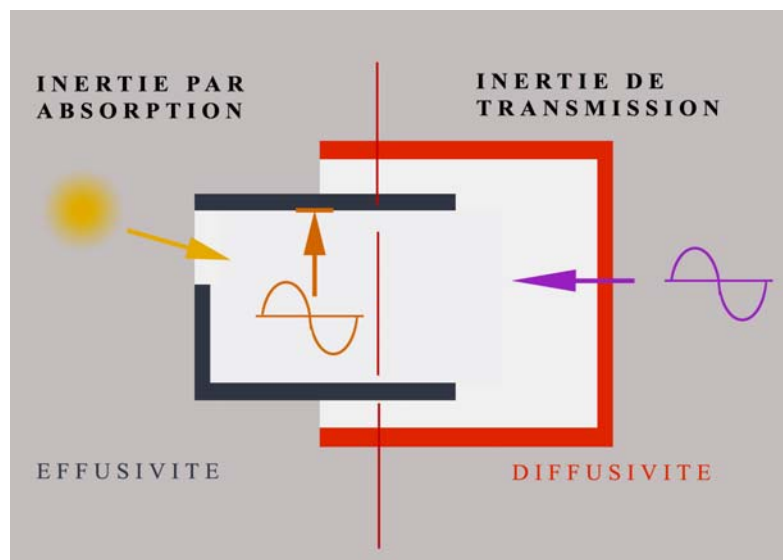




L'INERTIE THERMIQUE DANS LE BATIMENT



Jean-Louis IZARD

Laboratoire ABC, ENSA-Marseille

L'INERTIE THERMIQUE DANS LE BATIMENT

Jean-Louis IZARD
Laboratoire ABC
ENSA-Marseille

Introduction

Traditionnellement, les échanges thermiques entre le bâtiment et son environnement se traitent en supposant que les flux passant à travers les parois d'enveloppe sont permanents sous l'effet d'un gradient thermique lui-même permanent, ou tout au moins dont la prise en compte d'une valeur moyenne n'entraîne pas de gros écarts sur le bilan thermique. C'est ce qu'on appelle le « **régime permanent** ». Dans ce régime, la caractéristique thermique du bâtiment agissante est le **coefficient U** des parois, et par conséquent la **conductivité thermique λ** des matériaux. Le raisonnement poussé à l'extrême conduit à augmenter le plus possible l'épaisseur des isolants mis en œuvre.

Mais dans la réalité, la température extérieure varie entre le jour et la nuit et on n'est pas toujours dans l'obligation de chauffer le volume habité. Si la température intérieure du bâtiment n'est pas pilotée par un système de chauffage ou de climatisation, la température intérieure fluctue inévitablement elle aussi. Les conditions du régime permanent ne peuvent s'appliquer que dans de rares cas et le calcul de l'évolution de la température intérieure ne peut être effectué sous ces hypothèses.

On est donc contraint de passer à l'analyse des échanges en **régime variable**. Ce régime met en jeu d'autres caractéristiques du bâtiment, notamment celle qui gère la transmission des variations de températures et le stockage des flux thermiques : c'est **l'inertie thermique**.

Nous verrons dans cet article qu'il y a alors deux formes d'inertie thermique des parois selon que les oscillations de température proviennent de l'extérieur ou de l'intérieur du bâtiment et qu'au niveau des matériaux, à la conductivité thermique viennent s'ajouter la **chaleur massique** et la **masse volumique** des matériaux.

1 – Inertie : quelques définitions

Partons des définitions qui sont données de l'inertie, concept dont l'origine se situe dans le domaine de la mécanique:

- INERTIE: "Propriété qu'ont les corps de ne pouvoir d'eux-mêmes changer l'état de repos ou de mouvement où ils se trouvent" (Petit Robert).
- FORCE D'INERTIE: "Résistance que les corps, en raison de leur masse, opposent au mouvement" (Petit Larousse).

Appliqué à la thermique, quelle définition peut-on donner de l'inertie thermique? En se basant sur la littérature consacrée au sujet (en particulier Pierre Lavigne), on peut en essayer une:

- INERTIE THERMIQUE: "Propriété d'un bâtiment à s'opposer aux variations de température".

Deux remarques:

- Il s'agit du bâtiment avec tous ses composants, notamment les parois de l'enveloppe extérieure, mais aussi les parois internes. Le plus souvent, c'est la structure constructive du bâtiment qui est mise en jeu.
- Le phénomène mis en cause est la "variation de température" et non pas les flux thermiques qui sont à l'origine de l'évolution des températures.

2 - Inertie de transmission et inertie par absorption

Il y a deux types de variations de température:

- La **variation extérieure**, due aux amplitudes thermiques du climat et aux effets du rayonnement solaire sur les parois d'enveloppe externe. En face de cette variation, l'inertie thermique agissante sera **l'inertie thermique de transmission**, celle qui s'oppose au transfert du flux à travers la paroi et ce sont les parois d'enveloppe exclusivement qui sont concernées.

- La **variation intérieure** due à l'intermittence des sources de chaleur interne et à la pénétration solaire par les baies (*systèmes passifs à apports directs*) face à laquelle on invoquera **l'inertie par absorption** et où les parois concernées sont toutes les parois internes y compris les planchers et le cloisonnement.

