

# Notes techniques et réflexions

## L'inertie thermique des bâtiments Consommation et confort d'été en climat méditerranéen

Auteur : Olivier SIDLER

Mai 2003

**ENERTECH**

*Ingénierie énergétique*

26160 FELINES S/RIMANDOULE

TEL & FAX : (33) 04.75.90.18.54

*email : [contact@enertech.fr](mailto:contact@enertech.fr)*

*Web : [www.enertech.fr](http://www.enertech.fr)*

**« L’Inertie thermique en climat méditerranéen.  
Confort et consommations d’énergie »**  
Colloque - 15 Mai 2003  
Montpellier

## **L’apport des campagnes de mesure**

Olivier SIDLER  
*Directeur de la Sté ENERTECH\**

---

Aucune des campagnes de mesure présentées dans ce qui suit n’a été conçue pour étudier le rôle de l’inertie et son impact sur le confort et la consommation. Leurs objectifs étaient différents. Elles sont donc aussi souvent incomplètes pour répondre à la question complexe qui nous est posée : quel est l’impact de l’inertie sur le confort et la consommation des bâtiments. Ce qui suit ne constituera donc qu’une réponse partielle....Il reste en effet à monter un projet permettant d’étudier effectivement l’impact de l’inertie sur la consommation de chauffage en hiver, et éventuellement sur les besoins de rafraîchissement (ventilation ou climatisation) en été.

### **1 - Présentation des campagnes de mesure utilisées**

#### **1-1 Généralités**

Nous disposons de données intéressantes pour trois campagnes de mesures effectuées (ou en cours) ces dernières années dans la bande méditerranéenne ou provençale, ainsi que d’une campagne de mesure dans l’agglomération lyonnaise.

Toutes ces campagnes ont des caractéristiques communes :

- elles sont plutôt de longue durée (plusieurs mois minimum),
- les mesures sont variées (température intérieure, extérieure, insolation, et même consommation électrique de certains postes (chaudières, pompes, ventilateurs, climatiseurs, etc.). Les données peuvent donc être reliées les unes aux autres,
- toutes les mesures sont effectuées au pas de temps de dix minutes et placées en base de données, ce qui permet un traitement aisé.

---

\* 26160 Félines s/Rimandoule - Tél & Fax : 04.75.90.18.54 - E-mail : sidler@club-internet.fr  
<http://perso.club-internet.fr/sidler>

## 1-2 Caractéristiques des bâtiments suivis

Voici sommairement décrites les différentes opérations :

### A - Bâtiments de bureaux en région PACA

Six bâtiments de bureaux ont fait l'objet durant l'été 2001 d'un suivi détaillé visant à comprendre la construction des consommations de climatisation. La situation et les principales caractéristiques de ces bâtiments étaient les suivantes :

Sites	Type de construction	Année de construction	Caractéristiques constructives	Type d'inertie
Avignon	R+1	Début 90	Ossature bois. Sur terre-plein	légère
Marseille 1	R+2	1950	Maçonnerie lourde (e=50 cm) non isolée. Planchers en béton	lourde
Marseille 2	R+1	Années 70	maçonnerie lourde (e= 20 cm) non isolée. Planchers béton. Toiture terrasse légère et isolée par 40 mm.	moyenne
Toulon 1	R+1	Années 60	Dalle béton sur terre-plein. Poteaux poutres dalles béton. Façades légères. Isolation pour moitié par 40 mm. Toiture terrasse isolée par 100 mm en sous-face	moyenne
Toulon 2	R+4 sur parking ss	1970	Poteaux poutres dalles béton. Façades en panneaux de béton préfabriqués non isolés. Toiture terrasse.	lourde
Mouans Sartoux	R+3	> 100 ans	Maçonnerie lourde (e=50 cm) avec isolation intérieure (60 mm). Plancher en béton. Toiture traditionnelle isolée en sous face.	moyen

Les seules données utilisées dans ce qui suit concernent bien sûr les locaux ou les périodes sans utilisation de la climatisation.

### B - Lycée à Montpellier

L'un des bâtiments (R+4) de ce lycée est actuellement suivi de façon très détaillée. Sa surface est de 8.500 m<sup>2</sup>. Il date de 1965. Construction poteaux poutres/dalles en béton. Façades isolées par l'intérieur. Cloisons légères. Dalle sur combles isolés par le sol. Inertie *a priori* moyenne.

### C - Logements collectifs à Villeurbanne (Rhône)

Le bâtiment (R+5) a été livré en mai 2001. Il est de structure lourde (béton). Les façades sont isolées par l'extérieur (100 mm), et la dalle du dernier niveau est isolée par le dessus (200 mm). Inertie lourde. Bâtiment comportant des vérandas solaires.

### D - Bâtiment de ferme rénové en habitation (Drôme)

Il s'agit d'une ferme du 18<sup>ème</sup> siècle, construite de façon traditionnelle (murs en pierre de 60 à 70 cm) et rénovée. L'isolation des murs est intérieure (100 mm). Les planchers sont désormais en béton. Le bâtiment s'élève sur 3 niveaux en suivant la pente du terrain. Le plancher haut du dernier niveau est en bois, avec 200 mm d'isolation. La rénovation

comporte une grande véranda de 45 m<sup>2</sup> de vitrage. L'inertie est très lourde. Cette opération bénéficie d'un suivi de température depuis 6 ans.

