

PRÉAMBULE

I/ QU'EST-CE QUE L'INERTIE ?

VI/ LA BONNE INERTIE

L'INERTIE THERMIQUE DANS LE BÂTIMENT

II/ LES PARAMETRES DU
CONFORT THERMIQUE

III/ PRISE EN COMPTE DE L'INERTIE
DANS LES CALCULS THERMIQUES

III/ ISOLATION ET INERTIE

VII/ ILLUSTRATIONS

IV/ LES LIMITES DE L'INERTIE

GLOSSAIRE

V/ L'HYPERINERTIE:
L'ARCHITECTURE SEMI-ENTERRÉE

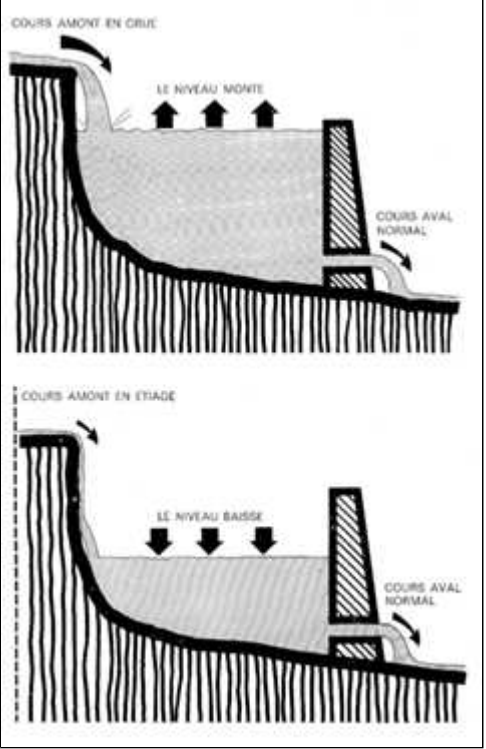
BIBLIOGRAPHIE

DEFINITIONS

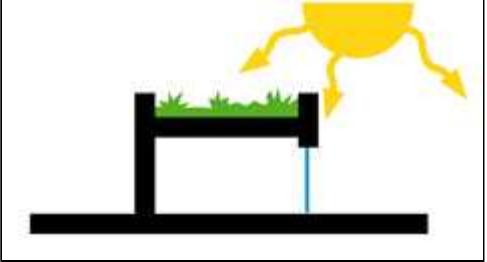
- inertie: propriété de la matière qui fait que les corps ne peuvent modifier par eux-mêmes leur état de repos ou de mouvement; exemple: les corps opposent au mouvement la force d'inertie (Larousse)
- force d'inertie: force qui s'oppose à tout changement; exemple: l'inertie de l'administration
- inertie thermique: l'inertie thermique d'un bâtiment, c'est sa capacité à stocker et à déstocker de l'énergie dans sa structure, quelle que soit la saison. Elle définit la vitesse à laquelle le bâtiment se refroidit ou se réchauffe. Elle permet d'amortir les variations de température intérieure.

LES INERTIES THERMIQUES

La notion d'inertie thermique est complexe. En fait, il y a plusieurs types d'inertie. L'inertie est différente selon la nature de l'action thermique. Il n'existe pas une inertie, mais plusieurs modes de réaction selon le type d'action.



• Inertie thermique pour une action thermique extérieure



Il s'agit là du cas le plus simple. L'enveloppe de la construction est soumise à des variations de température journalières ou saisonnières selon un régime périodique. L'inertie peut être caractérisée en fonction de la période par le déphasage et l'amortissement.

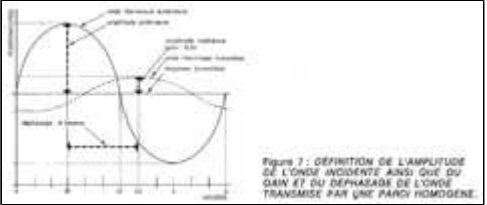
Plusieurs méthodes de calcul permettent de déterminer les valeurs de déphasage (retard) et la quantité de flux qui passe à travers la paroi (gains ou amortissement).

Les apports (gains) vont dépendre des profils des ondes thermiques auxquelles elles sont soumises. Comme l'onde thermique est en grande partie constituée par la puissance du rayonnement solaire reçu, une autre caractéristique importante des parois sera leur orientation et leur inclinaison.

Une paroi horizontale (une dalle de terrasse par exemple) sera soumise à une puissance maximale en été et sa « réponse » sera beaucoup plus marquée à cette saison qu'en hiver (où au contraire elle sera soumise à un régime de déperdition quasi permanent).

Il faut également tenir compte de la couleur des enduits qui rendra la paroi plus ou moins absorbante ou réfléchissante du rayonnement solaire et qui augmentera ou diminuera l'importance de la « réponse ».

