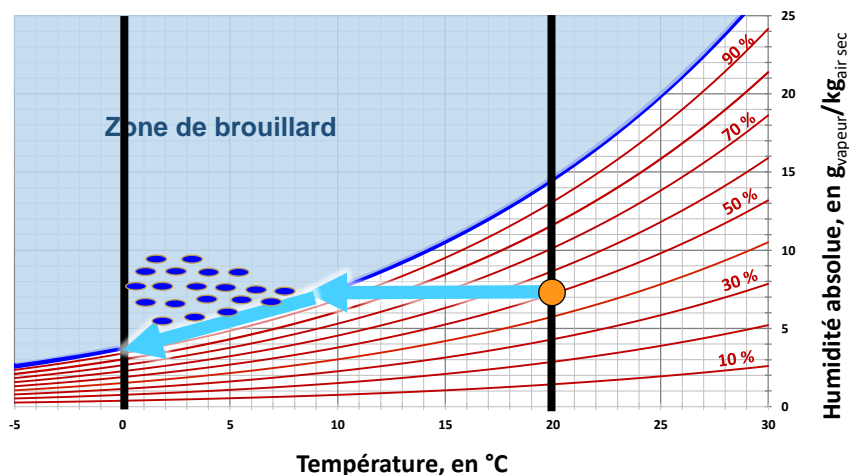
264



Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)

Courbes rouges :
humidité relative,
en %

Courbe bleue :
courbe de
saturation (HR de 100
%)



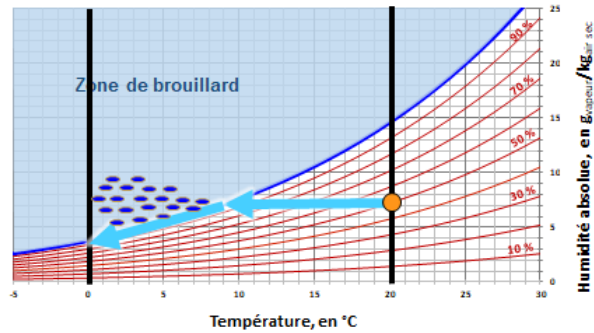
265



Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)

Courbes rouges :
humidité relative,
en %

Courbe bleue :
courbe de
saturation (HR de 100
%)



246

5^e

clef de compréhension

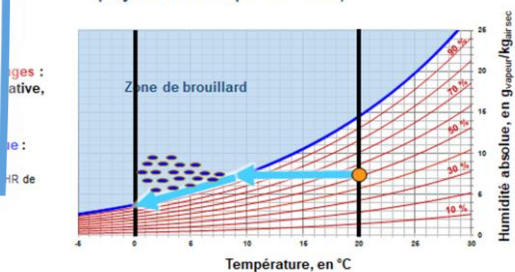
De la vapeur d'eau condense lorsqu'elle croise des couches froides (point de rosée)

266



C'est là une première approche, volontairement simplifiée à des fins pédagogiques. En fait la pression de vapeur décroît en traversant les différentes couches de la paroi (c'est une histoire de pressions et non de flux). La première flèche, plutôt qu'être horizontale, descend selon la résistance à la vapeur de chaque couche de matériaux. (Cette réalité, qui sera développée plus loin ne remet néanmoins pas en question cet enseignement n°5)

Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)



105



Prenons la loupe

- Le point de rosée
- **Le comportement des matériaux**

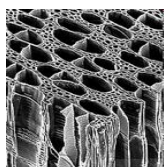
268



Le comportement des matériaux

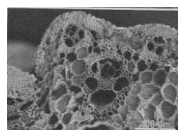
La structure de la matière est organisée différemment selon les matériaux. Pour un même volume, le pourcentage des vides (= porosité) est +/- important, leur section +/- grande (= porométrie)... De plus, ces vides sont isolés entre eux ou non...

→ Il en résulte ≠ comportements à l'eau **et** à la vapeur.



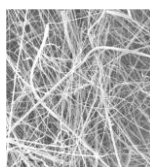
Bois

Porosité : 47 % à 73 %



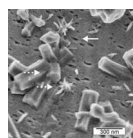
Polystyrène

Porosité > 95 %



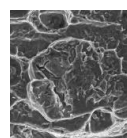
Laine minérale

Porosité > 95 %



Béton

Porosité ≈ 25 %



Aluminium

Porosité : 0 %

269



6^e clef de compréhension

Les matériaux se laissent plus ou moins traverser par la vapeur d'eau. (On dira qu'ils sont +/- ouverts/fermés à la vapeur)

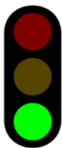
275



Comportement à la vapeur d'eau

Selon leur nature, leur structure...,
les matériaux s'opposent plus ou
moins au flux de vapeur.

→ Coef. de résistance à la diffusion de
vapeur d'eau : μ (mu), sans unité



Résistance faible
à la (diffusion de)
vapeur d'eau.

Résistance forte
à la (diffusion de)
vapeur d'eau.



276



Comportement à la vapeur d'eau

Selon leur nature, leur structure...,
les matériaux s'opposent plus ou
moins au flux de vapeur.

→ Coef. de résistance à la diffusion de
vapeur d'eau : μ (mu), sans unité

$\mu = 1$

Résistance faible
à la (diffusion de)
vapeur d'eau.

$\mu = + \infty$

Résistance forte
à la (diffusion de)
vapeur d'eau.

277



Comportement à la vapeur d'eau

Pour une couche de matériau

, on multiplie μ par l'épaisseur :

$S_d = \mu \times \text{épaisseur}$ (en m)

S_d : résistance à la diffusion de
vapeur d'eau d'une couche de
matériaux*, en mètre

$S_d \approx 0 \text{ m}$

Couches de matériaux ouvertes à
la vapeur d'eau. ($s_d \approx < 1 \text{ à } 1,5 \text{ m}$)

L'entre deux est quelques fois
qualifié de "frein de vapeur".

Couches de matériaux fermées à
très fermées la vapeur d'eau. ($s_d >$
 $\approx 5 \text{ à } 10 \text{ m}$)

278

SYNAPOMIE BFC - Déc. 2022

Samuel Courgey - Arcanne

Réhabilitation énergétique 1/2

La vapeur d'eau

Couches de matériaux
ouvertes à la vapeur d'eau.
($s_d \approx < 1$ à 1,5 m)

L'entre deux est quelques
fois qualifié de "frein de
vapeur".

Couches de matériaux
fermées à très fermées la
vapeur d'eau. ($s_d > \approx 5$ à
10 m)

Matériaux (matière)	Ép. de la couche (m)	μ (sans unité)	s_d (m)	Sources
Enduit intérieur en plâtre	8 mm	6 à 10	0.05 à 0.08	Règles Th-bat
Laine minérale	30 cm	1	0,30	Règles Th-bat
Mortier / enduit à la chaux	1,5 cm	6 à 20	0.09 à 0,30	Divers
Isolant fibre de bois / densité moyenne	10 cm	3 à 5	0,30 à 0,50	Règles Th-bat
Mortier/ enduit au ciment	1,5 cm	25 à 85	0.38 à 1.30	Divers
OSB 3	0,12	150 à 250	1.8 à 3	Marché
Brique de terre cuite	20 cm	10 à 16	2 à 3.2	Règles Th-bat
Peinture - Vernis			3	NF EN 12524
Résineux léger à mi-lourd	10 cm	20 à 50	2 à 5	Règles Th-bat
Polystyrène expansé	10 cm	10 à 100	1 à 10	Marché
Pierre calcaire tendre	40 cm	25 à 40	10 à 16	Règles Th-bat
Béton plein armé	20 cm	80 à 130	16 à 26	Règles Th-bat
Bitume	4 mm	50000	200	Règles Th-bat
Granites	40 cm	10000	4000	Règles Th-bat
Verre, métaux, faïence		+ ∞	+ ∞	Règles Th-bat

279

SYNAPOMIE BFC - Déc. 2022

Samuel Courgey - Arcanne

Réhabilitation énergétique 1/2

La vapeur d'eau

Couches de matériaux
ouvertes à la vapeur d'eau.
($s_d \approx < 1$ à 1,5 m)

L'entre deux est quelques
fois qualifié de "frein de
vapeur".

Couches de matériaux
fermées à très fermées la
vapeur d'eau. ($s_d > \approx 5$ à
10 m)

Matériaux (matière)	Ép. de la couche (m)	μ (sans unité)	s_d (m)	Sources
Enduit intérieur en plâtre	8 mm	6 à 10	0.05 à 0.08	Règles Th-bat
Laine minérale	30 cm	1	0,30	Règles Th-bat
Mortier / enduit à la chaux	1,5 cm	6 à 20	0.09 à 0,30	Divers
Isolant fibre de bois / densité moyenne	10 cm	3 à 5	0,30 à 0,50	Règles Th-bat
Mortier/ enduit au ciment	1,5 cm	25 à 85	0.38 à 1.30	Divers
OSB 3	0,12	150 à 250	1.8 à 3	Marché
Brique de terre cuite	20 cm	10 à 16	2 à 3.2	Règles Th-bat
Peinture - Vernis			3	NF EN 12524
Résineux léger à mi-lourd	10 cm	20 à 50	2 à 5	Règles Th-bat
Polystyrène expansé	10 cm	10 à 100	1 à 10	Marché
Pierre calcaire tendre	40 cm	25 à 40	10 à 16	Règles Th-bat
Béton plein armé	20 cm	80 à 130	16 à 26	Règles Th-bat
Bitume	4 mm	50000	200	Règles Th-bat
Granites	40 cm	10000	4000	Règles Th-bat
Verre, métaux, faïence		+ ∞	+ ∞	Règles Th-bat

280

104



Même si la majorité des polystyrènes expansés est fermée à la vapeur, le PSE est un des rares matériaux dont l'étendue des comportements le fait être, selon le produit, de ouvert à réellement fermé à la vapeur.

Particulièrement depuis l'arrivée sur le marché français du **Baumit openTherm 034W**, avec son μ de 10

Diagramme de la structure de la paroi :

- Matériaux à vapeur (1 à 1,5 m)
- Couche est qualifiée "vapeur"
- Couches de matériaux fermées à très fermées la vapeur d'eau. ($s_d > \approx 5 \text{ à } 10 \text{ m}$)

Matériaux (matière)	Ép. de la couche (m)	μ (sans unité)	s_d (m)	Sources
Enduit intérieur en plâtre	8 mm	6 à 10	0,05 à 0,08	Règles Th-bat
Laine minérale	30 cm	1	0,30	Règles Th-bat
Mortier / enduit à la chaux	1,5 cm	6 à 20	0,05 à 0,30	Divers
Isolant fibre de bois / densité moyenne	10 cm	3 à 5	0,30 à 0,50	Règles Th-bat
Mortier enduit au ciment	1,5 cm	25 à 85	0,38 à 1,30	Divers
OSB 3	0,12	150 à 250	1,8 à 3	Marché
Brique de terre cuite	20 cm	10 à 16	2 à 3,2	Règles Th-bat
Peinture - Varnie			3	NF EN 12524
Résineux léger à mi-lourd	10 cm	20 à 50	2 à 5	Règles Th-bat
Polystyrène expansé	10 cm	10 à 100	1 à 10	Marché
Pierre calcaire tendre	40 cm	25 à 40	10 à 16	Règles Th-bat
Béton plein armé	20 cm	80 à 130	16 à 26	Règles Th-bat
Bitume	4 mm	50000	200	Règles Th-bat
Granites	40 cm	10000	4000	Règles Th-bat
Verre, métaux, faïence		+ ∞	+ ∞	Règles Th-bat



La vapeur d'eau



Couches de matériaux ouvertes à la vapeur d'eau. ($s_d \approx < 1 \text{ à } 1,5 \text{ m}$)

L'entre deux est quelques fois qualifié de "frein de vapeur".



Couches de matériaux fermées à très fermées la vapeur d'eau. ($s_d > \approx 5 \text{ à } 10 \text{ m}$)

On trouvera les termes de **perméables à la vapeur d'eau** ou **perméants** pour qualifier les matériaux ouverts à la diffusion de vapeur d'eau.

Pour les matériaux plutôt fermés : **imperméables à la vapeur** ou **non perméants**, et l'on pourra entendre dire qu'ils ont un comportement « **pare-vapeur** »

Matériaux (matière)	Sources
Plaque de plâtre	Divers
Laine minérale	Règles Th-bat
Mortier / enduit à la chaux	Divers
Isolant fibre de bois / densité moyenne	Règles Th-bat
Mortier / enduit au ciment	Divers
OSB 3	Divers
Brique de terre cuite	Règles Th-bat
Peinture - Varnie	NF EN 12524
Résineux léger à mi-lourd	Règles Th-bat
Polystyrène expansé	Divers
Pierre calcaire tendre	Règles Th-bat
Béton plein armé	Règles Th-bat
Bitume	Règles Th-bat
Granites	Règles Th-bat
Verre, métaux, faïence	Règles Th-bat



La vapeur d'eau



Couches de matériaux
ouvertes à la vapeur d'eau.
($s_d \approx < 1 \text{ à } 1,5 \text{ m}$)

L'entre deux est quelques
fois qualifié de "frein de
vapeur".



Couches de matériaux
fermées à très fermées la
vapeur d'eau. ($s_d > \approx 5 \text{ à } 10 \text{ m}$)

... sachant que ce type
base de données, générique,
renseigne du comportement type
des matériaux d'une famille. Il est
donc nécessaire, lorsque vous
faites le choix d'un produit, de
vérifier qu'il a bien le
comportement que vous
souhaitiez, soit celui renseigné
pour sa famille.

Matériaux (matière)	Sources
Plaque de plâtre	Divers
Laine minérale	Règles Th-bat
Mortier / enduit	Divers
Isolant fibreux	Règles Th-bat
Mortier / enduit	Divers
Brique	Divers
Peinture	Règles Th-bat
Résineux	NF EN 12524
Polystyrène	Règles Th-bat
Pierre de taille	Divers
Béton	Règles Th-bat
Verre, métaux, faïence	Règles Th-bat



6^e
clef de
compréhension

Les matériaux se laissent plus ou moins
traverser par la vapeur d'eau. (On dira qu'ils sont
+/- ouverts/fermés à la vapeur)

7^e
clef de
compréhension

Les matériaux permettent plus ou moins à
l'eau de se déplacer en leur sein. (On dira qu'ils
sont +/- capillaires)

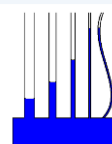


Comportement à l'eau - La capillarité



→ L'eau contenue dans les matériaux cherche à rejoindre les parements et les endroits plus secs, mais se déplacement n'est pas toujours possible !

Plus la structure des matériaux se rapproche de tubes fins et continus, plus l'eau peut se déplacer en leur sein (loi du Jurin). On parle de **transport capillaire**, ou « **capillarité** ».



Les matériaux sont plus ou moins capillaires. Quelques-uns sont non-capillaires.

285

Comportement à l'eau - La capillarité



- Le **coefficient d'absorption d'eau A** (qq. fois A_w ...)* indique dans quelles mesures un matériau peut absorber de l'eau, en $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$

Activité capillaire	A ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	Exemples de matériaux (source : DELPHIN 5)
Nulle à extrêmement faible	< 0,01	Plastiques, polystyrènes, métaux, verre, verre cellulaire, laines minérales, enduits d'étanchéité, faïence, liège expansé...
Très faible à faible	0,005 à 0,1	Bois (perpendiculaire aux fibres), majorité des pierres, bétons et enduits à base de ciment...
Significative à forte	0,05 à 0,2	Bois (sens des fibres), pierres calcaires tendres, majorité des enduits chaux ou terre, pisés, briques...
Très forte	> 0,1	Plâtre, perlite non traité hydrophobe, ouate de cellulose, qq. isolants "techniques", qq. briques...



286

SYNAPOMIE BFC - Déc. 2022

Réhabilitation énergétique 1/2

Samuel Courgey - Arcanne

Comportement à l'eau - La capillarité

• **Le coefficient d'absorption** mesure un matériau peut absorber de l'eau, en $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$

Activité capillaire	A ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	
Nulle à extrêmement faible	< 0,01	Plastique, minéraux
Très faible à faible	0,005 à 0,1	Bois (perpendiculaire aux fibres), pierres, enduits à base de ciment
Significative à forte	0,05 à 0,2	Bois (sens des fibres), pierres calcaires tendres, enduits chaux ou terre, pisés, briques...
Très forte	> 0,1	Plâtre, perlite non traitée hydrophobe, ouate de cellulose, qq isolants "techniques"

* **D'autres unités** ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$, ...),
références (D_w , reprise d'eau sous 24h...)
ou classes de comportement (W_0 , 1 ou 2 de la NF EN 1015-18...) **existent**. **De plus, pour exprimer finement la capillarité, "A" peut être accompagné du coefficient de transport d'eau liquide par redistribution (D_{ww}), voire également du coefficient de transport d'eau liquide par succion (D_{ws}).**

287

SYNAPOMIE BFC - Déc. 2022

Réhabilitation énergétique 1/2

Samuel Courgey - Arcanne

Mais, excepté lorsque l'on parle des remontées capillaires, il semble que l'on ait oublié jusqu'à peu, en France, de s'intéresser à l'aspect capillaire des matériaux.

De fait, de nombreux matériaux ne sont pas renseignés, ou alors avec des termes proches, mais connotés :

- **Hydrophile** \approx capillaire
- **Hydrophobe** (ou non hydrophile) \approx non capillaire

Comportement à l'eau - La capillarité

Le coefficient d'absorption d'eau A (qq. fois A_w ...) * indique dans quelles mesures un matériau peut absorber de l'eau, en $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$

A ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	Exemples de matériaux (source: DELPHIN 5)
< 0,01	Plastiques, polystyrènes, métaux, verre, verre cellulaire, laines minérales, enduits d'étanchéité, faïence, liège expansé...
0,005 à 0,1	Bois (perpendiculaire aux fibres), majorité des pierres, bétons et enduits à base de ciment.
Significative à forte 0,05 à 0,2	Bois (sens des fibres), pierres calcaires tendres, majorité des enduits chaux ou terre, pisés, briques...
Très forte > 0,1	Plâtre, perlite non traitée hydrophobe, ouate de cellulose, qq isolants "techniques", qq briques...

83

288

108



6^e clef de compréhension

Les matériaux se laissent plus ou moins traverser par la vapeur d'eau. (On dira qu'ils sont +/- « ouvert » ou « perméants » à la vapeur)

7^e clef de compréhension

Les matériaux permettent plus ou moins à l'eau de se déplacer en leur sein. (On dira qu'ils sont +/- capillaires, certains étant non capillaires)

8^e clef de compréhension

Les matériaux sont +/- sensibles à l'eau. (Certains sont +/- putrescibles, d'autres non putrescibles mais +/- altérables, quelques uns sont non vulnérables)

289



Comportement à l'eau – L'hygro-vulnérabilité

- **Matériaux putrescibles.** Ils ont la capacité de se décomposer dans certaines conditions d'humidité prolongée (selon leur sensibilité, ils seront +/- putrescibles).
- **Matériaux imputrescibles mais altérables.** Bien qu'imputrescibles ils peuvent être (+ /-) endommagés en présence (+ /- prolongée et subite) d'eau.
- **Matériaux non vulnérables (à l'eau).** Matériaux ne pouvant aucunement se dégrader en présence d'eau.



290

Comportement à l'eau – L'hygro-vulnérabilité



Type d'hygro-vulnérabilité	Exemples de matériaux
Matériaux (fortement à moyennement) putrescibles	Paille, majorité des végétaux non traités, dont bois de classes de durabilité* 4 et 5, plaques de plâtres non hydrofugées, ...
Matériaux (moyennement à difficilement) putrescibles	Majorité des isolants à base de végétaux, bois traités, essences de bois de classe 3 et 4, ...
Matériaux (très difficilement) putrescibles	Essence de bois "très durable" (classe 1), laine de chanvre, liège expansé...
Matériaux non putrescibles mais (fortement à moyennement) altérables	Majorité des laines minérales, majorité des enduits à base de terre, et des enduits à base de ciment sur support ancien
Matériaux non putrescibles mais (moyennement à faiblement) altérables	Béton, polystyrène, polyuréthane, LM très denses... et majorité des enduits à base de chaux.
Matériaux non hygro-vulnérables	Verre, verre cellulaire + qq. métaux



* Classification de la durabilité naturelle vis-à-vis des champignons lignivores (EN 350-2) : 1 = très durable, 2 = durable, 3 = moyennement durable, 4 = faiblement durable et 5 = non durable

Tableau « test » 291

Comportement à l'eau – L'hygro-vulnérabilité



Type d'hygro-vulnérabilité	Exemples de matériaux
Matériaux (fortement à moyennement) putrescibles	Paille, majorité des végétaux non traités, dont bois de classes de durabilité* 4 et 5, plaques de plâtres non hydrofugées, ...
Matériaux (moyennement à difficilement) putrescibles	Majorité des isolants à base de végétaux, bois traités, essences de bois de classe 3 et 4, ...
Matériaux (très difficilement) putrescibles	Essence de bois "très durable" (classe 1), laine de chanvre, liège expansé...
Matériaux non putrescibles mais (fortement à moyennement) altérables	Majorité des laines minérales, majorité des enduits à base de terre, et des enduits à base de ciment sur support ancien
Matériaux non putrescibles mais (moyennement à faiblement) altérables	Béton, polystyrène, polyuréthane, LM très denses... et majorité des enduits à base de chaux.
Matériaux non hygro-vulnérables	Verre, verre cellulaire + qq. métaux



Ce type de tableau est à prendre avec précaution tant :

- la sensibilité à l'humidité dépend de nombreux facteurs
- des différences notables sont possibles au sein d'une même famille de matériaux (selon traitements, type de production...)
- il manque des valeurs (ou un indicateur unique) permettant de synthétiser un comportement général

* Classification de la durabilité naturelle vis-à-vis des champignons lignivores (EN 350-2) : 1 = très durable, 2 = durable, 3 = moyennement durable, 4 = faiblement durable et 5 = non durable

292

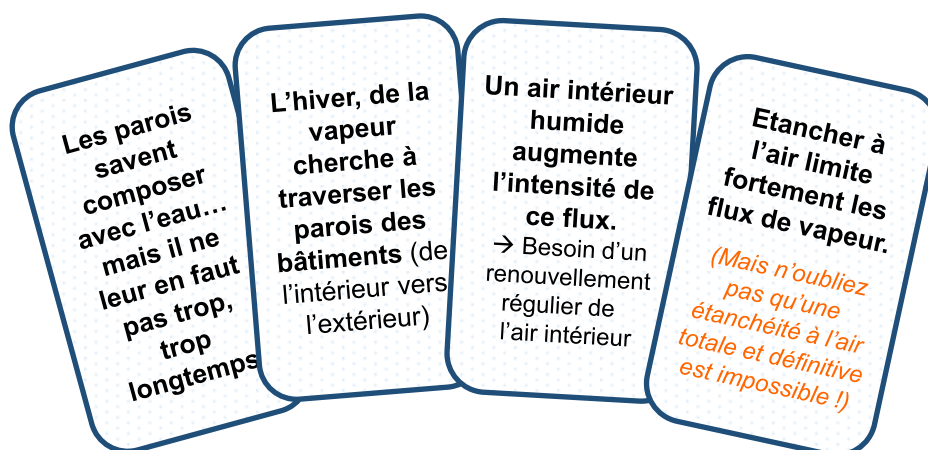


**Avant de poursuivre,
retenons les premières
données avec lesquelles
il nous faut composer
quant au sujet
« vapeur d'eau »**

293



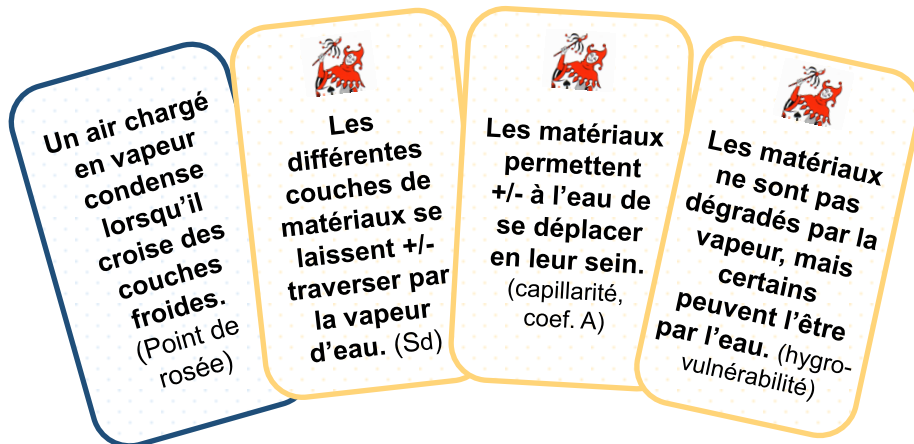
Gestion de la vapeur d'eau dans les parois



Les clefs de compréhension (1de2)

294

Gestion de la vapeur d'eau dans les parois



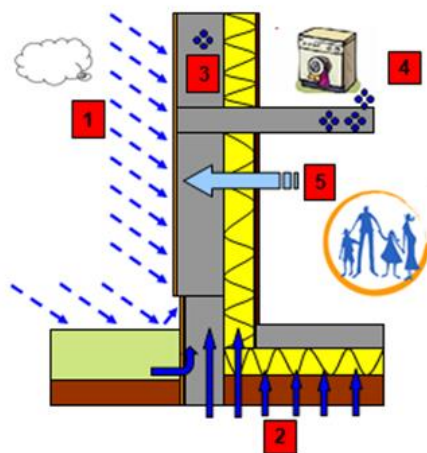
Les clefs de compréhension (2de2)



295



Quelles sont les sources d'humidité ?



1. Pluie
2. Remontées capillaires
3. Eau contenue dans les matériaux
4. Inondation & accidents domestiques
5. Vapeur d'eau

32

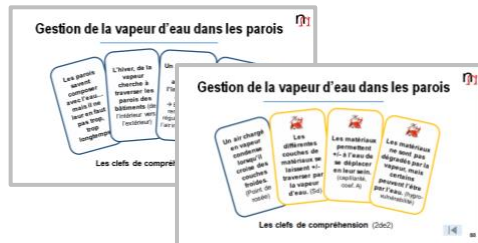
296

Gestion de la vapeur d'eau dans les parois



Nous avons :

1. Notre connaissance des phénomènes
2. 50 ans de retours d'expériences
3. Des méthodes de simulation



297



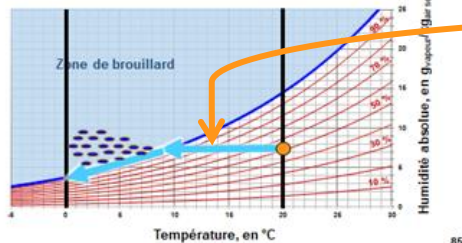
5^e

clé de compréhension

Diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique de l'air)

Courbes rouges : humidité relative, en %

Courbe bleue : courbe de saturation (HR de 100 %)



De la vapeur d'eau condense lorsqu'elle croise des couches froides (point de rosée)

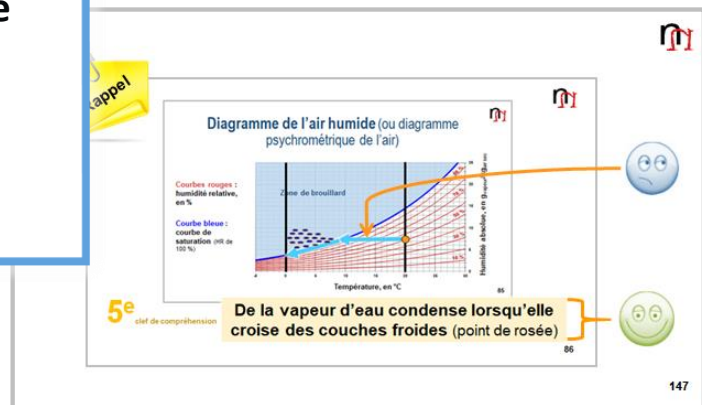
86



298



... en fait nous
n'avons pas affaire
là à un fluide qui s'écoule,
mais à des différences de
pressions de vapeur.

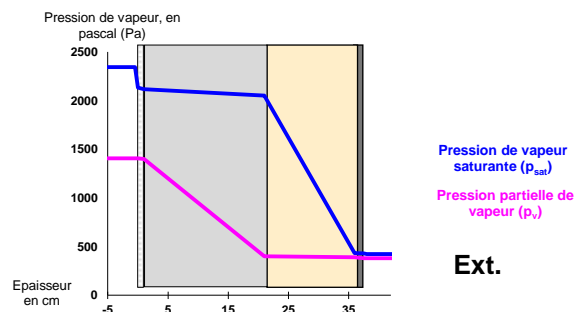


299



Des méthodes de simulations. 1^{de}2

La **méthode de Glaser** nous aide à visualiser les pressions de vapeur, et à repérer l'endroit où la vapeur risque d'arriver à saturation (= point de rosée)



La méthode de GLASER : Méthode simplifiée (mais elle date de 1949) : elle cherche à repérer les zones de condensation dans une paroi, avec un pas de temps mensuel (**NF EN ISO 13788**)

300

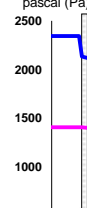
Des méthodes de simulations

La **méthode de Glaser** nous aide à visualiser les pressions de vapeur, et à repérer l'endroit où la vapeur risque d'arriver à saturation (= point de rosée)

La
les z

C'est le comportement à la vapeur qui influe sur la courbe mauve (elle chute dans les matériaux fermés à la vapeur / proportionnellement à leur Sd)

Pression de vapeur, en pascal (Pa)



C'est le lambda (conductivité thermique) qui influe sur la courbe bleue (elle chute dans les matériaux les plus isolants)

Pression de vapeur saturante (p_{sat})
Pression partielle de vapeur (p_v)

Ext.

Si les courbes ne se croisent pas, c'est que, d'après Glaser, le point de rosée n'a pas lieu (= il n'y a pas de condensation)

mais elle date de 1949) : pas de temps mensuel

Si la méthode de Glaser repère les endroits où la vapeur d'eau risque de condenser, elle n'est pas suffisamment fiable pour répondre à la question de la pertinence / pérennité / faisabilité d'une paroi.
(Voir annexe spécifique)

Des méthodes de simulations

La **méthode de Glaser** nous aide à visualiser les pressions de vapeur, et à repérer l'endroit où la vapeur risque d'arriver à saturation (= point de rosée)

La
les z

C'est le comportement à la vapeur qui influe sur la courbe mauve (elle chute dans les matériaux fermés à la vapeur / proportionnellement à leur Sd)



C'est le lambda (conductivité thermique) qui influe sur la courbe bleue (elle chute dans les matériaux les plus isolants)

Pression de vapeur saturante (p_{sat})
Pression partielle de vapeur (p_v)

Ext.

Si les courbes ne se croisent pas, c'est que, d'après Glaser, le point de rosée n'a pas lieu (= il n'y a pas de condensation)

mais elle date de 1949) : pas de temps mensuel



Dans cette formation nous citons de la méthode de Glaser :

- à des fins pédagogiques, car en visualisant l'intensité des flux de vapeur elle nous permet de commencer à comprendre ce qui se passe dans une paroi

- afin que chacune et chacun réalise qu'elle n'est pas fiable, et pourquoi elle ne l'est pas. (Ce sujet est développé en annexes)

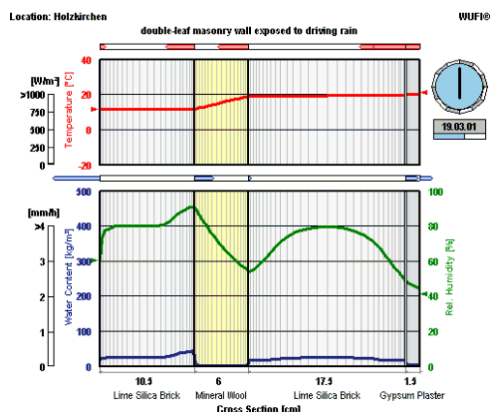
Si la méthode de Glaser repère les endroits où la vapeur d'eau risque de condenser, elle n'est pas suffisamment fiable pour répondre à la question de la pertinence / pérennité / faisabilité d'une paroi.



303



Des méthodes de simulations. 2de2



De nouveaux outils de simulation

Ils prennent en compte nombre des :

- **comportements des matériaux** (résistance à la diffusion de vapeur d'eau, capillarité & hygroscopicité) ;
- **variations climatiques intérieures** (t° , humidité + éventuelles remontées capillaires ou infiltrations accidentelles)
- **variations climatiques extérieures** (t° , humidité, ensoleillement, vent & pluie).

Simulant les parois sur plusieurs années, ils permettent d'estimer si elles encourent des risques dus à l'humidité.

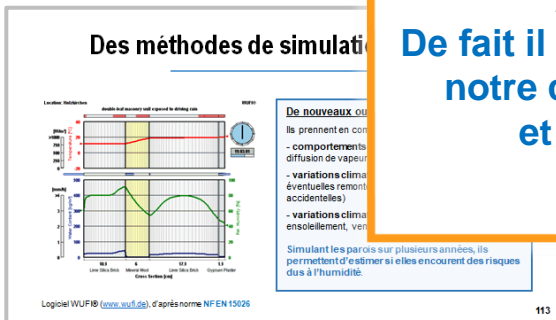
Logiciel WUFI® (www.wufi.de), d'après norme NF EN 15026

304



Les calculs de type WUFI® sont plus complets et précis que ceux réalisés avec la méthode de Glaser. Néanmoins la communauté scientifique les sait encore très simplifiés, d'autant plus que la majorité des matériaux n'est pas correctement / suffisamment renseignée.