## 2 - Quelques rappels théoriques

L'inertie d'un bâtiment est une fonction directe de sa capacité thermique, donc du produit de la masse de tous ses composants par leur chaleur spécifique massique. Cette capacité thermique, pour autant qu'elle soit correctement mise en œuvre (c'est à dire en respectant certaines surfaces d'échange), agit concrètement comme un amortisseur, c'est à dire qu'elle tente de s'opposer à toutes les variations brutales de température. Mais c'est aussi, comme un amortisseur, un grand absorbeur d'énergie. La capacité thermique d'un bâtiment constitue en fait un grand stockage de chaleur. La plus grande partie de la chaleur qui est entrée dans le bâtiment est accumulée par cette capacité thermique. Plus elle est élevée (donc plus la « masse » du bâtiment est importante), plus l'élévation de température de cette masse sera faible pour accumuler une quantité d'énergie donnée. La capacité thermique du bâtiment apparaît bien comme un amortisseur de variation des températures. Dans des locaux à occupation continue, cette caractéristique va permettre « d'étaler » au cours d'une journée la restitution aux locaux de la chaleur reçue en abondance à un moment de la journée.

**Conclusion n°1 :** l'inertie d'un bâtiment, en contribuant à atténuer les fluctuations de température brutales dans les locaux, est une source de confort : elle évite les surchauffes et les chutes trop brutales de température.

**Conclusion n°2 :** en évitant les surchauffes, l'inertie limite les pertes de chaleur. C'est donc un facteur d'économie d'énergie en hiver pour les locaux à occupation continue.

Mais la constitution d'un stockage de chaleur à l'intérieur du volume habitable, suppose, pour que les conditions de confort soient maintenues, qu'il y ait un équilibre énergétique, à l'échelle de la journée, entre la chaleur reçue d'une manière ou d'une autre (apports solaires, ou internes) et emmagasinée par le stockage, et l'extérieur du volume habité. A défaut, il y aura un refroidissement, ou un réchauffement continu de ce volume. En hiver, l'installation de chauffage pourvoira au risque de refroidissement potentiel et maintiendra une température de confort. Mais en été, à défaut d'une climatisation, il y a un risque à ce que la température intérieure augmente de façon continue si les moyens de refroidir quotidiennement les masses thermiques sont insuffisantes.

Or la principale source de refroidissement en été est souvent l'air extérieur. Mais en climat méditerranéen, l'air extérieur est au cours de la journée à une température trop élevée pour permettre d'évacuer la chaleur intérieure. Il est donc impératif de pouvoir évacuer cette énergie durant la nuit, sans pour cela qu'elle ait occasionné durant la journée d'importantes surchauffes. La solution réside à nouveau dans l'inertie interne qui va permettre d'éviter les surchauffes excessives la journée et va créer un potentiel de refroidissement important la nuit en maintenant un écart de température significatif entre l'intérieur (chaud) et l'extérieur (frais).

**Conclusion n°3 :** On voit que, quelle que soit la nature du bâtiment et son type d'occupation, **l'inertie thermique est une condition nécessaire au confort, notamment en été, mais ce n'est pas une condition suffisante. Elle doit en effet impérativement être associée, en été, à des moyens efficaces de refroidissement des structures permettant de maintenir l'équilibre énergétique (éliminer toute la chaleur emmagasinée la journée) qui assurera la stabilité des températures d'un jour à l'autre.**

S'il est donc acquis que, quelle que soit la nature d'un bâtiment et son type d'occupation, l'inertie thermique est toujours un facteur favorable au confort d'été, quelle est l'incidence de cette disposition sur le fonctionnement en hiver du bâtiment ? Pour répondre à cette question il faut distinguer deux cas selon que l'occupation est continue ou discontinue. On a vu que dans le premier cas, la présence de l'inertie est toujours un facteur favorable puisqu'elle permet de répartir tout au long de la journée l'apport de chaleur qui a été concentré à un moment de cette journée. Mais dans le second cas, limiter la consommation de chauffage suppose de pratiquer l'intermittence. Cette pratique conduit à interrompre le fonctionnement du chauffage dès que les locaux ne sont plus utilisés, et à laisser la température intérieure chuter le plus rapidement possible afin de réduire l'écart entre les températures intérieure et extérieure, ce qui conduit à minimiser les pertes de chaleur du bâtiment, donc sa consommation. Or pour que la température intérieure chute le plus vite possible, il faut que l'inertie de la construction soit la plus faible possible...