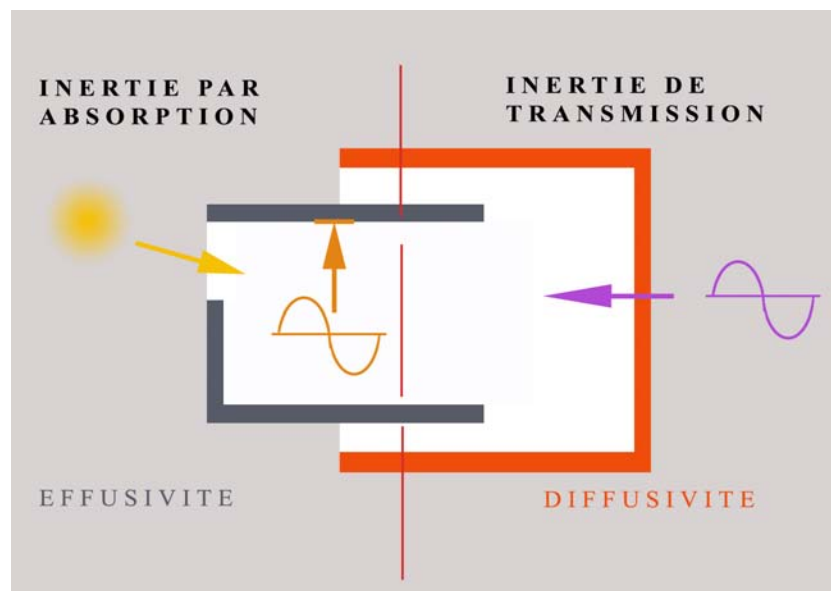


Fig ; 1 - Représentation des deux types d'inertie thermique (dessin Julie LELONG)

Cette distinction est très importante et elle sera appliquée plus loin à propos du comportement du bois et de ses dérivés dans la construction.

3 – L'inertie thermique et les matériaux

L'inertie thermique d'un bâtiment dépend des matériaux utilisés. Ceux-ci peuvent être choisis à partir des propriétés suivantes:

- La **conductivité thermique λ** , aptitude d'un matériau à conduire la chaleur par unité de largeur et par degré de différence de température (W/m.°C). Rappelons que la conductivité thermique λ est très liée à la masse volumique: les matériaux "légers" sont souvent des matériaux isolants alors que les matériaux "lourds" sont plutôt conducteurs.
- La **chaleur spécifique ρ** , capacité d'un matériau à stocker la chaleur par unité de masse et par degré de différence de température (Wh/kg.°C).
- La **masse volumique C** est une propriété importante pour approcher l'inertie thermique (kg/m³)
- Le produit **ρC** représente la **chaleur volumique** (Wh/m³.°C).

A ces grandeurs élémentaires, il faut ajouter deux grandeurs composées à partir de celles-ci et qui sont les plus représentatives de l'inertie thermique:

La **diffusivité thermique a** , exprime la capacité d'un matériau à **transmettre (rapidement) une variation de température**.

$$a = (\lambda / \rho C)$$

(m²/s ou m²/h)

La **diffusivité thermique** commande la **vitesse de transmission** d'une variation de température à travers une paroi. La température du matériau s'élève d'autant plus rapidement que la chaleur peut plus facilement l'atteindre (= conductivité élevée): **a** évolue donc dans le même sens que la conductivité thermique.

Mais sous l'effet d'une puissance thermique, sa température s'élève d'autant plus lentement qu'il faut beaucoup plus de chaleur pour l'élever (= chaleur volumique élevée): **a** évolue dans le sens inverse de la chaleur volumique.

La diffusivité a évolue donc dans le même sens que le rapport de la conductivité thermique et de la chaleur volumique.

La diffusivité thermique est très liée au phénomène de **déphasage** à travers les parois. Ce déphasage est inversement proportionnel à la diffusivité thermique (voir plus loin).

- **L'effusivité thermique b** exprime la capacité d'un matériau à **absorber (ou restituer) une puissance thermique**.

$$b = (\lambda \cdot \rho C)^{1/2}$$

(J.m⁻².°C⁻¹. s^{-1/2} ou Wh^{1/2}.m⁻².°C⁻¹)

L'effusivité thermique rend compte de **la capacité de stockage** thermique d'une paroi : un matériau absorbe d'autant plus la puissance thermique que la chaleur peut plus facilement l'atteindre (= conductivité élevée): **b** évolue dans le même sens que la conductivité thermique λ .

Mais il absorbe d'autant plus facilement la puissance thermique que sa température s'élève peu sous l'effet de la chaleur (= chaleur volumique élevée): **b** évolue dans le même sens que de la chaleur volumique.

L'effusivité thermique évolue donc dans le même sens que le produit de la conductivité thermique par la chaleur volumique.

Les informations concernant l'ensemble des matériaux sont données dans l'article « Matériaux et inertie thermique ».

3 - Rôle de la diffusivité thermique

Vis-à-vis des variations de température d'origine extérieure, **l'inertie de transmission** fait appel principalement à la **diffusivité thermique** de la paroi d'enveloppe: avec une faible diffusivité, les variations de température seront fortement retardées. Les valeurs courantes de conductivité thermique et de chaleur volumique des principaux matériaux font que la diffusivité varie peu d'un matériau à l'autre. Seul le bois possède une diffusivité assez nettement inférieure à celle des autres matériaux. Cela confère au bois, à épaisseur égale, la vertu d'offrir des déphasages plus longs (voir l'insert plus loin).

Déphasage journalier:

Une paroi extérieure absorbant le rayonnement solaire transmet l'onde chaleur avec retard, appelé « déphasage ». Le déphasage est lié à la diffusivité thermique par la formule:

$$D = 1,38 e (1/a)^{1/2}$$

D = déphasage (h)
e = épaisseur de la paroi (m)
a = diffusivité (m²/h)

Le déphasage est donc proportionnel à l'épaisseur, et inversement proportionnel à la diffusivité de la paroi.

