

Performances énergétiques

Diagnostiquer avant de rénover

Claude CRABBÉ

PRINCIPES DE BASE DE LA PHYSIQUE DU BATIMENT

Architecture & Climat – UCL

IA concept



Les phénomènes physiques concernés.

- **La transmission thermique**
 - ▶ Principe général
 - ▶ Cas particuliers
- **La vapeur d'eau**
 - ▶ Condensation superficielle
 - ▶ Condensation interstitielle
- **L'étanchéité à l'air**
 - ▶ Conséquences du manque d'étanchéité
- **Le sur-refroidissement**
- **La dilatation thermique**



2

La transmission thermique

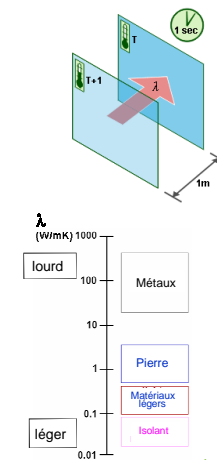
- **2ème loi de la thermodynamique**
 - ▶ En absence de travail ou d'autres flux énergétiques, le transfert de chaleur a lieu de la température la plus haute vers la température la plus basse (en hiver : de l'intérieur vers l'extérieur de la toiture)
 - **3 modes de transfert de chaleur**
 - ▶ Conduction
 - ▶ Convection
 - ▶ Rayonnement
- Ils concernent tous la transmission thermique à travers les parois du volume protégé et donc aussi les toitures.



3

La conduction

- transfert de chaleur dans les milieux solides, liquides ou gazeux *sans transfert de matière*
- transfert d'énergie
 - ▶ entre deux matériaux différents ayant des températures différentes
 - ▶ dans un même matériau, ayant des températures différentes
- λ : conductivité thermique [W/m.K]
- Permet le calcul des coefficients de transmission thermique U



4

(λ_i, λ_e)

La conductivité thermique (intérieure et extérieure)

Pratiquement on distinguera :

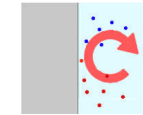
λ_i : Conductivité thermique d'un matériau dans une paroi intérieure ou dans une paroi extérieure, à condition que le matériau soit protégé contre l'humidité due à la pluie ou à la condensation.

λ_e : Conductivité thermique d'un matériau dans une paroi extérieure qui n'est pas protégé contre l'humidité due à la pluie ou à la condensation.

Remarque : λ est une caractéristique physique du matériau indépendant de sa forme.



La convection



- transfert de chaleur dans un fluide ou un gaz *avec déplacement de matière*
- convection naturelle : mouvement généré par un gradient de pression provenant des variations de densité liées aux différences de température (l'air chaud est plus « léger » et monte)
- convection forcée : mouvement généré par un gradient de pression créé mécaniquement (p.ex. par un ventilateur)
- Influence sur le coefficient de transmission thermique U : courants d'air contre des parois ou dans des couches d'air
 - ▶ la résistance thermique d'échange à la surface varie en fonction de la direction du flux du chaleur, la vitesse de vent et la différence de température entre la surface et l'air
 - ▶ la résistance thermique des couches d'air diminue avec le taux de ventilation

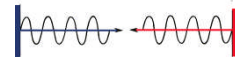
6



Le rayonnement

- transfert de chaleur par émission et absorption d'ondes *sans intermédiaire de la matière*.
(La chaleur du soleil nous parvient malgré le vide interstellaire)
- Un corps dont la température est supérieure au zéro absolu (0°K) émet des ondes électromagnétiques.
- transfert de chaleur entre les surfaces qui se trouvent à différentes températures
- Influence sur le coefficient de transmission thermique U

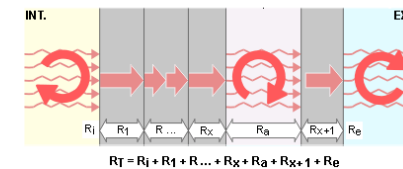
- ▶ Transmissions thermiques en surface : échange superficiel et couches d'air
- ▶ des couches réfléchissantes diminuent le transfert de chaleur par rayonnement