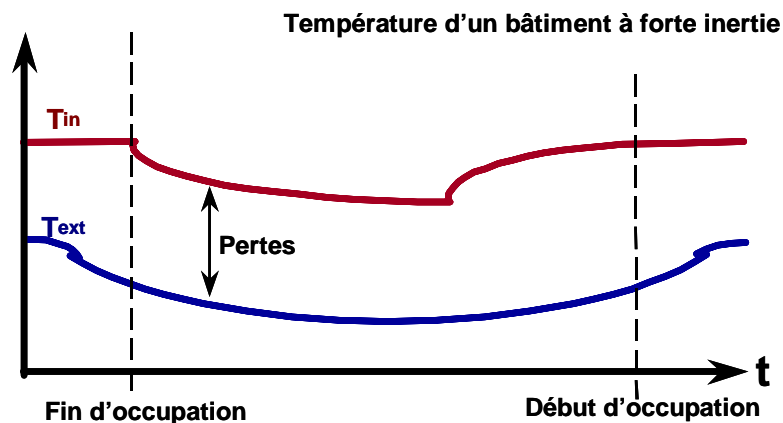


Figure 1 : Evolution de la température et des pertes dans un bâtiment à forte inertie à occupation discontinue

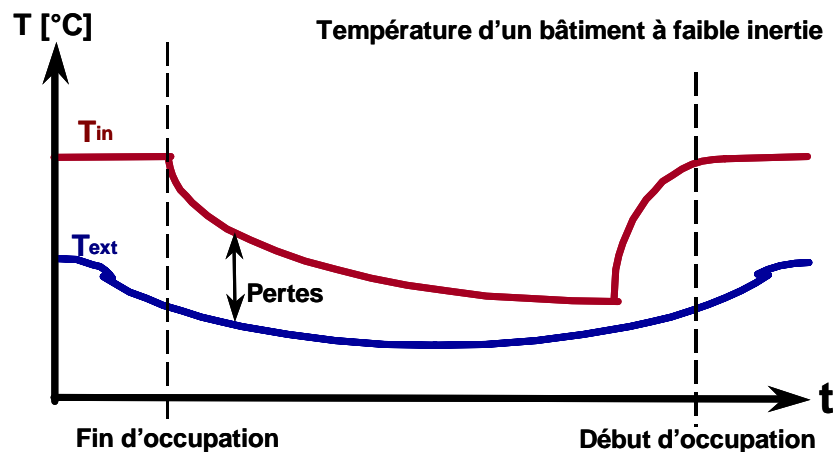


Figure 2 : Evolution de la température et des pertes dans un bâtiment à faible inertie à occupation discontinue

Cette observation qualitative est irréfutable. Mais il reste maintenant à la quantifier afin de déterminer lequel de la consommation en hiver (qui suppose une faible inertie) et du confort en été (qui suppose une forte inertie) est celui qui sera déterminant.

**Conclusion n°4 :** dans les bâtiments à occupation intermittente, l'inertie thermique est source de confort été comme hiver, mais elle est *a priori* source de surconsommation d'énergie en hiver puisqu'elle maintient la température intérieure à un niveau trop élevé en période d'inoccupation.

## Conclusion générale

On retiendra de ce qui précède que :

- l'inertie thermique est toujours nécessaire pour améliorer le confort, en hiver comme en été, quel que soit le type et le mode d'utilisation des bâtiments, mais elle ne suffit pas à cette fin,

- pour assurer le confort d'été, l'inertie thermique doit être obligatoirement associée à des dispositifs de refroidissement des structures qui permettront d'éliminer la nuit l'énergie emmagasinée la journée. C'est le critère le plus difficile à respecter,

- dans les bâtiments à occupation continue, l'inertie thermique est aussi une source d'économie d'énergie en hiver parce qu'elle permet une gestion optimum des apports de chaleur quotidiens,

- dans les bâtiments à occupation discontinue, il y a en revanche conflit entre les effets de l'inertie thermique puisque si celle-ci contribue à améliorer le confort d'été, elle conduit à des surconsommations de chauffage en hiver.

## 3 - L'apport des campagnes de mesure

Les campagnes de mesure que nous avons faites vont permettre une illustration partielle de ce qui précède. N'ayant pas été conçues à l'origine pour cela, elles ne pourront en effet pas décrire toutes les situations évoquées, notamment celles ayant trait aux consommations de chauffage.

### 3-1 Inertie et confort d'hiver

L'une des campagnes en cours (Villeurbanne) devrait permettre de répondre à cette question (mesure des consommations), mais l'ensemble des données nécessaires ne sera disponible que... dans 3 mois.

#### ■ *L'inertie limite les fluctuations de température en hiver*

La figure n°3 représente les fréquences cumulées des températures dans la rénovation de la Drôme (forte inertie) durant le mois de janvier. On voit que la température extérieure varie de -4 à +15°C, mais les températures intérieures sont très stables. Celle de la chambre est particulièrement intéressante puisque cette pièce n'est pratiquement pas chauffée. On observe que, malgré cela, sa température ne varie qu'entre 16 et 22°C.

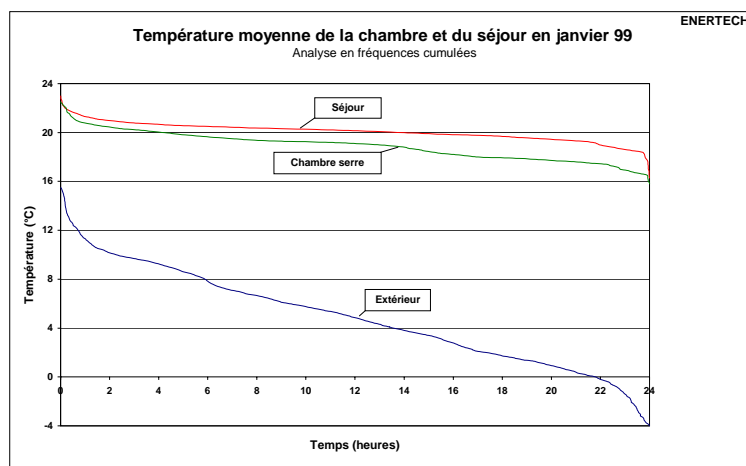


Figure 3 : Drôme - forte inertie - Fréquences cumulées des températures intérieures et extérieure au mois de janvier

La figure n°4 montre, au mois de décembre, l'évolution des températures dans des logements à Villeurbanne (Opération C - forte inertie).