Vitesse de transfert:

Le déphasage peut aussi être exprimé par la « vitesse de transfert » à travers le matériau:

$$v = 72,5 / (1/a)^{1/2}$$

v = vitesse de transfert (cm/h)
e = épaisseur de la paroi (m)
a = diffusivité (m²/h)

Logiquement, la vitesse de transfert de l'onde de chaleur à travers un matériau est proportionnelle à la diffusivité thermique de celui-ci.

Profondeur de peau thermique:

La profondeur de peau thermique est la profondeur du matériau à laquelle l'amplitude de la variation de température est ramenée au 1/2,72ème de sa valeur initiale:

$$\delta = (2a/\omega)^{1/2}$$
$$\delta = (a.P/\pi)^{1/2}$$

δ = profondeur de peau thermique (m)
a = diffusivité thermique (m²/h)
P = période de l'oscillation (h)

Ceci est la définition scientifique ; en fait, la profondeur de peau thermique correspond à l'épaisseur de matériau sollicitée par la variation de température pendant une période donnée, en général 24 heures.

Pour une période de 24 heures, δ vaut 14cm pour le béton lourd, 11cm pour le béton cellulaire, 5cm pour le bois léger, mais 21cm pour le polystyrène. En pratique, cela signifie que vis-à-vis de la variation de température diurne (donc de période 24 heures), il n'y a pas lieu de dépasser les épaisseurs mentionnées pour les matériaux cités

Pour illustrer la relation **Profondeur de Peau thermique/Longueur de la Période**, on peut prendre l'exemple de la répartition des températures dans le sol :

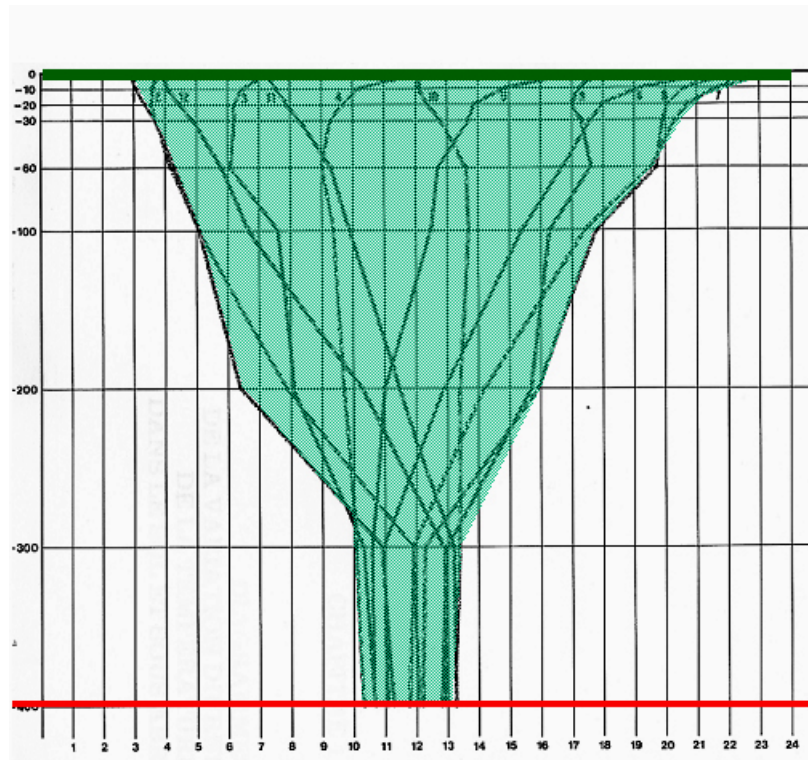


Fig. 2 - Profils thermiques mensuels entre la surface et la profondeur de - 4m.

Le schéma ci-dessus montre qu'à -4m de profondeur c'est l'**amplitude annuelle** qui se fait encore sentir (3 degrés contre 20 en surface, soit $1/7^e$).

On imagine facilement qu'avec des profondeurs de peau intermédiaires entre quelques centimètres et quelques mètres, on aura le moyen d'amortir une oscillation de période comprise entre la journée et l'année, c'est à dire de l'ordre de la semaine ou du mois. Une cathédrale ou un monument en pierre de 80cm d'épaisseur est capable d'amortir des oscillations de période allant de 10 jours à un mois.

4 - Rôle de l'effusivité thermique

Pour ce qui est des variations de température d'origine intérieure, c'est **l'inertie par absorption** qui devient prépondérante donnant toute son importance à **l'effusivité** des matériaux constituant les parois internes. En absorbant facilement les flux de chaleur, un matériau effusif s'échauffera peu et limitera les variations de température interne. L'effusivité des matériaux pouvant, elle, varier dans de grandes proportions, le choix des matériaux pour les planchers et toutes les autres parois internes (cloisonnements) revêt donc une grande importance si l'on veut maîtriser les variations thermiques à l'intérieur d'un bâtiment.

Température de contact et sensation de chaleur

Tout le monde sait par expérience que l'on ressent une sensation de plus grande fraîcheur si l'on pose la main sur une plaque d'acier que si on la pose sur une table en bois (la plaque et la table étant à la même température : celle de la pièce).

L'explication physique réside dans la valeur de la **Température de contact** différente dans les deux cas due à la différence entre les **effusivités thermiques** des deux solides en contact.