De fait il nous faut d'abord nous appuyer sur notre compréhension des phénomènes, et sur les savoir-faire et retours d'expérience.



305



Gestion de la vapeur d'eau dans les parois isolées

1. Exemple de l'ITE
2. Rampant (exemple de toiture froide)
3. L'exemple de l'ITI

306



Gestion de la vapeur d'eau dans les parois isolées

1. **Exemple de l'ITE**
2. Rampant (exemple de toiture froide)
3. L'exemple de l'ITI

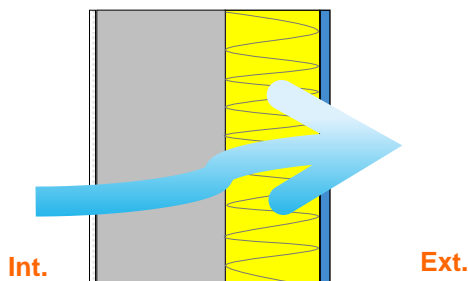
308



Dans les parois isolées .ITE

Gestion de la vapeur d'eau

Rappel
 L'air chargé en vapeur condense lorsqu'il croise des couches froides.
 (Point de rosée)



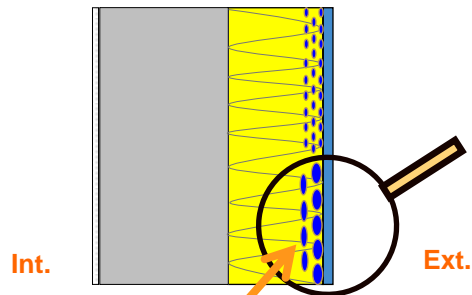
310

Dans les parois isolées .ITE

Gestion de la vapeur d'eau



l'air chargé
en vapeur
condense
lorsqu'il
croise des
couches
froides.
(Point de
rosée)



Les risques de condensation concernent la partie froide de l'isolant, et particulièrement l'arrière de l'élément séparant l'isolant de l'air extérieur

311

Avec une isolation
extérieure, la majorité de
la paroi est tempérée

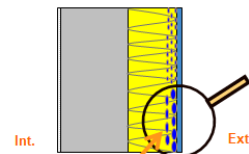
→ La zone de condensation
est reportée sur l'extérieur ;
le mur support n'est plus
sujet à humidification due
au point de rosée !

Dans les parois isolées .ITE

Gestion de la vapeur d'eau



l'air chargé
en vapeur
condense
lorsqu'il
croise des
couches
froides.
(Point de
rosée)



Les risques de condensation concernent la partie froide de l'isolant, et particulièrement l'arrière de l'élément séparant l'isolant de l'air extérieur

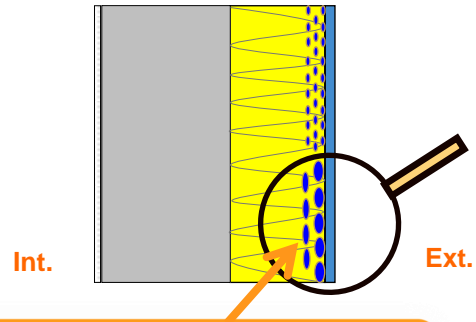
289

312

Dans les parois isolées .ITE

Gestion de la vapeur d'eau

Que faire pour limiter les risques ?



Les risques de condensation concernent la partie froide de l'isolant, et particulièrement l'arrière de l'élément séparant l'isolant de l'air extérieur

313

Diapo conclusion

Gestion de la vapeur d'eau - ITE

En plus d'un renouvellement régulier de l'air intérieur, les principes à respecter pour une bonne gestion de la vapeur en ITE sont* :

- n'avoir que des matériaux très ouverts à la diffusion de vapeur d'eau entre l'isolant et l'air extérieur
- , et si nous avons un enduit sur isolant :
- il lui faut également garder un réel aspect capillaire

*La situation du mur ancien (potentiellement fragile, avec remontées capillaires...) sera vue ultérieurement

314



Les documents de référence (DTU...) et les avis techniques qui accompagnent l'ITE ont bien intégré ces points à respecter, ... Ouf !

Diapo conclusion

Gestion de la vapeur d'eau - ITE

En plus d'un renouvellement régulier de l'air intérieur, les principes à respecter pour une bonne gestion de la vapeur en ITE sont* :

- > n'avoir que des matériaux très ouverts à la diffusion de vapeur d'eau entre l'isolant et l'air extérieur
- , et si nous avons un enduit sur isolant :
- > il lui faut également garder un réel aspect capillaire

*La situation du mur ancien (potentiellement fragile, avec remontées capillaires...) sera vue ultérieurement

167

315



Si l'ITE est complexe à appréhender vis-à-vis du sujet "humidité", ce n'est pas du fait de la vapeur d'eau, mais de la protection à la pluie.

D'ailleurs la réalisation d'un enduit sur isolant ne s'improvise pas.

Sa composition/réalisation se doit d'être très finement formulée/ajustée (plasticité/qualité de l'accroche, robustesse quant aux chocs thermiques, imperméabilité à la pluie tout en gardant un aspect capillaire permettant au mur de sécher sur l'extérieur...)

→ Nous ne pouvons que conseiller les solutions isolant/enduit accompagnées d'une référence validée (ATec, DTA, ETN, règle pro...), ou poser un matériau en interface, entre l'isolant et l'enduit (métal déployé...)

Les documents de référence (DTU...) et les avis techniques qui accompagnent l'ITE ont bien intégré ces points à respecter, ... Ouf !

168

316



Gestion de la vapeur d'eau dans les parois isolées

1. Exemple de l'ITE
- 2. Rampant** (exemple de toiture froide)
3. L'exemple de l'ITI

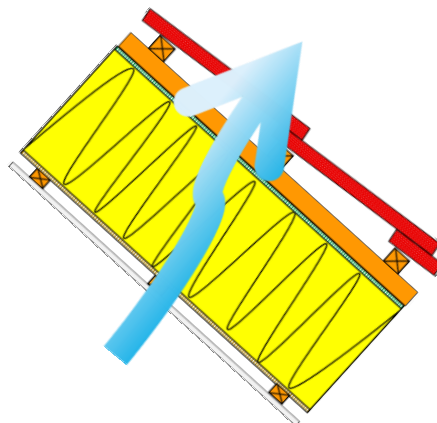
317



Dans les parois isolées Rampant

Gestion de la vapeur d'eau

Rappel
Un air chargé en vapeur condense lorsqu'il croise des couches froides.
(Point de rosée)



318



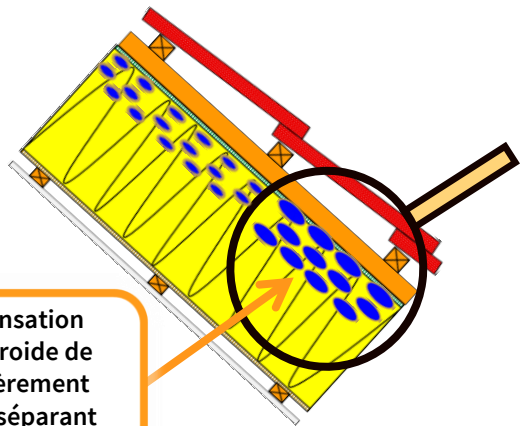
Dans les parois isolées .Rampant

Gestion de la vapeur d'eau



Un air chargé en vapeur condense lorsqu'il croise des couches froides. (Point de rosée)

Les risques de condensation concernent la partie froide de l'isolant, et particulièrement l'arrière de l'élément séparant l'isolant de l'air extérieur



319



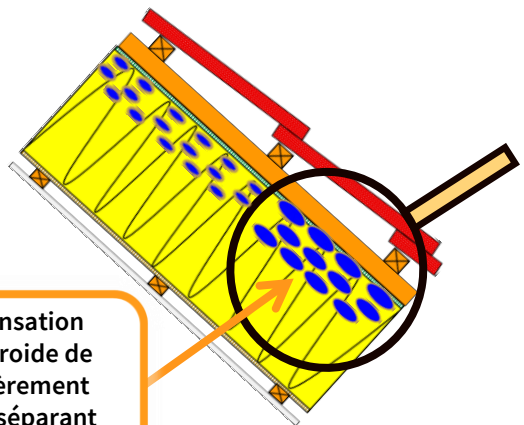
Dans les parois isolées .Rampant

Gestion de la vapeur d'eau

Que faire pour limiter les risques ?



Les risques de condensation concernent la partie froide de l'isolant, et particulièrement l'arrière de l'élément séparant l'isolant de l'air extérieur



320

Diapo conclusion



Gestion de la vapeur d'eau - Rampant

En plus d'un renouvellement régulier de l'air intérieur, les principes à respecter pour une bonne gestion de la vapeur en rampant sont :

- n'avoir que des matériaux très ouverts à la diffusion de vapeur entre l'isolant et l'air extérieur
- avoir une étanchéité à l'air côté intérieur (ou n'importe où dans le tiers chaud de la paroi*).

* Règle dite du 2/3-1/3. (R côté intérieur de l'étanchéité à l'air $\leq 1/3 R$ totale de la paroi)

321

Mais cette étanchéité à l'air, la faut-il fortement fermée à la vapeur ?

En France nous avons 2 écoles :

- l'ancienne, qui demande une membrane fortement fermée : $Sd \geq 18 \text{ m}$ (Règle de base du DTU 31.2)
- la nouvelle, dont je fais partie, qui estime la paroi plus robuste avec un pare vapeur peu fermé ($1,5 < Sd < 5 \text{ m}$, mais en respectant $Sd_{\text{int.}} \geq 5 Sd_{\text{ext.}}$)*, ou mieux encore, une membrane hygrovariable ou une membrane orientée.

*Règle "du facteur 5" du DTU31.2

322

Diapo conclusion

Gestion de la vapeur d'eau - Ram

En plus d'un renouvellement régulier de l'air intérieur à respecter pour une bonne gestion de la vapeur en rampant :

- n'avoir que des matériaux très ouverts à la diffusion de vapeur entre l'isolant et l'air extérieur
- avoir une étanchéité à l'air côté intérieur (ou n'importe où dans le tiers chaud de la paroi*).

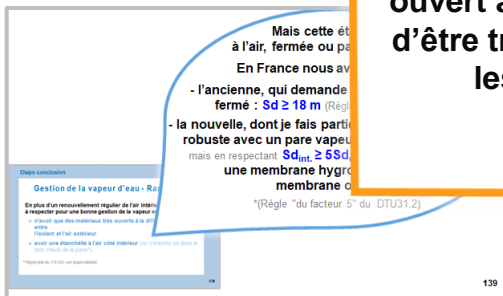
* Règle dite du 1/3-2/3, voir diapo dédiée

138



Sur le sujet, le DTU 31.2 et les avis techniques accompagnant les parois bois sont améliorables sur 2 points :

- ils permettent des pare-vapeurs assez fermés, ($S_d \geq 18$ m pour la règle générale, et pas de S_d maxi pour la règle du facteur 5), **ce qui génère alors des solutions moins robustes** (par exemple si le bâtiment est climatisé)
- ils précisent que c'est le pare-pluie qui doit être très ouvert à la vapeur d'eau alors qu'en fait, ce besoin d'être très ouvert à la vapeur concerne tout autant les éventuels autres matériaux compris entre l'isolant et l'air extérieur.



139

323



Gestion de la vapeur d'eau dans les parois isolées

1. Exemple de l'ITE
2. Rampant (exemple de toiture froide)
- 3. L'exemple de l'ITI**

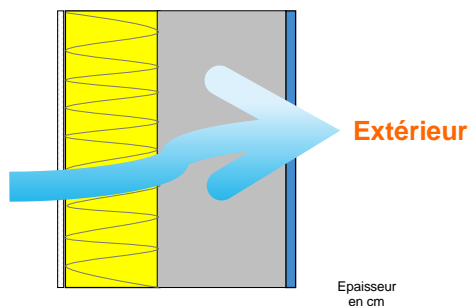
324

Dans les parois isolées .ITI

Gestion de la vapeur d'eau



Un air chargé en vapeur condense lorsqu'il croise des couches froides. (Point de rosée)



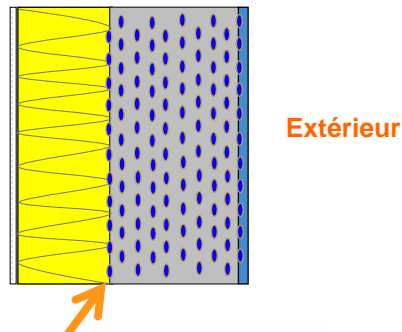
326

Dans les parois isolées .ITI

Gestion de la vapeur d'eau



Un air chargé en vapeur condense lorsqu'il croise des couches froides. (Point de rosée)



La condensation a surtout lieu à partir de l'interface isolant/mur, ménageant ainsi l'isolant

327



Avec une isolation
intérieure, la majorité de
la paroi est froide en hiver

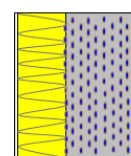
→ La zone de condensation
concerne désormais la
totalité du mur support !

Dans les parois isolées .ITI

Gestion de la vapeur d'eau



Un air chargé
en vapeur
condense
lorsqu'il
croise des
couches
froides.
(Point de
rosée)



Extérieur

La condensation a surtout lieu à partir de
l'interface isolant/mur, ménageant ainsi l'isolant

304

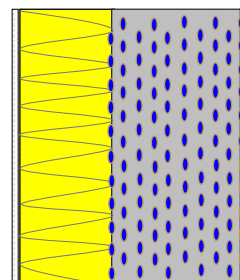
328



Dans les parois isolées .ITI

Gestion de la vapeur d'eau

Que faire
pour limiter
les risques ?



Extérieur

La condensation a surtout lieu à partir de
l'interface isolant/mur, ménageant ainsi l'isolant

329

Diapo conclusion



Gestion de la vapeur d'eau - ITI

En plus d'un renouvellement régulier de l'air intérieur, les principes à respecter* pour une bonne gestion de la vapeur d'eau en ITI :

- Un mur imperméable à la pluie
- Un enduit extérieur ouvert à la vapeur et gardant un aspect capillaire
- Côté intérieur, ou dans le tiers chaud de la paroi (règle du 2/3-13) : une étanchéité à l'air limitant de plus le transfert de vapeur, mais pas trop afin de garder un potentiel de séchage (→ On évite les isolants fermés à la vapeur, et l'on choisit une membrane hygrovariable ou orientée)
- Eviter les isolants sensibles à l'eau, surtout s'ils sont en contact avec le mur
- Déposer les matériaux sensibles à l'eau, fermés à la vapeur et/ou non capillaires qui se trouveraient entre l'isolant et le mur

RdA Art

* Plus ou moins scrupuleusement selon la sensibilité des matériaux et des interfaces entre matériaux

330

→ Prendre en référence les dernières études*, et même s'ils sont perfectibles : les documents de référence (DTU, règles pro...) et les avis techniques ; également les solutions vous semblant probantes et pour lesquelles les industriels s'engagent (garantie décennale)

Mais pour l'étanchéité à l'air, plutôt que des pare-vapeurs, choisir une membrane hygrovariable*

(Vario XTRA®, Intello®, Intello+®...) ** ou orientée (MAJREX®).

Diapo conclusion

Gestion de la vapeur d'eau

En plus d'un renouvellement régulier de l'air intérieur, les principes à respecter* pour une bonne gestion de la vapeur d'eau en ITI :

- Un mur imperméable à la pluie
- Un enduit extérieur ouvert à la vapeur et gardant un aspect capillaire
- Côté intérieur : une étanchéité à l'air limitant de plus le transfert de vapeur, mais pas trop afin de garder un potentiel de séchage (→ On évite les isolants fermés à la vapeur, et l'on choisit une membrane hygrovariable ou orientée)
- Eviter les isolants sensibles à l'eau, surtout s'ils sont en contact avec le mur
- Déposer les matériaux sensibles à l'eau, fermés à la vapeur et/ou non capillaires qui se trouveraient entre l'isolant et le mur

RdA Art

* Plus ou moins scrupuleusement selon la sensibilité des matériaux et des interfaces entre matériaux

204

* Voir études « HYBROBA », « Climaxion » ou OPéRA de la diapo « Ressources »,

** Non notée dans cette parenthèse la membrane Vario®, car insuffisamment fermée à la vapeur.




331



Gestion de la vapeur d'eau dans les parois : c'est surtout une problématique pour l'isolation intérieure !

Définitions

Gestion de la vapeur d'eau dans les parois isolées

1. Exemple de l'ITE 
2. Rampant (exemple de toiture froide) 
3. L'exemple de l'ITI 

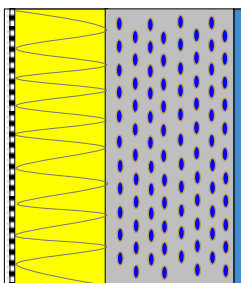
275

333



Dans les parois isolées

... Ce que l'on fait depuis 40 ans dans le neuf fonctionne pourtant ! Pourquoi ?



Extérieur

- Les techniques "béton" et "terre cuite" actuelles ne sont pas contrariées par cette présence d'eau.
- La zone de condensation commence (généralem.) à l'interface isolant/mur, ménageant ainsi l'isolant, qui (polystyrène ou laine minérale), est non capillaire et plutôt peu sensible à l'eau.

Biosourcés

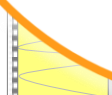
→ Une forte attention est à porter avec les isolants putrescibles, surtout s'ils sont capillaires et en contact avec le mur support !



334



→ Savoir si un isolant biosourcé est pérenne en isolation intérieure, c'est-à-dire appliqué contre un mur qui sera souvent humide l'hiver ne s'improvise pas : **vérifiez que le matériau/le produit que vous souhaitez utiliser est bien proposé en ITI, et respectez à la lettre les consignes de mise en œuvre !**



Murs isolés

Comment ça fonctionne

Le "béton" et "terre cuite" actuelles ne sont pas affectées par cette présence d'eau.

La condensation commence (généralement) à l'intérieur du mur, ménageant ainsi l'isolant, qui (s'il est minérale), est non capillaire et plutôt imperméable à l'eau.

Définitions

→ Une forte attention est à porter avec les isolants putrescibles, surtout s'ils sont capillaires et en contact avec le mur support !



337



→ Savoir si un isolant biosourcé est pérenne en isolation intérieure, c'est-à-dire appliqué contre un mur qui sera souvent humide l'hiver ne s'improvise pas : **vérifiez que le matériau/le produit que vous souhaitez utiliser est bien proposé en ITI, et respectez à la lettre les consignes de mise en œuvre !**

→ Une forte attention est à porter avec les isolants putrescibles, surtout s'ils sont capillaires et en contact avec le mur support !



290

« Respectez à la lettre les consignes de mises en œuvre », excepté pour le choix de la membrane où les Avis techniques proposent des pare-vapeurs très fermés alors qu'en ITI la pose d'une membrane hygrovariable de l'ordre de $S_d \approx 0,20/25m$ ou une membrane orientée génère des solutions plus robustes, car elles permettent un séchage côté intérieur en cas de besoin*.

(Mais précédemment, vérifiez auprès de votre assureur et la filière et/ou les industriels concernés que la solution que vous souhaitez mettre en œuvre sera bien assurée)

Définitions

* Voir études « HYBROBA », « Climaxion » ou OPÉRA de la diapo « Ressources »

338

SYNOPSIS BFC - Dec. 2022

Rehabilitation énergétique

Samuel Courgey - Arcanie

Outre le mur ancien, la seule autre paroi particulièrement complexe à appréhender vis-à-vis de la gestions de la vapeur d'eau est la toiture terrasse bois chaude, mais que nous déconseillons déjà pour d'autres raisons. (Cf. diapo dans § « Confort d'été »)

Gestion de la vapeur d'eau dans les parois : c'est surtout une problématique pour l'isolation intérieure !

Gestion de la vapeur d'eau dans les parois isolées

1. Exemple de l'ITE
2. Rampant (exemple de toiture froide)
3. L'exemple de l'ITI

339

SYNOPSIS BFC - Dec. 2022

Rehabilitation énergétique 1/2

Samuel Courgey - Arcanie

Définitions :

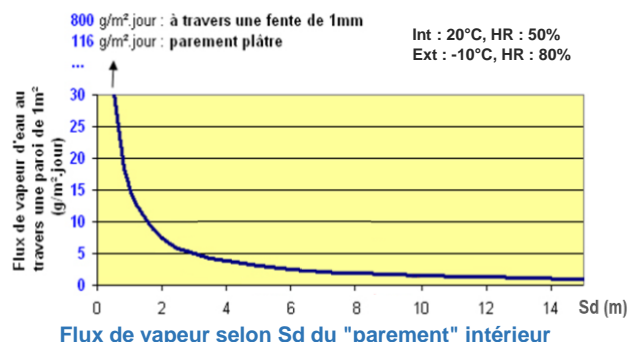
Pare vapeur, frein vapeur....

340



Pare vapeur et frein de vapeur

- **Pare-vapeur*** : (matériau ou comportement) $\approx S_d > 5 \text{ à } 10 \text{ m}$
- **Frein de vapeur*** : (matériau ou comportement) $\approx 1 \text{ à } 1,5 \text{ m} < S_d < 5 \text{ à } 10 \text{ m}$



** Il n'existe pas encore de définitions "officielles" permettant de différencier ces 2 termes. De fait, beaucoup ne parlent que de pare-vapeur (+ou-) ouverts à la diffusion de vapeur.*

341



Pare vapeur et frein de vapeur

- **Pare-vapeur*** : (matériau ou comportement) $\approx S_d > 5 \text{ à } 10 \text{ m}$
- **Frein de vapeur*** : (matériau ou comportement) $\approx 1 \text{ à } 1,5 \text{ m} < S_d < 5 \text{ à } 10 \text{ m}$

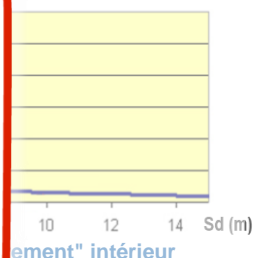


Attention !

Vu que le terme « pare vapeur » est anxiogène pour certains, et que « frein de vapeur » n'a pas de définition officielle, plusieurs industriels appellent « frein de vapeur » des membranes ayant des $S_d > 10$ voire 30 m.

Rappelez vous en : c'est la valeur S_d qui renseigne le comportement à la vapeur !

Int : 20°C, HR : 50%
Ext : -10°C, HR : 80%



** Il n'existe pas encore de définitions "officielles" permettant de différencier ces 2 termes. De fait, beaucoup ne parlent que de pare-vapeur (+ou-) ouverts à la diffusion de vapeur.*

342

Pare vapeur et frein de vapeur

- **Pare-vapeur*** : (matériau ou comportement) $\approx S_d > 5$ à 10 m
- **Frein de vapeur*** : (matériau ou comportement) $\approx S_d < 5$ à 10 m

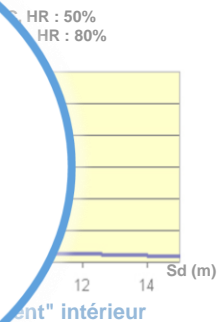
Frein de vapeur



Pare-vapeur



Rappel :
les matériaux
« pare-vapeur » ou
« frein de vapeur »
sont par ailleurs
étanches à
l'air !



* Il n'existe pas encore de définitions "officielles" pour ces termes. De fait, beaucoup ne parlent que de pare-vapeur (+ou-) frein de vapeur.

343

Membrane à diffusion variable*

La résistance à la diffusion de vapeur d'eau de ces membranes est plutôt :

- élevée en hiver, limitant ainsi l'entrée de la vapeur dans la paroi ;
- faible en été, facilitant alors le séchage de la paroi vers l'intérieur.

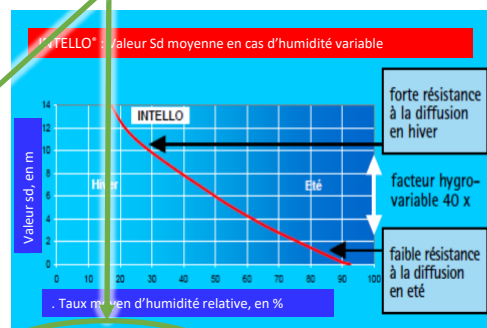


Vario® et Vario XTRA® (ISOVER®)

$S_d = 0,2$ à 3 m

$S_d = 0,2$ à 25 m

Produits sous ATec



Intello® et Intello+® (PRO CLIMA®). $S_d = 0,25$ à 25 m

* Il n'existe pas encore de définition explicite. Certains parleront de pare-vapeur (ou membrane, ou frein de vapeur) **hygro-variable, évolutif, intelligent...**

344



Dans ce diaporama,
lorsque nous conseillons
des membranes hygrovariables
en ITI, nous faisons référence à celles
ayant un Sd oscillant entre environ 20 à
25 cm, et de l'ordre de 15 à 20 m
minimum lorsqu'elles sont fermées. Cela
exclu donc la Vario® des 4 présentées ici.

(Avec
un Sd maximum de 3 m, elle n'est
pas suffisamment fermée)

Membrane à diffusion variable*

La résistance à la diffusion de vapeur d'eau
de ces membranes est plutôt :

- élevée en hiver, limitant ainsi l'entrée de
la vapeur dans la paroi ;
- faible en été, facilitant alors le séchage de
la paroi vers l'intérieur.



Vario® et Vario
XTRA® (ISOVER®)
sd = 0,2 à 3 m
sd = 0,2 à 25 m

Produits sous Atec



* Il n'existe pas encore de définition explicite. Certains parleront de membrane (ou
pare-vapeur, ou frein de vapeur) hygro-variable, hygro-régulante, évolutive, intelligente...

163

345



Une nouvelle solution,
appelée **technologie
hygrobride** arrive sur le
marché. Elle propose des
membranes orientées :
plus ouvertes dans un
sens que dans l'autre, tel
le Majrex® de SIGA® (Sd de
0,8 et 35 m selon sens)



346



SOMMAIRE

Journée 1 de 2

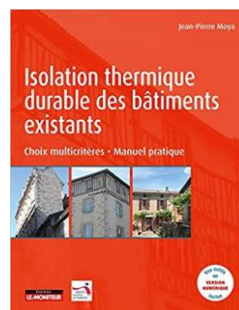
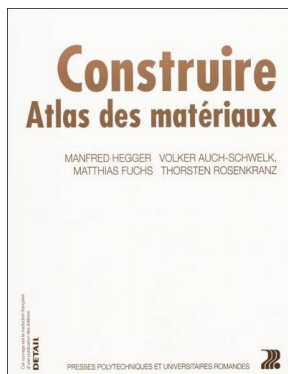
- Thermique - Notions de base
- Le confort thermique
- L'environnement en nouvel enjeu
- Une isolation performante
- Focus "Inertie"
- Focus "Humidité"

+ Ressources
& Annexes

348



Sur la thermique / les isolants



Newsletter mensuelle du
Réseau Bâtiment Durable

* Lien internet

350



Sur le sujet humidité



T*



T*



T*



T*



T*



T*

Formation gratuite pour aborder le sujet, particulièrement sous l'angle « diagnostic »

Normes : NF EN ISO 13788, NF EN 15026, NF EN 12524, SIA 180, SIA 380, DIN 4108,...

Structures : Fraunhofer Institut für Bauphysik (D), Technical University of Dresden (D), WTA (International Association for Science and Technology of Building Maintenance and Monuments Preservation), Architecture & Climat (B), Conseil National des Recherches Canada (CNRC), Plateforme maison passive (B), Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO), Passivhaus Institut (D), Gaujard Technologie, Agence qualité Construction (AQC), Energetech, CEREMA, CSTB, Pouget consultant...

... Sachant que sur le sujet, les ouvrages de référence sont en anglais et (surtout) en allemand !!!

Etude pratique comportant fiches et outil sur le sujet



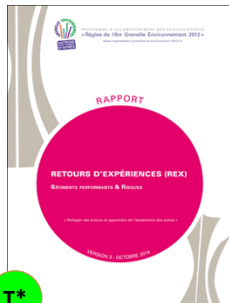
T*

T* : lien internet actif

355



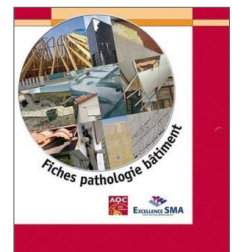
Sur l'approche « pathologie »



T*



T*



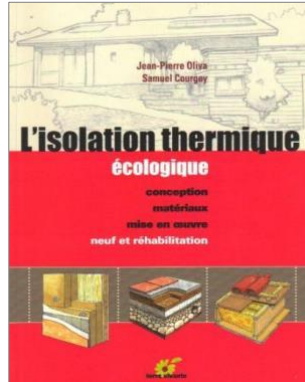
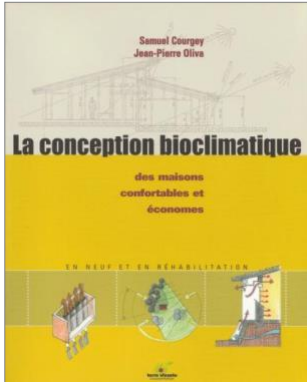
Et plus largement l'ensemble des productions de l'Agence Qualité Construction (www.qualiteconstruction.com), entre autres son application pour smartphone.

T* : lien internet actif

357



Pub... Pub... Pub... Pub... Pub... Pub...



Chaque image contient un lien internet actif

360

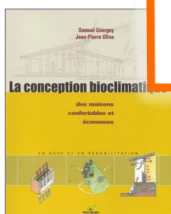


Sur chacun de ces ouvrages un point à ajuster !!!



Déphasage des isolants à forte capacité thermique : ne fait pas partie des principales pistes permettant de limiter les risques de surchauffe.

Augmenter l'épaisseur de l'isolant en ITI (à partir d'un R de $1\text{m}^2\text{K/W}$) n'est que faiblement impactant vis à vis des risques de condensation



361



**Ce point sera corrigé
dans la version 2023 de
l'isolation thermique
écologique, à sortir en
mars prochain.**

*Sur chacun de ces ouvrages un
point à ajuster !!!*

Déphasage des
isolants à forte capacité
thermique : ne fait pas
partie des principales
pistes permettant de
limiter les risques
de surchauffe.

Augmenter
l'épaisseur de l'isolant
en ITI (à partir d'un R de
 $1\text{m}^2\text{K/W}$) n'est que
faiblement impactant vis
à vis des risques de
condensation



362



Pub... Pub... Pub... Pub... Pub... Pub...

MOOC
RÉNOVATION PERFORMANTE
LES CLÉS DE LA RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE

**S'INSCRIRE
maintenant**

Désormais en
ligne en continu

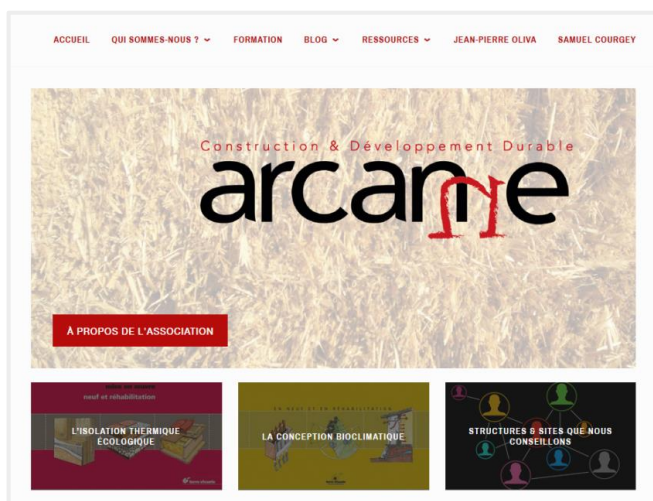


Mais également de très
nombreux autres MOOC sur
www.mooc-batiment-durable.fr



* Chaque image contient un lien internet actif (info, lien inscription...)