7



R_T ($\text{m}^2\text{K/W}$) Résistance thermique totale



La résistance thermique totale R_T d'une paroi d'ambiance intérieure chaude à ambiance extérieure froide, est égale à la somme des résistances thermiques de toutes les couches de matériaux ou d'air peu ou non ventilé, qui constituent la paroi, et des résistances d'échange superficiel.

$$R_T = R_i + R_1 + (R_2) + (R_{\dots}) + (R_a) + R_e$$

Les valeurs entre parenthèses n'existent pas lorsque la couche (d'air ou de matériau) est absente.



U (W/m²K) = 1 / R_T
Coefficient de transmission thermique

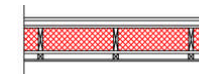
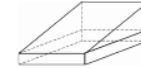
Le coefficient de transmission thermique de la paroi est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi.

Le coefficient de transmission thermique est l'inverse de la résistance thermique totale (R_T) de la paroi.



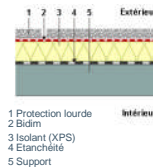
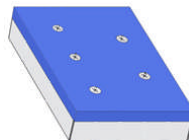
Cas particuliers

- Couches d'épaisseur variable
 - ▶ Soit épaisseur moyenne (il faut la calculer)
 - ▶ Soit épaisseur minimale (plus facile mais défavorable)
- Couches non homogènes
 - ▶ Déterminer :
 - › la limite inférieure de R en sommant les R des couches (homogènes ou non-homogènes)
 - › la limite supérieure de R faisant la moyenne des R des zones homogènes
 - ▶ R_T = moyenne arithmétique des deux limites



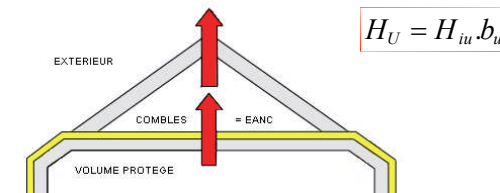
Cas particuliers

- Perforations de l'isolant (fixations mécaniques)
 - ▶ Facteur de correction ΔU_f qui est fonction :
 - › du nombre de fixations par m²
 - › de la section des fixations
 - › du coefficient de conductivité λ des fixations
 - › de la longueur des fixations dans l'isolant
 (Il existe des valeurs par défaut pour un calcul rapide)
- Toiture inversée
 - ▶ Diminution de l'effet isolant due à l'écoulement de l'eau sous celui-ci.
 - ▶ Facteur de correction ΔU_f qui est fonction :
 - › des précipitations journalières
 - › de la forme des plaques
 - › du type de finition supérieure (lestage ou jardin)
 (Il existe des valeurs par défaut pour un calcul rapide)



Cas particuliers

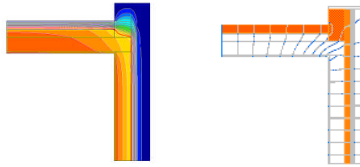
- b_u : facteur de réduction de la température
 - ▶ Entre 0 et 1
 - ▶ 1 = aucun effet isolant par l'espace adjacent non chauffé
 - ▶ Corrige le fait que le plafond n'est pas en contact directe avec l'environnement extérieur.