La modélisation de ce phénomène est simple. On montre en effet que, en régime stationnaire, la « température de contact » est donnée par l'expression:

$$T = (T_1 b_1 + T_2 b_2) / (b_1 + b_2)$$

où

T_1 et b_1 , T_2 et b_2 sont respectivement la température et l'effusivité thermique du solide 1 et du solide 2.

La main est à environ 37 °C et la plaque ainsi que la table sont à environ 20 °C.

- Effusivité thermique de la peau = 1800 (W.m⁻².°C⁻¹.s)^{1/2}
- Effusivité thermique de l'acier = 14000 (W.m⁻².°C⁻¹.s)^{1/2}

Température de contact main-acier : 21,9 °C

- Effusivité thermique du bois = 400 (W.m⁻².°C⁻¹.s)^{1/2}

Température de contact main-bois : 33,9 °C

Par conséquent, au contact avec la main, l'acier paraît plus « froid » que le bois.

Le cas particulier du bois

On peut lire parfois que le bois peut être utilisé dans l'architecture bioclimatique, grâce à ses caractéristiques de transmission de la chaleur.

En effet, vis-à-vis de l'inertie de transmission, la grandeur agissante est la **diffusivité thermique** : plus la diffusivité d'un matériau est faible, plus la vitesse de transfert de la chaleur à travers ce matériau est faible. Le bois et ses dérivés possédant une diffusivité plus faible que celle des autres matériaux, c'est à travers une paroi en bois qu'une onde thermique d'origine externe progressera le plus lentement pour atteindre l'ambiance intérieure. Dans ce sens, le bois présente donc une **inertie thermique de transmission** plus élevée que la plupart des autres matériaux de construction.

Mais s'il s'agit de retarder les effets thermiques d'une oscillation intérieure au bâtiment, provoquée par exemple par des pénétrations solaires, la grandeur agissante est cette fois-ci l'« **effusivité thermique** » et l'inertie en jeu est l'**inertie par absorption**. Plus l'effusivité est grande et plus l'oscillation de température est réduite dans la mesure où la surface de contact du matériau effusif est suffisamment grande. Là, le bois et ses dérivés sont vraiment handicapés par leur faible effusivité thermique.

La faible effusivité du bois empêche son utilisation comme matériau de stockage de la chaleur en hiver dans les systèmes passifs directs, ou alors c'est au prix d'une diminution sensible du taux de récupération des apports solaires. Cela s'ajoute aux conséquences sur le confort d'été.

5 - Effets de l'inertie thermique

Le principal effet de l'inertie thermique est de réduire l'amplitude intérieure des températures **A_i** par rapport à l'amplitude extérieure **A_e**. On peut par conséquent considérer le rapport d'amplitudes **A_i/A_e** comme un indicateur des effets de l'inertie thermique du bâtiment. (voir l'article sur les « indicateurs de l'architecture bioclimatique »).

5-1. Comparaison forte inertie/faible inertie

Beaucoup d'études ont été faites pour comparer les ambiances thermiques de locaux dont on fait varier l'inertie thermique. Baruch GIVONI en particulier dans son ouvrage « *Passive and low energy cooling of buildings* » donne des résultats de mesures faites dans des cellules de 23m² partagées en deux pièces Nord et Sud avec 4,6m² de vitrages répartis équitablement entre les quatre façades (Sud, OUEST, Nord et Est), une toiture de couleur brun foncé ($\alpha_s = 0,70$) et des parois verticales de couleur beige ($\alpha_s = 0,5$).

- La cellule à faible inertie est dotée de parois verticales isolées par laine de verre ($R = 1,94\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$) et couverte par un comble isolé ($R = 3,35\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$) ; son coefficient de déperditions journalier est égal à 101 Wh/m².Dj.
- La cellule à forte inertie est construite en béton de 10 cm d'épaisseur recouvert extérieurement par une couche isolante lui conférant la même isolation que la cellule à faible inertie. La cloison séparant les deux pièces est aussi en béton si bien que le volume total de béton mis en œuvre est de 5,75m³, ce qui donne un ratio de 0,25m³ par m² de plancher. Le cumul de surface de béton en contact avec l'ambiance intérieure de la cellule représente 65 m².

Les cellules ont été mesurées avec fenêtres fermées jour et nuit sans protection solaire, fenêtres fermées jour et nuit avec protection solaire fixe externe, fenêtres fermées jour avec protection solaire fixe externe et ventilation nocturne avec ventilateur à trois vitesses ;