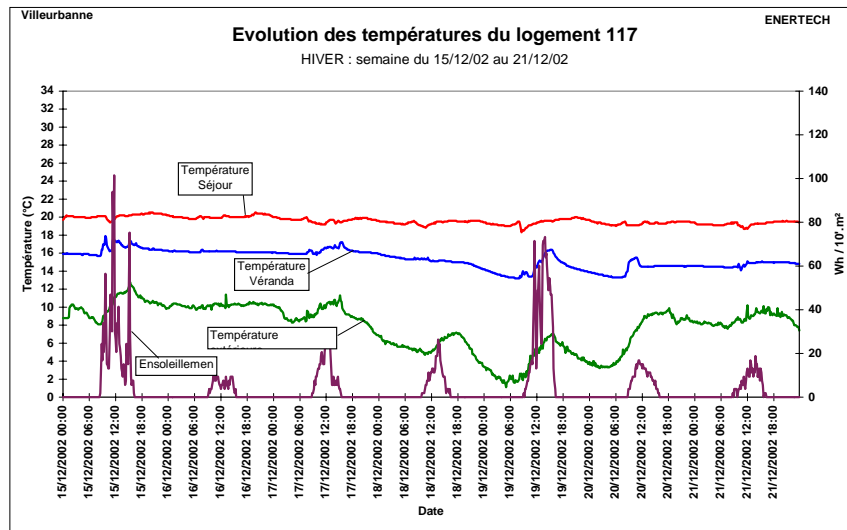


Figure 4 : Logements à Villeurbanne : insolation et températures en décembre

Certes, le chauffage est là pour réguler la température intérieure. Mais on observe une grande stabilité, à la fois pour la température dans le séjour et pour la température dans la véranda (non régulée). Les périodes d'insolation ne correspondent pas à des périodes de surchauffe dans les vérandas grâce à la forte inertie.

■ *L'inertie permet une bonne gestion de la chaleur en hiver*

La figure n°5 concerne la rénovation dans la Drôme (inertie très lourde).

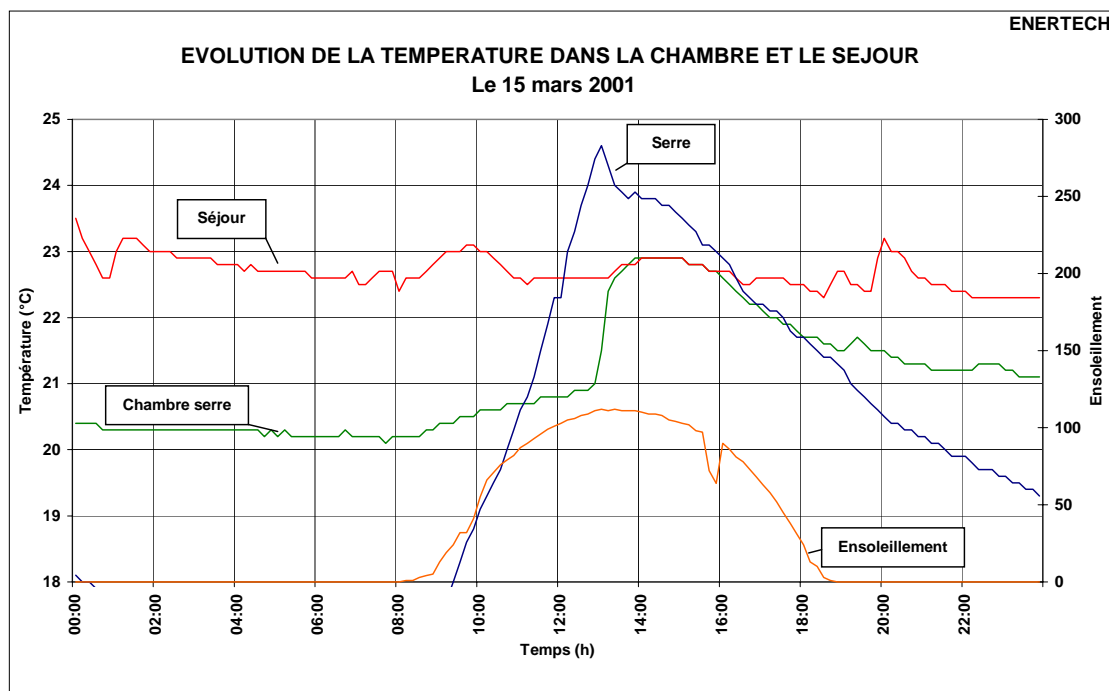


Figure 5 : Drôme - Forte inertie - journée du 15 mars

Elle montre les paramètres (ensoleillement, températures) pour le 15 mars, donc en mi-saison. Il s'agit d'une journée très ensoleillée. La température dans la véranda, elle-même très inerte, ne dépasse pourtant pas 24,5°C. Mais le plus intéressant est d'observer la gestion de la température dans la « chambre sur serre » qui n'est pas chauffée : vers 13h, la fenêtre de cette chambre sur la véranda est ouverte. Aussitôt la température dans la pièce augmente, mais ne dépasse pas 23°C.

