

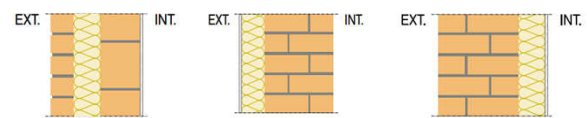
## Complément de cours

### EFFICACITE ENERGETIQUE AU BATIMENT (EEB)

A. Allouhi

### Procédés d'isolation thermique des murs extérieurs

- L'isolation des murs extérieurs est complexe, surtout lorsqu'il s'agit d'une rénovation, car le choix est souvent restreint par des aspects techniques, patrimoniaux ou économiques.
- Un mur extérieur existant peut être isolé principalement selon trois procédés différents :
  - par remplissage de la lame d'air dans le cas d'un mur creux, – par l'extérieur, – par l'intérieur.



### Isolation par remplissage de la coulisse



#### Avantages

- Finitions intérieures et extérieures conservées
- Pas d'encombrement
- Technique simple
- Coût moindre
- Pas de permis d'urbanisme à introduire



#### Inconvénients

- Possible que si coulisse suffisamment large (min. 4 cm) et régulière
- couche étanche empêche évacuation de la vapeur d'eau
- Épaisseur d'isolation limitée
- Risque d'accentuation des ponts thermiques aux interruptions de la coulisse

### Isolation par l'extérieur



#### Avantages

- Continuité de l'isolant : supprime les risques de ponts thermiques locaux
- Amélioration de l'étanchéité de la façade
- Protège le mur du gel et de la fissuration.
- Améliore l'aspect extérieur en cas de revêtement abîmé ou pas assez homogène
- Masse thermique et finitions intérieures préservées
- Pas de perte de surface habitable à l'intérieur



#### Inconvénients

- Modification de l'aspect extérieur et, si maisons mitoyennes, modification de l'alignement des façades : nécessité d'introduire un permis d'urbanisme dans la plupart des cas
- Déplacement/remplacement/adaptation des descentes d'eau, etc.
- Nécessité de faire appel à une entreprise spécialisée (coût élevé)

## Isolation par l'intérieur

😊 Avantages	☹️ Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspect extérieur maintenu</li> <li>- Grande diversité de choix au niveau des isolants</li> <li>- Réalisation possible pièce par pièce : phasage du chantier et des dépenses</li> <li>- Coût moindre</li> <li>- Pas de permis d'urbanisme à introduire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution de la surface habitable</li> <li>- Finitions intérieures (et éventuellement installations électriques ou de chauffage) à déplacer ou remplacer</li> <li>- Ponts thermiques difficiles à résoudre : risque de condensation superficielle et de formation de moisissures</li> <li>- Diminution de l'inertie thermique : risque de surchauffe</li> </ul>

## Critère thermique d'isolation

- L'enveloppe doit limiter les pertes de chaleur en hiver et permettre de maîtriser les gains solaires en été.
- Les matériaux isolants permettent de freiner la chaleur qui traverse les parois extérieures par conduction.

Un matériau d'épaisseur **d** et de conductivité  $\lambda$  oppose au passage de la chaleur une **résistance thermique «R»**

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

Si l'on a plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs différentes ( $d_1, d_2, d_3 \dots$ ) et de conductivités thermiques différentes ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots$ ) les résistances thermiques s'ajoutent, on a alors:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_n}{\lambda_n} = \sum \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

### Valeur moyenne de quelques matériaux

	$\lambda$ [W/mK]
Isolants (en général)	0,024 – 0,04
Panneau en bois aggloméré	0,11
Sapin	0,14
Chêne	0,21
Plaques de plâtre	0,40
Brique de terre-cuite isolante	0,47
Enduits intérieur	0,70
Enduits extérieur	0,87
Brique silico-calcaire	0,80
Verre à vitre	0,81
Mortier de ciment pour chape	1,40
Béton armé	1,80
Air sec	0,02
Eau (à 20°)	0,58

- Pour trouver la résistance totale au passage de la chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment, il faut ajouter les résistances correspondantes aux coefficients de convections thermiques  $h$  (internes et externes) qui s'expriment en  $W/m^2K$ .