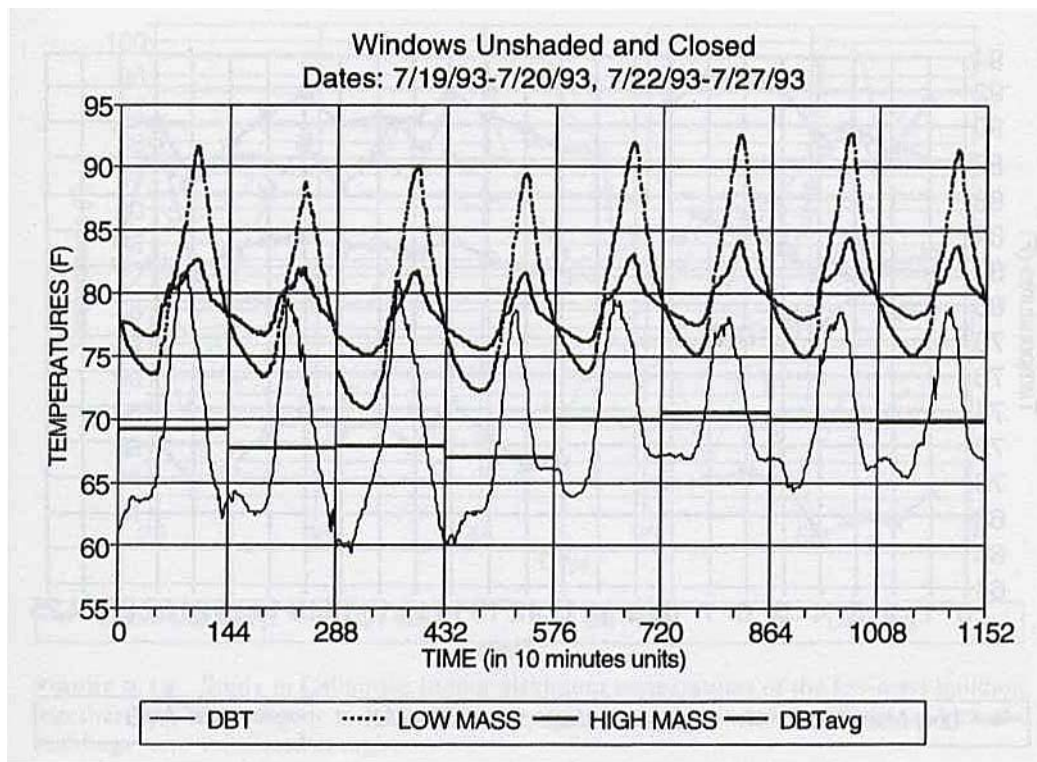


Fig. 3 - Profils thermiques journaliers des cellules de faible inertie et de forte inertie pendant les mois d'été en Israël (d'après B. GIVONI dans *Passive and low energy cooling of buildings*) :
DBT = Dry Bulb Temperature ;
Low Mass = faible inertie ;
High Mass = Forte inertie;
DBTavg = Température extérieure moyenne journalière.

Les régimes thermiques des deux cellules se distinguent du premier coup d'œil sur le graphe de la figure 3 : La cellule à forte inertie connaît des amplitudes nettement plus réduites (de l'ordre de 6°F, c'est à dire environ 3,3°C) que celles de la cellule à faible inertie (17°F, c'est à dire 9,3°C, ici avec les fenêtres non protégées). L'amplitude extérieure étant de l'ordre de 30°F (16,5°C), cela fait des rapports d'amplitudes A_i/A_e respectivement de 0,1 et 0,31, soit le triple pour la cellule à faible inertie thermique.

5-2. Couplage forte inertie+Ventilation nocturne

Il y a moyen d'améliorer les performances de la forte inertie en y ajoutant les effets d'une ventilation nocturne comme le montre la figure 3. Cette fois-ci les deux cellules ont des parois verticales de béton de 20cm et de 15cm en toiture avec une isolation thermique extérieure, alors que la façade Sud sert à tester des systèmes passifs divers. Une cellule est restée fermée en permanence jour et nuit pendant que l'autre était ventilée la nuit par ouverture de la fenêtre.

La figure 4 montre que grâce à la ventilation nocturne, la température intérieure de la cellule ventilée la nuit évolue 2 à 3°C en dessous de celle de la cellule témoin

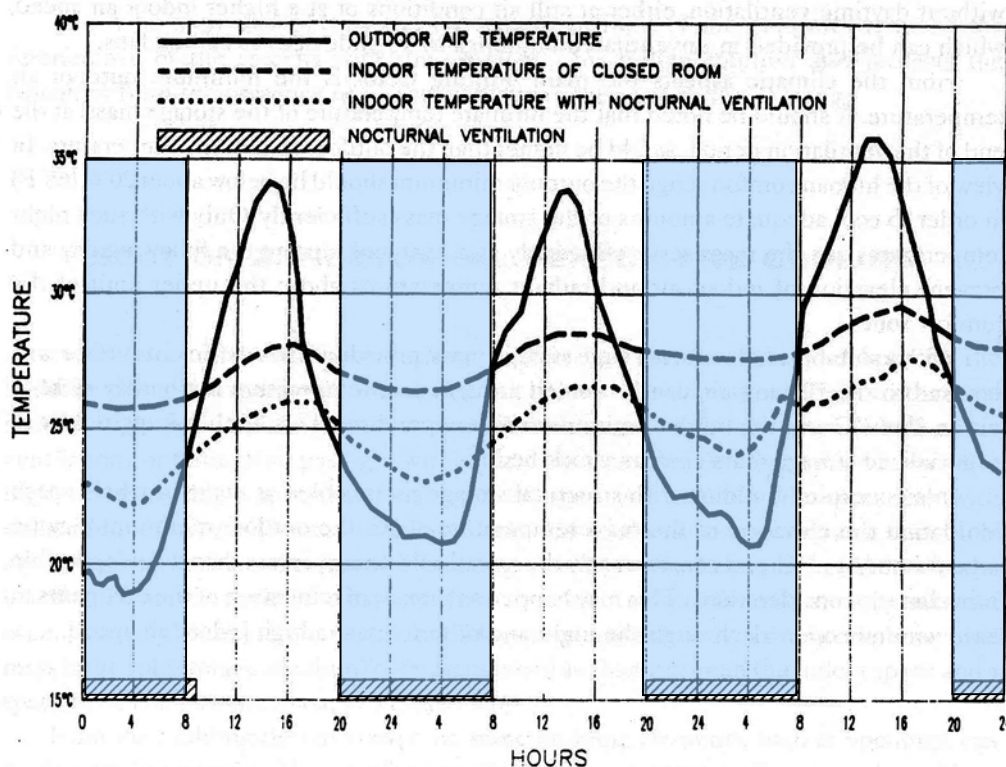


Fig. 4 - Profils thermiques journaliers des cellules de forte inertie pendant une séquence d'été en Israël avec et sans ventilation nocturne (d'après B. GIVONI dans *Passive and low energy cooling of buildings*)