En soirée on voit tout l'effet du stockage de chaleur due à l'inertie puisque suite à cette journée ensoleillée, la température à minuit est dans cette pièce de 21,2°C contre 20,4°C à la même heure la veille. Malgré le faible ensoleillement dans les jours qui ont suivi, la température dans cette pièce restera supérieure à 20,5°C pendant 3 jours.

Ceci met bien en évidence la gestion optimale des apports de chaleur due à l'inertie thermique.

### 3-2 Inertie et confort d'été

#### ■ L'inertie limite les fluctuations de température en été

La figure n°6 représente les fréquences cumulées des températures intérieures dans les immeubles de bureaux de la région PACA, pendant le mois de septembre (donc en l'absence de toute climatisation). On observe de façon parfaite que, plus l'inertie des bâtiments est faible, plus la plage de variation des températures est importante. Ainsi pour le bâtiment d'Avignon à très faible inertie, les températures varient de 17 à 31°C, alors que pour les bâtiments à forte inertie (Marseille 1 et Toulon 2) la variation s'étend de 19 à 25°C seulement. On remarque aussi que pendant en moyenne 50% du temps il fait plus chaud dans les locaux à faible inertie que dans ceux à inertie moyenne, et que cette valeur est de 60% pour les locaux à forte inertie.

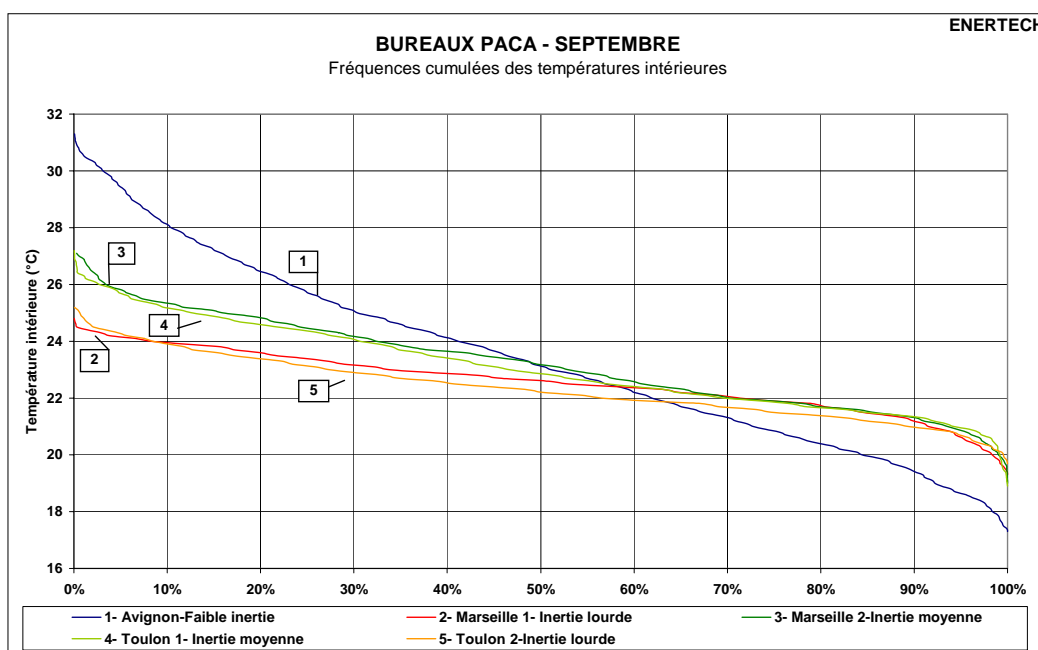


Figure 6 : Fréquences cumulées des températures intérieures dans les bureaux au mois de septembre en Région PACA

On pourrait penser que la situation géographique des différents locaux explique ces écarts (la présence de la mer stabilise les températures extérieures). La figure 7 montre qu'il n'en est rien. L'effet de la mer est bien visible, mais il ne peut en aucun cas expliquer les écarts considérables observés pour les températures intérieures des bureaux d'Avignon (faible inertie) sur la figure 6.