$\frac{1}{h_i}$  = coefficient de convection thermique interne

$\frac{1}{h_e}$  = coefficient de convection thermique externe

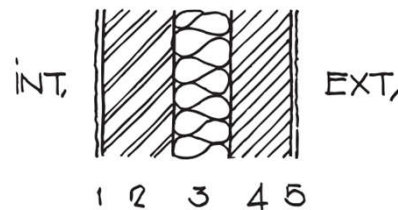
La résistance thermique totale d'un  $m^2$  de paroi s'exprime par:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{1}{h_e} \quad [m^2K/W]$$

Mur constitué de:

- enduit intérieur
- brique TC
- isolation thermique
- aggloméré de ciment
- enduit extérieur

$d_1 = 1 \text{ cm}$   
 $d_2 = 15 \text{ cm}$   
 $d_3 = 12 \text{ cm}$   
 $d_4 = 12 \text{ cm}$   
 $d_5 = 2 \text{ cm}$

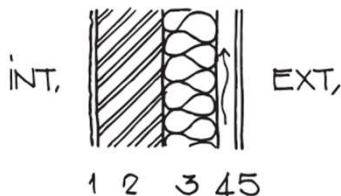


#### Autre exemple de calcul de la valeur U pour une façade ventilée:

Mur constitué de:

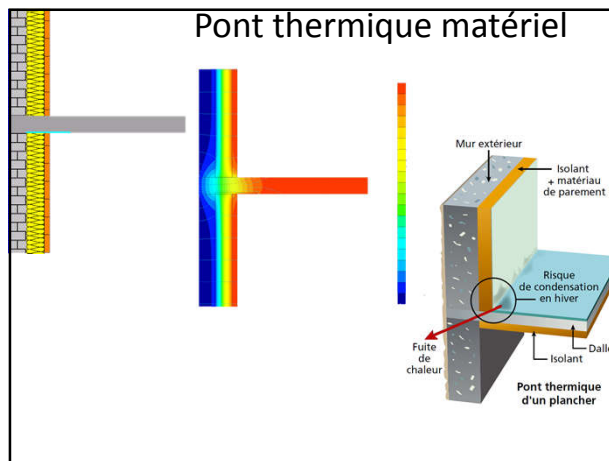
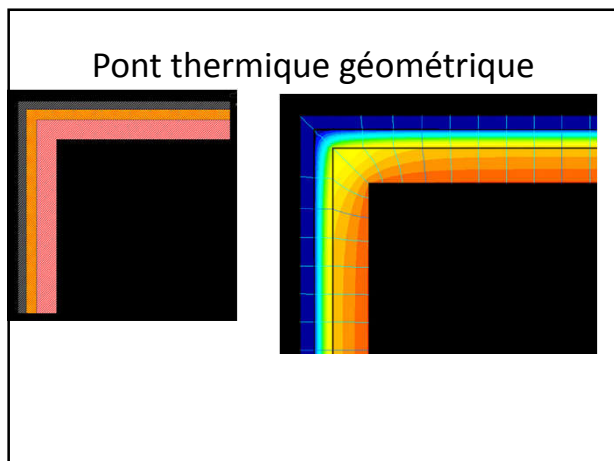
- enduit intérieur
- brique silico-calcaire
- isolation thermique
- espace ventilé
- revêtement extérieur

$d_1 = 1 \text{ cm}$   
 $d_2 = 15 \text{ cm}$   
 $d_3 = 20 \text{ cm}$   
 $d_4 = 4 \text{ cm}$   
 $d_5 = 2,5 \text{ cm}$



#### Ponts thermiques

- Un pont thermique est constitué par toute discontinuité dans la couche isolante, par tout endroit où la résistance thermique présente une faiblesse.
- On distingue les ponts thermiques géométriques tels que les angles et les coins, et les ponts matériels, dans lesquels un matériau conducteur de la chaleur traverse la couche isolante.
  - balcons, fixations, cadres si isolation extérieure
  - dalles, murs intérieurs si isolation intérieure



- Dans le pont thermique matériel constitué ici d'une dalle reposant sur un mur avec isolation intérieure, on observe un net refroidissement et une concentration des lignes de flux de chaleur près du pont thermique.
- Les ponts thermiques matériels ont souvent des conséquences plus graves que les ponts géométriques.