. Les résultats peuvent être consignés dans le tableau suivant :

| | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmoy (°C) | Stimoy (°C) | Amplitude | Ai/Ae |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------|
| Extérieur | 34,7 | 20,3 | 27,5 | - | 14,4 | - |
| Témoin | 28,5 | 27 | 27,7 | 0,2 | 1,5 | 0,1 |
| Ventil noct | 26,5 | 23 | 24,8 | -3 | 3,5 | 0,24 |

Sans apport interne, la cellule témoin a sensiblement la même température moyenne que l'extérieur ($Stimoy = +0,2^{\circ}C$). Le supplément de température moyenne $Stimoy$ de la cellule ventilée la nuit est, lui, négatif ($-3^{\circ}C$), expression du fait qu'en moyenne cette cellule est plus fraîche que l'extérieur. Par contre ce rafraîchissement nocturne entraîne une augmentation de l'amplitude de température intérieure ($Ai/Ae = 0,24$ au lieu de $0,1$).

5-3. Association forte inertie+Ventilation nocturne+Refroidissement évaporatif

Une campagne de mesures simplifiée a été faite dans une maison située à Carry le Rouet, au bord de la mer, à deux niveaux dont le rez de jardin est construit avec des murs en maçonnerie de 50 cm d'épaisseur (inerties de transmission et par absorption très fortes) avec un espace adjacent au Sud Constitué d'une structure en béton non vitrée recouverte d'une glycine.

Les mesures ont été faites par Jean-Louis IZARD en relevant pendant l'été les températures maximales et minimales à l'extérieur et à l'intérieur de la maison.

Le refroidissement évaporatif est obtenu par brumisation des espaces adjacents à la maison formant corridor avec des supports végétaux (laurier thym). La brumisation est faite principalement juste après le coucher du soleil pour précipiter le refroidissement naturel de l'ambiance extérieure ; c'est aussi le moment où le système est le plus efficace du fait du faible taux d'humidité de l'air en fin de journée.



La maison, son environnement végétal et la brumisation

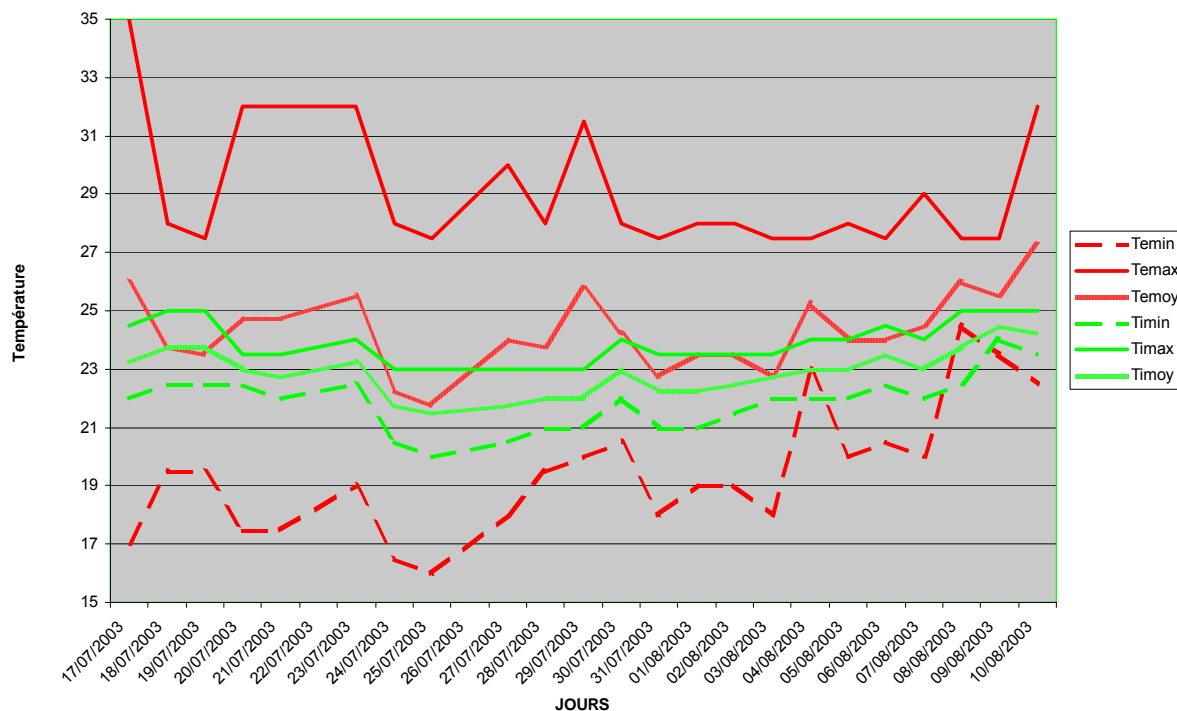


Fig. 5 : Profils thermiques d'une maison très inerte ventilée la nuit avec refroidissement évaporatif pendant la période du 17 juillet au 10 Août 2003.

La figure 5 montre les résultats des mesures faites pendant la période caniculaire de 2003. On peut voir que les amplitudes intérieures sont très faibles (effet de la forte inertie thermique) et que le domaine de variation de la température intérieure se tient pratiquement en permanence au dessous de la température moyenne extérieure. Il faut voir là la conséquence de la bonne gestion de la maison (fermeture des fenêtres le jour et ventilation nocturne) et du refroidissement évaporatif.