[cliquer pour agrandir](#)



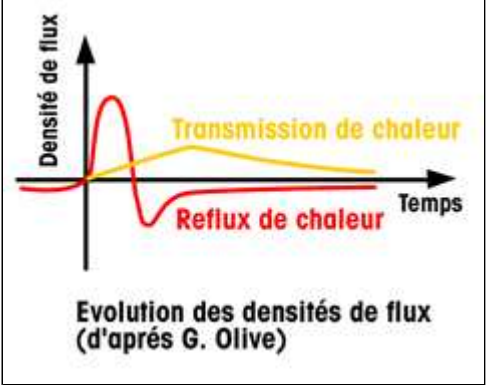
ARCHI BIO J.L. IZARD. Définition de l'amplitude de l'onde incidente ainsi que du gain et du déphasage et de l'onde transmise par une paroi homogène.

• Inertie thermique pour des actions thermiques intérieures



Ces actions sont considérées comme permanentes (chauffage du logement) ou aléatoires (surchauffe due à l'ensoleillement par exemple). L'inertie thermique consiste alors en une accumulation de chaleur dans l'enveloppe pour une restitution ultérieure par radiation.

La complexité du phénomène réside en ce que le reflux de chaleur dépend du passé thermique du bâtiment. Le flux de chaleur à travers l'enveloppe augmente successivement la température des "couches" du matériau, réduisant ainsi les transmissions thermiques.



On trouve peu d'informations sur ce phénomène, et s'il est facile de comprendre que les pertes de chaleur par conductance dépendent de la capacité calorifique et de la diffusivité du matériau, il est moins aisé de les quantifier. L'augmentation de la température du matériau et la variation de l'ensemble des paramètres rendent les calculs complexes.

[haut de page ^](#)

• Inertie latente

LES PARAMETRES DE L'INERTIE

L' inertie thermique d'un matériau se caractérise par 2 valeurs :

- la diffusivité (Df) qui s'exprime en m²/s, et
- l'effusivité (E) qui s'exprime en w/s^{1/2} /m²°C

L'effusivité détermine la capacité d'accumulation de chaleur. Elle se calcule selon la formule

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot C_p}$$

où

λ est la conductivité thermique des matériaux (w/°C.m)

La capacité thermique d'un matériau de construction peut être profondément modifiée par le revêtement qui le recouvre, dont la masse peut être négligeable, mais qui présente une résistance thermique élevée.

[cliquer pour agrandir](#)



C'est un phénomène dont on parle moins et qui est pourtant loin d'être négligeable. Il s'agit des propriétés de chaleur latente des matériaux lors d'un changement d'état. Le passage d'un état liquide à un état gazeux absorbe une grande quantité d'énergie. L'énergie absorbée sera restituée lorsque le matériau revient à son état initial. Plusieurs expérimentations ont été testées, avec de la paraffine, des sels hydrates ou de la chliarolite, pour mettre au point des parois à chaleur latente. Pourtant ce phénomène existe à l'état naturel dans les murs poreux traditionnels: en été les murs sèchent, ce qui provoque un rafraîchissement, et au début de l'hiver ils reprennent leur teneur en eau sous forme de vapeur qui se condense dans le mur. Des calculs ont démontré que pour un mur traditionnel en pierre et terre de 50cm d'épaisseur, la condensation dans le mur de 5% de sa tenue en eau (variation observée in situ) libère 30 thermies au m2. On estime que les variations sont encore plus importantes avec la terre. En outre, ces variations sont la résultante des variations permanentes en tous sens, de jour en jour, et même d'heure en heure. Un rayon de soleil ne se transforme pas totalement en chaleur sensible, il sèche aussi le mur, lui redonnant une capacité d'absorption qui tempère le refroidissement suivant.

ρ est la masse volumique des matériaux (kg/m3)
 C_p est la chaleur spécifique des matériaux (wh/°Ckg)
Un matériau accumulant beaucoup de chaleur doit avoir une conductivité (λ) élevée pour que la chaleur puisse facilement pénétrer, une chaleur spécifique (C_p) et une masse volumique (ρ) élevées pour pouvoir accumuler le maximum de chaleur.

[cliquer pour agrandir](#)

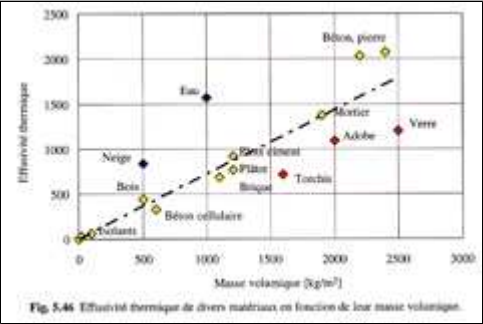


Fig. 5.46 Effusivité thermique de divers matériaux en fonction de leur masse volumique. SANTE ET QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR DANS LES BATIMENTS. C-A ROULET. Effusivité thermique des divers matériaux en fonction de leur masse volumique.