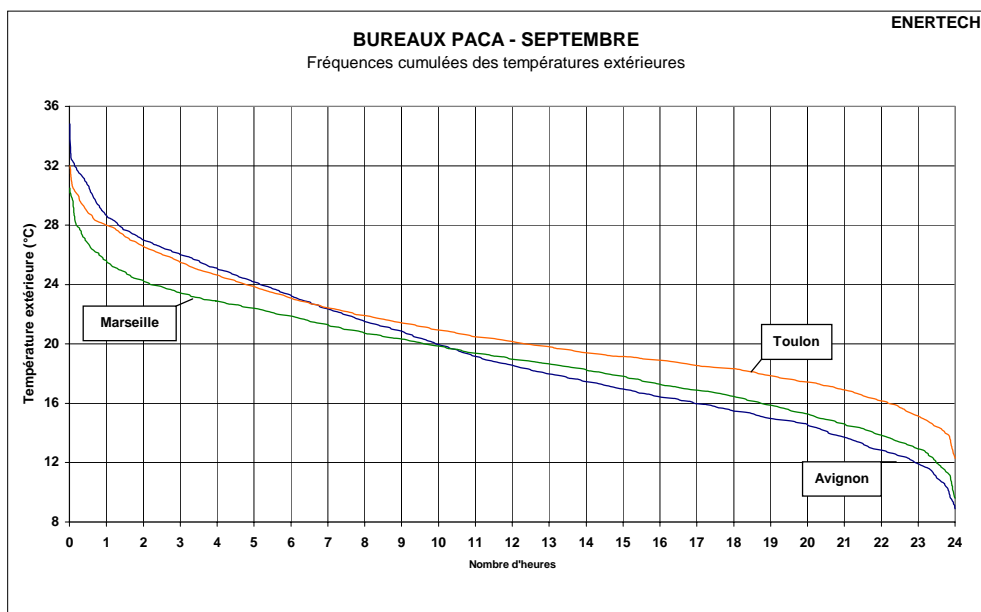


Figure 7 : bureaux en région PACA - Fréquences cumulées des températures extérieures au mois de septembre

La figure 8 représente les fréquences cumulées pour les mêmes locaux, au mois de septembre, mais uniquement dans la tranche [8-18 h] du lundi au vendredi.

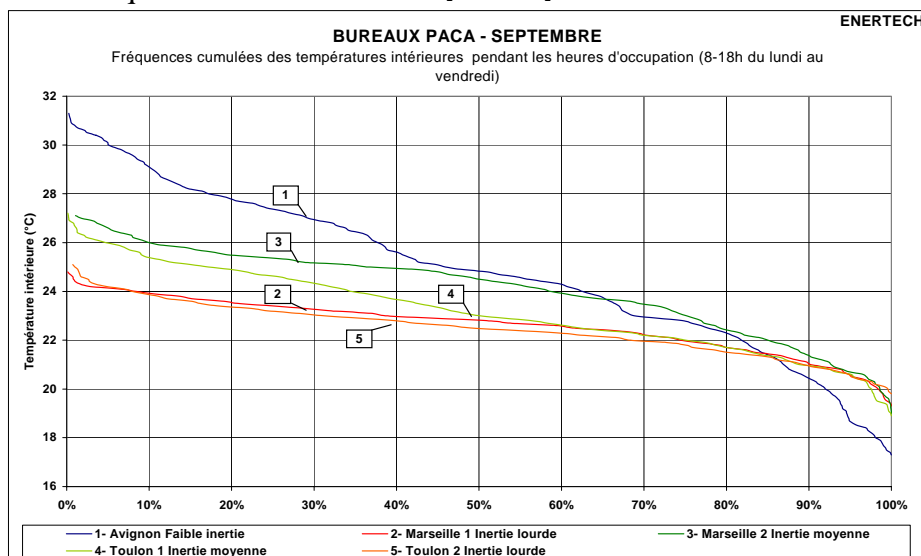
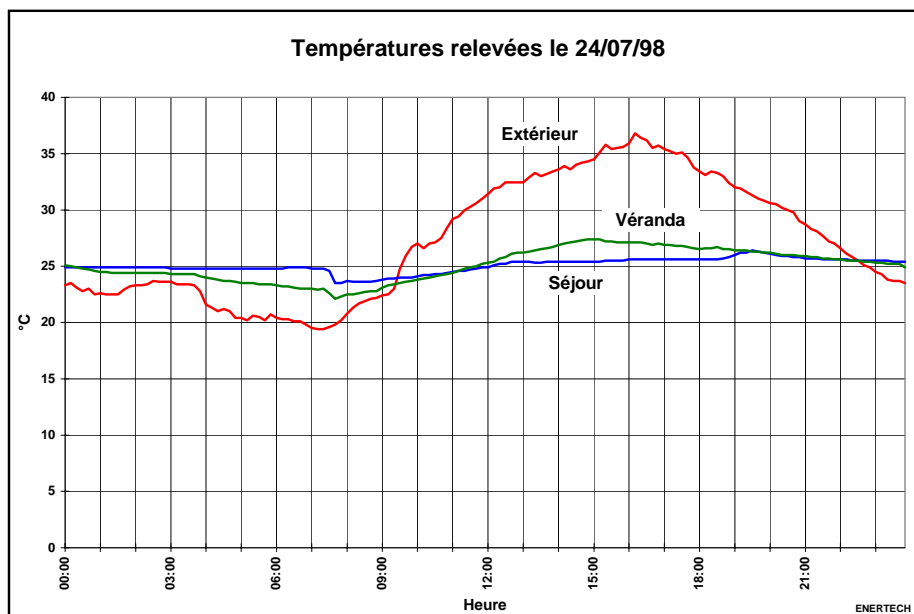


Figure 8 : bureaux en région PACA - Fréquences cumulées des températures intérieures au mois de septembre, entre 8h et 18h du lundi au vendredi

Les phénomènes observés sur la figure 6 sont encore plus marqués : ainsi, la part du temps pendant lequel la température est plus élevée dans les locaux à faible inertie est, dans la période étudiée, d'environ 65 % pour les locaux à inertie moyenne, et de 80 % pour les locaux à forte inertie ! Ainsi, le gain en terme de confort, pendant les heures d'occupation, est vraiment patent.