Cas particuliers

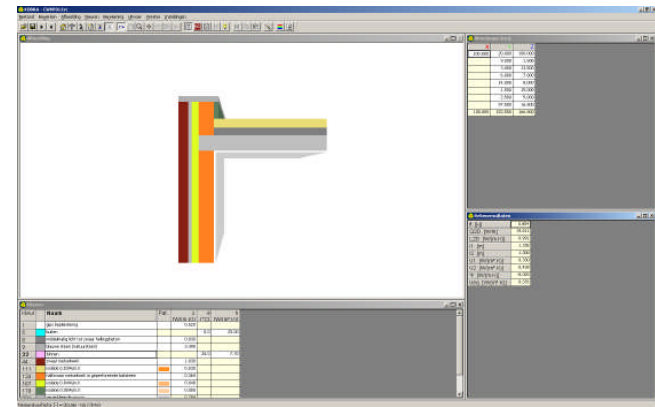
Les nœuds constructifs

- ✓ Perte de chaleur qui diffère du modèle unidimensionnel



→ Annexe V de la réglementation PEB

IP-CONCEPT



Copie d'écran de KOBRA

IP-CONCEPT

L'air humide

LA PRESSION PARTIELLE DE VAPEUR

L'air que nous respirons contient toujours un peu de vapeur d'eau.

On peut considérer cette vapeur comme un gaz, dont la pression fait partie de la pression atmosphérique. La pression de la vapeur d'eau, à elle seule, est dénommée pression partielle de vapeur d'eau, et est représentée par le symbole p_v . Ainsi, la vapeur d'eau contenue dans un air à 20°C et 50 % HR présente une pression de vapeur partielle de 1 170 Pa (par comparaison, la pression atmosphérique est de 101 300 PA).

Si la pression de la vapeur d'eau atteint sa valeur maximale, il y a saturation de l'air et on parle de pression partielle de la vapeur d'eau à la saturation, ou de pression saturante p_{vs} .

Il est possible de calculer la valeur de la pression de saturation en fonction de la température.

IP-CONCEPT

L'air humide

L'HUMIDITÉ ABSOLUE

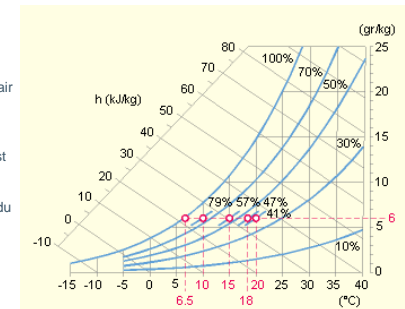
L'humidité absolue est le nombre de grammes de vapeur d'eau présents dans 1 kg d'air sec, en abrégé $g_{eau}/kg_{air\ sec}$.

Diagramme de Molier

Plus la température augmente et plus l'air peut porter de l'eau à l'état vapeur.

En hiver l'air est "sec", même s'il pleut dehors (parce que l'humidité absolue est faible).

En été, l'air est "humide" même s'il y a du soleil (parce que l'humidité absolue contenue par m³ d'air est élevée).



IP-CONCEPT

La condensation superficielle



Les ponts thermiques ont non seulement une influence sur la DÉPERDITION THERMIQUE, mais aussi sur la **TEMPÉRATURE LA PLUS BASSE de la FACE INTERIEURE**

- Conséquences possibles :
- ✓ Condensation de surface
 - ✓ Moisissures



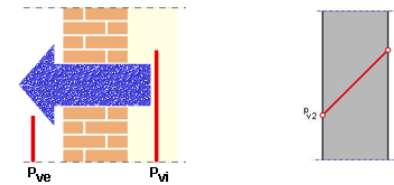
*Source: www.btwinfo.nl

IP-CONCEPT

Diffusion de la vapeur d'eau

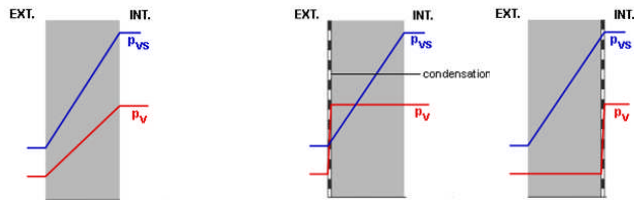
La vapeur d'eau se déplace des zones à forte concentration en vapeur vers les zones à faible concentration en vapeur. On parle de diffusion de vapeur.

Lorsque le bâtiment est fermé, il existe toujours une différence de pression de vapeur entre l'intérieur et l'extérieur. A l'intérieur, en hiver, la température de l'air est plus élevée et on exerce des activités diverses produisant de l'humidité. La pression partielle de vapeur intérieure est donc supérieure à celle de l'extérieur.