363



Avec de nombreuses pages ressources, dont une sur le sujet « Humidité »

T*

* Images avec lien internet actif

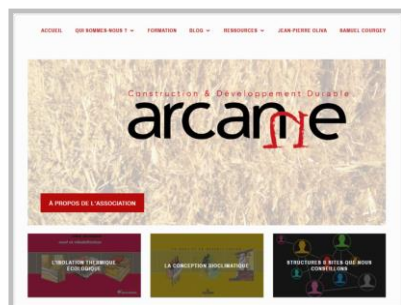
<https://associationarcanne.com>

364



+

=



Parrallèlement au MOOC, entièrement disponible, les différentes pages de la rubrique "Pour Aller Plus Loin" vous sont accessibles par les liens :

- Cours 1 à 3. ["La réhabilitation aujourd'hui"](#)
- Cours 4. La clé ["Organisation des espaces"](#)
- Cours 5. La clé ["Renouvellement d'air"](#)
- Cours 6. La clé ["Étanchéité à l'air"](#)
- Cours 7. La clé ["Isolation renforcée des parois"](#)
- Cours 8. La clé ["Pont thermiques"](#)
- Cours 9. La clé ["Chauffage performant"](#)
- Cours 10. La clé ["Eau Chaude Sanitaire"](#)
- Cours 11. La clé ["Éclairage et équipem.^{ts} électriques"](#)
- Cours 12 à 14. ["Mon métier aujourd'hui"](#)
- Cours 15 à 18. ["Bénéfices de la réno performante"](#)
- Focus ["L'humidité dans le bâtiment"](#)
- Focus ["Le confort thermique, même en été"](#)
- Focus ["La maison ancienne"](#)
- Focus ["Retours d'expérience"](#)
- Focus ["Options pour aller plus loin"](#)

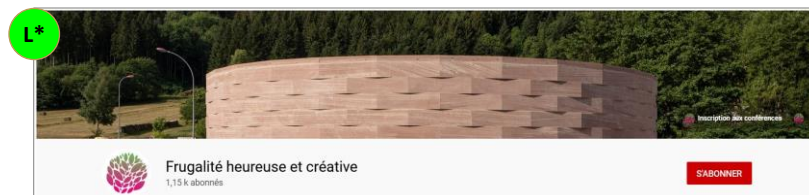
365

Suite de conférences proposée depuis le confinement par la SCOP des 2 rives, structure partenaire d'Arcanne sur la formation professionnelle :

**Le Pôle
énergie
Bourgogne
Franche-
Comté:**



, et pour suivre les productions / conférences de l'approche frugale :



*** Lien internet**

366

Annexes



367



ANNEXES

- Bien être et confort thermique
- Les ponts thermiques ▶|
- Confort d'été - Ex. de comportements de bâtiments ▶|
- Surventilation nocturne ▶|
- Critères de choix des isolants ▶|
- Exemples d'isolants ▶|
- Gros plan sur les isolants biosourcés ▶|
- Exemples de parois « basse conso » ▶|

368



ANNEXES

- **Bien être et confort thermique**
- Les ponts thermiques
- Confort d'été - Ex. de comportements
- Surventilation nocturne
- Critères de choix des isolants
- Exemples d'isolants
- Gros plan sur les isolants biosourcés
- Exemples de parois « basse conso »

369



Rappel

Mais au fait,
que
recherche-t-
on ?

Rappel

Être bien !



33

370

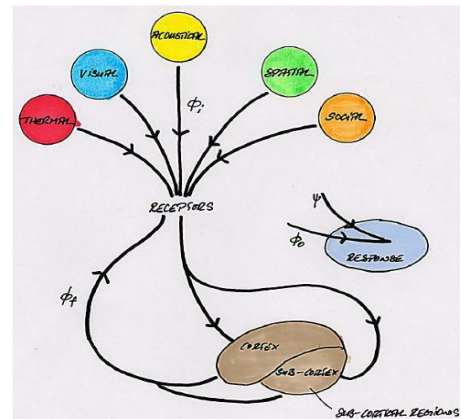


Le bien être

- Notre cerveau reçoit un ensemble de stimuli.
Ces derniers sont d'ordre :

- visuel
- acoustique
- olfactif
- spatial
- social
- thermique

Ces stimuli sont confrontés à notre état **physique** et **psychique** / Le cerveau émet un stimulus sortant qui évalue notre **bien-être**.



371



Le confort visuel



372



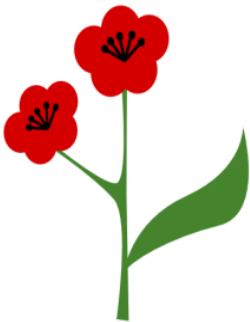
Le confort acoustique



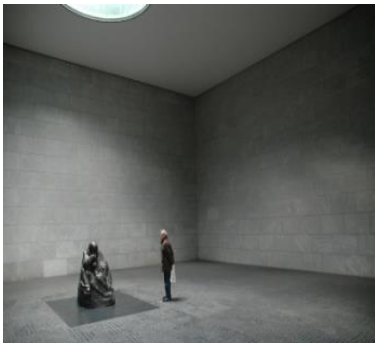
373



Le confort olfactif



Le confort spatial





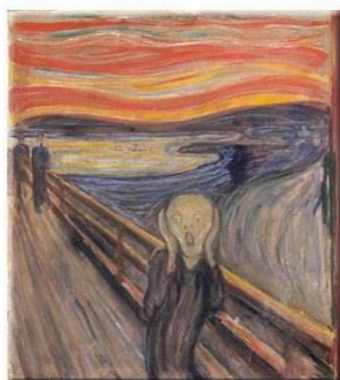
Le « confort » social



376



L'état physique et psychique



377



Le confort (hygro) thermique



378



Bien-être... et confort thermique

- Le **bien-être** est une notion subjective résultant de la perception de nos sens et de notre état physique et psychique.
- La perception thermique **n'est que l'un des stimuli** reçu par notre organisme et qui décide de notre bien-être.

379



Bien-être... et confort thermique

- Le bien-être est une perception psychologique et subjective de la qualité de l'environnement reçu.
 - La perception du confort thermique est influencée par notre état d'esprit et notre comportement.
- ... même si nous sommes de très bons artisans/artisanes, de très bons entrepreneurs/entrepreneuses, de très bons ingénieur(e)s... il faut accepter le fait que cette approche globale (du bien être, de l'être bien) est de la compétence des conceptrices/concepteurs !***

380



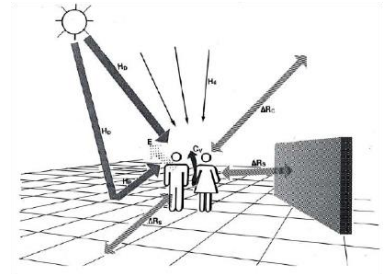
Le confort (hygro) thermique

381



Le confort (hygro) thermique

- L'approche thermique ne s'improvise pas ...
- Le confort thermique, indicateur de base de la performance énergétique, ne peut se limiter à la seule température.
- En définissant un environnement intérieur délimité de l'environnement extérieur, l'enveloppe du bâti joue alors le rôle d'interface entre les deux milieux



382



Le confort (hygro) thermique

Principes de base

Le confort hygrothermique ne tient compte que des paramètres suivants :

- les facteurs liés à l'environnement :
 - la température de l'air
 - la t° des surfaces environnantes
 - la vitesse relative de l'air
 - l'humidité relative de l'air
- les facteurs liés à l'individu :
 - son activité
 - son habillement



Métabolisme humain / Principe de base des transferts thermiques

Ces différents facteurs interagissent entre eux

383



Le confort (hygro) thermique

Principes de base

- Il est quasi impossible de satisfaire tout le monde ...
- Il est possible de créer un environnement dans lequel le pourcentage de personnes insatisfaites est au minimum.
- P.O. Fanger (1970) soumet des sujets à différents microclimats. Leur sensation est exprimée par un vote selon l'échelle :

-3	Très froid	Insatisfaits car trop froid
-2	Froid	
-1	Frais	Votes satisfaisants
0	Agréable / Neutre	
+1	Tiède	
+2	Chaud	Insatisfaits car trop chaud
+3	Très chaud	

La norme NF EN ISO 7730 part des travaux de Fanger

384

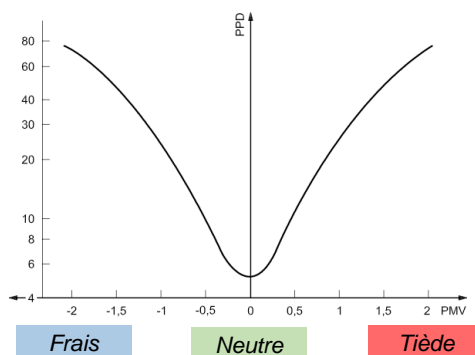


Le confort (hygro) thermique

Principes de base

NF EN ISO 7730

PPD
(% prévisible
d'insatisfaits)



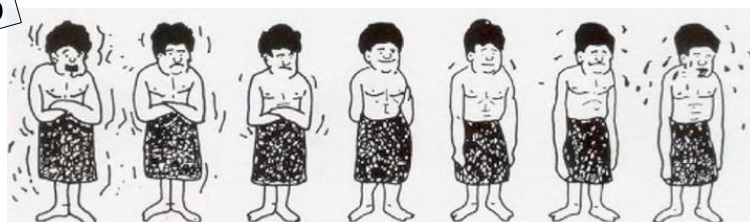
385



Le confort (hygro) thermique

Le confort thermique : n'avoir ni trop chaud, ni trop froid !

NF EN ISO 7730



Froid

Agréable
(Neutre)

Chaud

Très froid

Frais

Tiède

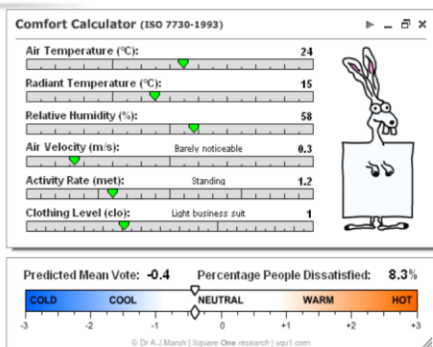
Très chaud

386

386



Le confort thermique



La norme
NF EN ISO 7730
donne un pourcentage de
personnes statistiquement
satisfaites/ insatisfaites du
confort thermique...

Source : <http://squ1.com>

387



Le confort thermique

En plus de l'habillement et de l'activité physique, quatre critères interviennent dans le confort thermique :

- *la température de l'air*
- *la température des parois*
- *le mouvement de l'air*
- *l'humidité de l'air*

Ce qui coûte le plus cher à produire, au porte-monnaie comme à l'environnement, c'est élever la t° de l'air (selon le type de logement : 7 à 20% de chauffage en plus par degré supplémentaire).

388



Le confort thermique

En plus de l'habillement et de l'activité physique, quatre critères interviennent dans le confort thermique :

- *la température de l'air*
- *la température des parois*
- *le mouvement de l'air*
- *l'humidité de l'air*

La priorité étant d'économiser l'énergie, nous interviendrons donc d'abord sur les points 2, 3 et 4 ! ...

389



Rappel

Le confort thermique

Avec une humidité relative moyenne (30 à 60%) et en l'absence de mouvement d'air* :

$$t^{\circ} \text{ ressentie (ou opérative)} \\ = \frac{1}{2} \times (t^{\circ} \text{ Air} + t^{\circ} \text{ Parois})$$

* Ces conditions sont estimées respectées si l'installation de renouvellement d'air est effective, et si les espaces intérieurs ne souffrent d'aucune réelle inétanchéité à l'air.

T° ressentie par les occupants = 19 °C



T° ressentie = 16 °C ... soit une sensation d'inconfort



390



Rappel

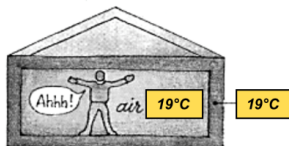
Le confort thermique

Avec une humidité relative moyenne (30 à 60%) et en l'absence de mouvement d'air* :

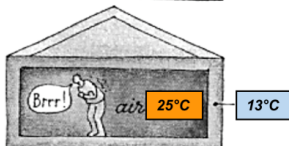
$$t^{\circ} \text{ ressentie (ou opérative)} \\ = \frac{1}{2} \times (t^{\circ} \text{ Air} + t^{\circ} \text{ Parois})$$

* En hiver, à partir du moment où la T° des parois est inférieure de plus de 7°C à celle de l'air, une sensation d'inconfort intervient. On y remédie en augmentant encore la t° de l'air.

T° ressentie par les occupants = 19 °C



T° ressentie = 19 °C ... mais une sensation d'inconfort*



391



Le confort (hygro) thermique

Ça se mesure :
L'ambiancemètre



392



Le confort (hygro) thermique

Exemple de valeurs liées à l'activité (en met)

Activité	Métabolisme énergétique	
	W/m ²	met
Repos, couché	46	0,8
Repos, assis	58	1,0
Activité sédentaire (bureau, domicile, école, laboratoire)	70	1,2
Activité légère, debout (achats, laboratoire, industrie légère)	93	1,6
Activité moyenne, debout (vendeur, travail ménager, travail sur machine)	116	2,0
Marche à plat:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4







Source : NF EN ISO 7730

393



Le confort (hygro) thermique

Exemple de valeurs liées à l'habillement (en clo)

Unité :						
clo :	< 0,5	0,6-1,2	1,3-1,7	1,8-2,4	2,5-3,4	> 3,5
m ² K/W :	< 0,08	≈ 0,1 à 0,2	≈ 0,2 à 0,3	≈ 0,3 à 0,4	≈ 0,4 à 0,5	> 0,5

394



Le confort (hygro) thermique

Confort thermique = absence d'inconfort

Dans les principales sources d'inconfort :

- *Les effets des courants d'air*
- *L'asymétrie de température radiante*
- *La différence verticale de la t° de l'air*
- *L'effet de la température du sol*

395



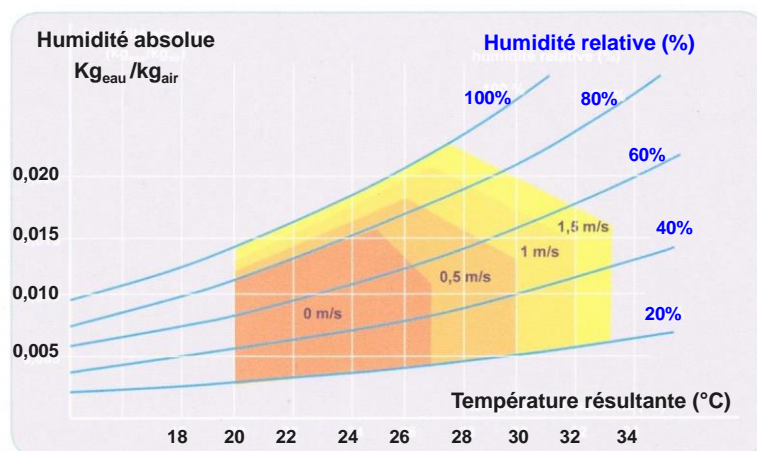
Mais quelle est la température de confort ?

396



La température de confort dépend de l'humidité relative de l'air et de sa vitesse

Diagramme de Govani, d'après TRIBU



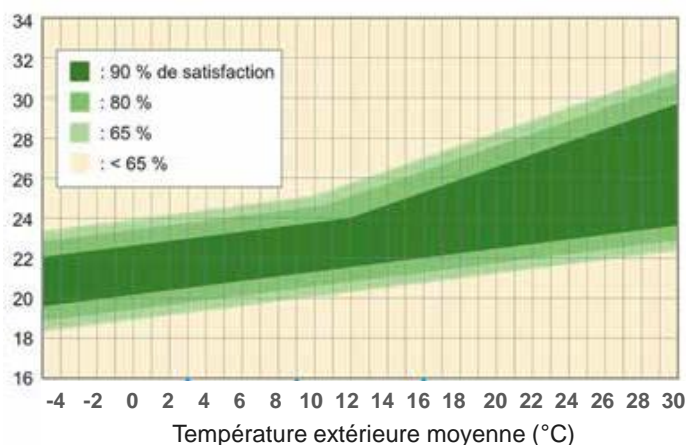
397

Approche dite « adaptative ». Source : Bruxelles
Environnement, d'après travaux de l'ASHRAE et de Givoni

La température de confort dépend également de la température extérieure moyenne



Température
résultante (°C)



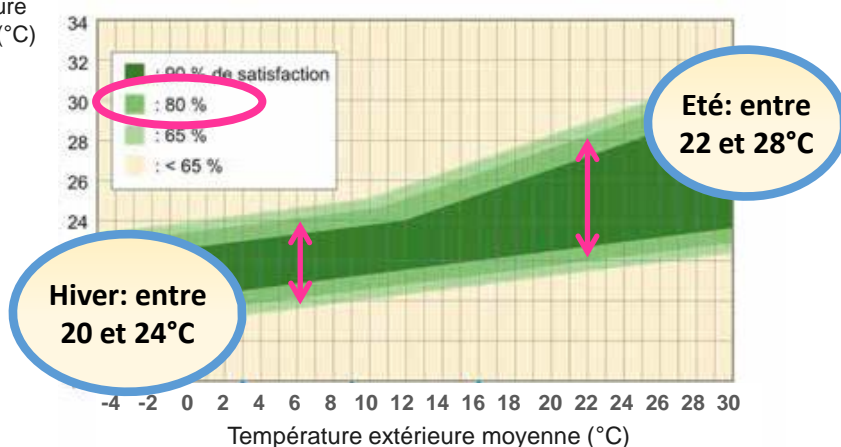
398

Approche dite « adaptative ». Source : Bruxelles
Environnement, d'après travaux de l'ASHRAE et de Givoni

La température de confort dépend également de la température extérieure moyenne



Température
résultante (°C)



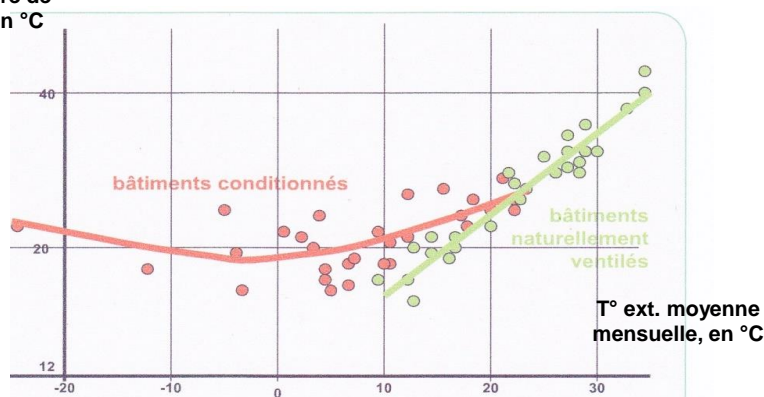
399

Source : ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Organisation technique en génies thermiques et climatiques)

...et du type de conditionnement de l'air et du comportement (+/- actif) des utilisateurs



T° intérieure de confort, en °C



Corrélation entre t° de confort, t° ext et participation au confort

400

...Sachant que des disparités existent entre individus, ou groupes d'individus !

(Les enfants et personnes âgées sont estimés plus frileux...)

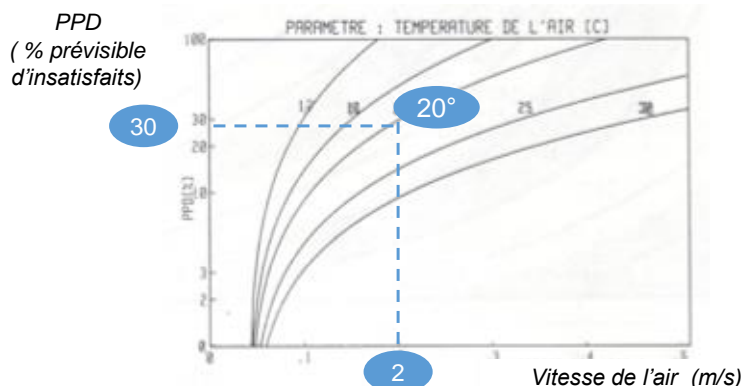


402



Le confort (hygro) thermique

Les effets des courants d'air



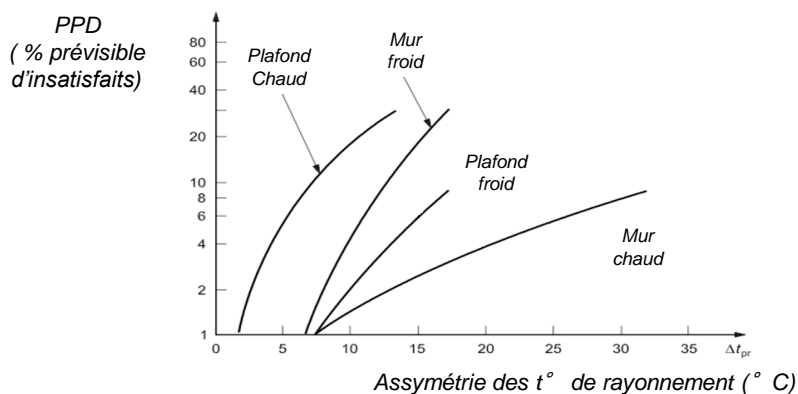
Source : Claude Alain Roulet, L'énergétique du bâtiment

403



Le confort (hygro) thermique

Les effets d'asymétrie des températures radiantes



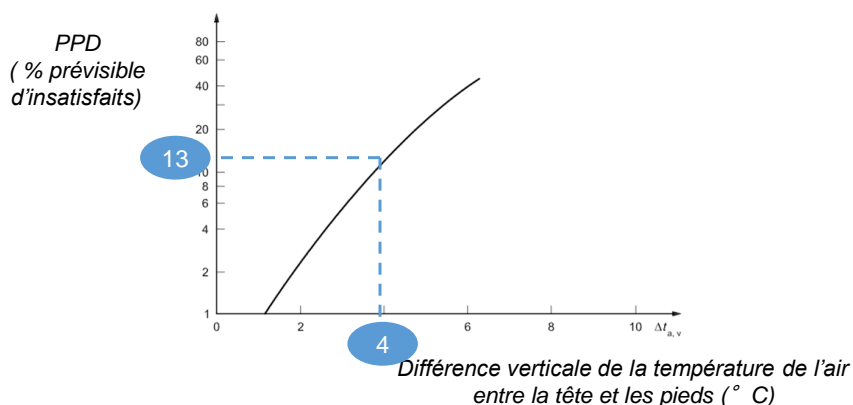
Source : Norme NF EN ISO 7730

404



Le confort (hygro) thermique

Différence verticale de la température de l'air



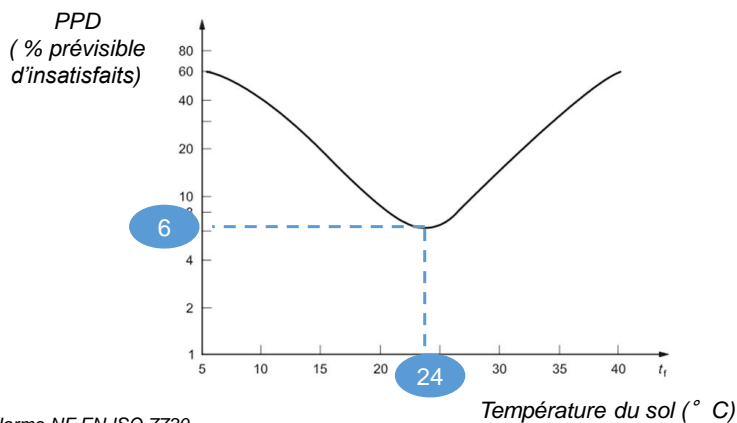
Source : Norme NF EN ISO 7730

405



Le confort (hygro) thermique

Les sols froids ou chauds



Source : Norme NF EN ISO 7730

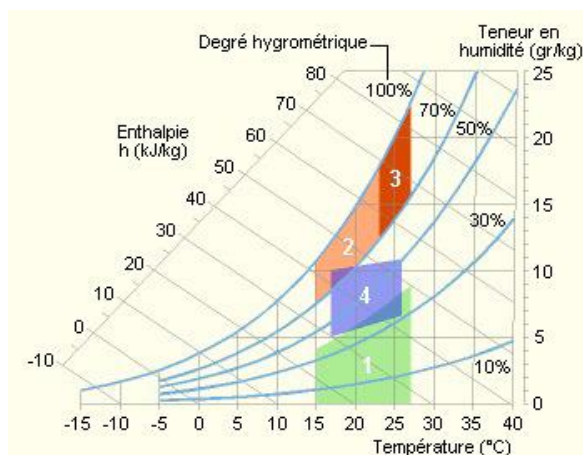
406



Le confort (hygro) thermique

Polygone du confort hygrothermique

1. Zone à éviter vis à vis des problèmes de sécheresse.
2. & 3. Zones à éviter vis à vis du développement de micro-organismes et bactéries.
3. Zone à éviter vis à vis du développement des acariens.
4. Polygone de confort hygrothermique.



407



S'il existe une multitude de diagrammes sur le confort thermique, un semble particulièrement complet !

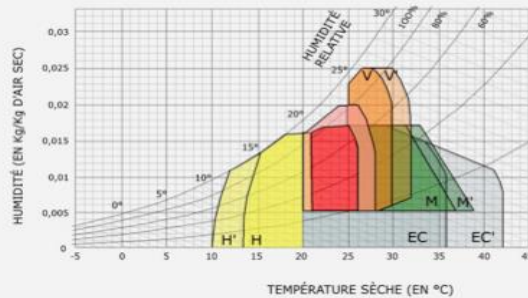
408



Le confort (hygro) thermique

Le diagramme de l'ambiance bioclimatique

- Zone de **confort hygrothermique** pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été.
- Extension de la zone de confort hygrothermique due à la **ventilation par augmentation de la vitesse d'air**, de 0,1 à 1,5 m/s
- Zone des conditions hygroth° compensables par l'utilisation de **systèmes passifs de refroidissement par évaporation**
- Zone des conditions hygrothermique compensables par **l'inertie thermique associée à la protection solaire** et à l'utilisation d'**enduits clairs**
- Zone des conditions hygroth° compensables par une **conception solaire passive** du bâtiment
- Zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent **l'humidification de l'air**



Source : JL Izard, Labo ABC Marseille Luminy

409

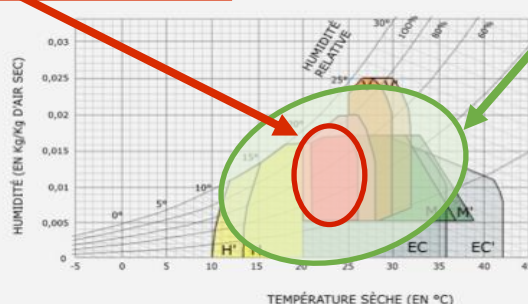


Le confort (hygro) thermique

Si on ne joue qu'avec la température de l'air pour apporter le confort thermique, il faudra du chauffage et du rafraîchissement en dehors de cette zone !

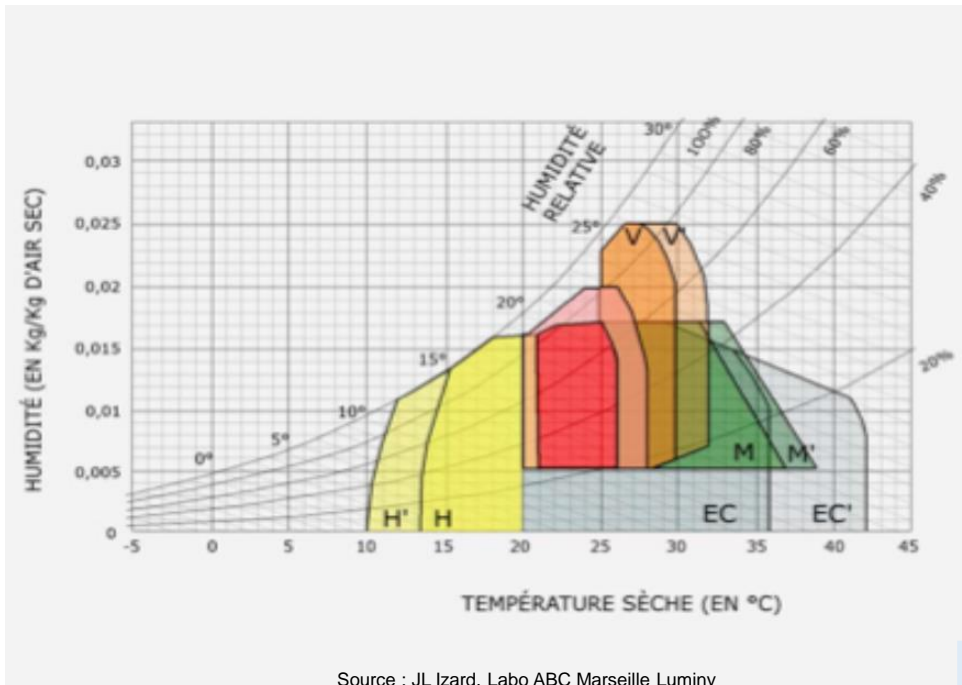
Si l'on compose également avec la température des parois, le mouvement de l'air et son l'humidité, la zone de confort sans chauffage et sans rafraîchissement augmente considérablement.

- Zone de confort hygrothermique pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été.
- Extension de la zone de confort hygrothermique due à la **ventilation par augmentation de la vitesse d'air**, de 0,1 à 1,5 m/s
- Zone des conditions hygroth° compensables par l'utilisation de **systèmes passifs de refroidissement par évaporation**
- Zone des conditions hygrothermique compensables par **l'inertie thermique associée à la protection solaire** et à l'utilisation d'**enduits clairs**
- Zone des conditions hygroth° compensables par une **conception solaire passive** du bâtiment
- Zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent **l'humidification de l'air**



Source : JL Izard, Labo ABC Marseille Luminy

410



411



ANNEXES

- Bien être et confort thermique
- **Les ponts thermiques**
- Confort d'été - Ex. de comportements
- Surventilation nocturne
- Critères de choix des isolants
- Exemples d'isolants
- Gros plan sur les isolants biosourcés
- Exemples de parois « basse conso »

412



Rappel

Des parois sans pont thermique (de liaison)



L'importance du choix du système constructif - Exemples

Déperditions par mètre de pourtour de dalle (et % des déperditions sur une hauteur d'étage*)



$\psi = 0,99 \text{ W/m.K}$

63%



$\psi = 0,64 \text{ W/m.K}$

52%



$\psi = 0,16 \text{ W/m.K}$

21%



$\psi = 0,06 \text{ W/m.K}$

3%

* Pour un mur isolé aux performances BBC ($U \approx 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$), une hauteur d'étage de 2,50m.
Valeurs ψ (psy) des règles TH-C (réglementation thermique)

86

413



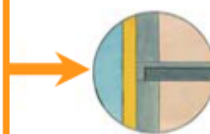
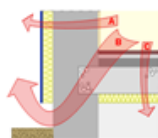
Rappel

Des parois sans pont thermique (de liaison)



Constructif - Exemples

Mais attention, le bâtiment est un tout, et si le pont thermique d'about de dalle disparaît avec l'ITE, oublier dans ce système de traiter finement les tours de baies, les bas et les hauts de murs en génère d'aussi importants : **on ne fait que déplacer le problème !**



$\psi = 0,06 \text{ W/m.K}$

3%

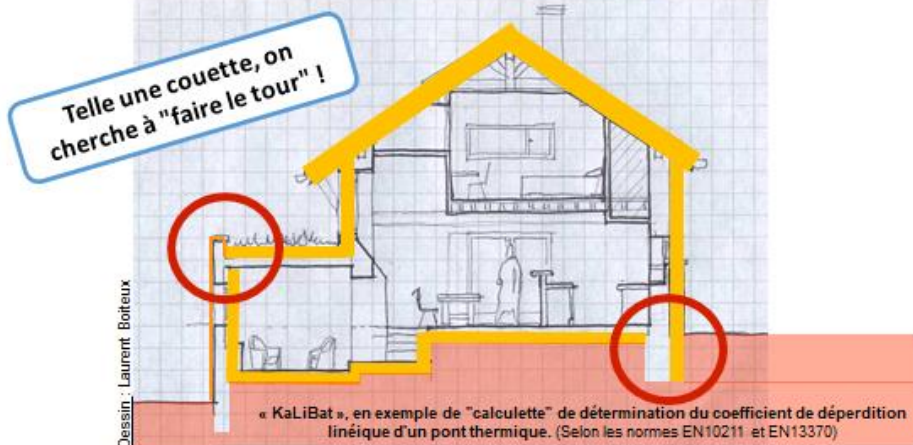
* Pour un mur isolé aux performances BBC ($U \approx 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$), une hauteur d'étage de 2,50m.
Valeurs ψ (psy) des règles TH-C (réglementation thermique)

87

414



Des parois sans pont thermique (de liaison)



89

415



Des parois sans pont thermique (intégré)

  paisseur d'isolant ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$) **nécessaire pour un U de $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ en doublage d'un mur maçonné*.**



15 cm d'isolant, si celui-ci est seulement collé



17,5 cm si une ossature bois sur 50% de son épaisseur



20 cm si une ossature bois traversante



32 cm si une ossature métallique traversante

* Mur en agglos de ciment. Calcul avec ossature (poteaux métalliques ou bois) tous les 60 cm

93

416



Des parois sans pont thermique (réseaux)

Veiller à limiter les traversées d'isolants.



La déperdition thermique d'un cm^2 cuivre ($\lambda = 380 \text{ W/m.K}$) est identique à celle d'un m^2 d'isolant ($\lambda = 0,038 \text{ W/m.K}$) !

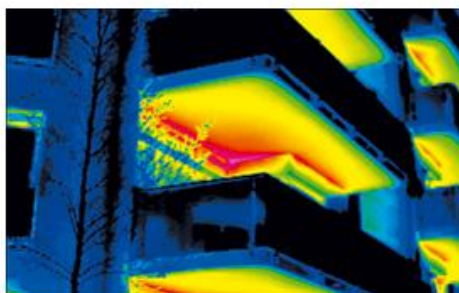
... Et nous n'estimons pas ici les éventuelles faiblesses de la jonction fils/gaine, gaine/isolant (isolant ne collant pas parfaitement aux pièces métalliques et inétanchéité à l'air...).

102

417



Des parois sans pont thermique



Les balcons en continuité de la dalle BA, véritables « ailettes » de refroidissement en hiver... et inversement l'été !

En rénovation énergétique, la gestion des balcons doit être étudiée très en amont !

(Intégration du balcon dans le volume isolé ? Dépose ? Dépose et remplacement par des solutions bois ? Sur poteaux ?...)