La figure 9 est probablement la plus belle illustration dont nous disposons pour montrer l'intérêt de l'inertie dans le confort d'été.



**Figure 9 : Drôme - Forte inertie - Températures au cours de la journée baptisée « canicule du siècle » par les médias**

Il s'agit de l'évolution des températures dans le séjour, la véranda et à l'extérieur pendant une journée excessivement chaude de l'année 1998. Durant la nuit, trois fenêtres de 1,25 m<sup>2</sup> chacune étaient ouvertes entre la véranda et l'extérieur. On observe que :

- la température extérieure varie entre 19°C (fin de nuit) et 37°C (milieu d'après midi),
- dans le même temps la température dans la véranda varie entre 22°C et ...27°C au moment où il fait 37°C à l'extérieur. Cette véranda très inerte, bien conçue, apparaît comme un élément de climatisation pour le bâtiment puisqu'il y fait 10°C de moins qu'à l'extérieur,
- enfin, la température dans le séjour, pièce donnant sur la véranda, est d'une stabilité absolue : 25,0°C toute la nuit, et au maximum 26°C en fin de journée. Il n'a pratiquement pas été affecté par les fluctuations importantes de température à l'extérieur,
- incidemment on voit aussi qu'une bonne stratégie de refroidissement consisterait à ouvrir la véranda sur l'extérieur quand la température y est plus basse, c'est à dire exclusivement de 22h30 à 9h30. En dehors de ces heures, il faut fermer toutes les fenêtres parce qu'il fait plus chaud dehors que dedans.

Ceci illustre de la meilleure façon qui soit le rôle de l'inertie en été. Mais il est vrai que dans le cas d'espèce, l'inertie est particulièrement lourde, faite de nombreux et épais murs de pierre.

La figure 10 illustre cette caractéristique sur l'ensemble du mois de juillet de la même année.

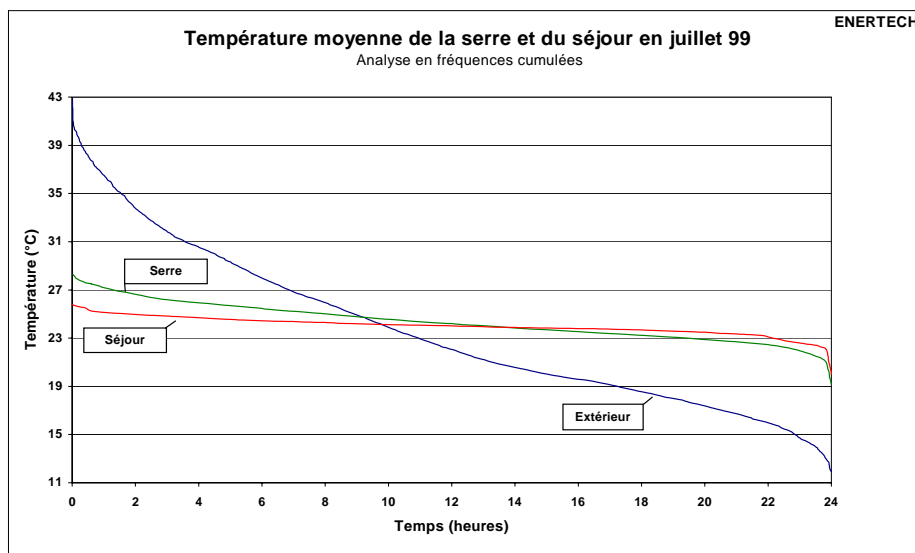


Figure 10 : Drôme - Forte inertie - Fréquences cumulées des températures au cours du mois de juillet 1999

On voit encore mieux le caractère régulateur induit par l'inertie : la température extérieure varie de 12 à 40°C, alors que la température dans le séjour ne fluctue qu'entre 21 et 26°C. On note aussi qu'en moyenne pendant près de dix heures par jour la température extérieure est supérieure à la température dans le séjour.

■ **Seconde condition du confort estivale : refroidir les structures la nuit**

La figure 11 montre l'évolution des températures intérieure et extérieure dans les bureaux de l'opération Marseille 1 (inertie lourde) pendant 7 jours consécutifs et bien ensoleillés au mois de septembre (donc en l'absence de toute climatisation).