#### Impact des ponts thermiques

- énergétique (augmentation de la consommation)
- condensation, humidité (salissures, moisissures)
- déformations (dégradations, fissurations)



### Comment éliminer les ponts thermiques ?

- La meilleure solution pour éviter les ponts thermiques est l'isolation complète par l'**extérieur**
- Choix des composants et isolants : le béton et le verre cellulaire, l'argile expansé sont recommandés car il s'agit de matériaux **évitant les ruptures** de surface, en particulier au niveau des **jonctions** de parois

### Pertes et gains de chaleur par infiltrations

- Les infiltrations circulations d'air non contrôlées contrairement à la ventilation (et à l'extraction) qui font circuler ou extraire l'air grâce à un système mécanique ou encore à une ouverture volontaire des fenêtres

- Pour réduire les infiltrations d'air, il existe plusieurs méthodes dont le **masticage**, le **calfeutrage**, **l'aménagement d'espaces verts aux abords des immeubles** pour les protéger du vent et la mise en place **d'un bardage** permettant de renforcer l'isolation de l'enveloppe du bâtiment.



Calfeutrage



Masticage



Bardage

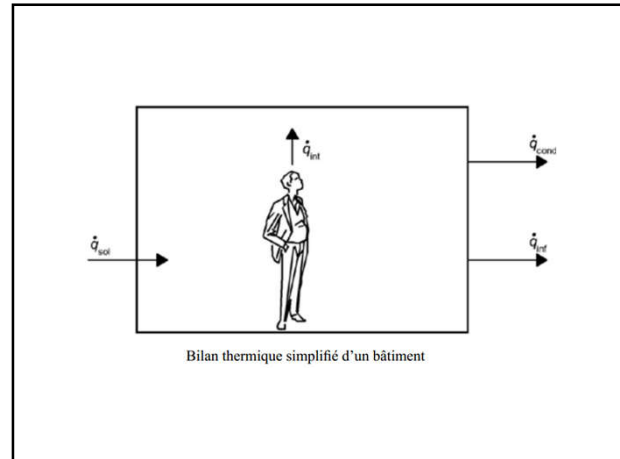
- La charge thermique due aux infiltrations d'air est délicate à estimer. La charge thermique sensible,  $q_{inf}$  est généralement approximée comme suit:

$$q_{inf} = \rho \cdot c_{pa} \cdot \dot{V}_{inf} \cdot (T_i - T_o) = \dot{m}_{inf} \cdot c_{pa} \cdot (T_i - T_o)$$

- $\rho$  : densité ou masse volumique de l'air [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_{pa}$  : capacité thermique de l'air [J/kg.°C]
- $\dot{V}_{inf}$  : débit volumique d'infiltration de l'air [m<sup>3</sup>/s]
- $\dot{m}_{inf}$  : débit massique d'infiltration de l'air [m<sup>3</sup>/s]
- $T_i$  : température intérieure [°C]
- $T_o$  : température extérieure [°C]

## Besoins énergétiques de chauffage et de Refroidissement des Bâtiments

- Bilan thermique  
Les charges de chauffage et de refroidissement d'un immeuble peuvent être estimées à partir des bilans thermiques des flux de chaleur en fonction des déperditions de l'enveloppe, mais aussi des gains solaires et internes.