104

418



Des parois sans pont thermique



Une enveloppe sans pont thermique sous entend :

- un diagnostic qui repère l'ensemble des potentiels points faibles
- une conception qui propose les détails techniques de réalisation
- une réalisation qui ne souffre d'aucun "à peu près"

→ Ceci sous-entend, entre autres, un budget qui permet d'apporter ce soin nécessaire !

* En premier ouvrage pour appréhender le sujet « ponts thermiques »

105

419



Des parois sans pont thermique

- **Pour limiter les déperditions thermiques**
- **Pour limiter les condensations.** (Condensation de surface (int.) dégradant parement et qualité de l'air intérieur, et condensation dans la masse, qui risque de dégrader les matériaux / le bâti)
- **Pour ne pas générer de points froids** (inconfort, risques de salissures, moisissures...)
- **Pour ne pas créer de vieillissements / salissures différenciés en façades**

85

420

SYNAPOMIE BFC - Dec. 2022

Réhabilitation énergétique 1/2

Samuel Courgey - Arcanne

nm

Réno_{BBC} :
on cherchera à
n'avoir aucun
pont th° fort à
très fort


421

SYNAPOMIE BFC - Dec. 2022

Réhabilitation énergétique 1/2

Samuel Courgey - Arcanne

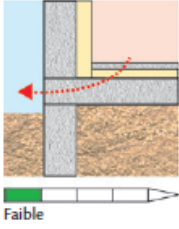
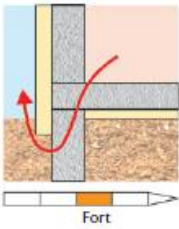
nm



Des parois sans pont thermique (de liaison)

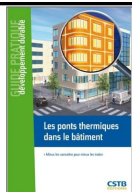
Réno BBC, on cherchera à n'avoir aucun PT fort à très fort

Exemple des planchers bas.



Pont thermiques	Faible	Moyen	Fort	Très fort
ψ (W/m.K)	0 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	> 1

167

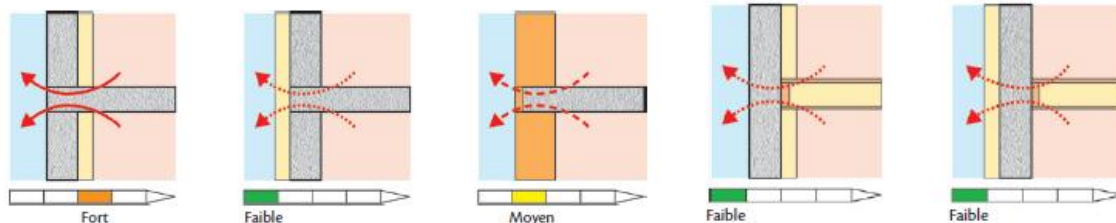


Des parois sans pont thermique (de liaison)



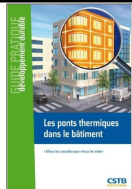
Réno BBC, on cherchera à n'avoir aucun PT fort à très fort

Exemple des planchers intermédiaires.



Pont thermiques	Faible	Moyen	Fort	Très fort
ψ (W/m.K)	0 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	> 1

423

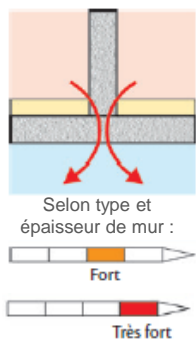


Des parois sans pont thermique (de liaison)



Réno BBC, on cherchera à n'avoir aucun PT fort à très fort

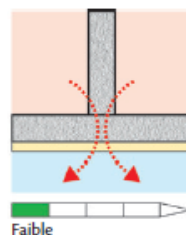
Exemple des refends.



→ Diminue de 25 à 35% avec un retour d'isolant de part et d'autre de 30 cm (R de 2 KW/m^2)

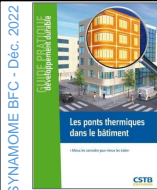


→ Diminue de 35% à 50 % avec un retour d'isolant de part et d'autre de 60 cm (R de 2 KW/m^2)



Pont thermiques	Faible	Moyen	Fort	Très fort
ψ (W/m.K)	0 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	> 1

424

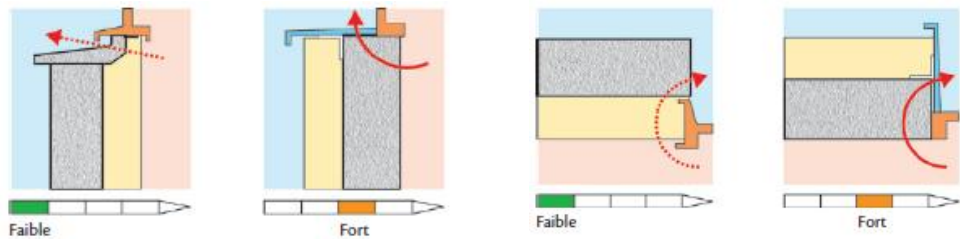


Des parois sans pont thermique (de liaison)



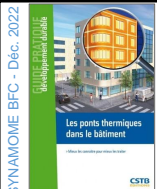
Réno BBC, on cherchera à n'avoir aucun PT fort à très fort

Exemple des baies vitrées.



Pont thermiques	Faible	Moyen	Fort	Très fort
ψ (W/m.K)	0 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	> 1

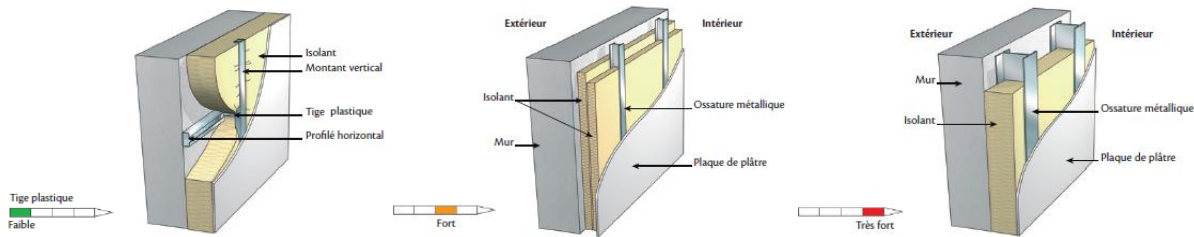
425



Des parois sans pont thermique (intégré)



Réno BBC, on cherchera à n'avoir aucun PT fort à très fort



Impact	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Dégradation de la résistance thermique de la paroi (en %)	0 à 5 %	5 à 15 %	15 à 30 %	> 30 %

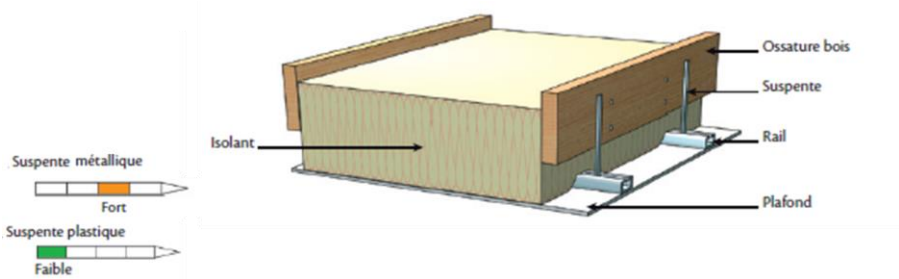
426



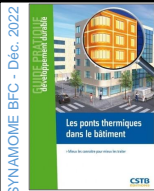
Des parois sans pont thermique (intégré)



Réno BBC, on cherchera à n'avoir aucun PT fort à très fort



Impact	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Dégradation de la résistance thermique de la paroi (en %)	0 à 5 %	5 à 15 %	15 à 30 %	> 30 %



Des parois sans pont thermique



Réno BBC, on cherchera à n'avoir

On peut penser que ces repères proposés en 1^{ères} références vont durcir assez vite, et que l'objectif sera bientôt de chercher à tout faire pour limiter les PT à 0,30 W/mK maxi. Et en aucune manière accepter des PT > 0,65 W/mK

Pont thermiques	Faible	Moyen	Fort	Très fort
ψ (W/m.K)	0 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	> 1

Impact	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Dégradation de la résistance thermique de la paroi (en %)	0 à 5 %	5 à 15 %	15 à 30 %	> 30 %



Des parois sans pont thermique

Réno BBC, on cherchera à n'avoir aucun PT fort à très fort

Pour connaître la valeur d'un pont thermique, 2 méthodes de résolution :

- Catalogues*
- Calcul numérique*

, sachant que vous inspirer de l'approche des acteurs du passif vous permettra de parfaire votre maîtrise du sujet*



* Voir diapo dédiée dans les ressources terminant ce chapitre

Images avec lien actif

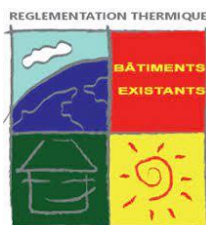
429



**Gestion des
ponts thermiques :
de quoi est-on
contraints ?**

430

Gestion des ponts th° : de quoi est-on contraints ?



Ponts thermiques de liaison.

Si la RT "éléments par éléments" n'a pas de demande particulière, la RT "globale" intégrera l'incidence des PT dans le calcul des déperditions. ... Mais cela ne sera réellement pénalisant que pour les performances de type BBC ! ...)-:

Ponts thermiques intégrés.

Idem concernant l'approche réglementaire. Mais si vous mettez en œuvre des solutions renseignées par un document de référence (DTU, Norme...) ou un avis technique, les détails de mise en œuvre sont à respecter. ... Sauf à vous mettre en porte à faux vis-à-vis de la maîtrise d'ouvrage et de votre assureur !

431

Et n'oubliez pas votre
"devoir de conseil", et que ne pas
gérer finement les ponts thermiques :

- multiplie par 2 à 4 les déperditions d'une enveloppe isolée
- génère de l'inconfort et des condensations (dégradation de matériaux, de la QAI...)
- "tue le gisement" d'économie d'énergie, et vous enlève la satisfaction de faire du "bon travail".



Gestion des ponts th° : de quoi est-on contraint ?



Ponts thermiques de liaison.

Si la RT "éléments par éléments" n'a pas de demande particulière, la RT "globale" intégrera l'incidence des PT dans le calcul des déperditions. ... Mais cela ne sera réellement pénalisant que pour les performances de type BBC ! ...)-:

Ponts thermiques intégrés.

Idem concernant l'approche réglementaire. Mais si vous mettez en œuvre des solutions renseignées par un document de référence (DTU, Norme...) ou un avis technique, les détails de mise en œuvre sont à respecter. ... Sauf à vous mettre en porte à faux vis-à-vis de la maîtrise d'ouvrage et de votre assureur !

438

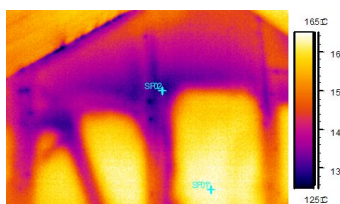
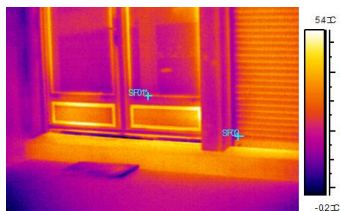
432



Des parois sans pont thermique

Bientôt de (nouvelles) obligations de résultats ?

Sources photos : Arcanne et CEBTP (chantier expérimental de Montholier FFB/ADEME), et Jean-Pierre OLIVA



Quelques fois, nous n'avons pas besoin de caméra thermique !

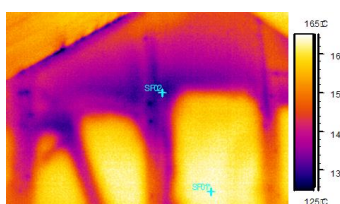
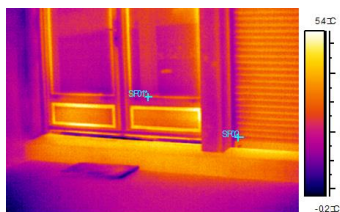
433



Des parois sans pont thermique

Bientôt de (nouvelles) obligations de résultats ?

Sources photos : Arcanne et CEBTP (chantier expérimental de Montholier FFB/ADEME)



Une thermographie infrarouge ne permet pas de quantifier l'intensité du flux. Par exemple sur la photo du haut, si nous remarquons que le flux est plus important au niveau du seuil de porte, l'image ne nous certifie pas que le rupteur thermique a été oublié entre la chape et le seuil.

En revanche, le fait que le nombre de caméras thermiques explose permet dans de nombreux cas de voir si le travail a été fait ou non. Sur la photo du bas nous voyons que la laine minérale n'a pas été mise jusqu'en haut... ce qui était pourtant demandé. Là c'est la garantie « de parfait achèvement » qui entre en jeu.

434



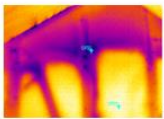
Un premier repère sur la thermographie infrarouge proposé par le programme RAGE 2012 :

« Inspection par les artisans
de l'enveloppe du bâtiment
à l'aide de caméras
thermographie infrarouge »

[Lien actif sur doc pdf](#)

Des parois sans pont thermique

Bientôt de (nouvelles) obligations de résultats ?



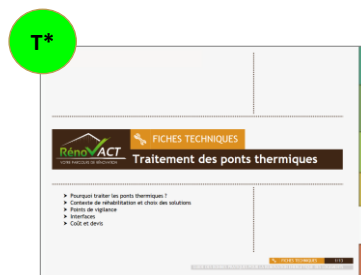
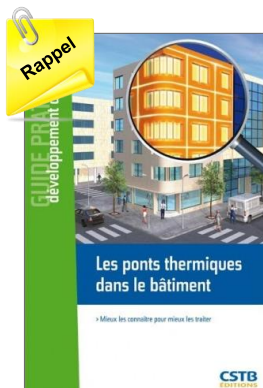
Quelques fois, nous n'avons pas
besoin de caméra thermique !

420

435

Des parois sans pont th° - Qq. ressources

1. Documents de présentation / vulgarisation



[T* : lien internet actif](#)



436

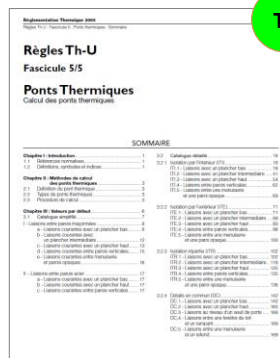


Des parois sans pont th° - Qq. ressources

2. Catalogues de ponts thermiques**



T*



T*



T*

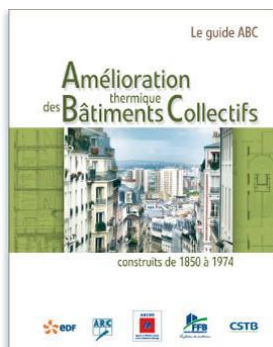
** Les méthodes de calcul des PT pouvant différer d'un pays à l'autre, les valeurs de ces 2 docs ne sont pas forcément précisément comparables

T* : lien internet actif

437

Des parois sans pont th° - Qq. ressources

3.a. Livres sur la rénovation avec une partie riche sur les PT



* Lien internet

		Mansard	
		Brisis sans retrait	"Belle dans la boîte"
Façade	Plancher	ITI seule	Rupteur
		ITI seule	Rupteur
Pierre	Bois	0,55 si $R_{01} = 5$ 0,64 si $R_{01} = 3$	0,32 si $R_{01} = 5$ 0,40 si $R_{01} = 3$
		0,40 si $R_{01} = 5$ 0,47 si $R_{01} = 3$	0,40 si $R_{01} = 5$ 0,47 si $R_{01} = 3$
	Métal	0,68 si $R_{01} = 5$ 0,80 si $R_{01} = 3$	0,50 si $R_{01} = 5$ 0,53 si $R_{01} = 3$
		0,60 si $R_{01} = 5$ 0,70 si $R_{01} = 3$	0,40 si $R_{01} = 5$ 0,43 si $R_{01} = 3$

Ouvrage de référence sur la rénovation thermique des bâtiments collectifs, avec 70 pages consacrées aux PT



L*

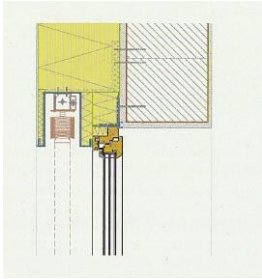
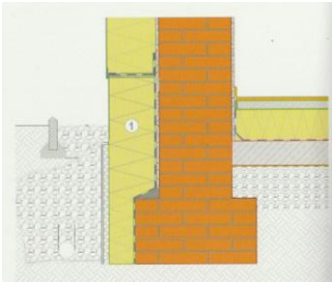
Document également très intéressant, sur les collectifs d'après 1948

438

Des parois sans pont thé - Qq. ressources



3.b. Livres sur la réno passive, avec une partie riche sur les PT



Ouvrage (en anglais ou allemand) présentant de très nombreuses gestions de PT permettant à des bâtiments rénovés d'atteindre le standard passif.

Logiciels de calcul des ponts thé (1)



	Les plus	Les moins
Heat 2D et 3D	Formation existante Facilité de modélisation	Prix Prise en main
An Therm	Formation existante Facilité de modélisation /Dynamique	Prix Prise en main
BISCO & TRISCO	Facilité de modélisation Rapidité des calculs	Prix
Therm	Logiciel gratuit	2D / Formes simples Prise en main
KALIBAT	Facilité de modélisation Logiciel gratuit	2D Eléments pré-format�s Méthode peu précise
FLIXO	Facilité de modélisation Prise en main	2D Prix élevé pour la totalité des modules
KOBRA	Facilité de modélisation Logiciel gratuit	2D et 3D Eléments pré-format�s

(1) : d'après une formation sur les ponts thermiques, de Romain Claret, BET « PLAN 9 » ([Lien sur site](#))





ANNEXES

- Bien être et confort thermique
- Les ponts thermiques
- **Confort d'été - Ex. de comportements**
- Surventilation nocturne
- Critères de choix des isolants
- Exemples d'isolants
- Gros plan sur les isolants biosourcés
- Exemples de parois « basse conso »

441



Comportement de bâtiments

Evaluation - Etude de cas Belgique.

L'évaluation de la surchauffe dans différents cas concrets permet de donner une idée des stratégies à mettre en œuvre. Chaque projet est un cas particulier, mais ce qui suit permet de fixer quelques repères.

La situation étudiée est celle d'une maison particulière de 150 m² habitables. Différentes hypothèses de mode de construction et d'inertie sont examinées, avec des niveaux de performance BBC (besoins de chauffage ≈ 40 kWh/m².an d'après le logiciel PHPP) et passif (besoins de chauffage ≈ 15 kWh/m².an d'après le logiciel PHPP).

Hypothèses :

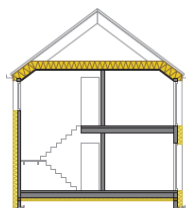
- Orientation arrière au sud
- Proportion de vitrage des façades : 20 % de la surface au sol des pièces de vie
- 26 % de la façade Sud
- 15 % de la façade Nord
- 12 % de la façade Ouest
- 8 % de la façade Est
- Ventilation de base par un système double flux avec échangeur de chaleur
- Ventilation intensive « estivale » dans le séjour et le bureau si la température intérieure est supérieure à 22 ° et la température extérieure est supérieure à 18 °
- Gains internes suivant un profil quotidien, avec une moyenne de 4.8 W/m² en continu

442



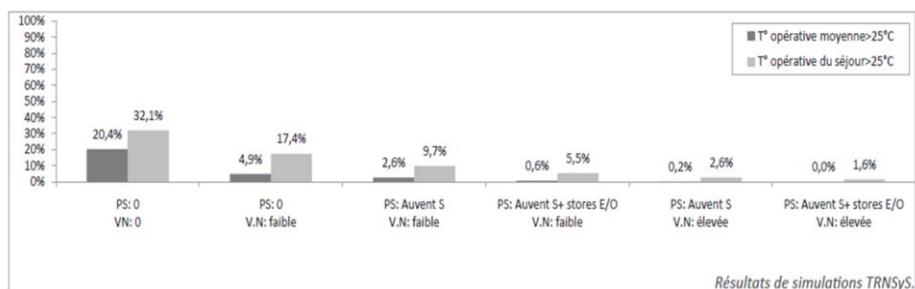
Comportement de bâtiments

Maison BBC, massive « lourde »



- Bloc silico-calcaire
- Isolant fibre de bois
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

. Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
 . Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN :   lev  e), 8 vol/h automatique (VN :   lev  e automatique), puits canadien



Surchauffe : pourcentage du temps où la T* est supérieure à 25   C, sur une année moyenne.

443

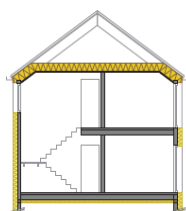


Le cas présenté ici est celui d'une construction en maçonnerie avec ITE. Les techniques et matériaux ont été choisis pour apporter un maximum d'inertie.

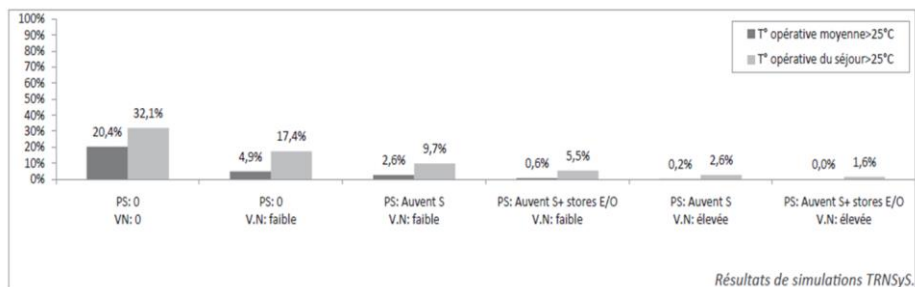
Une inertie importante permet d'absorber la chaleur excédentaire et d'avoir un profil de température assez stable.

On peut voir que déjà, avec un ombrage uniquement par des auvents au dessus des baies sud (largeur de l'auvent = 1/2 hauteur du vitrage) et une ventilation nocturne manuelle qui correspond à l'ouverture des fenêtres en position oscillo-battante, les surchauffes sont assez efficacement limitées.

Une stratégie plus complète, avec, soit une ventilation nocturne automatisée et plus importante, soit un ombrage par stores automatisés des baies E&W permet de réduire encore les surchauffes



- Bloc silico-calcaire
- Isolant fibre de bois
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur



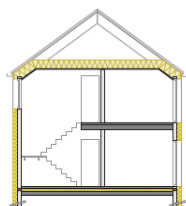
Surchauffe : pourcentage du temps où la T* est supérieure à 25   C, sur une année moyenne.

444



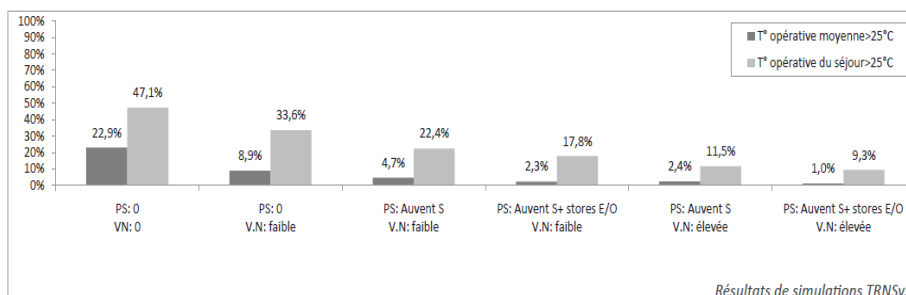
Comportement de bâtiments

Maison BBC, massive « légère »



- Bloc béton cellulaire
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur

. Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
 . Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



Résultats de simulations TRNSYS.

Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

445

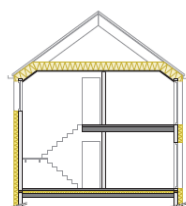


Le cas présenté ici est celui d'une construction en maçonnerie de béton cellulaire avec isolation par l'extérieur. L'inertie du bâtiment est faible.

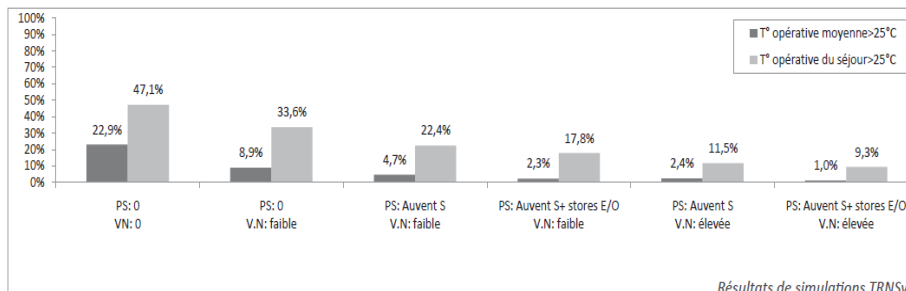
La situation avec une protection solaire des baies au sud et une ventilation nocturne faible n'offre pas des résultats très convaincants.

Une stratégie plus complète, avec, soit une ventilation nocturne automatisée et plus importante, soit une protection solaire par stores automatisés des baies est et ouest sera nécessaire.

Il est même conseillé ici de combiner ces deux dernières stratégies pour assurer le confort.



- Bloc béton cellulaire
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur



Résultats de simulations TRNSYS.

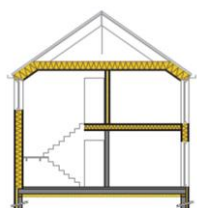
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

446

Comportement de bâtiments

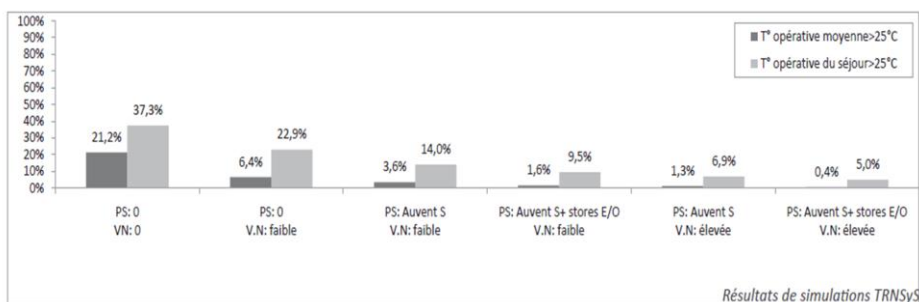


Maison BBC, MOB « lourde »



- Ossature bois
- Isolant fibre de bois
- Plancher bois
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

- . Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
- . Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



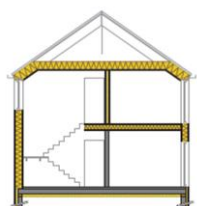
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

447

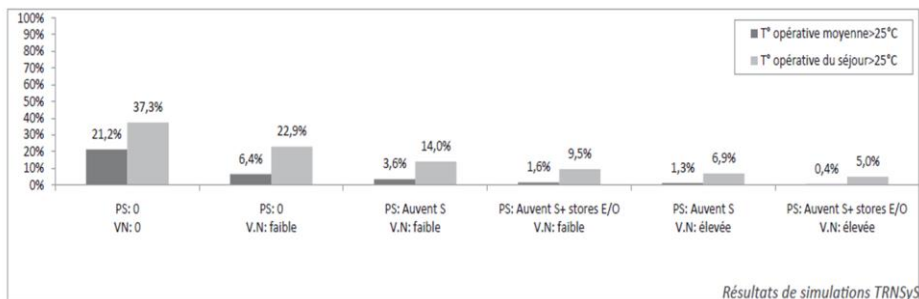
Contrairement aux maisons massives de la construction tradi, la structure des MOB est légère et n'amène que peu d'inertie.

Le cas présenté ici compense partiellement ce désavantage de départ par le choix de matériaux à "forte inertie" pour l'isolation, pour le parachèvement, pour la dalle de sol... C'est "la plus forte inertie" qu'on peut atteindre avec une MOB sans plancher d'étage en béton.

Une stratégie avec, soit une ventilation nocturne automatisée élevée, soit une protection solaire par auvents au sud et par stores automatisés des baies est et ouest permet de réduire efficacement les surchauffes. La combinaison des deux donne des résultats encore plus performants.



- Ossature bois
- Isolant fibre de bois
- Plancher bois
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur



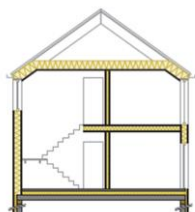
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

448

Comportement de bâtiments

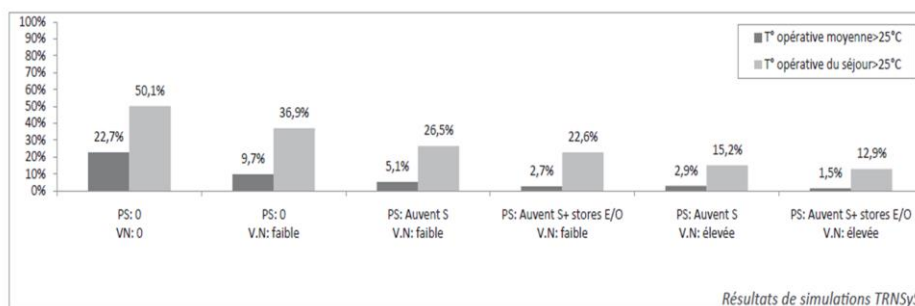


Maison BBC, MOB « légère »



- Ossature bois
- Isolant laine minérale
- Plancher bois
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaudière

- . Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
- . Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



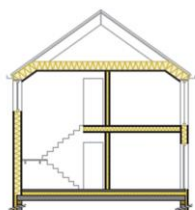
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

449

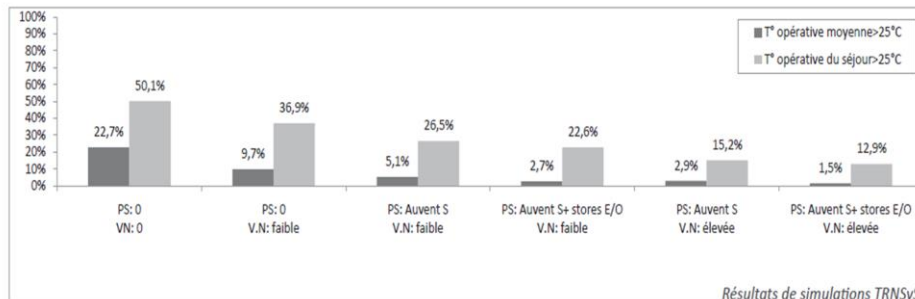
Le cas présenté ici est une maison à ossature bois dans laquelle rien n'a été fait pour ajouter de l'inertie. Cloisons intérieures légères, isolant léger, parachevements classiques, chape sur isolant...

En comparaison avec le cas précédent, on voit facilement qu'il faudra mettre en œuvre une stratégie de lutte contre les surchauffes plus complète pour obtenir un confort satisfaisant.

La combinaison d'une ventilation nocturne intensive et automatisée et de protections solaires performantes donne les meilleurs résultats. On pourrait encore améliorer le confort en ajoutant un puits canadien ou des stores au sud.



- Ossature bois
- Isolant laine minérale
- Plancher bois
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaudière



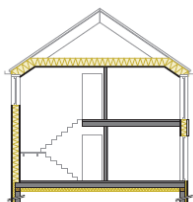
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

450



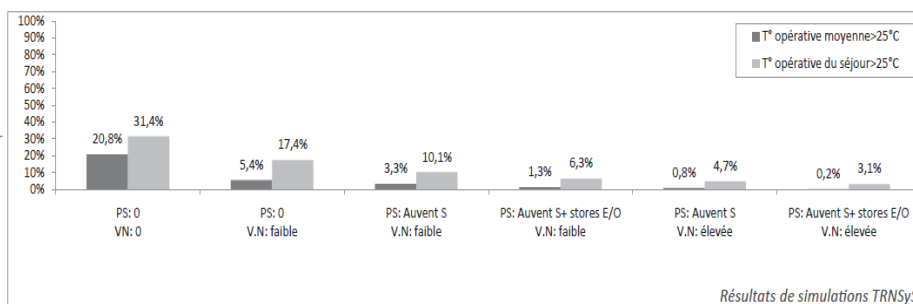
Comportement de bâtiments

Maison BBC miste (OB + masse)



- Façades ossature bois
- Cloisons lourdes
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

- . Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
- . Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



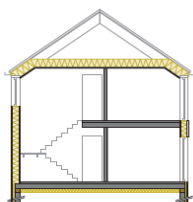
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

451

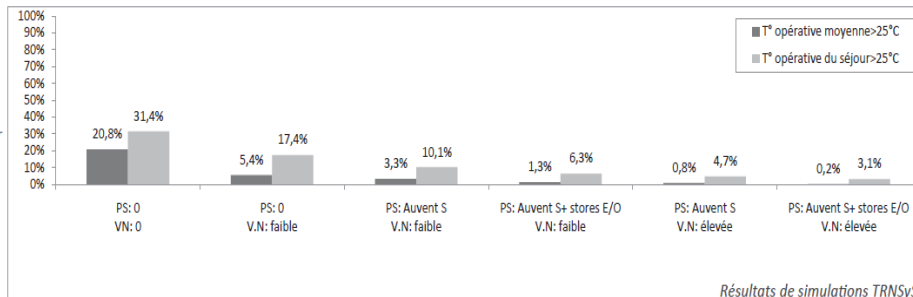


Le cas présenté ici est une solution hybride. L'intérieur est maçonné, lourd, tandis que les parois de l'enveloppe sont en ossature bois. Cette solution permet de combiner les avantages de l'ossature bois en matière de performance d'isolation dans des épaisseurs raisonnables et de l'inertie de la construction traditionnelle pour les parois et dalles intérieures. La stabilité d'un bâtiment de ce type est bien sûr à considérer.