La diffusivité thermique exprime la profondeur à laquelle la chaleur a un effet après une période de temps donnée.

$$D_f = \sqrt{\frac{\lambda}{\rho C_p} t}$$

où

λ est la conductivité thermique des matériaux (w/°C.m)

ρ est la masse volumique des matériaux (kg/m3)

C_p est la chaleur spécifique des matériaux (wh/°Ckg)

t est un temps caractéristique

D_f indique la profondeur de pénétration.

exemple : il gèle pendant 3 mois en hiver ; la profondeur de gel dans le bâtiment est :

$$D_f = \sqrt{0.75 \times 3 \times 30 \times 24 \times 3600} = 2400mm = 2.40m$$

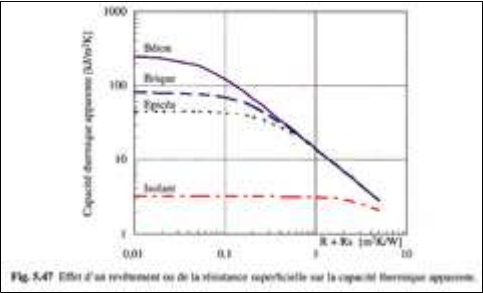


Fig. 5.47 Effet d'un revêtement ou de la résistance superficielle sur la capacité thermique apparente. SANTE ET QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR DANS LES BATIMENTS. C-A ROULET. Effet de revêtement ou de la résistance superficielle sur la capacité thermique apparente.

L'inertie thermique d'une paroi est définie par sa constante de temps. La constante de temps t d'une paroi est la durée qui lui est nécessaire pour passer d'un état stable à un autre sous l'effet d'un changement instantané de la température (régime transitoire). Ce temps de réaction est proportionnel au carré de l'épaisseur et inversement proportionnel à la diffusivité

$$\tau = \frac{e^2}{D_f \cdot \pi^2}$$

où

e est l'épaisseur de la paroi

D_f est la diffusivité

La constante de temps caractérise l'inertie thermique intérieure de l'espace chauffé. C'est la puissance à fournir pour maintenir un degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur.

[cliquer pour agrandir](#)

Lourd, tout béton, isolation $U = 0.2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	10 jours
Lourd, tout béton, isolation $U = 0.5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	8 jours
Lourd, tout béton, façade simple vitrage	1 1/2 jour
Idem, sol avec moquette et faux plafond, $U = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	3 jours
Tout en bois massif, façade vitrée $U = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	2 jours
Tout en bois mince (20 mm) $U = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	1 jour
Serre horticole	8 heures

SANTE ET QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR DANS LES BATIMENTS. C-A ROULET. Quelques constantes de temps caractéristiques pour la pièce du tableau 5.12., une façade extérieure, aération 30 m3 / h.

[haut de page ^](#)

La méthode Camia

La méthode Camia permet de calculer l'amortissement et le déphasage. La constante de temps relative permet de caractériser le comportement de la paroi. Cette constante est le rapport de la

Calcul

La constante de temps relative C_r , la déphasage et le gain peuvent être calculés à partir des formules :

C_r constante de temps relative = Résistance x Capacité
Période de l'onde

Résistance $R = e / \lambda$

Le gain représente une fraction de l'amplitude de l'onde thermique extérieure. Le déphasage est exprimé en radians. Pour obtenir sa valeur en heures, il faut

constante de temps sur la période de la sinusoïde (24 heures).

Cette valeur est sans dimension, puisqu'elle représente le quotient de où deux temps, le temps de réponse de la paroi, et la durée de la période de l'onde thermique extérieure.

Si le temps de réponse de la paroi est plus grand que la période de l'onde de chaleur, cela signifie que la paroi offrira un déphasage et un amortissement importants, autrement dit qu'elle présentera une inertie thermique.

Le déphasage exprime la fraction de l'amplitude de l'onde extérieure qui est finalement transmise à l'intérieur du local.

Capacité surfacique = $C_p \times e$

e = épaisseur de la paroi (mètres)

λ = conductivité thermique (Wh/m3.°C)

C_p = chaleur spécifique (Wh/°C.kg)

Constante de temps = $\tau = \frac{e}{\lambda} \times C_p \times e = \frac{e^2 C_p}{\lambda}$

Constante de temps relative : $C_r = \frac{e^2 C_p}{\lambda \times 24}$

Déphasage : (en radians) $\Phi = 1,772 \sqrt{C_r}$

Gain : $g = 2 \times (-\sqrt{\pi C_r})$

multiplier le résultat

par $24 / 2 \pi$.

Ces formules ne sont valables que pour des parois homogènes et pour des valeurs de constante de temps supérieures à 1.

Le gain et le déphasage caractérisent une paroi lorsque celle-ci est soumise à un régime thermique de forme sinusoïdale.