- la charge de chauffage peut être estimée à travers:

$$Q_H = 24 \cdot \sum_{i=1}^{N_H} \dot{q}_{H,i}^+ = 24 \cdot GV_h \cdot \sum_{i=1}^{N_H} (T_b - T_{o,i})^+$$

$GV_h$  est le coefficient de déperditions thermiques et complété des pertes par infiltrations.

$$GV_h = \sum_{i=1}^N UA_i + \dot{m}c_{inf}$$

- La somme est calculée en fonction du nombre  $N_H$ , de jours de chauffage sur toute la saison de chauffe. les degrés-jours de chauffage, DJH dépendent uniquement des températures extérieures et de la température de non chauffage:

$$DJ_H(T_b) = \sum_{i=1}^{N_H} (T_b - T_{o,i})^+$$

- La méthode des degrés-jours pourrait aussi être appliquée aux charges de refroidissement en estimant des degrés-jours de refroidissement, DJC

$$DJ_c(T_b) = \sum_{i=1}^{N_c} (T_{oi} - T_b)^+$$

- $N_c$  est le nombre de jours de la saison de refroidissement
- $T_b$  est la température de base qui représente la température de non refroidissement.

- La méthode des degrés-jours nécessite plusieurs hypothèses dont:
  - coefficient de déperditions thermiques constant,
  - infiltrations d'air constantes,
  - aucune influence de la dynamique du bâtiment sur les consommations,
  - aucune influence de l'humidité intérieure et extérieure sur les consommations.

### Remarque

- La méthode des degrés-jours permet donc d'obtenir une estimation très satisfaisante de la consommation annuelle de chauffage, en particulier pour les bâtiments où les déperditions sont très importantes. En revanche, la méthode des degrés-jours n'est pas assez précise pour calculer les charges de refroidissement

### *Bilans énergétiques de chauffage et de refroidissement*

- Connaissant le rendement de système de chauffage,  $\eta_H$ , la consommation d'énergie totale peut être estimée en utilisant les degrés-jours de chauffage, DJH ( $T_b$ ):

$$E_H = \frac{Q_H}{\eta_H} = \frac{N_{h,H} \cdot GV \cdot DJ_H(T_b)}{\eta_H}$$

- Avec  $N_{h,H}$  le nombre moyen d'heures de chauffage par jour.  
Similairement, la consommation d'énergie pour la climatisation peut être estimée en utilisant les degrés-jours de refroidissement, DJC ( $T_b$ ) et le rendement, exprimé en  $COP_c$ , du système de refroidissement:

$$E_c = \frac{Q_c}{COP_c} = \frac{N_{h,c} \cdot GV \cdot DJ_c(T_b)}{COP_c}$$

- Avec  $N_{h,C}$  est le nombre moyen d'heures de refroidissement par jour.  
Afin de déterminer la rentabilité d'une mesure d'amélioration relative à l'enveloppe du bâtiment, on doit évaluer au préalable les économies d'énergie.

### *Estimation des économies d'énergie*

- Quand une mesure d'économie d'énergie est mise en place pour améliorer l'efficacité énergétique de l'enveloppe du bâtiment (par exemple, la mise en œuvre d'une isolation thermique en toiture ou la réduction des infiltrations), le GV du bâtiment diminue.

- On calcule les économies d'énergie comme suit (en indiquant ex et R les caractéristiques du bâtiment respectivement avant (existant) et après réhabilitation):

$$\Delta E_{H,R} = \frac{N_{H,h} \cdot (GV_{ex} - GV_R) \cdot DJ_H(T_b)}{\eta_H}$$



- Pour estimer les économies d'énergie associées au refroidissement, la même méthode peut s'appliquer en utilisant les degrés-jours de refroidissement, DJC(T<sub>b</sub>)

$$\Delta E_{C,R} = \frac{N_{C,h} \cdot (GV_{ex} - GV_R) \cdot DJ_C(T_b)}{COP_C}$$

- Avec N<sub>h,C</sub> est le nombre moyen d'heures de refroidissement par jour.
- Lorsqu'un élément de l'enveloppe du bâtiment est réhabilité (la toiture par exemple), la différence (GV<sub>ex</sub>-GV<sub>R</sub>) est égale à la différence UA du toit avant et après la réhabilitation (c'est-à-dire UA<sub>toit,ex</sub> - UA<sub>toit,R</sub>).