En matière de confort, l'inertie est très clairement un avantage et on observe sur le graphe qu'une stratégie de protection solaire performante ou de ventilation nocturne performante permet de limiter efficacement les surchauffes. La combinaison des deux donne évidemment des résultats encore meilleurs.



- Façades ossature bois
- Cloisons lourdes
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur



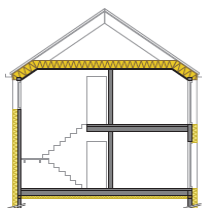
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

452



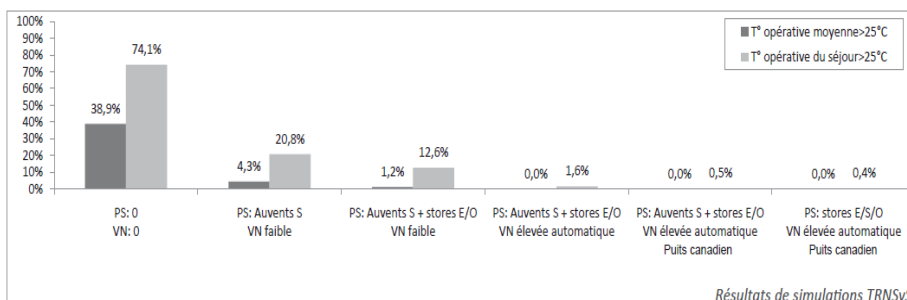
Comportement de bâtiments

Maison passive, massive lourde



- Bloc silico-calcaire
- Isolant fibre de bois
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

- . Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
- . Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



Surchauffe : pourcentage du temps où la T* est supérieure à 25°C, sur une année moyenne.

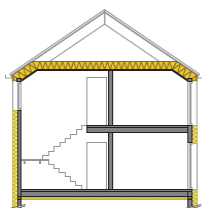
453



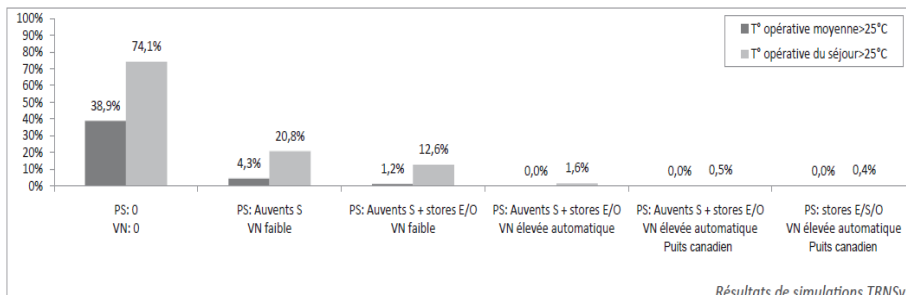
Le cas présenté ici est celui d'une construction en maçonnerie avec isolation par l'extérieur. Les techniques et les matériaux ont été choisis pour apporter un maximum d'inertie.

Une protection solaire par auvents au Sud et par stores à l'Est et à l'Ouest, couplée à une ventilation nocturne élevée et mécanisée supprime tout risque de surchauffe. Avec une bonne gestion des gains internes, on pourrait même sans doute se satisfaire d'une ventilation nocturne non automatisée.

Le graphe ci-dessous comparé aux graphes suivants qui représentent les autres cas d'inertie, montre bien l'avantage important qu'amène l'inertie dans la lutte contre les surchauffes.



- Bloc silico-calcaire
- Isolant fibre de bois
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur



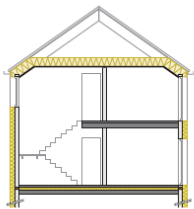
Surchauffe : pourcentage du temps où la T* est supérieure à 25°C, sur une année moyenne.

454



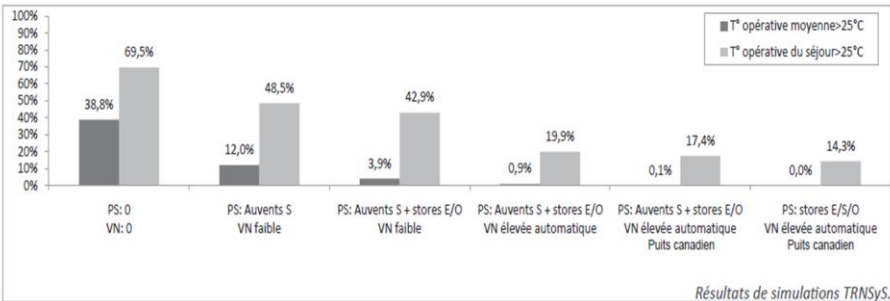
Comportement de bâtiments

Maison passive, massive légère



- Bloc béton cellulaire
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur

. Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
. Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



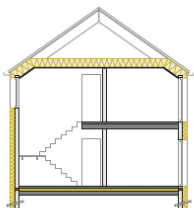
Résultats de simulations TRNSYS.

Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

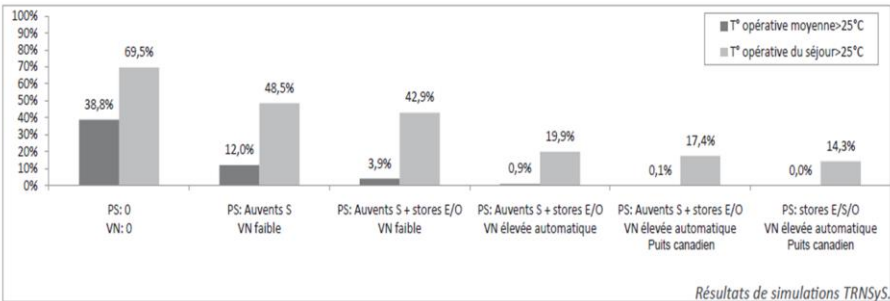
455



Le cas présenté ici est celui d'une construction en maçonnerie de béton cellulaire avec isolation par l'extérieur. L'inertie du bâtiment est faible.
L'absence d'inertie dans le séjour provoque un inconfort qu'aucune stratégie ne permet de supprimer. Il est donc essentiel, dans le cas de construction avec une faible inertie, de limiter l'impact négatif des gains internes (efficacité des appareils et des éclairages, volume ouvert, pas de concentration des sources de chaleur...). Une bonne protection solaire et une ventilation nocturne efficace permettront néanmoins d'atteindre des critères de confort acceptables en ce qui concerne la température moyenne de la maison.



- Bloc béton cellulaire
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur



Résultats de simulations TRNSYS.

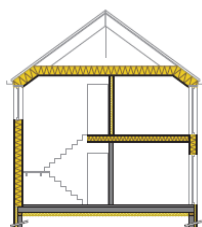
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

456

Comportement de bâtiments

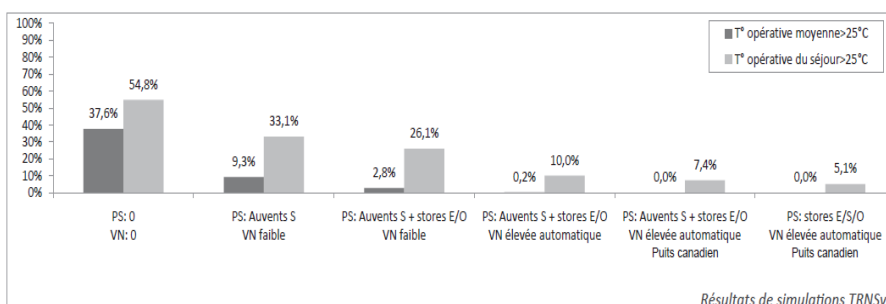


Maison passive, MOB « lourde »



- Ossature bois
- Isolant fibre de bois
- Plancher bois
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

- . Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
- . Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



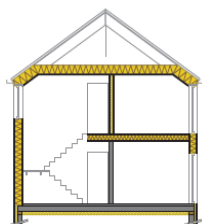
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

457

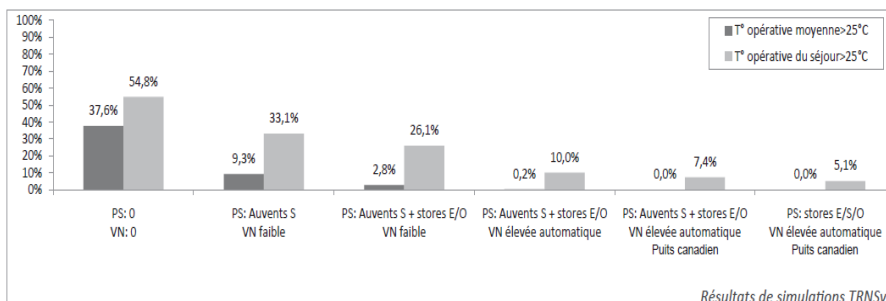
Contrairement aux maisons massives de la construction traditionnelle, la structure des maisons à ossature bois est légère et n'amène que peu d'inertie.

Le cas présenté ici compense partiellement ce désavantage de départ par le choix de matériaux à forte inertie pour l'isolation, pour le parachèvement, pour la dalle de sol, ... C'est « la plus forte inertie » qu'on peut atteindre avec une ossature bois sans plancher de l'étage en béton.

La situation est légèrement plus favorable que dans le cas étudié ci-dessous, mais la tendance reste la même : sans inertie, le séjour n'a pas la capacité d'absorber la chaleur excédentaire, ce qui génère un inconfort. D'où, à nouveau, la nécessité de limiter au maximum l'impact négatif des gains internes.



- Ossature bois
- Isolant fibre de bois
- Plancher bois
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur



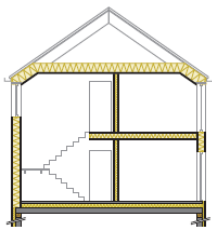
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

458



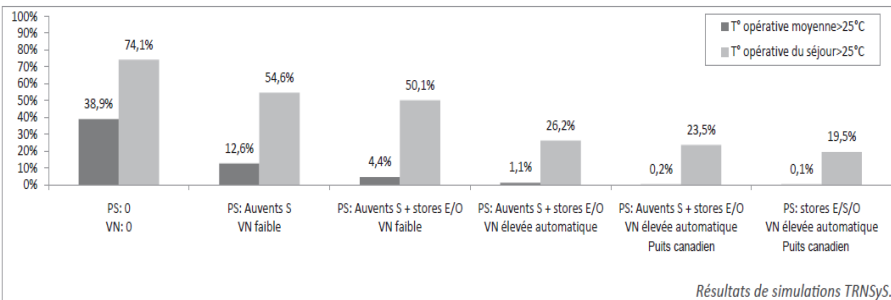
Comportement de bâtiments

Maison passive, MOB « légère »



- Ossature bois
- Isolant laine minérale
- Plancher bois
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur

. Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
. Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



Résultats de simulations TRNSYS.

Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

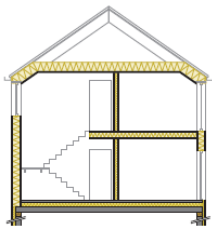
459



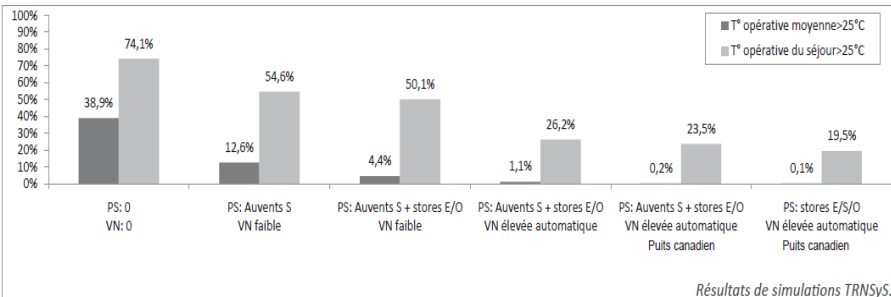
Le cas présenté ici est une maison à ossature bois dans laquelle rien n'a été fait pour ajouter de l'inertie. Cloisons intérieures légères, isolant léger, parachevements classiques, chape sur isolant...

Ce cas est proche des deux précédents, mais c'est le plus défavorable. À cause de la très faible inertie du bâtiment, aucune stratégie ne permet d'atteindre des critères de confort dans le séjour.

Il est donc préférable d'éviter ce type de construction. Si elle est tout de même choisie, les gains internes devront être gérés pour que leur impact négatif soit réduit au minimum (appareils efficaces, localisation pertinente, volume ouvert).



- Ossature bois
- Isolant laine minérale
- Plancher bois
- Dalle de sol béton inaccessible à la chaleur



Résultats de simulations TRNSYS.

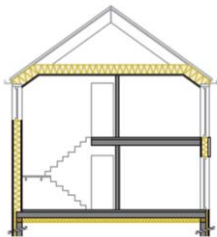
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

460



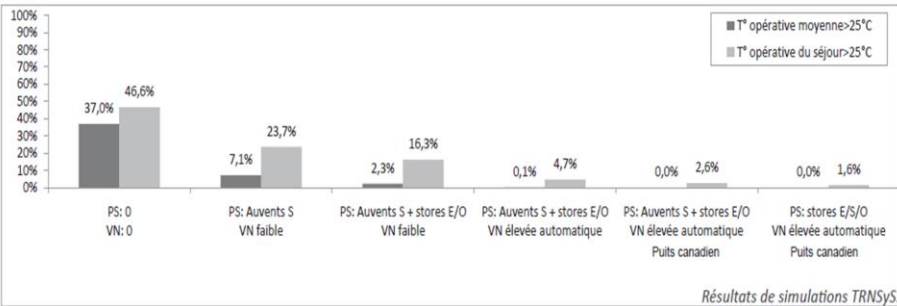
Comportement de bâtiments

Maison passive mixte (OB+masse)



- Façades ossature bois
- Cloisons lourdes
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur

. Avec protection solaire nulle (PS : 0), auvent sud de 1 m (PS : Auvent S), stores à facteur solaire de 0,13 sur façades E & O (PS : Stores E/O)
. Ventilation nocturne nulle (VN : 0), de 4 vol/h (VN : faible), de 8 vol/h (VN : élevée), 8 vol/h automatique (VN : élevée automatique), puits canadien



Résultats de simulations TRNSYS

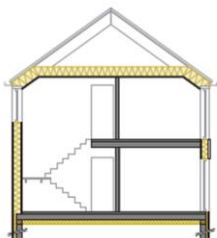
Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

461

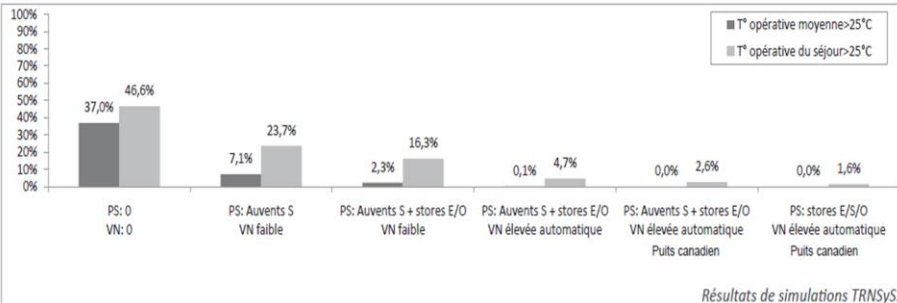


Le cas présenté ici est une solution hybride. L'intérieur est maçonné, lourd, tandis que les parois de l'enveloppe sont en ossature bois. Cette solution permet de combiner les avantages de l'ossature bois en matière de performance d'isolation dans des épaisseurs raisonnables et de l'inertie de la construction traditionnelle pour les parois et dalles intérieures. La stabilité d'un bâtiment de ce type est bien sûr à considérer.

Une protection solaire par auvents au sud et par store à l'est et à l'ouest, couplée à une ventilation nocturne élevée et mécanisée limite fortement le risque de surchauffe. Avec une bonne gestion des gains internes, on pourrait même sans doute se satisfaire d'une ventilation nocturne non automatisée.



- Façades ossature bois
- Cloisons lourdes
- Isolant laine minérale
- Plancher béton
- Dalle de sol béton accessible à la chaleur



Résultats de simulations TRNSYS

Surchauffe : pourcentage du temps où la T° est supérieure à 25 °C, sur une année moyenne.

462

ANNEXES



- Bien être et confort thermique
- Les ponts thermiques
- Confort d'été - Ex. de comportements
- **Surventilation nocturne**
- Critères de choix des isolants
- Exemples d'isolants
- Gros plan sur les isolants biosourcés
- Exemples de parois « basse conso »

463

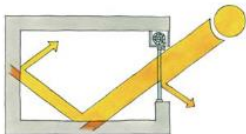

Ventilation, voire sur-ventilation nocturne



Rappel

• Limiter l'inconfort dû aux calories

• L'inertie intérieure (en été)

L'inertie intérieure (parements intérieurs épais en matériaux lourds) est d'autant plus pertinente que le rafraîchissement du bâtiment par sur-ventilation nocturne est possible.

253

464

Ventilation, voire sur-ventilation nocturne

Si pour l'hiver une VMC remplace très avantageusement l'aération par ouverture des fenêtres, ses débits ne permettent pas la sur-ventilation nocturne*. (0,30 à 1 vol/h pour la ventilation hygiénique, 4 à 8 vol/h pour la ventilation nocturne)



→ Il faudra donc composer avec les ouvrants mais aussi d'autres éléments de construction que l'on choisira / positionnera spécifiquement. (Taille et position des ouvrants, plenum, trappe, conduits, cloisonnements...)

* Sauf éventuellement avec certaines VMC DF dont le débit peut atteindre voire dépasser 2 vol/h. Dans ce cas cela pourra représenter une base pour une suventilation nocturne.

465

Ventilation, voire sur-ventilation nocturne

Les deux moteurs de la (sur)ventilation (naturelle) nocturne :

1. L'effet de cheminée →



Il faudra créer une différence de hauteur maximale, (ou maximiser la hauteur des baies uniques)

2. Le vent →



La ventilation traversante permet d'atteindre des débits d'air assez importants avec des ouvertures réduites

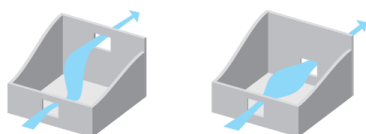
466



Ventilation, voire sur-ventilation nocturne

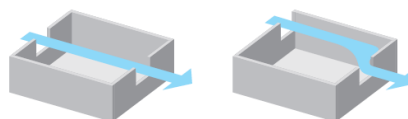
En ventilation transversante :

1. Le débit maximal est atteint lorsque les 2 ouvertures ont la même taille



2. Un changement de direction du flux provoque une meilleure distribution de la ventilation

3. Une fenêtre proche d'un mur ou d'un plafond va forcer le flux à "coller" la paroi



467



**Prévoir au minimum
une surface d'ouvrants de 3
   4 % de la surface au sol du
local, avec env. 40% sur
chaque face opposée**

Ventilation, voire sur-ventilation nocturne

En ventilation transversante :

1. Le débit maximal est atteint lorsque les 2 ouvertures ont la même taille



2. Un changement de direction du flux provoque une meilleure distribution de la ventilation

3. Une fenêtre proche d'un mur ou d'un plafond va forcer le flux à "coller" la paroi



473

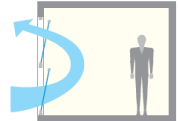
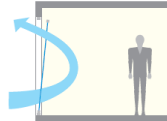
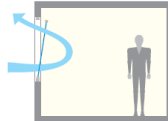
468



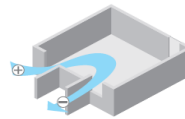
Ventilation, voire sur-ventilation nocturne

En ventilation non transversante :

1. Plus la fenêtre est haute, plus le débit est important :



2. Des éléments extérieurs peuvent modifier la pression sur les façades et renforcer la ventilation



469



Ventilation, voire sur-ventilation nocturne

En ventilation non transversante :

1. Plus la fenêtre est haute, plus le débit est important :



2. Des éléments extérieurs peuvent modifier la pression sur les façades et renforcer la ventilation



475

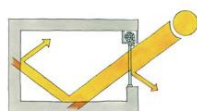
Prévoir au minimum une surface d'ouvrants de 6 à 8 % de la surface au sol du local.

470



...limiter l'inconfort dû aux calories

• L'inertie intérieure (en été)



L'inertie intérieure (parements intérieurs épais en matériaux lourds) est d'autant plus pertinente que le rafraîchissement du bâtiment par sur-ventilation nocturne est possible.

253

Plus nous nous éloignons de la situation favorable (bâtiment traversant en zone à chute de température nocturne), **plus le rafraîchissement nocturne** (night-cooling) **devra être ajusté en amont grâce à une étude fluide.**



471



ANNEXES

- Bien être et confort thermique
- Les ponts thermiques
- Confort d'été - Ex. de comportements
- Surventilation nocturne
- **Critères de choix des isolants**
- Exemples d'isolants
- Gros plan sur les isolants biosourcés
- Exemples de parois « basse conso »

472



Isolant thermique

Une définition "officielle" (Matériau prévu pour réduire les transferts de chaleur et dont les propriétés d'isolation résultent de sa nature chimique et/ou de sa structure physique*), **et de multiples critères de choix possibles :**



*Norme NF EN ISO 9229 de sept. 2007

473



ISOLANTS : CRITÈRES DE CHOIX

- Principaux repères techniques
- Principaux repères économiques
- Principaux repères environnementaux

474



ISOLANTS : CRITÈRES DE CHOIX

- Principaux repères techniques

- Principaux repères é
- Principaux repères é

***Avec en premier lieu :
l'adaptation à l'usage !***

475



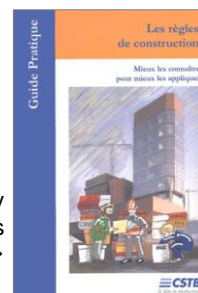
Isolants thermiques - Adaptation à l'usage

Si l'adaptation à l'usage des matériaux traditionnels est d'abord liée aux savoir-faire des métiers, celle des isolants, matériaux « récents », est renseignée :

- pour la majorité des **matériaux "courants"**, dans les "documents de référence" (normes, DTU, règles ou recommandations professionnelles, Cahiers du CSTB...)
- pour les **matériaux "nouveaux"** : dans les appréciations d'experts (ATec, DTA, ETN, constats de traditionnalité, ATEEx, Pass-Innovation..., communément appelées "avis techniques"), ou dans la documentation technique des fabricants.



Petit guide très accessible pour s'y retrouver dans la « jungle » des textes existants →



← En première approche, ce petit doc de l'AQC, téléchargeable (cliquer sur l'image)

Approche économique

Isolation écologique

476



Isolants thermiques - Critères techniques

Carte d'identité thermique des matériaux : Quatre données suffisent ! (Souvent 2)

Valeurs
mesurées

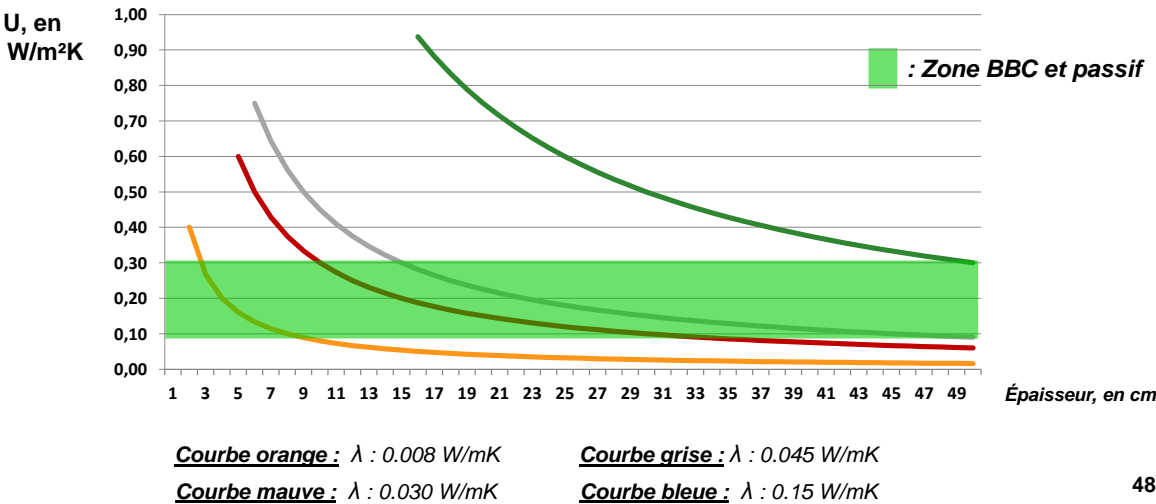
- Conductivité thermique : λ (lambda), en W/m.K
- Epaisseur : d , en m
- Chaleur spécifique (ou chaleur massique) : c , en J/kg.K
- Masse volumique : ρ (rho), en kg/m³



480



Réalisons l'incidence du lambda sur la capacité à limiter les flux de chaleur :



483



Isolants thermiques - Critères techniques

Carte d'identité hygrométrique des matériaux :

Valeurs
mesurées

- **Facteur de résistance à** (la diffusion de) **vapeur d'eau** : μ (mu), **sans unité** (ou **Sd**, en mètre pour un produit)
- **Hygro-vulnérabilité** (comportement +/- putrescible et/ou +/- altérable)
- **Comportement capillaire : coef. d'absorption d'eau** : **A** (qq. fois A_w), en $\text{kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$

Exemples



486



ISOLANTS : CRITÈRES DE CHOIX

- Principaux repères techniques
- **Principaux repères économiques**
- Principaux repères environnementaux

491



... Il y a le coût des matériaux, mais également celui de leur mise en œuvre, qui peut lourdement conditionner le prix final !



492



Murs - Exemples de mise en œuvre d'ITE

Panneaux entre ossature



Vrac projeté



Panneaux collés et/ou chevillés

Vrac insufflé



493



Murs - Exemples de mise en œuvre d'ITI



Panneaux collés



Vrac projeté



Panneaux entre rails



Panneaux chevillés



Vrac insufflé



Panneaux entre ossature



Double cloison

494



Toitures - Exemples de mises en œuvre



Coffres de toit



Panneaux par-dessus



Vrac par dessous



Panneaux par dessous



Sarking



Panneaux en maçonnerie légère



Vrac par dessus

495



Planchers / sols - Exemples de mise en œuvre



Insufflation



Béton allégé



Panneaux par dessus



Projection



Vrac par dessus



Isolation du pourtour,
côté int. Et/ou ext.



Panneaux par dessous

496



ISOLANTS : CRITÈRES DE CHOIX

- Principaux repères techniques
- Principaux repères économiques
- **Principaux repères environnementaux**

500



Qu'est-ce que pourrait être une isolation écologique ?

501



Une isolation « écologique » ?

- Une isolation qui génère des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit :
 - une isolation conséquente
 - sans pont thermique
 - sans inétanchéité à l'air
 - qui compose judicieusement avec l'inertie
 - une isolation pérenne

Mais également une isolation qui :

- permet des bâtiments sains
- utilise des « éco-matériaux »

Bilan CO2

502



Une isolation « écologique » ?

- Une isolation qui génère des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit :
 - une isolation conséquente
 - sans pont thermique
 - sans inétanchéité à l'air
 - qui compose judicieusement avec l'inertie
 - une isolation pérenne

Mais également une isolation qui :

- **permette des bâtiments sains**
- utilise des « éco-matériaux »

503



Des matériaux « sains » ?

→ Si la qualité de l'air intérieur est liée au choix de matériaux, c'est surtout vrai pour les matériaux de parement et de finition.

En revanche, le comportement des habitants, la présence d'un garage non indépendant, le choix du mobilier et des produits d'entretien peu polluants sont de première importance, comme la présence d'une ventilation efficace.

Mais attention, si l'aspect « sain » d'un isolant peut être estimé secondaire* pour l'habitant, ce n'est pas le cas pour l'artisan qui le met en œuvre !

→ Lisez les "fiches de sécurité", choisissez l'étiquette « A+ » pour les "Emissions dans l'air intérieur"



* Cette "légèreté" n'est possible que parce qu'aucun des matériaux isolants présents actuellement sur le marché ne semble "suspect". Excepté bien entendu en cas d'incendie, où les isolants issus de la pétrochimie (PSE, PUR...) sont à déconseiller fortement !

504



Une isolation « écologique » ?

- Une isolation qui génère des bâtiments confortables, économes en énergie et pérennes, soit :
 - une isolation conséquente
 - sans pont thermique
 - sans inétanchéité à l'air
 - qui compose judicieusement avec l'inertie
 - une isolation pérenne

Mais également une isolation qui :

- permette des bâtiments sains
- **utilise des « éco-matériaux »**

505



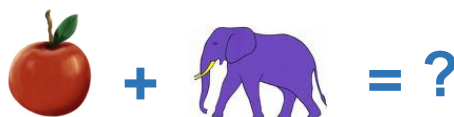
...Mais c'est quoi un « éco-matériau » ?

L'analyse de cycle de vie (ACV) du matériau (du berceau à la tombe, voire au berceau) peut permettre d'avoir une idée précise de son impact environnemental

Mais quel(s) indicateur(s) retenir ?

Comment les additionner ?

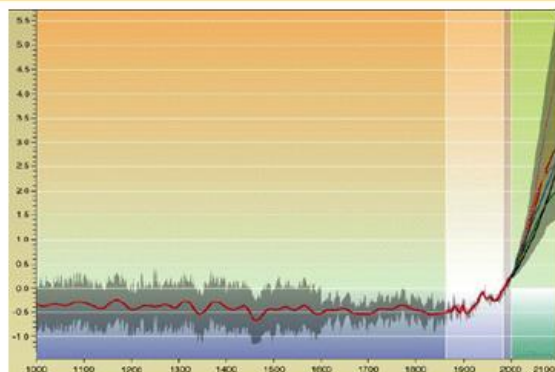
Quelle(s) base(s) de données / méthodologie utiliser ?



508



Avec une première priorité : lutter contre le dérèglement climatique



Evolution de la température terrestre selon divers scénarii de production de GES.