IP-CONCEPT

La condensation interne (régime stationnaire) La position du pare-vapeur



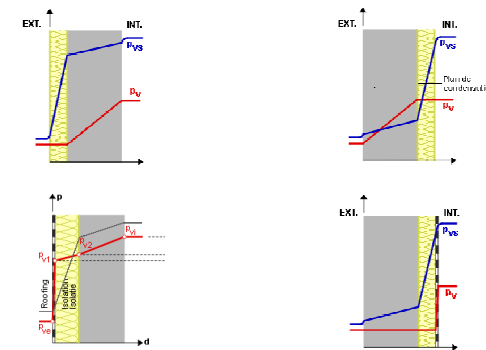
Pas de condensation interne. La pression de vapeur réelle (courbe p_v) reste inférieure à la pression de vapeur de saturation (courbe p_{vs}).

Si la face extérieure reçoit une finition très imperméable à la vapeur.

Si la face intérieure reçoit une finition très imperméable à la vapeur.

IP-CONCEPT

La condensation interne (régime stationnaire) La position de l'isolant



IP-CONCEPT

La condensation interne

Les cycles humidification – séchage.

En réalité, le régime n'est pas stationnaire.

Les températures et humidités varient.
Certains matériaux de la paroi supportent d'être temporairement humides.
Des freine-vapeur à perméabilité variable permettent à la paroi de sécher en été.

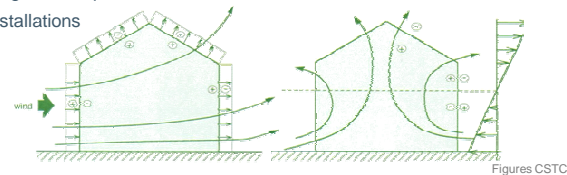
PROBLEME COMPLEXE

- Utilisation d'outil de simulation (exemple : WUFI).
- Conditions climatiques intérieures et extérieures à définir avec précision.
- Les données relatives aux caractéristiques des matériaux doivent être connues et fiables.
- A faire calculer par un spécialiste.



L'étanchéité à l'air

- Transfert d'air
 - ▶ vent
 - ▶ tirage thermique
 - ▶ installations

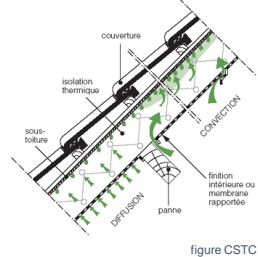


- ▶ infiltration : flux d'air de l'extérieur vers l'intérieur du bâtiment
- ▶ exfiltration : flux d'air de l'intérieur vers l'extérieur du bâtiment
 - risque élevé de quantités inacceptables de condensation
- ▶ solution : couche étanche à l'air du côté chaud de l'isolation

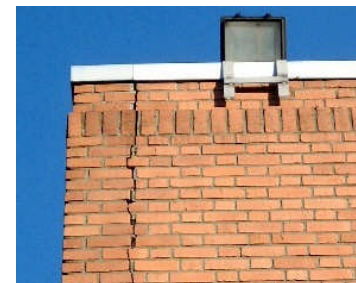


L'étanchéité à l'air

- Etanchéité à l'air : primordiale pour obtenir une construction sans problème
- sinon :
 - ▶ risque élevé de condensation interstitielle
 - ▶ pertes de chaleur (isolation court-circuitée)
 - ▶ ventilation non-contrôlée
- réalisation
 - ▶ film étanche à l'air
 - ▶ isolant étanche à l'air
 - ▶ mise en œuvre qualitative : continue, joints, raccords, sans perforations



Les fissures de dilatation



Le «sur»-refroidissement

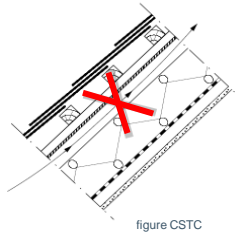


figure CSTC