Cela est confirmé par le tableau ci-après

| | <i>Tmin</i> | <i>Tmax</i> | <i>Tmoy</i> | <i>Amplitude</i> | <i>STmoy</i> | <i>Ai/Ae</i> |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|--------------|--------------|
| Extérieur: <i>Te</i> | 19,6 | 29,0 | 24,3 | 9,3 | | |
| Intérieur: <i>Ti</i> | 21,9 | 23,9 | 22,9 | 2,0 | -1,4 | 0,3 |

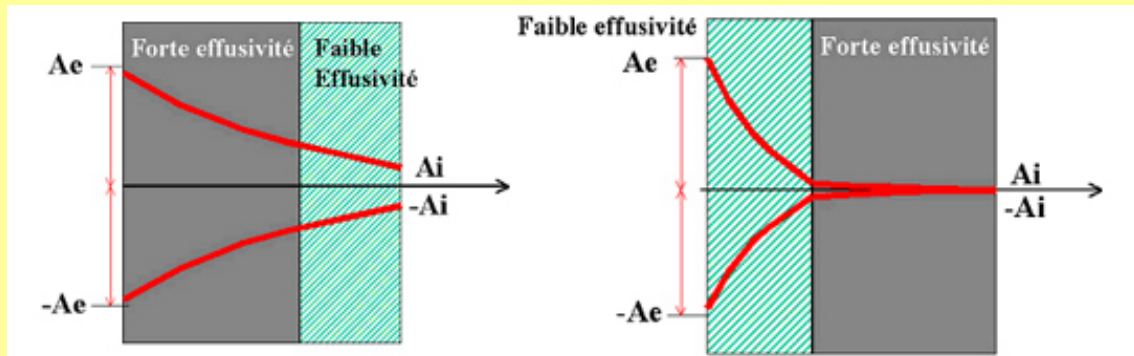
Tableau récapitulatif des résultats des mesures de la séquence du 17 juillet au 10 Août 2003

On pourrait s'étonner de trouver un **STmoy** moins favorable que celui de l'exemple précédent. Mais il faut rappeler d'une part que la maison est habitée et est donc le siège d'apports internes et d'autre part que la valeur moyenne calculée pour la maison résulte d'une série de jours plus nombreux (24 jours).

La question de la position de l'isolant

Lorsqu'on construit des façades en maçonnerie, la question souvent posée est celle de la position de l'isolation thermique : doit-on la mettre à l'intérieur ou à l'extérieur ?

En **inertie de transmission**, la diffusivité thermique étant le paramètre agissant, la différence entre les deux solutions est faible :



Comparaison des profils d'amplitudes selon la position du matériau effusif (d'après Pierre Lavigne).

L'amplitude en face interne est plus faible avec l'effusivité thermique en position intérieure (dessin de droite).

En **inertie par absorption**, les deux solutions sont très différentes : la solution de l'effusivité placée à l'intérieur (donc de l'isolation extérieure) est préférable ; toutefois son impact sur le résultat final dépend de la présence d'autres parois effusives positionnées à l'intérieur du bâtiment : planchers et cloisonnements. En présence de ces parois traitées fortement effusives, l'influence de l'effusivité en façade est du second ordre.

6 - Capacité thermique et constante de temps d'un local

L'**inertie thermique globale** d'un bâtiment peut être appréciée à partir de la capacité thermique totale « utile » du bâtiment, c'est à dire la capacité de toutes les parois en contact avec l'ambiance intérieure. Claude-Alain Roulet (Enseignant-chercheur EPFL) en rappelle la définition :

$$C = \sum_i A_i X_i$$

(J/°C)

Où :

A_i = aire de l'élément i dont X_i est la **Capacité Surfaccique**. La Capacité Surfaccique est le rapport de la capacité volumique et de l'épaisseur de mise en œuvre.

Pour une pièce d'habitation ou un bureau de 20 m², la capacité thermique peut être égale à (kJ/°C) :

| | |
|--|--------------|
| <i>Tout béton</i> | 11300 |
| <i>Sol et plafond béton, parois brique</i> | 8500 |
| <i>Idem, sol avec moquette</i> | 7400 |
| <i>Idem, sol avec moquette et faux-plafond</i> | 5300 |
| <i>Sol avec moquette, faux-plafond, parois placoplâtre</i> | 2400 |
| <i>Tout bois massif</i> | 4000 |
| <i>Tout en bois mince (20mm)</i> | 1900 |

La constante de temps, τ , est le rapport de la Capacité Thermique à son coefficient de déperditions thermiques.

$$\tau = C/H$$

(s)

Où **C** est la capacité thermique du bâtiment et **H** son coefficient de déperditions thermiques par degré d'écart. L'unité est une unité de temps, la seconde.

Le tableau suivant donne la constante de temps pour la pièce de référence avec une façade extérieure et un débit de ventilation de 30m³/h.

| | |
|---|-----------------|
| <i>Tout béton, isolation U = 0,2 W/m²°C</i> | 10 jours |
| <i>Tout béton, isolation U = 0,5 W/m²°C</i> | 8 jours |
| <i>Tout béton, façade simple vitrage</i> | 1,5 jour |
| <i>Idem, sol avec moquette et faux-plafond, U=1 W/m²°C</i> | 3 jours |
| <i>Tout bois massif, façade vitrée U = 1 W/m²°C</i> | 2 jours |
| <i>Tout en bois mince (20mm) U = 1 W/m²°C</i> | 1 jour |
| <i>Serre horticole</i> | 8 heures |

Claude-Alain Roulet note que la constante de temps d'une pièce qualifiée à « **haute inertie** » doit être **supérieure à 100 heures**. Cela ne s'obtient qu'en utilisant à l'intérieur des **matériaux effusifs** facilitant **l'inertie par absorption**.