49

512



Lutter contre le réchauffement climatique

Plusieurs pistes complémentaires sont possibles aux professionnels du bâtiment :

1. Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments
2. Utiliser des énergies peu productrices de GES
3. Utiliser des matériaux dont la fabrication génère peu de GES
4. Utiliser des matériaux "puits de carbone"

513



Lutter contre le réchauffement climatique

Plusieurs pistes complémentaires sont possibles aux professionnels du bâtiment :

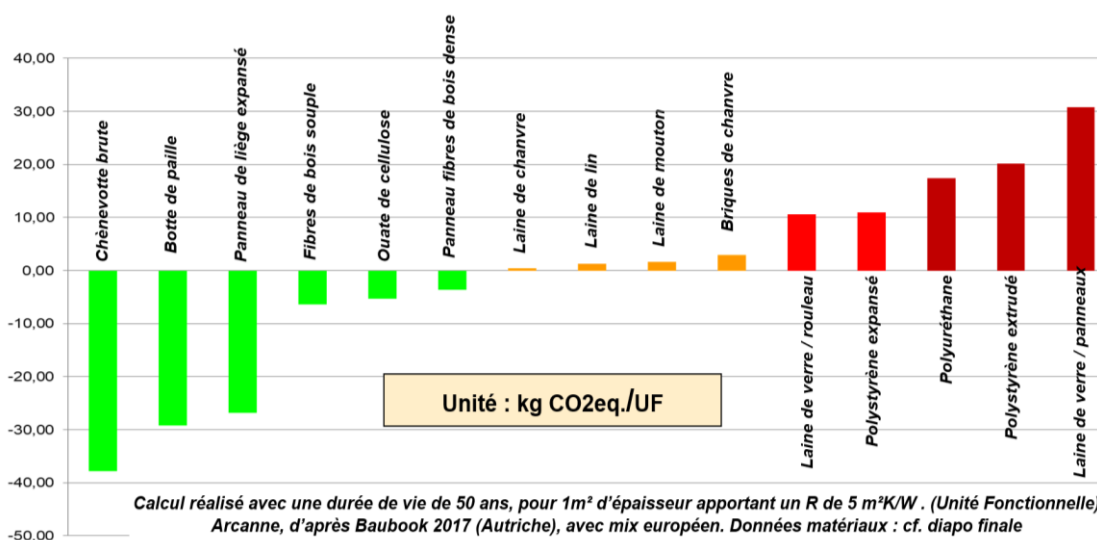
1. Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments
2. Utiliser des énergies peu productrices de GES
- 3. Utiliser des matériaux dont la fabrication génère peu de GES**
- 4. Utiliser des matériaux "puits de carbone"**

Choix de matériaux « bas carbone »

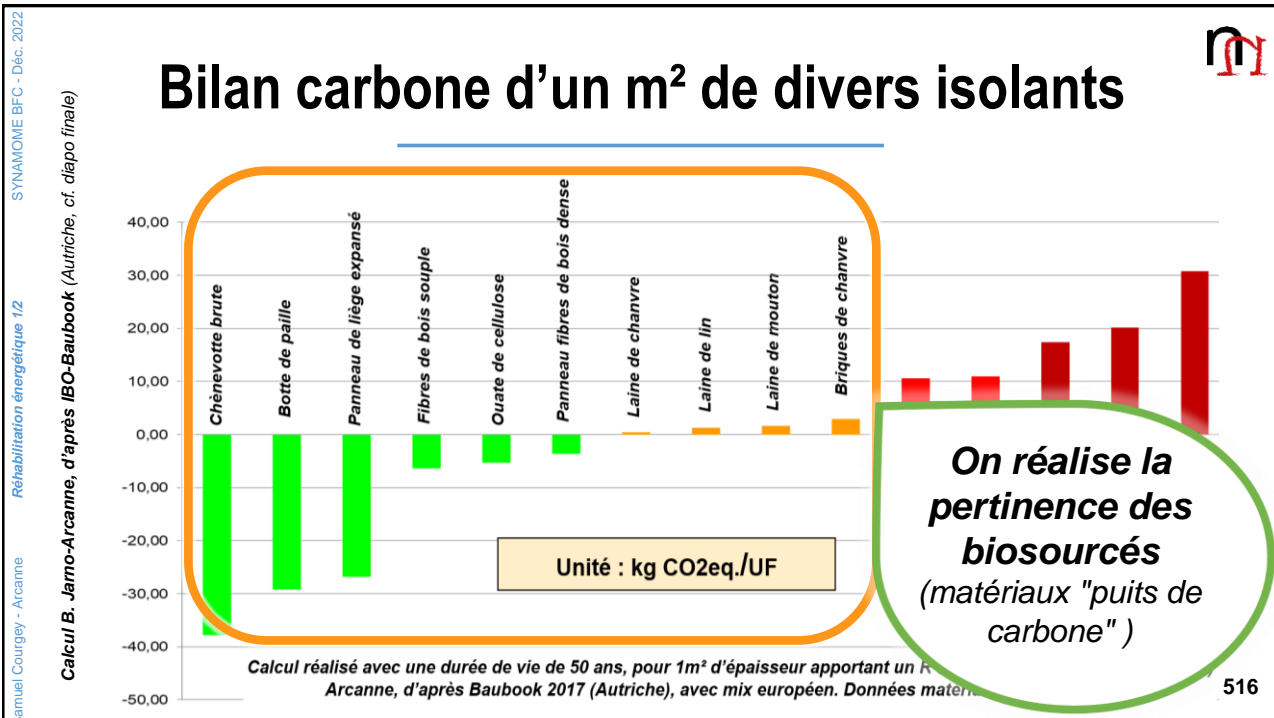
514



Bilan carbone d'un m² de divers isolants



515



SYNAPSE BFC - Déc. 2022
Région Bourgogne-Franche-Comté
Région Bourgogne-Franche-Comté

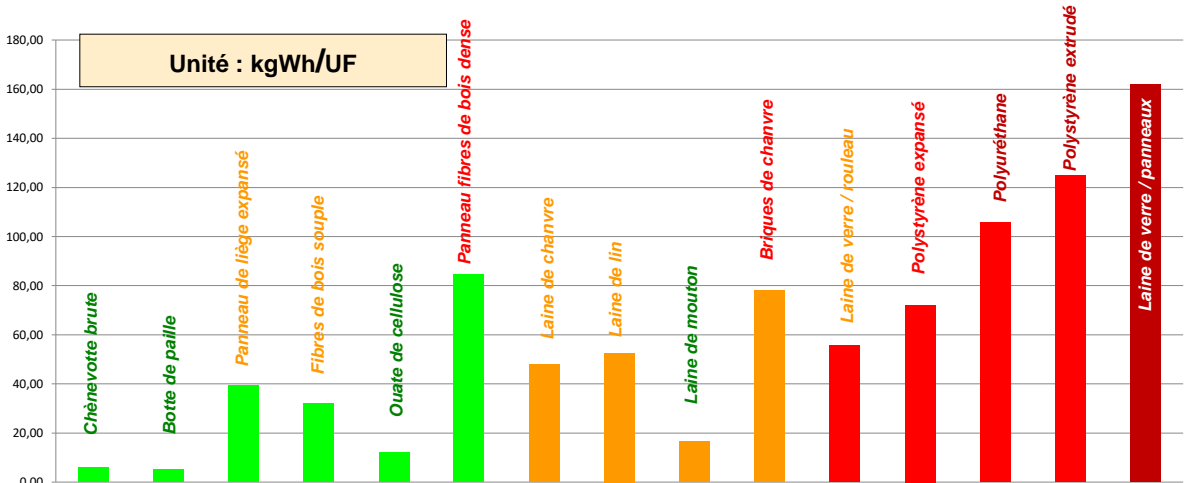
Si le premier indicateur environnemental est le bilan carbone, le suivant est sans doute l'énergie grise* !

* Grandeur n'ayant pas encore de définition "officielle", nous estimons que l'énergie grise = quantité d'énergie primaire non renouvelable nécessaire à la fabrication des matériaux.

518



Energie grise d'un m² de divers isolants



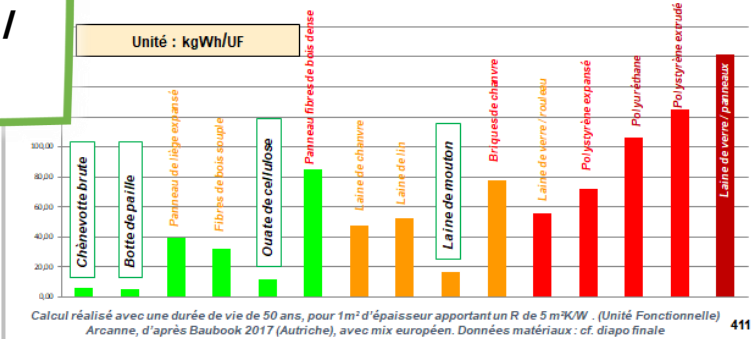
Calcul réalisé avec une durée de vie de 50 ans, pour 1m² d'épaisseur apportant un R de 5 m²K/W . (Unité Fonctionnelle)
Arcanne, d'après Baubook 2017 (Autriche), avec mix européen. Données matériaux : cf. diapo finale

524



On réalise
l'extrême
pertinence des
matériaux peu
transformés, et celle
des matériaux issus
de la récupération /
valorisation

Energie grise d'un m² de divers isolants

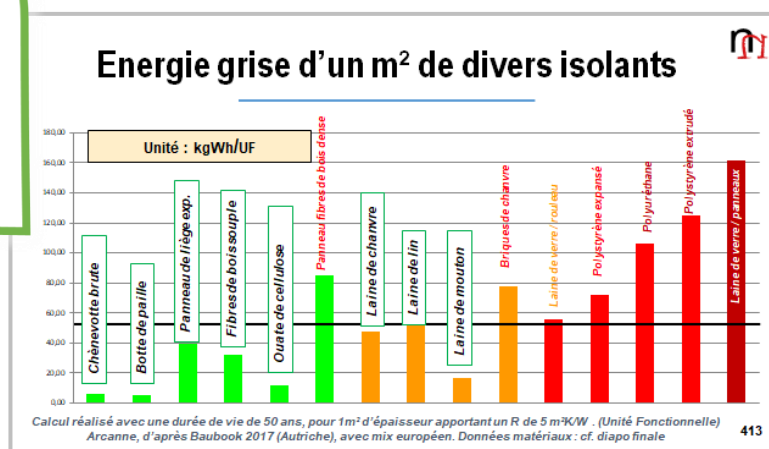


Calcul réalisé avec une durée de vie de 50 ans, pour 1m² d'épaisseur apportant un R de 5 m²K/W . (Unité Fonctionnelle)
Arcanne, d'après Baubook 2017 (Autriche), avec mix européen. Données matériaux : cf. diapo finale

411

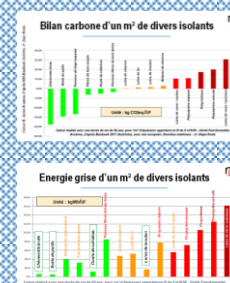
526

**Les huit isolants
les mieux placés
sur ce second
indicateur sont
des biosourcés !**



528

**Y auraient-ils
d'autres raisons
à vouloir
promouvoir les
isolants
biosourcés ?**



529



Diapo tirée d'un diaporama téléchargeable développant ces points

Les isolants biosourcés



Outre leurs très bonnes notes carbone et (souvent également) énergie :

- ils sont **renouvelables**, et propices à l'**économie des territoires** (création d'emplois, valorisation de ressources locales...)
- leurs **durabilité** et **gestion de fin de vie** sont souvent pertinentes, comme leur **aspect sanitaire** (matériaux plutôt moins complexes à appréhender)

De plus, les retours d'expériences sont généralement très positifs :

- sur leurs **performances thermiques**, particulièrement celle ressentie en été
- sur leur aspect **agréable à travailler** (la plupart nécessite néanmoins de vrais protections lors de leur mise en œuvre)
- sur leur **contribution au confort** des espaces intérieurs (hygrothermique, ressenti / qualité des ambiances...)

21

* Cliquez sur l'image pour accéder la page « Biosourcés » d'Arcanne

530



Diapo tirée d'un diaporama téléchargeable développant ces points

Les isolants biosourcés



Outre leurs très bonnes notes carbone et (souvent également) énergie :

- ils sont **renouvelables**, et propices à l'**économie des territoires** (création d'emplois, valorisation de ressources locales...)
- leurs **durabilité** et **gestion de fin de vie** sont souvent pertinentes, comme leur **aspect sanitaire** (matériaux plutôt moins complexes à appréhender)

De plus, les retours d'expériences sont généralement très positifs :

- sur leurs **performances thermiques**, particulièrement celle ressentie en été
- sur leur aspect **agréable à travailler** (la plupart nécessite néanmoins de vrais protections lors de leur mise en œuvre)
- sur leur **contribution au confort** des espaces intérieurs (hygrothermique, ressenti / qualité des ambiances...)

21

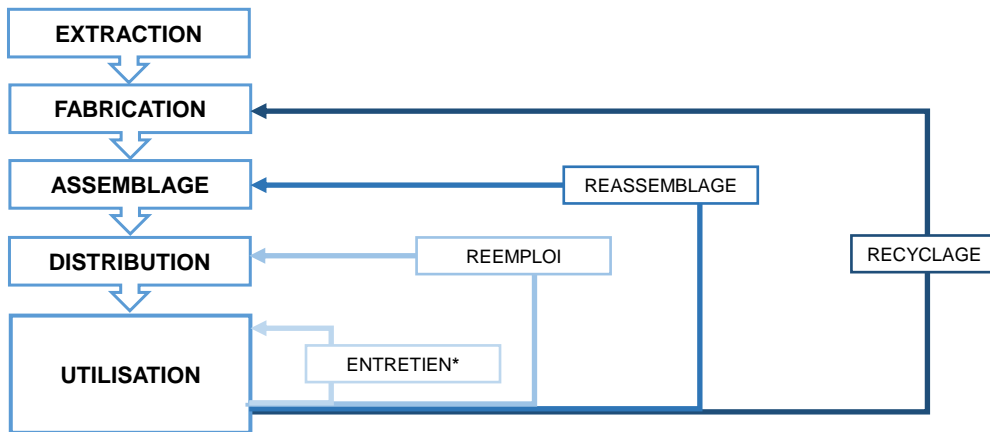
* Cliquez sur l'image pour accéder la page « Biosourcés » d'Arcanne

531

En // à la biodiversité, la gestion de fin de vie est de toute évidence **Le sujet** du moment. Où l'on ne parle plus "du berceau à la tombe" mais "**du berceau au berceau**", et **d'économie circulaire**



Économie circulaire : au-delà du recyclage



* Entretien, maintenance, ou choix en amont de solutions robustes, afin que le matériau ou l'équipement soit réellement pérenne (on augmente ainsi sa durée de vie en œuvre)

533



**Mais ne nous
trompons pas
d'indicateurs !**

**...et souvenons nous que
pour être "écologique", un
bâtiment sous nos climats
doit déjà être
thermiquement
performant !**

...Mais c'est quoi un « éco-matériau » ?

L'analyse de cycle de vie (ACV) du matériau (du berceau à la tombe, voire au berceau) peut permettre d'avoir une idée précise de son impact environnemental

Mais quel(s) indicateur(s) retenir ?

Comment les additionner ?

Quelle(s) base(s) de données / méthodologie utiliser ?



302

534



Sinon, par analogie avec la voiture, un bâtiment "écolo" pourrait être simplement,



...qq. chose de vert,



... ou de "biosourcé" !



535



ANNEXES

- Bien être et confort thermique
- Les ponts thermiques
- Confort d'été - Ex. de comportements
- Surventilation nocturne
- Critères de choix des isolants
- **Exemples d'isolants**
- Gros plan sur les isolants biosourcés
- Exemples de parois « basse conso »

540



Prix des isolants (Janvier 2020)

- **Idée de coût matériau** (en HT, 1 m² pour un R de 5 m²K/W) :
 - € : < 25 Euros
 - €€ : entre 25 et 50 Euros
 - €€€ : > 50 Euros
- **Incidence du type de mise en œuvre :**
 - € : simple déversement ou possibilité d'une mise en œuvre simultanée isolant/parement
 - €€ : l'isolant peut être support du parement de finition
 - €€€ : la réalisation d'une ossature ou de "coffres" est nécessaire (et autres types de pose complexe)

542



Isolants à base de plastique alvéolaire

543



Isolants à base plastiques alvéolaires

Polystyrène expansé (EPS)

Feu : E (très inflammable)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.032 à 0.038	W/m.K
ρ	7 à 30	Kg/m ³
c	1450	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	10 à 100	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :	
. Non hygroscopique ☹️	
. Non capillaire	
. Non putrescible, quasi non-altérable 😊	

Coût Matériau	€
Type de pose	€ à €€

Bilan CO₂ : 3.45 kg CO₂ eq/kg
Énergie grise : 27.36 kWh/kg (*)



"Reconnaitssances" techniques en France :
.. Nombres produits sous avis techniques et certification ACERMI. Existence d'une norme produit harmonisée



Isolants à base de plastique alvéolaire

Polystyrène extrudé (XPS)

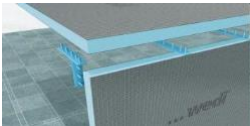
Feu : E (très inflammable)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.029 à 0.035	W/m.K
ρ	25 à 40	Kg/m ³
c	1300 à 1500	J/kg.K
Comportement à la vapeur d'eau		
μ	80 à 100	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :	
. Non hygroscopique ☹️	
. Non capillaire	
. Non putrescible, quasi non-altérable 😊	

Coût Matériau	€ à €€
Type de pose	€ à €€

Bilan CO₂ : 3.44 kg CO₂ eq/kg
Énergie grise : 28.33 kWh/kg (*)
PSX au HFC : ☠️
Bilan CO₂ : 81.3 kg CO₂ eq/kg
Énergie grise : 28.89 kWh/kg (*)



"Reconnaitssances" techniques en France :
Nombres produits sous avis techniques et certification ACERMI. Existence d'une norme produit harmonisée



Isolants à base de plastique alvéolaire



Il s'agit principalement des produits les plus denses, soit ceux proposés pour les isolations enterrées.

(sans unité)

à l'humidité :

- Non hygroscopique ☹️
- Non capillaire
- Non putrescible, quasi non-altérable 😊

Coût Matériau	€ à €€
Type de pose	€ à €€

Polystyrène extrudé (XPS)

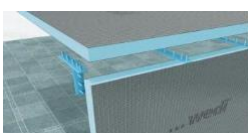
Bilan CO2 : 3.44 kg CO2 eq/kg

Énergie grise : 28.33 kWh/kg (*)

PSX au HFC : ☹️

Bilan CO2 : 81.3 kg CO2 eq/kg

Énergie grise : 28.89 kWh/kg (*)



"Reconnaisances" techniques en France :

Nombreux produits sous avis techniques et certification ACERMI.
Existence d'une norme produit harmonisée



546



Isolants à base de plastique alvéolaire

Feu : C à E (Combustible à inflammable)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.024 à 0.030	W/m.K
ρ	20 à 50	Kg/m³
c	1400 à 1500	J/kg.K
Comportement à la vapeur d'eau		
μ	30 à 100	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

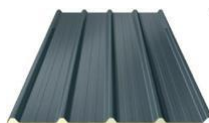
- Non hygroscopique ☹️
- Non capillaire
- Non putrescible, quasi non-altérable 😊

Coût Matériau	€ à €€
Type de pose	€ à €€

Polyuréthane (PUR)

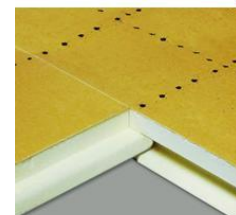
Bilan CO2 : 4.04 kg CO2 eq/kg

Énergie grise : 28.33 kWh/kg (*)



"Reconnaisances" techniques en France :

Nombreux produits sous avis techniques et certification ACERMI.
Existence d'une norme produit harmonisée



547



Isolants à base de plastique alvéolaire

Feu : ???

Isolants sous vide (PIV)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.0042 à 0.005	W/m.K
ρ	100 à 200	Kg/m ³
c	???	J/kg.K
Comportement à vapeur d'eau		
μ	+ ∞	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- . Non hygroscopique ☹️
- . Non capillaire
- . Non putrescible, quasi non-altérable 😊

Coût Matériau	€€€
Type de pose	€€ à €€

Bilan CO₂ : 3,43 kg CO₂ eq/kg

Énergie grise : 17,22 kWh/kg (*)



"Reconnaissances" techniques en France :

Pas encore de reconnaissances pour le bâtiment en France

Marques : SWISSPOR®, VACUtex-vip®, Vacucomp®, VACU-ISOTHERM®, Boetker Vacupaneel®, MICROTHERM®, Vacupor®, POREXTERM®...



548



Autres isolants à base de plastiques alvéolaires



Mousse à projeter à base d'isocyanates. Famille des PUR



Panneaux de polyisocyanurate (PIR). Famille des PUR



Panneaux de mousse phénolique (PF)



Laine de polyester (à base de bouteilles plastiques recyclées)

549



La laine de polyester semble une très bonne alternative aux biosourcés en ITI, dans la plupart des situations où l'on n'arrive pas à respecter les conditions garantissant la pérennité de matériaux potentiellement putrescibles dans cet emploi. (Mur à la pluie battante non suffisamment protégé...)

Autres isolants à base de plastiques alvéolaires



Panneaux de polyisocyanurate (PIR). Famille des PUR



Panneaux de mousse phénolique (PF)



Mousse à projeter à base d'isocyanates. Famille des PUR



Laine de polyester (à base de bouteilles plastiques recyclées)

472

550



Isolants à base minérale

552

Isolants à base minérale

Feu : A1 à A2 (Non à faiblement combustible)

La laine de verre (MW)

Bilan CO2 : 2.26 kg CO2 eq/kg

Énergie grise : 13.83 kWh/kg (*)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.030 à 0.050	W/m.K
ρ	10 à 30 (jusqu'à 150)	Kg/m ³
c	≈ 850	J/kg.K
Comportement à la vapeur d'eau		
μ	1 à 2	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- . Non hygroscopique ☹
- . Non capillaire
- . Non putrescible, mais +/- altérable (sensible au dégât des eaux) 😊 / ☹

Coût Matériau	€
Type de pose	€€ à €€€

"Reconnaitances" techniques en France :

Nombreux produits sous avis techniques et certification ACERMI. Existence d'une norme produit harmonisée



553

Isolants à base minérale

Feu : A1 à A2 (Non à faiblement combustible)

La laine de roche (MW)

Bilan CO2 : 1.64 kg CO2 eq/kg

Énergie grise : 6.47 kWh/kg (*)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.032 à 0.050	W/m.K
ρ	10 à 40 (jusqu'à 220)	Kg/m ³
c	≈ 850	J/kg.K
Comportement à la vapeur d'eau		
μ	1 à 2	(sans unité)

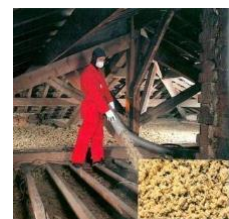
Autres comportements à l'humidité :

- . Non hygroscopique ☹
- . Non capillaire
- . Non putrescible, mais +/- altérable (sensible au dégât des eaux) 😊 / ☹

Coût Matériau	€
Type de pose	€ à €€€

"Reconnaitances" techniques en France :

Nombreux produits sous avis techniques et certification ACERMI



554

* D'après base de données Baubook (Vorarlberg/BO - Autriche).



Isolants à base minérale



Feu : A1 à A2 (Non à faiblement combustible)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.037 à 0.060	W/m.K
ρ	100 à 220	Kg/m ³
c	800 à 1100	J/kg.K
Comportement à vapeur d'eau		
μ	1 et + ∞	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- . Non hygroscopique ☹️
- . Non capillaire
- . Non putrescible, non altérable 😊 😊 😊

Coût Matériau	€€ à €€€
Type de pose	€ à €€

Le verre cellulaire (CG)

Bilan CO2 : 0.94 kg CO2 eq/kg

Énergie grise : 4.36 kWh/kg (*)

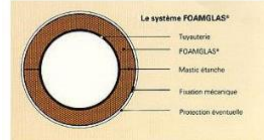
Mousse de verre :

Bilan CO2 : 0.35 kg CO2 eq/kg

Énergie grise : 1.85 kWh/kg (*)



Mousse de verre.
Produits voisins
(λ de 0.07 à 0.09)



"Reconnaisances" techniques en France :

Nombreux produits sous avis techniques et certification ACERMI. Existence d'une norme produit harmonisée

555

* D'après base de données Baubook (Vorarlberg/BO - Autriche).

La mousse minérale (ou panneaux d'isolation minérale, panneaux de silicate de calcium hydraté...) (CC)



Feu : A1 à A2 (Non à faiblement combustible)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.045 à 0,60	W/m.K
ρ	115 à 240	Kg/m ³
c	≈ 1000 à 1300	J/kg.K
Comportement à vapeur d'eau		
μ	3 à 6	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- . Hygroscopique 😊
- . Capillaire ou non capillaire selon produit
- . Non putrescible, quasi non altérable 😊

Coût Matériau	€€
Type de pose	€€

Bilan CO2 : 0.47 kg CO2 eq/kg

Énergie grise : 1.33 kWh/kg (*)



"Reconnaisances" techniques en France :

. RAS en France. Produit sous ATE* (MULTIPOR de XELLA).
Existence d'une norme produit harmonisée
* ATE devenu ETE

556

* D'après base de données Baubook (Vorarlberg/BO - Autriche).

Isolants à base minérale



Feu : A1 à A2 (Non à faiblement combustible)

La perlite expansée (EPB)

Bilan CO2 : 0,49 kg CO2 eq/kg

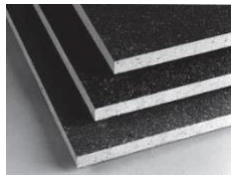
Énergie grise : 2,60 kWh/kg (*)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.045 à 0,075	W/m.K
ρ	70 à 240	Kg/m ³
c	≈ 1000	J/kg.K
Comportement à vapeur d'eau		
μ	1 à 5	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- . Hygroscopique 😊
- . Capillaire (excepté certains produits traités pour être hydrophobes)
- . Non putrescible, quasi non-altérable 😊

Coût Matériau	€€ à €€€
Type de pose	€ à €€



"Reconnaisances" techniques en France :

Nombreux produits sous certification ACERMI...
Existence d'une norme produit harmonisée

557

* Valeurs majorantes (enduits FIXIT 222). Bilan CO2 d'après ILCD 2011, EG d'après éconvent 2.0

(Super) Isolants à base minérale



Aérogel (ou nanogel) de silice

Feu : ???

Bilan CO2 ≈ 4,25 kg CO2 eq/kg

Énergie grise ≈ 18,36 kWh/kg

Caractéristiques thermiques		
λ	0.011 à 0.018	W/m.K
ρ	env. 3 à 150	Kg/m ³
c	???	J/kg.K
Comportement à vapeur d'eau		
μ	? (apparemment ouvert)	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Non hygroscopique 😊
- Non capillaire
- Non putrescible, quasi non-altérable 😊

Coût Matériau	€€€
Type de pose	€€

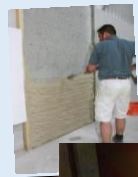


"Reconnaisances" techniques en France :

. Pas encore de reconnaissances pour le bâtiment en France

FIXIT 222®
(FIXIT®)

Enduit chaux +
Aérogel de silice
 $\lambda = 0,028$
 $\mu = 4$ à 5



558

Marques : Cryogel®, Spaceloft®, et Pyrogel® de ASPEN®, Isogel®, Aeropan® de Amacomposites®, ...



Isolants à base de végétaux

560



Isolants à base de végétaux

Feu : E (très inflammable)

Chèvenotte (vrac)

Caractéristiques thermiques		
λ	0,050 à 0,060	W/m.K
ρ	90 à 115	Kg/m ³
c	≈ 1900	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Hygroscopique 😊
- (Sans doute) capillaire (données en attente)
- +/- putrescible (selon traitement), +/- sensible aux dégâts des eaux 😊 / ☹️

Coût Matériau	€ à €€
Type de pose	€ à €€€

Bilan CO₂ : -1,25 kg CO₂ eq./kg (*)
Énergie grise : 0,22 kWh/kg (*)



"Reconnaitssances" techniques en France : en cours, voir interpro « Chanvriers en circuits courts »

561

Désormais également le petit épeautre et le sarrasin !

Isolant d'origine végétale

Feu : E (très inflammable)

Balles de riz (vrac)

Caractéristiques thermiques		
λ	0.049 à 0,053	W/m.K
ρ	100 à 150	Kg/m ³
c	≈ 1600	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

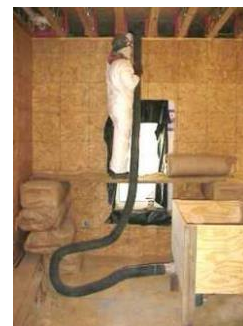
- Hygroscopique 😊
- (Sans doute) capillaire (données en attente)
- Difficilement putrescible, +/- sensible aux dégâts des eaux 😊 / ☹️

Coût Matériau	€
Type de pose	€ à €€€

Bilan CO₂ : -1,25 kg CO₂ eq/kg (*)
Énergie grise : 0,22 kWh/kg (*)



"Reconnaitances" techniques en France : en cours, voir interpro « Bâtir en balles »



562

Isolants à base de végétaux

Feu : E (très inflammable)

Brique de chanvre

Caractéristiques thermiques		
λ	0.065 à 0,075	W/m.K
ρ	260 à 300	Kg/m ³
c	≈ 1700	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Hygroscopique 😊
- +/- capillaire (à vérifier selon briques)
- Difficilement putrescible, +/- sensible aux dégâts des eaux si séchage aisé 😊 / ☹️

Coût Matériau	€€€
Type de pose	€€

Bilan CO₂ : 0,03 kg CO₂ eq/kg (*)
Énergie grise : 0,88 kWh/kg (*)

Certaines fabrications artisanales sont beaucoup plus denses. Moins isolantes, elles ne sont pas renseignées dans cette base de données dévolues aux isolants thermiques

"Reconnaitances" techniques en France : ATEc (CHANVRIBLOC® et BIOSYS®), projet d'ATEc (BIOSYS®),



© ISOHEMP



© BIOSYS



© CHANVRIBLOC

563

Isolants à base de végétaux

Feu : E (très inflammable)

Liège expansé (vrac ou panneaux)

Caractéristiques thermiques		
λ	0,040 à 0,048	W/m.K
ρ	60 à 150	Kg/m ³
c	≈ 1800	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	1 (vrac) à 15	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Non hygroscopique ☹️
- Non capillaire
- Quasi non putrescible et non altérable 😊 😊

Coût Matériau	€€ à €€€
Type de pose	€ à €€€

Vrac
 Bilan CO₂ : -0,80 kg CO₂ eq./kg (*)
 Énergie grise : 4,00 kWh/kg (*)

Panneaux
 Bilan CO₂ : -0,15 kg CO₂ eq./kg (*)
 Énergie grise : 3,53 kWh/kg (*)



"Reconnaitances" techniques en France : norme produit harmonisée (ICB) ; quelques produits certifiés ACERMI.



564

Isolants à base de végétaux

Feu : E (très inflammable)

Laine de lin ou de coton recyclé

Caractéristiques thermiques		
λ	0,036 à 0,040	W/m.K
ρ	20 à 40	Kg/m ³
c	≈ 1600	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Hygroscopique 😊
- +/- capillaire (selon produits et densité)
- Difficilement putrescible, sensible aux dégâts des eaux 😊 / ☹️

Coût Matériau	€€
Type de pose	€ à €€€

Rouleau ou panneau :
 Bilan CO₂ : 0,22 kg CO₂ eq./kg (*)
 Énergie grise : 8,76 kWh/kg (*)



"Reconnaitances" techniques en France : plusieurs produits sous ATec et/ou certifiés ACERMI



« Le relais » en entreprise exemplaire de l'ESS !

565

Isolants à base de végétaux



Feu : E (très inflammable)

Caractéristiques thermiques		
λ	0,038 à 0,050	W/m.K
ρ	25 à 50	Kg/m ³
c	≈ 1600	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Hygroscopique 😊
- (Sans doute) capillaire (données en attente)
- Très difficilement putrescible, +/- sensible aux dégâts des eaux 😊

Coût Matériau	€ à €€
Type de pose	€ à €€€

Laine de chanvre

Vrac circuit court :

Bilan CO₂ : -1,25 kg CO₂ eq./kg (*)

Énergie grise : 0,22 kWh/kg (*)

Panneaux :

Bilan CO₂ : 0,08 kg CO₂ eq./kg (*)

Énergie grise : 7,97 kWh/kg (*)



Vrac :
« chanvriers
en circuits
cours »

"Reconnaitances" techniques en France : plusieurs produits sous ATec et/ou certifiés ACERMI.
Vrac en circuits courts : voir « chanvriers en circuits courts »

566

Isolants à base de végétaux



Feu : E (très inflammable)

Caractéristiques thermiques		
λ	0,036 à 0,050	W/m.K
ρ	30 à 200	Kg/m ³
c	1800 à 2100	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1 à 5	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Hygroscopique 😊
- +/- capillaire (selon produit et densité)
- +/- putrescible, +/- sensible aux dégâts des eaux 😊 / ☹️

Coût Matériau	€ à €€€
Type de pose	€€ à €€€

Fibres de bois (WF)

Bilan CO₂ : -0,80 kg CO₂ eq./kg (*)

Énergie grise : 4,00 kWh/kg (*)

Panneaux forte densité :

Bilan CO₂ : -0,15 kg CO₂ eq./kg (*)

Énergie grise : 3,53 kWh/kg (*)



"Reconnaitances" techniques en France : norme produit harmonisée (WF) ; plusieurs produits sous ATec et/ou certifiés ACERMI.

567



Isolants à base de végétaux

Feu : E (très inflammable)

Botte de paille

Caractéristiques thermiques		
λ	0.045 à 0.085	W/m.K
ρ	80 à 120, voire 250	Kg/m ³
c	≈ 1600	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Hygroscopique 😊
- (Sans doute) capillaire (données en attente)
- Putrescible, +/- sensible aux dégâts des eaux ☹️

Coût Matériau	€
Type de pose	€€ à €€€

Bilan CO₂ : -1,25 kg CO₂ eq/kg (*)
Énergie grise : 0,22 kWh/kg (*)



"Reconnaitances" techniques en France : Règle professionnelle pour la botte de paille de blé. (Voir interpro)



568



Isolants à base de végétaux

Feu : B-s2-d0
(combustible ininflammable) à **E**
(très inflammable)

Ouate de cellulose

Caractéristiques thermiques		
λ	0.036 à 0.045	W/m.K
ρ	25 à 70	Kg/m ³
c	≈ 2000	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Hygroscopique 😊
- Capillaire à très capillaire (selon produit, densité et type de mise en œuvre)
- Difficilement putrescible, +/- sensible aux dégâts des eaux 😊 / ☹️

Coût Matériau	€ à €€
Type de pose	€ à €€€

Vrac :
Bilan CO₂ : -0,88 kg CO₂ eq/kg (*)
Énergie grise : 1,99 kWh/kg (*)

Panneaux :
Bilan CO₂ : -0,24 kg CO₂ eq/kg (*)
Énergie grise : 4,87 kWh/kg (*)



NOVIDEM®, autre acteur de l'ESS (ouate de carton)



"Reconnaitances" techniques en France : norme produit harmonisée (LFCI) ; plusieurs produits sous ATec et/ou certifiés ACERMI.

569

Isolants à base de végétaux

Feu : B-s2-d0
(combustible inin-
flammable) à E
(très inflammable)

En produit proche récent :

la ouate de carton.



Cliquer sur l'image pour voir la vidéo

NOVIDEM, produit
par IDEM, entreprise
de l'économie
sociale et solidaire



NOVIDEM®, autre
l'ESS (ouate
de carton)

Caractéristiques

λ	0,035
ρ	120
C	0,1
Com	0,1
μ	1,05

Autres

- Hygroscopique
- Capillaire à l'air
- et type de mise en œuvre
- Difficilement putrescent
- des eaux 😊 / ☹️

Coût Matériau € à €€

Type de pose € à €€€

transmis par l'ATEC et/ou
certifiés ACERMI.

570

Reconnaitssances techniques : RAS en France, malgré plusieurs produits avec ATE et marquage CE.

D'autres isolants à base de végétaux



La paille de lavande



Les rafles de céréales



Le kenaf, le miscanthus...



Panneau en paille de riz (FBT Isolation®), avec déjà un ATE



Les copeaux, le bois minéralisé ou réifié



Les panneaux d'algues



Les panneaux d'herbe (Gramitherm®)



Les panneaux de roseaux

571



Désormais 2
de ces matériaux sont
diponibles en France, dont
les panneaux de paille de
riz produits dans l'Ain :

- Panneau d'herbe : [lien](#)
- Panneau de paille de
riz : [lien](#)

D'autres isolants à base de végétaux

Les matériaux isolants végétaux sont utilisés en France, malgré quelques problèmes avec ATE et marquage CE.

			
La paille de lavande	Les rafles de céréales	Le kenaf, le miscanthus...	Panneau en paille de riz (Isolant®), avec déjà un ATEX
			
Les copeaux, le bois minéralisé ou réifié	Les panneaux d'algues	Les panneaux d'herbe (Gramitherm®)	Les panneaux de roseaux

492

572



Isolants à base de biomasse animale

573

Isolant d'origine animale

Feu : E (très inflammable)

La laine de mouton

Caractéristiques thermiques		
λ	0,038 à 0,045	W/m.K
ρ	15 à 70	Kg/m ³
c	≈ 2000	J/kg.K
Comportement à la migration de vapeur d'eau		
μ	≈ 1	(sans unité)

Autres comportements à l'humidité :

- Hygroscopique 😊
- (Sans doute) capillaire (données en attente)
- Difficilement putrescible, +/- sensible aux dégâts des eaux 😊 / 😞

Coût Matériau	€ à €€
Type de pose	€ à €€€

Bilan CO₂ : 0,54 kg CO₂ eq./kg (*)
Énergie grise : 5,48 kWh/kg (*)



"Reconnaitances" techniques en France : en cours



574

Construction & Développement Durable
arcanne

Base de données matériaux

Pour connaître le comportement thermique d'un matériau dans une paroi, 4 valeurs suffisent :

- sa masse volumique, ρ (rho), en kg/m³
- son épaisseur, d, en m
- sa conductivité thermique, λ (lambda), en W/(m.K)
- sa chaleur spécifique, c, en J/(kg.K)

A partir de ces 4 données de base, qui sont des données mesurées, les autres caractéristiques se calculent : résistance thermique, conductance (thermique), capacité thermique (volumique), diffusivité (thermique), effusivité (thermique)...

En complément, le tableau ci-dessous renseigne la perméabilité à la vapeur d'eau d'un matériau, par son facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau, μ (sans unité).

Base de données matériaux.

Matériaux	Masse volumique "p" en kg/m ³	Conductivité thermique "A" en W/m.K	Chaleur spécifique "c" en J/kg.K	Facteur de résistance à la vapeur d'eau "u" sans unité
Pierres et murs maçonnés				
1 Granites	2500 / 2700	2,800 2,449	1000	10000
2 Schistes, ardoises	2000 / 2800	2,200 1,864	1000	800 / 1000
3 Bessilles	2700 / 3000	1,600 1,406	1000	10000
4 Roches volcaniques poreuses / Lave	< 1600	0,550 0,396	1000	15 / 20
5 Marbres	2500 / 2800	3,500 2,448	1000	10000
6 Calcaire/ Pierres froides ou extra dures	2200 / 2500	2,300 1,356	1000	200 / 250
7 Calcaire/ Pierres dures	2000 / 2100	1,700 1,259	1000	150 / 200
8 Calcaire/ Pierres fortes, demi fortes	1800 / 1900	1,400	1000	40 / 50
9 Calcaire/ Pierres tendres n°2 et 3	1600 / 1700	1,100 0,917	1000	25 / 40
10 Calcaire/ Pierres très tendres	< 1500	0,850 0,805	1000	20 / 30
11 Grès quartzux	2600 / 2800	2,600 2,211	1000	30 / 40

Lien vers la
base de données
matériaux



579

ANNEXES



- Bien être et confort thermique
- Les ponts thermiques
- Confort d'été - Ex. de comportements
- Surventilation nocturne
- Critères de choix des isolants
- Exemples d'isolants
- **Gros plan sur les isolants biosourcés**
- Exemples de parois « basse conso »

580

**30 ans après la
(re)découverte des
isolants biosourcés :
repérage des solutions
particulièrement
séduisantes**



581

Isolants BS, pistes particulièrement séduisantes



Liste non exhaustive, mais...

- . **Isolation horizontale de coffres** : chènevotte, ouate de cellulose, bales d'épeautre et de riz, et version vrac/peu transformé de laines de chanvre, lin, mouton, tissu recyclé...
- . **Isolation de sols de greniers non aménagés** : bottes de paille
- . **Réfection de colombages** : bétons de projetés machine et briques de chanvre
- . **Double cloison isolante et cloison séparative** : feutre de bois, laine de chanvre, de lin, de mouton, de coton recyclé, de paille de riz... ou ouate de cellulose ou briques de chanvre
- . **Isolation extérieure enduite et isolation sarking** : panneaux de fibres de bois denses
- . **Coffres d'ossature bois** : bottes de paille et certains vracs (attention aux tassements)
- . **Isolation en sol / isolation enterrée** : panneaux de liège expansé
- . **Isolation intérieure de certains murs** : **certaines** fibres de bois, laines de chanvre, de lin, de mouton, de coton recyclé, ouates de cellulose et **certaines** bétons de chanvre
- . **Isolation capillaire** : **certaines** bétons de chanvre et ouates de cellulose (projetées humides)

582

Isolants BS, pistes particulièrement séduisantes



- . **Isolation horizontale de coffres, voire de sol de grenier** : bales de riz, de sarrasin ou d'épeautre, chènevotte, ouate de cellulose, et la version "vrac" des laines de chanvre, lin, mouton, tissu recyclé...



Ouate de cellulose



Chènevotte



Laine de chanvre
(photos Eco-Pertica)



Balles de riz
(photos Bâtir en balles)

583



Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes

- . Isolation en sols de greniers* et de combles non aménagés* : bottes de paille



Bottes de paille
(photos S. Vouillot)

* Pour les sols ne pouvant supporter une véritable surcharge (ici de 35 à 50kg/m²), on préférera une solution légère, telle la ouate de cellulose, 3 à 4 fois moins lourdes

584



Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes

- . Réfection de colombages : bétons de chanvre projetés machine et briques de chanvre



Projection de chanvre



Briques de chanvre
(Photo Chanvribloc®)

585

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. Isolation ext. enduite et isolation sarking : panneaux de fibres de bois denses



Panneaux de fibres de bois denses en ITE



... et en isolation sarking

587

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. Isolation ext. enduite et isolation sarking : panneaux de fibres de

La fibres de bois dense
(= celle usuellement utilisée pour l'isolation
sarking) ne peut se justifier en très forte
épaisseur pour des raisons énergétiques.
(voir diapo sur énergie grise)

Vous souhaitez une isolation très performante ? → Ajuster votre choix en tenant compte de l'énergie grise des matériaux.



Panneaux de fibres de bois denses en ITE



... et en isolation sarking

588

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. **Coffres d'ossature bois** (toiture, ITE...) : bottes de paille, et plupart des vracs



Bottes de paille



Balles de riz, de sarrasin, d'épeautre... (*Bâtir en balles*)

589

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. **Coffres d'ossature bois** (toiture, ITE...) : bottes de paille, et plupart des vracs



Vracs : vérifier leur compatibilité vis-à-vis de la l'inclinaison (mur, pente de la toiture), et soigner / adapter la pose pour éviter les tassements.



Balles de riz, de sarrasin, d'épeautre... (*Bâtir en balles*)

590

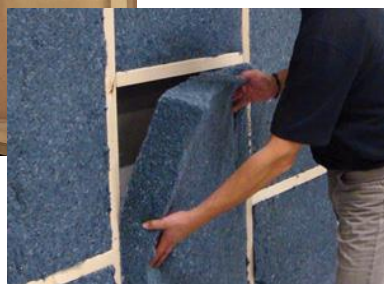
Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. **Cloisons isolantes** (séparative ou cloison de doublage) : feutre de bois, laine de chanvre, lin, mouton, coton recyclé, paille de riz... et briques de chanvre



Laine de chanvre



Laine de coton
recyclé (photo Métisse)



Briques de chanvre

Cloison de doublage
(photo ISOHEMP)

Cloison séparative



591

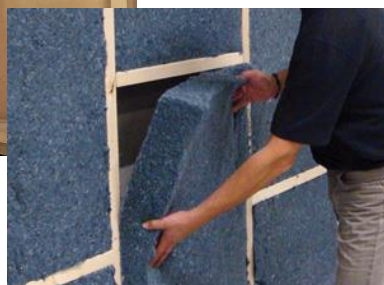
Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. **Cloisons isolantes** (séparative ou cloison de d... de
chanvre, lin, mouton, coton recyclé, paille



Laine de chanvre



Laine de coton
recyclé (photo Métisse)



Cloison de doublage
(photo ISOHEMP)

Cloison séparative



592

Attention aux risques de tassement : choisir des isolants denses / qui se tiennent, ou des matériaux qui peuvent être agrafés !

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. Isolation en sol / isolation enterrée / isolation de bas de murs humides : panneaux de liège expansé, voire béton léger à base de liège



Panneaux de liège expansé en sol

... et isolation (en attente de protection) d'un mur enterré



Béton isolant chaux/billes de liège expansé. (Photo M Gajic)

593

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. Isolation en sol / isolation enterrée humides : panneaux de liège expansé

Sur terre-plein, excepté le liège, on déconseille les BS (fibres de bois, chaux-chanvre...). Et pour les sols entre étages : même recommandation pour les sols de pièces « humides » ! (Ou alors prévoir un sol étanche, avec pente et siphon de sol)



Panneaux de liège expansé en sol

... et isolation (en attente de protection) d'un mur enterré



Béton isolant chaux/billes de liège expansé. (Photo M Gajic)

594

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. ITI de certaines murs : certaines fibres de bois ou certaines laines de chanvre, lin, mouton, coton recyclé... et certaines ouates de cellulose



Isolation intérieure
(photo Biofib)



Isolation intérieure
(photo Métisse)

595

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. ITI de certaines murs : certaines fibres de bois ou certaines laines de chanvre, lin, mouton, coton recyclé... et certaines ouates de cellulose

Attention, les murs à la pluie non totalement imperméables, les murs enterrés et les parties de mur sujettes à remontées capillaires ne peuvent recevoir des BS ! (A l'exception dans certains cas du liège)

Isolation intérieure
(photo Biofib)



Isolation intérieure
(photo Métisse)

596

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. ITI de certaines murs : certaines fibres de bois ou certaines laines de chanvre, lin, mouton, coton recyclé... et certaines ouates de cellulose

Savoir si un isolant biosourcé est pérenne en isolation intérieure (c'est à dire appliqué contre un mur qui sera souvent humide l'hiver) ne s'improvise pas : vérifiez que le matériau/le produit que vous souhaitez utiliser est bien proposé en ITI, et respecter les consignes de mise en œuvre.

Isolation intérieure
(photo Biofib)

Isolation intérieure
(photo Métisse)

597

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes

. ITI de certaines murs : certaines fibres de bois ou certaines laines de chanvre, lin, mouton, coton recyclé... et certaines ouates de cellulose

Savoir si un isolant biosourcé est pérenne en isolation intérieure (= appliqué contre un mur qui sera souvent humide l'hiver) ne s'improvise pas : vérifiez que le matériau/le produit que vous souhaitez utiliser est bien proposé en ITI, et respectez les consignes de mise en œuvre.

Isolation intérieure
(photo Biofib)

"Respecter les consignes de mise en œuvre", excepté pour le choix de la membrane où la quasi-totalité des Avis techniques demande un pare-vapeur très fermé, alors qu'en ITI la pose d'une membrane hygro-variable (de l'ordre de $S_d \approx 0,20/25m$), ou d'une membrane orientée génère une solution plus robuste, car elle facilite le séchage côté intérieur en cas de besoin. (Néanmoins, avant de valider ces choix, plus sûrs mais moins bien documentés en France, vérifiez auprès de votre assureur et la filière et/ou l'industriel concerné que la solution que vous envisagez sera assurée)

560

599

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



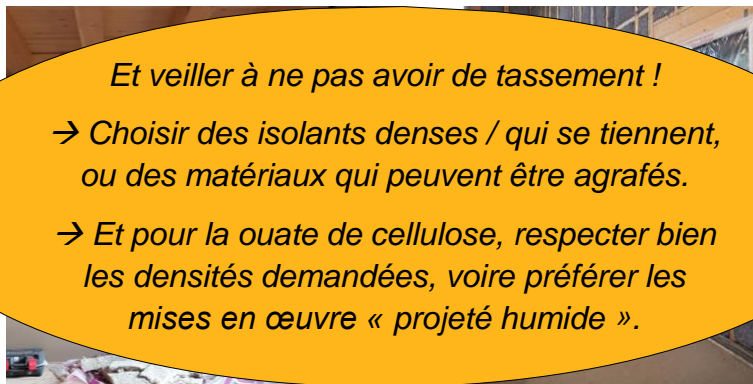
. ITI de certaines murs : certaines fibres de bois ou certaines laines de chanvre, lin, mouton, coton recyclé... et certaines ouates de cellulose

Et veiller à ne pas avoir de tassement !

→ Choisir des isolants denses / qui se tiennent, ou des matériaux qui peuvent être agrafés.

→ Et pour la ouate de cellulose, respecter bien les densités demandées, voire préférer les mises en œuvre « projeté humide ».

Isolation intérieure
(photo Biofib)



Isolation intérieure
(photo Métisse)

600

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. Isolation capillaire (en ITI de certaines sensibles à l'eau) : certaines bétons de chanvre projetés et certaines ouates de cellulose en « projeté humide »



Lien sur vidéo
"terre chanvre"

601

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. **Isolation capillaire** (en ITI de [certains](#) sensibles à l'eau) : [certains](#) bétons de chanvre projetés et [certaines](#) ouates de cellulose en « projeté humide »

Idem autres biosourcés en isolation intérieure : la ouate et les bétons de chanvre ne peuvent être appliqués contre un bas de mur sujet à remontées capillaires, un mur à la pluie non totalement imperméable, ou un mur enterré !*



Lien sur vidéo "terre chanvre"

* Excepté le liège

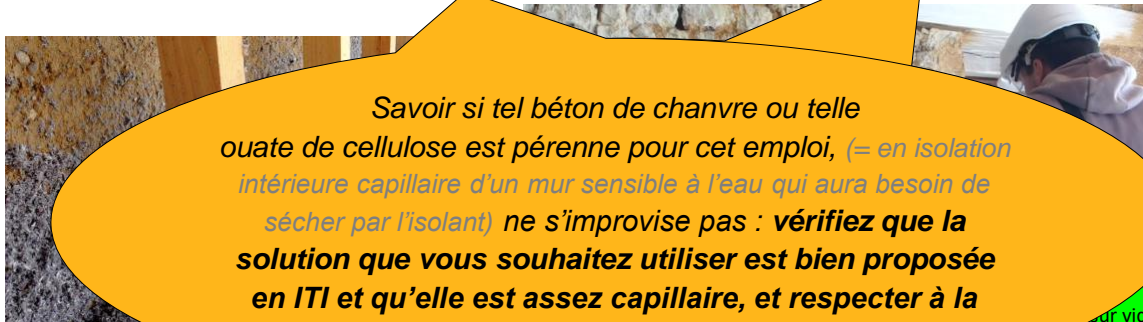
602

Isolants BS, pistes particulièrem.^t séduisantes



. **Isolation capillaire** (en ITI de [certains](#) sensibles à l'eau) : [certains](#) bétons de chanvre projetés et [certaines](#) ouates de cellulose en « projeté humide »

Savoir si tel béton de chanvre ou telle ouate de cellulose est pérenne pour cet emploi, (= en isolation intérieure capillaire d'un mur sensible à l'eau qui aura besoin de sécher par l'isolant) ne s'improvise pas : vérifiez que la solution que vous souhaitez utiliser est bien proposée en ITI et qu'elle est assez capillaire, et respecter à la lettre les détails de mise en œuvre.*



Lien sur vidéo "terre chanvre"

* Pour la ouate de cellulose, la remarque de la diapo n-5 vaut également ici.

603



Isolants BS en Réhab : 1^{ères} pistes séduisantes

.ITI de **certaines** murs : **certaines** fibres de bois, laines de chanvre, de lin, de mouton, de coton recyclé... et ouates de cellulose projetée humide

Attention, les murs à la plâtre non totalement imperméables, les murs enduits et les parties de mur sujettes à remontées capillaires ne peuvent recevoir des BS ! (à l'exception de la paille)



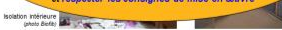
Isolation intérieure (photo Météo)

57

Isolants BS en Réhab : 1^{ères} pistes séduisantes

.ITI de **certaines** murs : **certaines** fibres de bois, laines de chanvre, de lin, de mouton, de coton recyclé... et ouates de cellulose projetée humide

Savoir si un isolant biosourcé est pérenne en isolation intérieure, c'est-à-dire appliqué contre un mur qui sera souvent humide l'hiver, ne s'improvise pas : vérifiez que le matériau produit que vous souhaitez utiliser est bien proposé en ITI, et respectez les consignes de mise en œuvre

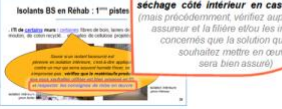


Isolation intérieure (photo Météo)

58

Isolants BS en Réhab : 1^{ères} pistes séduisantes

... excepté pour le choix de la membrane où les Avis techniques proposent des pare-vapeurs très fermés alors qu'en ITI la pose d'une membrane hygrovariable de de l'ordre de Sd=0,20/25m génère une solution plus robuste, car elle permet un séchage côté intérieur en cas de besoin. (mais précisons, vérifiez auprès de votre assureur et la filière effort les industriels concernés que la solution que vous souhaitez mettre en œuvre sera bien assurée)



Isolation intérieure (photo Météo)

60

Isolants BS en Réhab : 1^{ères} pistes séduisantes

. Isolation capillaire (en ITI de **certaines** sensibles à l'eau) : **certaines** bétons de chanvre projetés et **certaines** ouates de cellulose projetées humides



Isolation intérieure (photo Météo)

62

Isolants BS en Réhab : 1^{ères} pistes séduisantes

. Isolation capillaire (en ITI de **certaines** sensibles à l'eau) : **certaines** bétons de chanvre projetés et **certaines** ouates de cellulose projetées humides



Isolation intérieure (photo Météo)

64

Les biosourcés en isolation intérieure sont possibles, mais le choix des matériaux et les détails de mise en œuvre ne doivent pas être improvisés !



Isolants biosourcés, des bruits courts que...

Samuel Courgey - Arcanne
SYNAMIOME BFC - Déc. 2022
Réhabilitation énergétique 1/2

Les isolants biosourcés, il paraît que ça brûle ?

Les isolants biosourcés, il paraît que ça pourrit ?

Les assureurs hésiteraient à s'engager sur la mise en œuvre des biosourcés ?

Ok, mais les isolants biosourcés, c'est beaucoup plus cher, n'est-ce pas ?

La production des biosourcés concurrencerait les filières agricoles, alimentaires ?

... Ce n'est pas facile de trouver où acheter les isolants biosourcés ?

606

Samuel Courgey - Arcanne
SYNAMIOME BFC - Déc. 2022
Réhabilitation énergétique 1/2

Les isolants biosourcés, il paraît que ça brûle ?

607



Le comportement au feu

- Sauf exception (briques de chanvre et certaines ouates) les isolants biosourcés sont classés « E » (très inflammable)
- C'est effectivement le cas pour les poussières, chutes de coupes...

→ Attention en phase chantier !

- Mais une fois mis en œuvre, la plupart, du fait de leur densité /compacité /cohésion pourra se comporter aussi bien voire mieux que d'autres matériaux classés « A1 » ou « A2 » (non combustibles)

3 conférences d'Olivier Gaujard pour un point sur le sujet "[Bois et BS et sécurité incendie](#)"

608



Essai au feu (CSTB 2009)

2 exemples parmi tant d'autres :



Essai comparatif de 4 isolants. (IDEM 2018)

Cliquez sur
l'image pour
voir le film

609





Les isolants biosourcés, il paraît que ça pourrait ?

612



Hygro-vulnérabilité

- Excepté le liège, imputrescible, la vulnérabilité à l'eau est réelle, mais elle variera selon les matériaux (comme pour le bois selon les essences, cela ira de la laine de chanvre, plus comparable à du chêne ou de l'acacia, à la paille, plus sensible, comme le sapin ou l'épicéa).
- Le choix d'un isolant biosourcé devra se faire avec une attention particulière en :
 - **isolation de sol sur terre plein**
 - **isolation de sol de pièces humides** (salle de bain, espace chauffe-eau...)
 - **isolation par l'intérieur** (les murs sont froids donc humides en hiver)
 - **ITE enduites sur façades à la pluie battante**
 - **isolation de bas de murs soumis à remontées capillaires**
 - **isolation de murs enterrés**
 - **isolation des toitures terrasses chaudes**



613



Heureusement la connaissance sur le sujet « humidité » évolue en France !



L'ensemble des bases à connaître fait l'objet de ce 1^{er} document très accessible.



... et les documents techniques accompagnant la mise en œuvre des biosourcés sont nombreux





**Les assureurs
hésiteraient à
s'engager sur la
mise en œuvre
des biosourcés ?**

618



L'assurabilité professionnelle

Cet argument n'est plus recevable pour :

- les mises en œuvre des bottes de pailles et bétons de chanvre respectant leurs règles professionnelles
 - l'ensemble des solutions sous "avis techniques" (ATec, DTA ou ETN) validées par les assureurs
- les matériaux disposant d'une norme, et notifiés comme adaptés dans les documents de référence (DTU, CPT...)

Pour les autres situations c'est au cas par cas.



COMMISSION CHARGÉE
DE FORMULER
LES AVIS TECHNIQUES



afnor
NORMALISATION

619



L'assurabilité professionnelle

Terme générique équivalent à "avis d'experts" ou "appréciation technique"

- ...revable pour :
- l'ensemble des solutions sous "avis techniques" (ATec, DTA ou ETN) validées par les assureurs
 - les matériaux disposant d'une norme, et notifiés comme adaptés dans les documents de référence (DTU, CPT...)

Pour les autres situations c'est au cas par cas.



COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER LES AVIS TECHNIQUES



afnor
NORMALISATION

620



L'assurabilité professionnelle

ATec : avis technique apporté par un groupe d'experts sous animation du CSTB

DTA (document technique d'application) : nom des ATec pour les produits sous marquage CE

ETN (enquête technique nouvelle) : avis d'experts similaire aux ATec mais réalisé par un bureau de contrôle

- ...revable pour :
- l'ensemble des solutions sous "avis techniques" (ATec, DTA ou ETN) validées par les assureurs
 - les matériaux disposant d'une norme, et notifiés comme adaptés dans les documents de référence (DTU, CPT...)

Pour les autres situations c'est au cas par cas.



COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER LES AVIS TECHNIQUES



afnor
NORMALISATION

621

professionnelle

ATec : avis technique apporté par un groupe d'experts sous animation du CSTB

DTA (document technique d'application) : nom des ATec pour les produits sous marquage CE

ETN (enquête technique nouvelle) : avis d'experts similaire aux ATec mais réalisé par un bureau de contrôle

Si vous n'avez comme nous peu confiance en l'impartialité des experts instruisant les ATec et autres DTA, il est possible de faire sans ces derniers via la procédure « **Enquête Technique Nouvelle** » !

- l'ensemble des solutions sous "avis techniques" (**ATec, DTA ou ETN**) validées par les assureurs
- les matériaux disposant d'une norme, et notifiés comme adaptés dans les documents de référence (DTU, CPT...)

Pour les autres situations c'est au cas par cas.

cen **afnor** NORMALISATION

622

Samuel Courgey - Arcanne
Rehabilitation énergétique 1/2
C - Dec. 2022

professionnelle

Attention : avoir un "avis technique" n'entraîne pas automatiquement l'assurabilité professionnelle ! → Voir la liste verte de la C2P (<http://listeverte-c2p.qualiteconstruction.com/>) pour connaître les avis techniques ne faisant pas l'objet d'une mise en observation de la part de la C2P (Commission Prévention Produit).

- l'ensemble des solutions sous "avis techniques" (ATec, DTA ou ETN) **validées par les assureurs**
- les matériaux disposant d'une norme, et notifiés comme adaptés dans les documents de référence (DTU, CPT...)

Pour les autres situations c'est au cas par cas.

CC FAT COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER LES AVIS TECHNIQUES

cen **afnor** NORMALISATION

623

Samuel Courgey - Arcanne
Rehabilitation énergétique 1/2
SYNAPSE BFC - Dec. 2022



L'assurabilité professionnelle

Référence intéressante :
l'Agence Qualité Construction (AQC, qui regroupe entre autres les assureurs), sort régulièrement des articles ou dossiers sur les biosourcés.



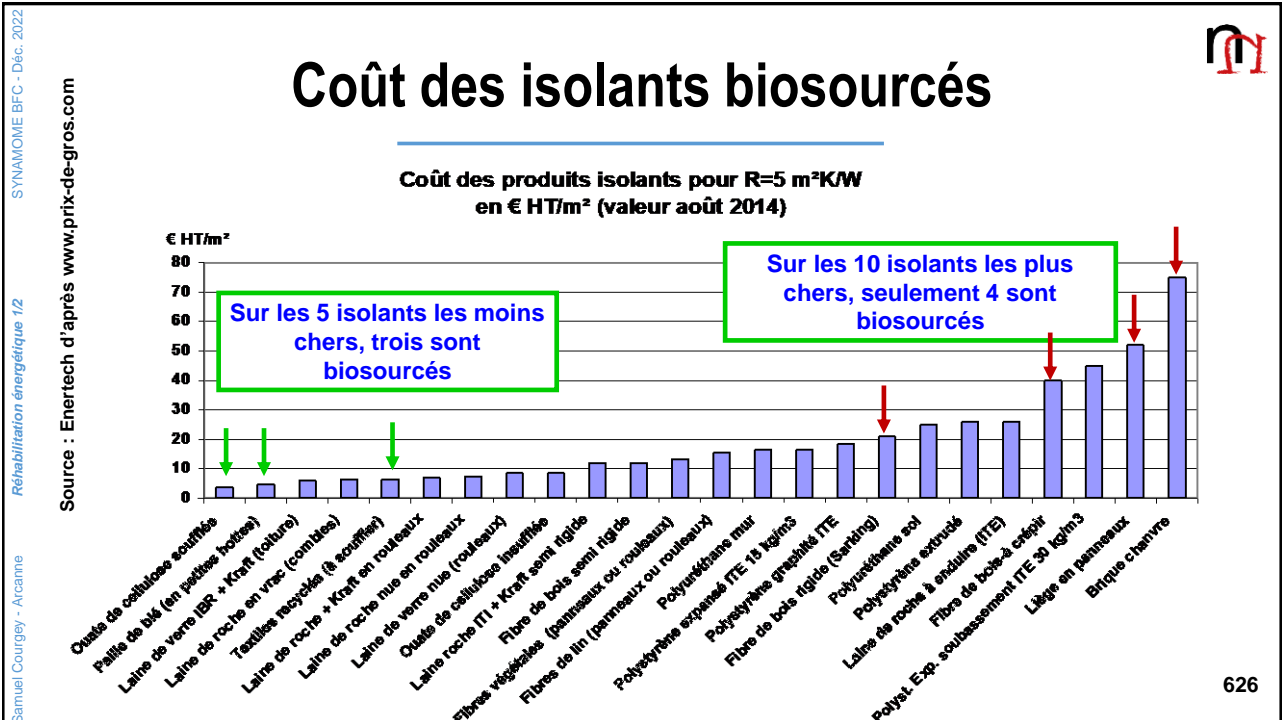
<http://www.qualiteconstruction.com/>

624



**Ok, mais
les isolants
biosourcés, c'est
beaucoup plus
cher, n'est-ce
pas ?**

625



SYNAMIOME BFC - Déc. 2022

Rehabilitation énergétique 1/2

Samuel Courgey - Arcanne

Coût des isolants biosourcés

Si le prix à l'achat est souvent plus élevé pour les isolants biosourcés que pour les isolants conventionnels courants (laine de verre de base et polystyrène), les études nous montrent que **ce surcoût ne se remarque pas sur les bâtiments neufs finis**.

Particulièrement parce que les principaux choix qui interfèrent sur le prix d'un bâtiment sont indépendants du choix de l'isolant.

Cerema

Le coût des matériaux biosourcés dans la construction

Etat de la connaissance - 2016

juin 2017

Etude de référence sur le sujet (CéRéMA Ouest)

627



Coût des isolants biosourcés

Si le prix à l'achat est souvent plus élevé pour les isolants biosourcés que pour les isolants conventionnels courants (laine de verre de base et polystyrène), les études nous montrent que **ce surcoût ne se remarque pas sur les bâtiments neufs finis.**

Particulièrement parce que les principaux choix qui interfèrent sur le prix d'un bâtiment sont indépendants du choix de l'isolant.



C'est différent en rénovation où le coût des isolants représente un pourcentage plus important du coût du projet. Cela dépendra alors du matériau choisi et du type de mise en œuvre.



Voir annexe
"Base de données
matériaux"

Coût des isolants biosourcés

Pensez comparer « fourniture & pose », et n'oubliez pas que :

- le prix d'un même produit peut aisément varier de 1 à 2 selon le négociant et le type de conditionnement ;
- pour une même prestation, le prix varie aisément de 1 à 2 selon la région, le carnet de commande de l'entreprise... ;
- l'entreprise peut appliquer ses frais généraux sur la journée (temps de mise en œuvre) ou sur le coût des matériaux.

...Et ne comparer pas le prix d'un isolant conventionnel posé sans soin au prix d'un BS posé avec soin (étanchéité à l'air réelle...), car effectivement, là le prix fait plus que doubler, mais ceci ne vient pas d'abord du choix de l'isolant !





Coproduit peu valorisé, disponible en quantité énorme : **la bale de céréale représente une opportunité de 1^{er} ordre pour l'avenir de l'isolation**

1^{ère} piste de recherche avec le travail mené par [Bâtir en bales](#) sur les bales de riz et d'épeautre

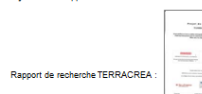
Concurrence avec les filières agricoles ?

une question d'arbitrage pour certaines cultures, mais pour la plupart il n'y a pas concurrence mais complémentarité.

Et cette complémentarité va évoluer au fur et à mesure que nous allons valoriser des co-produits de productions existant sur nos territoires : maïs, tournesol... et [bales de céréales](#).



Synthèse du rapport de recherche TERRACREA



51

633



Il n'est pas facile de se procurer des isolants biosourcés ?

634



Où les trouver ?

- **Fibres de bois et ouate de cellulose** : désormais dans de nombreux points de vente "classiques"... mais seulement pour leurs produits "phare", sinon, négoce spécialisés
- **Chènevotte, laines de chanvre, de lin, de mouton, de tissu recyclé...** : de plus en plus chez des négoce "classiques", sinon, selon, en négoce spécialisé ou directement auprès des fabricants
- **Bottes de paille, bales de céréales et laine de chanvre vrac** : l'idéal est de contacter directement les filières :
 - . Filière paille : <http://rfcp.fr/>
 - . Filière chanvre en circuit court : <http://www.chanvriersencircuitscourts.org/>
 - . Filière bales de céréales : <http://www.batirenballes.fr>

635



Le difficile repérage
des points de vente fait partie
des freins au développement des
biosourcés, comme l'accessibilité
à une information complète quant
à leurs mise en oeuvre et limites
d'emploi

→ **Besoin de points ressources
dédiés** (qui délivrent une
information complète et
objective sur le sujet)

Où les trouver ?