7 – Conclusion

L'inertie thermique est donc un facteur capital de la construction de bâtiments écologiques. Si **l'inertie de transmission** peut facilement être obtenue avec la plupart des matériaux, même lorsque ceux-ci sont classés « légers » et c'est le cas particulier du bois et de ses dérivés, il n'en va pas de même lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre **l'inertie par absorption**.

L'inertie par absorption nécessite l'utilisation de **matériaux « effusifs »**, c'est à dire possédant à la fois une conductivité thermique et une chaleur volumique élevées. Les matériaux répondant à ce critère sont tous les bétons (à l'exception du béton cellulaire), la terre cuite épaisse (hors monomur), la terre crue (adobe ou toutes techniques de pisé), tous les conteneurs emmagasinant du sable ou de l'eau.

On peut aussi envisager les matériaux à changement de phase si celui-ci se produit à des températures favorables au confort thermique. Des recherches avaient été entreprises à l'Ecole des Mines de Sophia-Antipolis sur ce sujet.

Rappelons qu'il est indispensable de bénéficier de matériaux effusifs dans les cas suivants :

- **Utilisation des systèmes solaires passifs en saison de chauffage** (apports directs par les baies, par une véranda; les murs capteurs sont en général porteurs de leur propre effusivité) ;
- **Utilisation de systèmes passifs de refroidissement en été** : stabilisation des oscillations des températures intérieures, stockage diurne des effets de refroidissement obtenus par ventilation nocturne ou par humidification de l'air. L'enjeu est ici de viser authentiquement la « **fraîcheur sans clim** ».

D'une manière générale, l'inertie thermique par absorption est obligatoire dans les climats marqués par de fortes amplitudes jour/nuit, par de forts ensoleillements d'hiver, par des risques de journées d'été à température moyenne élevées qui ne sont compensables que par la ventilation nocturne ou par utilisation d'autres systèmes passifs de refroidissement. C'est exactement le cas du climat des régions méditerranéennes.

8 – Bibliographie

On retrouve ici la référence utilisée aussi dans l'article sur les indicateurs de l'architecture bioclimatique :

Pierre LAVIGNE en collaboration avec Paul BREJON et Pierre FERNANDEZ, « *Architecture climatique, une contribution au développement durable* », tome 1 : Bases physiques ; EDISUD, Aix-en-Provence. 1997.

Ouvrage très détaillé sur la question de l'inertie thermique du bâtiment avec un usage clair des analogies hydrauliques. La référence dans le domaine.

« *Inertie thermique des logements et confort d'été ; Etude de sensibilité* » ; Cimbéton, collection technique ; CSTB ; Document téléchargeable sur www.cimbeton.asso.fr - Mai 2001.

Le commanditaire de cette étude est bien sûr très intéressé mais le travail fait par le CSTB et Jean-Robert MILLET est très bien fait et clairement présenté.

Baruch GIVONI, « *Passive and low energy cooling of buildings* »; John Wiley and sons, New York, 1994.

Ouvrage en anglais consacré aux moyens de garder ou créer la fraîcheur dans le bâtiment par des moyens naturels ; la conservation de la fraîcheur par l'inertie par absorption est l'un d'eux.

Actes du colloque « *L'inertie en climat méditerranéen* », 15 mai 2003, Montpellier ; Pôle construction – Région Languedoc-Roussillon.

Recueil des communications très intéressantes faites ce jour-là par des auteurs tels que Olivier SIDLER ou Thierry SALOMON.

Claude-Alain ROULET, « *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments* » ; Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2004.

Quelques pages sont consacrées à l'inertie thermique avec l'introduction de la « constante de temps » d'un bâtiment.

CORRIGE DU TEST:

Q1: *Le déphasage de l'oscillation thermique est la principale manifestation de l'inertie thermique:* **FAUX (B).**

Cette affirmation est fausse car le déphasage dépend de la *diffusivité thermique* du matériau mis en oeuvre et cette grandeur varie peu d'un matériau à l'autre. En particulier, une paroi en béton aura à peu près le même déphasage qu'une paroi en polystyrène, ces deux matériaux ayant la même diffusivité.

Q2: *L'inertie thermique peut être équivalente à une isolation thermique:* **PARFOIS VRAI (B).**

En effet, cette affirmation n'est vraie que dans un cas: celui où la température extérieure oscille autour d'une valeur moyenne proche de la valeur de la température intérieure désirée. Elle est fausse dans toutes les autres circonstances, notamment lorsque la température moyenne extérieure est très inférieure à la consigne choisie pour l'intérieur.

Q3: *L'inertie thermique peut être caractérisée par la masse totale du bâtiment ramenée au mètre carré habitable:* **FAUX (B)**

C'est une erreur de traduire l'inertie thermique d'un bâtiment par sa masse totale mise en oeuvre car la surface de contact entre les masses construites et l'air est un paramètre important pour l'exploitation des effets de l'*effusivité* des matériaux. Or cette surface de contact peut être grandement affectée soit par une mauvaise répartition des masses, soit par un recouvrement de celles-ci par des matériaux à faible effusivité (isolants intérieurs, moquettes épaisses, faux-plafonds acoustiques...etc.)