- **Fibres de bois et ouate de cellulose** : désormais dans de nombreux points de vente "classiques"... mais seulement pour leurs produits "phare"
- **Chènevotte, laines de chanvre, de lin, de mouton, de tissu recyclé...** : de plus en plus chez des négoce "classiques", sinon en négoce spécialisé ou directement auprès des fabricants
- **Bottes de paille, bale de céréales et laine de chanvre vrac** : l'idéal est de contacter directement les filières, relativement bien structurées :
 - . Filière paille : <http://rfcp.fr/>
 - . Filière chanvre en circuit court : <http://www.chanvriersencircuitscourts.org/>
 - . Filière bales de céréales : <http://www.batirenballes.fr>

636



ANNEXES

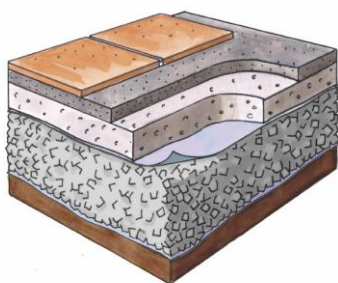
- Bien être et confort thermique
- Les ponts thermiques
- Confort d'été - Ex. de comportements
- Surventilation nocturne
- Critères de choix des isolants
- Exemples d'isolants
- Gros plan sur les isolants biosourcés
- **Exemples de parois « basse conso »**

637



P.01

Sols à forte inertie



Bilan CO₂ du m² de paroi : 63 kg CO₂
eq
Coût Énergie grise : 225 kWh/m²

1. Terre cuite, carrelage, béton ciré...
2. Chape de pose (≈ 4 cm)
3. Dalle (≈ 12 cm)
4. Géotextile
5. Hérissse à base de granulats de mousse de verre (23 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 25 cm
6. Géotextile
7. Sol d'origine compacté

$U = 0.30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($R = 3.34 \text{ m}^2\text{K/W}$)
Perte dues aux Ponts thermiques : 0%

Inertie :

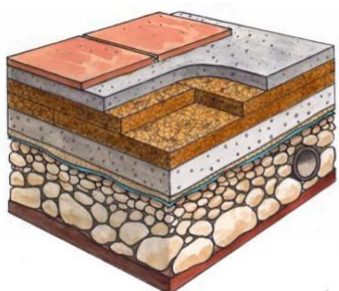
- CTI quotidienne : 17 Wh/m²K (Forte)
- CTI séquentielle : 95 Wh/m²K (Forte)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

638

P.02

Sols à inertie moyenne



CO₂ du m² de paroi : 38 kg CO₂ eq
Coût Énergie grise : 197 kWh/m²

1. Terre cuite, carrelage, béton ciré...
2. Chape (≈ 6 cm)
3. Panneaux en liège expansé (2 x 6 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 14 cm
4. Dalle (≈ 12 cm) selon sur ou sous liège
5. Chape de propreté ou lit de sable
6. Géotextile
7. Hérisson ventilé
8. Sol d'origine compacté

U = 0.30 W/m².K (R= 3.28 m²K/W)
Perte dues aux Ponts thermiques : 0%

Inertie :

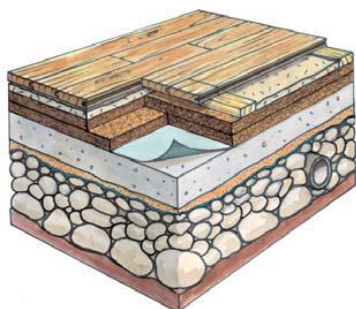
- CTI quotidienne : 17 Wh/m²K (Forte)
- CTI séquentielle : 49 Wh/m²K (Moyenne)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

639

P.03

Sols à faible inertie



Bilan CO₂ du m² de paroi : 11 kg CO₂ eq
Coût Énergie grise : 187 kWh/m²

1. Parquet bois (≈ 2.2 cm)
2. Lambourde (≈ 4 cm)
3. Chènevotte entre lambourdes (≈ 4 cm)
4. Panneaux de liège expansé (2 x 5 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 13 cm
5. Eventuelle barrière d'étanchéité
6. Dalle (≈ 12 cm)
5. Chape de propreté ou lit de sable
6. Géotextile
7. Hérisson ventilé sur sol d'origine compacté

U = 0.29 W/m².K (R= 3.51 m²K/W)
Perte dues aux Ponts thermiques : 4%

Inertie :

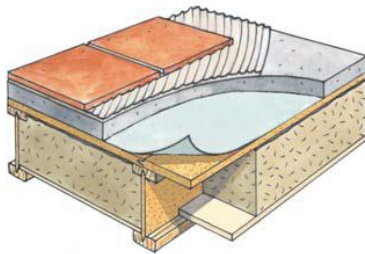
- CTI quotidienne : 9 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 21 Wh/m²K (Faible)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

640

P.04

Plancher bois sur locaux non chauffés



Bilan CO₂ du m² de paroi : -40 kg
CO₂ eq
Coût Énergie grise : 136 kWh/m²

1. Terre cuite, carrelage, béton ciré...
2. Chape (≈ 6 cm)
3. Film de désolidarisation
4. Panneaux bois type OSB
5. Solivage bois type « poutre en I »
6. Chènevotte déversée en vrac (25 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 7 cm
7. Panneau perspirant (ici plaque de plâtre)

U = 0.19 W/m².K (R= 5.34 m²K/W)
Perte dues aux Ponts thermiques : 5%

Inertie :

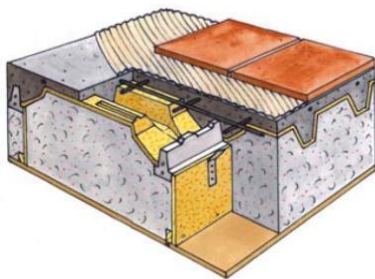
- CTI quotidienne : 17 Wh/m²K (Forte)
- CTI séquentielle : 55 Wh/m²K (Moyenne)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

641

P.05

Plancher béton sur locaux non chauffés



Bilan CO₂ du m² de paroi : -5 kg CO₂
eq
Coût Énergie grise : 215 kWh/m²

1. Terre cuite, carrelage, béton ciré...
2. Dalle de compression (≈ 5,5 cm)
3. Hourdis moulés à base de bois
4. Poutrelle Béton Armé
5. Ouate de cellulose insufflée (≈ 22 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 6 cm
6. Joles de coffre en bois type OSB
7. Panneau perspirant (ici plaque de bois)

U = 0.19 W/m².K (R= 5.20 m²K/W)
Perte dues aux Ponts thermiques : 8%

Inertie :

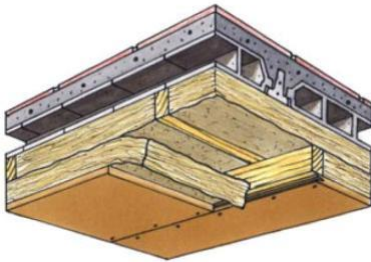
- CTI quotidienne : 17 Wh/m²K (Forte)
- CTI séquentielle : 63 Wh/m²K (Moyenne)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

642

P.06

Isolation de dalle existante



1. Sol existant (*carrelage sur dalle*)
2. Ossature bois (*2 x 10 cm*)
3. Laine de mouton (*2 x 10 cm*)
- Épais. supplémentaire pour passif : 5 cm*
4. Panneau perspirant (*ici feutre de bois de 3 cm*)

U = 0.19 W/m².K (R= 5.32 m²K/W)
Perte dues aux Ponts thermiques : 11%

Inertie :

- CTI quotidienne : 18 Wh/m²K (Forte)
- CTI séquentielle : 67 Wh/m²K (Moyenne)

Bilan CO₂ du m² de paroi : -13 kg CO₂eq
Coût Énergie grise : 39 kWh/m²

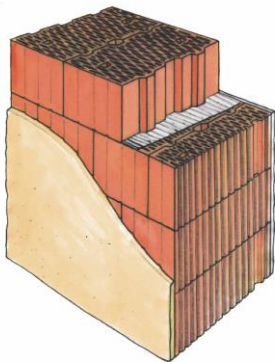
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

643

Dessin Sylvain Huiban (L'isolation thermique écologique)

M.01

Monomur terre cuite



1. Enduit extérieur à base de chaux (*≈ 2 cm*)
2. Monomur terre cuite (*Brique Wienberger de 50 cm, pose roulée*)
- Épais. supplémentaire pour passif : 34 cm*
3. Enduit plâtre (*≈ 1 cm*)

U = 0.25 W/m².K (R= 4,05 m²K/W)
Perte dues aux Ponts thermiques : 0%

Inertie :

- CTI quotidienne : 9 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 38 Wh/m²K (Moyenne)

Bilan CO₂ du m² de paroi : 79 kg CO₂eq
Coût Énergie grise : 303 kWh/m²

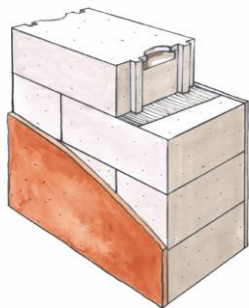
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

644

Dessin Sylvain Huiban (L'isolation thermique écologique)

M.02

Monomur béton cellulaire



1. Enduit extérieur à base de chaux (≈ 2 cm)
2. Monomur béton cellulaire (Thermopierre de 42,5 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 18 cm
3. Enduit à base de plâtre (≈ 1 cm)

$U = 0.21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($R = 4,75 \text{ m}^2\text{K/W}$)
Perte dues aux Ponts thermiques : 0%

Inertie :

- CTI quotidienne : $7 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ (Moyenne)
- CTI séquentielle : $19 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ (Faible)

Bilan CO_2 du m^2 de paroi : 65 kg CO_2
eq

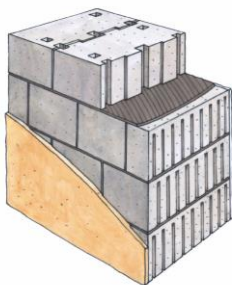
Coût Énergie grise : 188 kWh/m^2

* Calcul CO_2 et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

645

M.03

Monomur en blocs de béton allégé



1. Enduit extérieur à base de chaux (≈ 2 cm)
2. Monomur béton allégé de pierre ponce (Bloc KLB-P
SWI de 49 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 28 cm
3. Enduit plâtre (≈ 1 cm)

$U = 0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($R = 4,29 \text{ m}^2\text{K/W}$)
Perte dues aux Ponts thermiques : 0%

Inertie :

- CTI quotidienne : $8 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ (Moyenne)
- CTI séquentielle : $32 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ (Moyenne)

Bilan CO_2 du m^2 de paroi : 35 kg CO_2
eq

Coût Énergie grise : 80 kWh/m^2

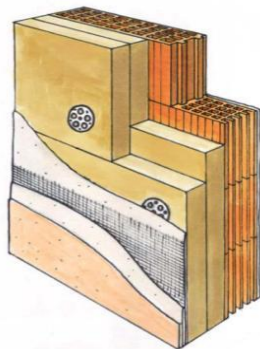
* Calcul CO_2 et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

646



M.04

Isolation extérieure en panneaux enduits



Bilan CO₂ du m² de paroi : 15 kg CO₂
eq

Coût Énergie grise : 229 kWh/m²

1. Enduit extérieur tramé (perspirant et capillaire) ($\approx 1,5$ cm)
2. Panneaux de fibres de bois (2×8 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 9 cm
3. Chevilles plastiques
4. Mur porteur en briques (15 cm)
5. Finition intérieure

$U = 0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($R = 4,35 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Perte dues aux Ponts thermiques : 6%

Inertie :

- CTI quotidienne : 14 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 37 Wh/m²K (Moyenne*)

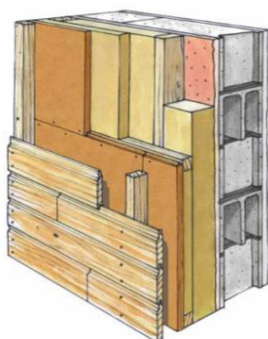
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

647



M.05

Isolation extérieure sous bardage



Bilan CO₂ du m² de paroi : -24 kg
CO₂ eq

Coût Énergie grise : 42 kWh/m²

1. Bardage bois (≈ 2 cm)
2. Latte support bardage (4 cm minimum)
3. Panneaux pare pluie en feutre de bois
4. Ossature bois ($10 + 5$ croisé)
5. Rouleau de laine de chanvre
Épais. supplémentaire pour passif : 9 cm
6. Mur d'origine

$U = 0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($R = 4,41 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Perte dues aux Ponts thermiques : 8%

Inertie :

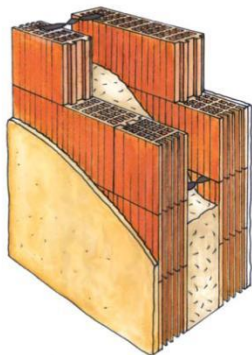
- CTI quotidienne : 16 Wh/m²K (Forte)
- CTI séquentielle : 55 Wh/m²K (Moyenne)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

648

M.06

Murs maçonnés à double paroi



Bilan CO₂ du m² de paroi : 20 kg CO₂
eq

Coût Énergie grise : 187 kWh/m²

1. Enduit à base de chaux (≈ 2 cm)
2. Mur de parement en briques (15 cm)
3. Béton de chènevotte très faible densité (20 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 10 cm
4. Mur porteur en briques (15 cm)
5. Finition intérieure

$U = 0.21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($R = 4.72 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Perte dues aux Ponts thermiques : 3%

Inertie :

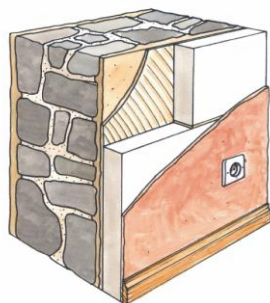
- CTI quotidienne : 14 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 49 Wh/m²K (Moyenne)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

649

M.07

Isolation intérieure par panneaux ou blocs à enduire



Bilan CO₂ du m² de paroi : 9 kg CO₂
eq

Coût Énergie grise : 26 kWh/m²

1. Mur d'origine (sur notre exemple : mur en pierre calcaire + enduit int. & ext. à la chaux (40cm + 2x2 cm))

2. Mousse de pierre (panneaux Multipor® de 10 cm)

Épais. supplémentaire pour passif : 18 cm

3. Enduit terre (≈ 1 cm)

$U = 0.36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($R = 2.75 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Perte dues aux Ponts thermiques : 0%

Inertie :

- CTI quotidienne : 9 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 22 Wh/m²K (Faible)

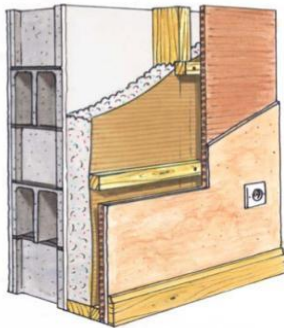
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

650



M.08

Isolation intérieure sur ossature bois



1. Mur d'origine (agglomérés de béton de 20 cm)
2. Ossature bois (10 cm)
3. Ouate de cellulose (projetée humide) (10 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 18 cm
4. Film régulateur de vapeur adaptatif
5. Liteau/ Espace technique (≈ 3 cm)
6. Panneaux de terre (≈ 2 cm)
7. Enduit terre (≈ 1 cm)

U = 0.38 W/m².K (R= 2.61 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 13%

Inertie :

- CTI quotidienne : 12 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 18 Wh/m²K (Faible)

Bilan CO₂ du m² de paroi : -14 kg
CO₂ eq
Coût Énergie grise : 30 kWh/m²

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

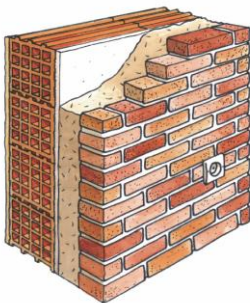
651

Dessin Sylvain Huiban (L'isolation thermique écologique)



M.09

Isolation avec contre cloison maçonnée



1. Mur d'origine (brique de 20)
2. Isolant déversé en vrac (10cm de perlite)
Épais. supplémentaire pour passif : 20 cm
3. Contre cloison en brique de terre crue (12 cm)

U = 0.37 W/m².K (R= 2.73 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 0%

Inertie :

- CTI quotidienne : 21 Wh/m²K (Très forte)
- CTI séquentielle : 85 Wh/m²K (Forte)

Bilan CO₂ du m² de paroi : 9 kg CO₂
eq
Coût Énergie grise : 43 kWh/m²

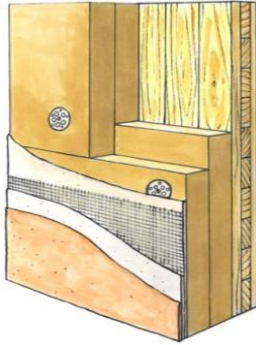
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

652

Dessin Sylvain Huiban (L'isolation thermique écologique)

M.10

Murs en bois massif... isolés



Bilan CO₂ du m² de paroi : -58 kg
CO₂ eq
Coût Énergie grise : 228 kWh/m²

1. Enduit de finition (perspirant et capillaire)
2. Corps d'enduit
3. Couche d'accrochage
4. Panneaux de laine de bois (10 + 4 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 9 cm
5. Panneaux de bois massif type KLH ® (9,5 cm)

U = 0.23 W/m².K (R= 4.31 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 6%

Inertie :

- CTI quotidienne : 9 Wh/m²K (Moyenne⁻)
- CTI séquentielle : 29 Wh/m²K (Moyenne⁻)

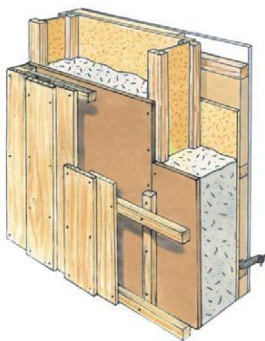
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

653



M.11

Murs OB et remplissage isolant à sec



Bilan CO₂ du m² de paroi : -47 kg
CO₂ eq
Coût Énergie grise : 114 kWh/m²

1. Bardage bois (≈ 2 cm)
2. Latte et contre-lattes (6 cm minimum)
3. Panneaux pare pluie en feutre de bois (≈ 2 cm)
4. Ossature bois (poutres en « I »)
5. Ouate de cellulose insufflée (23 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 0 cm
6. Panneau contreventant type OSB
7. Espace technique comblé d'un isolant fibres de bois en panneau (≈ 3 cm)
8. Plaque de plâtre

U = 0.15 W/m².K (R= 6.70 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 9%

Inertie :

- CTI quotidienne : 9 Wh/m²K (Moyenne⁻)
- CTI séquentielle : 15 Wh/m²K (Faible)

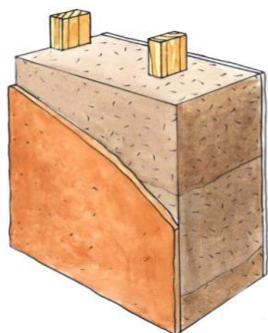
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

654



M.12

Murs OB et remplissage béton léger



1. Enduit extérieur à base de chaux ($\approx 2\text{ cm}$)
2. "Béton" de chanvre de type mur* (40 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 25 cm
3. Ossature bois ($2 \times 6\text{ cm}$)
4. Plâtre traditionnel ($\approx 1\text{ cm}$)

$$U = 0.24\text{ W/m}^2\cdot\text{K} \quad (R = 4.17\text{ m}^2\text{K/W})$$

Perte dues aux Ponts thermiques : 1%

Inertie :

- CTI quotidienne : $8\text{ Wh/m}^2\text{K}$ (Moyenne⁻)
- CTI séquentielle : $32\text{ Wh/m}^2\text{K}$ (Moyenne⁻)

Bilan CO_2 du m^2 de paroi : -9 kg CO_2
eq

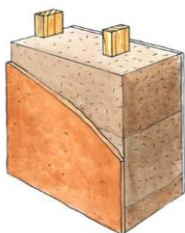
Coût Énergie grise : 175 kWh/m^2

* Calcul CO_2 et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

655

M.12

Murs OB et remplissage béton léger



Écriture verte : solutions « BBC-compatibles »

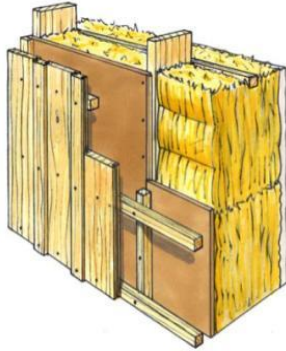
En orange : solutions potentiellement «BBC-compatibles» avec une approche thermique dynamique

Bétons végétaux	Lambda	U (R) pour 20cm	U (R) pour 30cm	U (R) pour 40cm	U (R) pour 50cm
200 kg/m ³	0.07	0.35 (2.86)	0.23 (4.29)	0.18 (5.71)	0.14 (7.14)
300 kg/m ³	0.09	0.45 (2.22)	0.30 (3.33)	0.23 (4.44)	0.18 (5.56)
400 kg/m ³	0.12	0.60 (1.67)	0.40 (2.50)	0.30 (3.33)	0.24 (4.17)
500 kg/m ³	0.15	0.75 (1.33)	0.50 (2.00)	0.38 (2.67)	0.30 (3.33)
800 kg/m ³	0.25	1.25 (0.80)	0.83 (1.20)	0.63 (1.20)	0.50 (2.00)
1000 kg/m ³	0.35	1.75 (0.57)	1.17 (0.86)	0.88 (1.14)	0.90 (1.11)

656

M.13

Murs OB et remplissage en bottes de paille



Bilan CO₂ du m² de paroi : -83 kg
CO₂ eq
Coût Énergie grise : 62 kWh/m²

1. Bardage bois (≈ 2 cm)
2. Latte et contre-latte (6 cm minimum)
3. Panneaux pare-pluie en feutre de bois (≈ 2 cm)
4. Poteaux bois massif
5. Botte de paille posée sur champ (35 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 0 cm
6. Liteau de maintien des bottes
7. Enduit minéral à base de terre ou chaux (≈ 3 cm)

U = 0.12 W/m².K (R= 8.23 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 4%

Inertie :

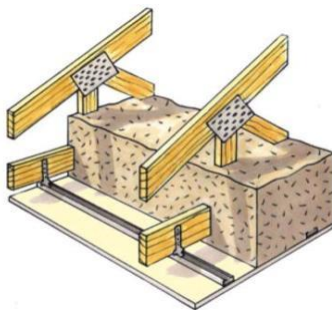
- CTI quotidienne : 15 Wh/m²K (Forte)
- CTI séquentielle : 25 Wh/m²K (Faible)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

657

T.01

Isolation des combles non praticables



Bilan CO₂ du m² de paroi : -55 kg
CO₂ eq
Coût Énergie grise : 10 kWh/m²

1. Entrants de fermettes
2. Chênevotte déversée (40 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 13 cm
3. Rail (métallique) support de plafond
4. Plafond existant en plaque de plâtre

U = 0.14 W/m².K (R= 7.34 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 10%

Inertie :

- CTI quotidienne : 5 Wh/m²K (Faible)
- CTI séquentielle : 15 Wh/m²K (Faible)

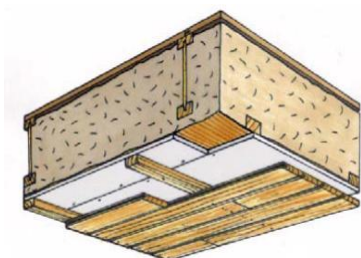
Attention, cette solution charge le plafond de l'ordre de 40 kg d'isolant au m²... il lui faut pouvoir le supporter !

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

658

T.02

Isolation des combles praticables



Bilan CO₂ du m² de paroi : -96 kg
CO₂ eq
Coût énergie grise : 93 kWh/m²

1. Panneaux de bois perspirant (≈ 2 cm)
2. Poutre en « I »
3. Ch  nevotte déversée (40 cm)
-   pais. supplémentaire pour passif : 10 cm*
4. Lambourdes support plafond
5. Membrane assurant l'étanchéité à l'air et la régulation de la vapeur d'eau
6. Plaque de plâtre
7. Passage technique
8. Plafond en lambris de bois

U = 0.12 W/m².K (R= 8.01 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 6%

Inertie :

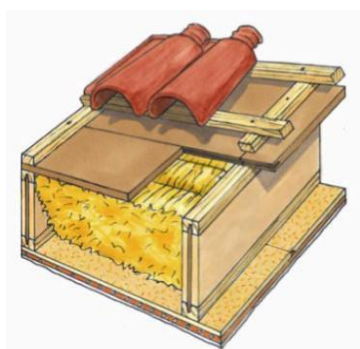
- CTI quotidienne : 9 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 21 Wh/m²K (Faible)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

659

T.03

Isolation entre les éléments de charpente



Bilan CO₂ du m² de paroi : -64 kg
CO₂ eq
Coût énergie grise : 150 kWh/m²

1. Couverture en tuiles terre cuite
2. Lattage et contre lattage (4 cm minimum)
3. Panneaux pare pluie en feutre de bois (≈ 2 cm)
4. Botte de paille (≈ 35 cm)
-   pais. supplémentaire pour passif : 9 cm*
5. Chevron porteur (avec   me isolée)
6. Panneau contreventant type OSB 3 (mis en œuvre avec adhésif = frein de vapeur)
7. Panneau de terre + Enduit terre (2,5+1 cm)

Up = 0.12 W/m².K (R= 8.43 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 6%

Inertie :

- CTI quotidienne : 15 Wh/m²K (Forte)
- CTI séquentielle : 29 Wh/m²K (Faible)

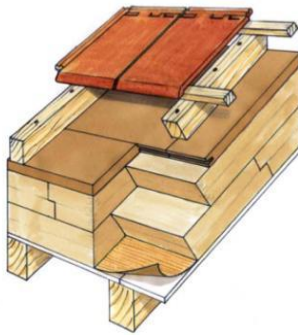
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

660



T.04

Isolation au dessus des chevrons



Bilan CO₂ du m² de paroi : -44 kg
CO₂ eq
Coût Énergie grise : 234 kWh/m²

1. Couverture en tuiles terre cuite
2. Lattage et contre lattage (8 cm minimum)
3. Panneaux pare pluie en feutre de bois (≈ 2.2 cm)
4. Panneaux en feutre de bois (2 x 14 cm)
- Épais. supplémentaire pour passif : 10 cm
5. Membrane assurant l'étanchéité à l'air et la régulation de vapeur d'eau
6. Plaque de plâtre
7. Chevrons

U = 0.13 W/m².K (R= 7.44 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 3%

Inertie :

- CTI quotidienne : 7 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 16 Wh/m²K (Faible)

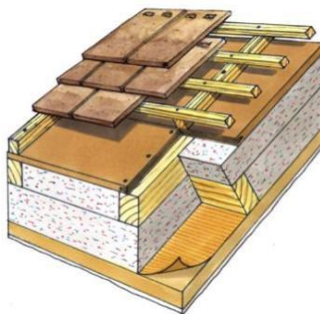
* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

661



T.05

Isolation par panneaux ou rouleaux



Bilan CO₂ du m² de paroi : -20 kg
CO₂ eq
Coût Énergie grise : 185 kWh/m²

1. Couverture en tuiles terre cuite
2. Lattage et contre lattage (4 cm minimum)
3. Panneaux pare pluie en feutre de bois (≈ 2 cm)
4. Chevrons et contre chevrons
5. Isolant texturé type coton recyclé... (10+15 cm)
- Épais. supplémentaire pour passif : 9 cm
6. Membrane assurant l'étanchéité à l'air et la régulation de vapeur d'eau
7. Panneau feutre de bois (≈ 3,5 cm)
8. Enduit

U = 0.13 W/m².K (R= 7.73 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 9%

Inertie :

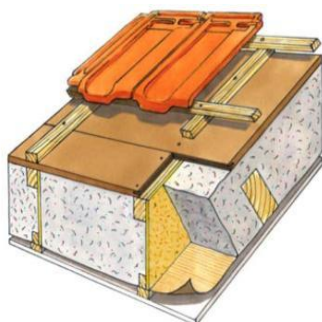
- CTI quotidienne : 7 Wh/m²K (Moyenne)
- CTI séquentielle : 12 Wh/m²K (Faible)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

662

T.06

Isolation par insufflation



Bilan CO₂ du m² de paroi : -34 kg
CO₂ eq

Coût Énergie grise : 167 kWh/m²

1. Couverture en tuiles terre cuite
2. Lattage et contre lattage (4 cm minimum)
3. Panneaux pare pluie en feutre de bois (≈ 3.5 cm)
4. Chevrons sur pannes
5. Joues de coffres en panneaux type OSB
6. Ouate de cellulose insufflée (34 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 7 cm
7. Membrane assurant l'étanchéité à l'air et la régulation de vapeur d'eau
8. Plaque de plâtre

U = 0.12 W/m².K (R= 8.5 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 14%

Inertie :

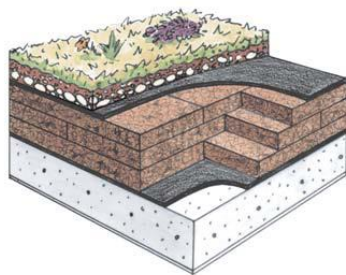
- CTI quotidienne : 6 Wh/m²K (Faible)
- CTI séquentielle : 10 Wh/m²K (Faible)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

663

T.07

Isolation de toiture terrasse en béton



Bilan CO₂ du m² de paroi : 33 kg CO₂
eq

Coût Énergie grise : 354 kWh/m²

1. Terre, substrat végétal...
2. Drainage et membrane d'étanchéité (base : EPDM)
3. Panneaux de liège expansé (3 x 10 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 8 cm
4. Membrane pare vapeur spécifique
5. Dalle béton
6. Plafond en plâtre traditionnel

U = 0.13 W/m².K (R= 7.89 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 0%

Inertie :

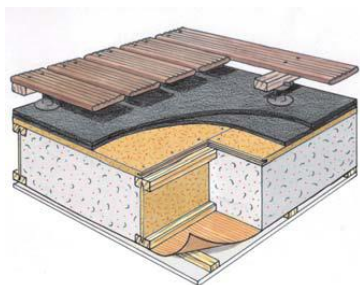
- CTI quotidienne : 25 Wh/m²K (Très Forte)
- CTI séquentielle : 128 Wh/m²K (Très Forte)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)

664

T.08

Isolation de toiture terrasse en bois



Bilan CO₂ du m² de paroi : -72 kg
CO₂ eq

Coût Énergie grise : 191 kWh/m²

1. Terrasse bois (lames ajourées sur lambourdes)
2. Complexe d'étanchéité (base : EPDM)
3. Panneaux de bois type OSB
4. Poutres en « I »
5. Ouate de cellulose insufflée (35 cm)
Épais. supplémentaire pour passif : 6 cm
6. Membrane assurant l'étanchéité à l'air et la régulation (évolutive) de vapeur d'eau
7. Plaque de plâtre sur liteaux

U = 0.12 W/m².K (R= 8.53 m²K/W)

Perte dues aux Ponts thermiques : 6%

Inertie :

- CTI quotidienne : 6 Wh/m²K (Faible)
- CTI séquentielle : 10 Wh/m²K (Faible)

* Calcul CO₂ et EG d'après la base de données Baubook (Voir « l'isolation thermique écologique »)



665



666

Classification des locaux en fonction de leur hygrométrie (Annexe B du DTU31.2)

Local à faible hygrométrie	$W/n \leq 2,5g/m^3$	<ul style="list-style-type: none"> · immeubles de bureaux non conditionnés, externats scolaires, logements équipés de ventilations mécaniques contrôlées et de systèmes propres à évacuer les pointes de production de vapeur d'eau dès qu'elles se produisent (hottes...) ; · bâtiments industriels à usage de stockage, ateliers mécaniques, sans production de vapeur d'eau ; · locaux sportifs sans public (sauf piscines ou patinoires).
Local à hygrométrie moyenne	$2,5g/m^3 < W/n \leq 5g/m^3$	Bâtiments d'habitation, y compris les cuisines et salles d'eau, correctement chauffés et ventilés sans sur-occupation.
Local à forte hygrométrie	$5g/m^3 < W/n \leq 7,5g/m^3$	<ul style="list-style-type: none"> · bâtiments d'habitation médiocrement ventilés et sur-occupés ; · locaux avec forte concentration humaine ou animale (bâtiments d'élevage agricole, certains ateliers, etc.) ; · locaux à atmosphère humide contrôlée pour les besoins de la fabrication des produits (boulangeries et pâtisseries industrielles, imprimeries, tannage des cuirs, certains ateliers de peinture, de photographie, ateliers de traitement de tabacs...) ; · locaux avec forte production de vapeur d'eau (piscines, conserveries, teintureries, papeteries, laiteries industrielles, ateliers de lavage de bouteilles, brasseries, ateliers de polissage, cuisines collectives, blanchisseries industrielles, ateliers de tissage, filatures...) ; · locaux chauffés par panneaux radiants à combustible gaz.
Local à très forte hygrométrie	$7,5g/m^3 < W/n$	Locaux spéciaux tels que locaux industriels nécessitant le maintien d'une humidité relativement élevée, locaux sanitaires de collectivités d'utilisation très fréquente.

Caractéristiques des matériaux retenues pour divers calculs présentés dans ce diaporama

Calculs réalisés par Bruno Jarno / Arcanne



	Bilan CO2	Energie grise	Densité	Lambda
	kgCO2eq/kg	kWh/kg	kg/m3	W/mK
Chênevotte brute (vrac)	-1,25	0,24	110	0,050
Panneaux de liège expansé	-1,23	1,97	110	0,040
Bottes de paille. Flux thermique perpendiculaire aux fibres	-1,25	0,24	90	0,047
Panneaux fibres de bois / haute densité	-0,58	3,81	160	0,040
Ouate de cellulose vrac / haute densité	-0,91	1,95	55	0,040
Fibre de bois semi rigide	-0,18	5,42	40	0,040
Laine de chanvre en panneaux	-0,13	8,64	30	0,040
Laine de mouton	0,04	4,08	20	0,040
Laine de coton recyclé (Métisse®)	0,36	10,56	25	0,040
Laine de verre	2,26	13,83	25	0,036
Polystyrène expansé	3,45	27,36	17	0,035
Panneau de silicate de calcium	0,47	4,77	115	0,050
Polyuréthane	4,04	28,33	30	0,027
Laines de roche / haute densité	1,64	6,47	140	0,040

Si la base IBO a été choisie pour de nombreuses raisons nous rassurant sur sa fiabilité et son objectivité, on peut néanmoins toujours en douter. Par exemple, on y voit un différentiel entre laines de verre et de roche inverse de celui repéré en France. Est-ce parce qu'en Autriche la filière LdR est plus forte ??

A suivre...

« Bilan CO2 » et « Énergie grise » renseignés d'après base de données IBO – Autriche. « Chênevotte » renseignée par analogie avec « botte de paille » ; « Laine de coton recyclé » par analogie avec « laine de lin ».
Définition retenue pour énergie grise : Énergie non renouvelable pour phase « fabrication matériau »