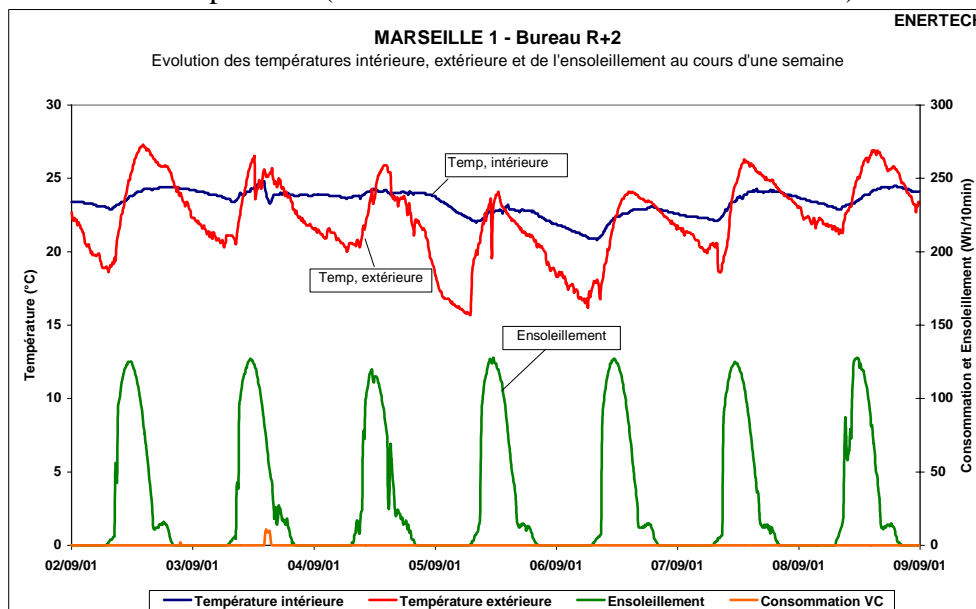
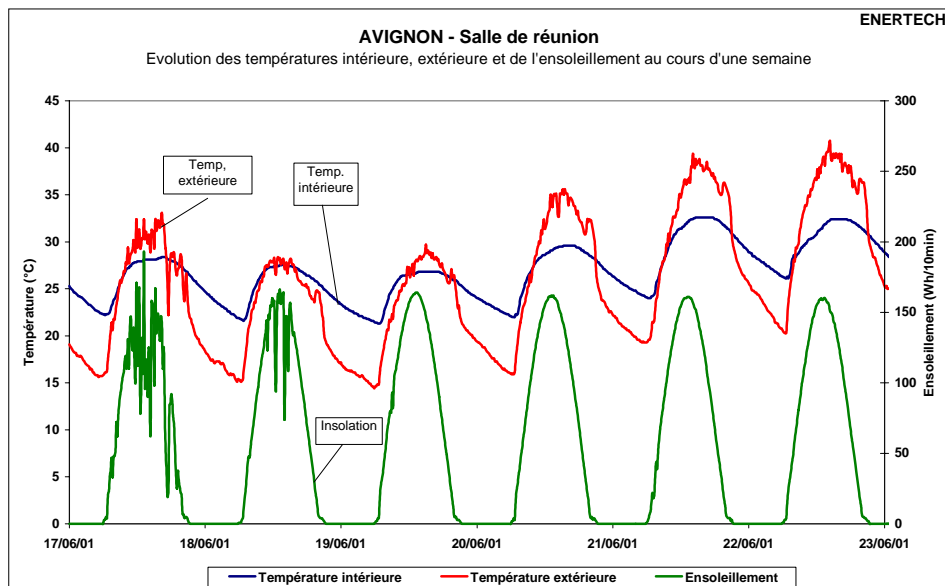


Figure 11 : Bureaux à Marseille (forte inertie) - Température et insolation en septembre

On observe que, malgré le très fort ensoleillement (presque pas de nuages pendant une semaine), et grâce à d'importantes variations de la température extérieure (environ 10°C), la température intérieure ne varie pas beaucoup au cours de la semaine, et surtout elle se maintient à un niveau constant. Ceci illustre pour ce bâtiment, une période (certes pas critique) pendant laquelle l'apport interne d'énergie (bureautique + éclairage +

ensoleillement) est strictement compensé par la dissipation de chaleur essentiellement pendant la nuit. Dans ce cas, et pendant cette période de l'année, l'inertie et les éléments de dissipation de chaleur sont correctement dimensionnés.

La figure 12 fournit les mêmes informations pour les bureaux d'Avignon (faible inertie) pendant une semaine très ensoleillée de juin.



**Figure 12 : Bureaux à Avignon - Faible inertie - Température et insolation en juin (en l'absence de climatisation)**

Les conditions climatiques sont évidemment plus contraignantes que pour le cas précédent. Mais on observe néanmoins que :

- les fluctuations de la température intérieure sont très importantes au cours d'une journée (de l'ordre de  $8,5^{\circ}\text{C}$ ),
- les variations de température extérieure atteignent  $19^{\circ}\text{C}$ , et les valeurs minimales sont situées entre  $15$  et  $20^{\circ}\text{C}$ . L'air extérieur constitue donc une source de refroidissement importante que le bâtiment, faute d'inertie, ne sait pas mettre à profit pour refroidir les locaux,
- l'absence d'inertie et de moyens de refroidissement conduisent donc à ce que chaque jour la température intérieure augmente. Cette augmentation linéaire est de  $2,15^{\circ}\text{C/j}$ .

Cet exemple illustre la conclusion n°3 des rappels théoriques : mais dans le cas présent, le bâtiment ne comporte aucun des deux éléments propres à assurer un peu de confort en été : l'inertie et des sources de refroidissement nocturnes.

La figure 13 montre le même phénomène dans un logement de l'opération de Villeurbanne (forte inertie). Il s'agit d'un logement dont les fenêtres n'ont été ouvertes à aucun moment (même pas la nuit) durant la période d'observation du graphique.

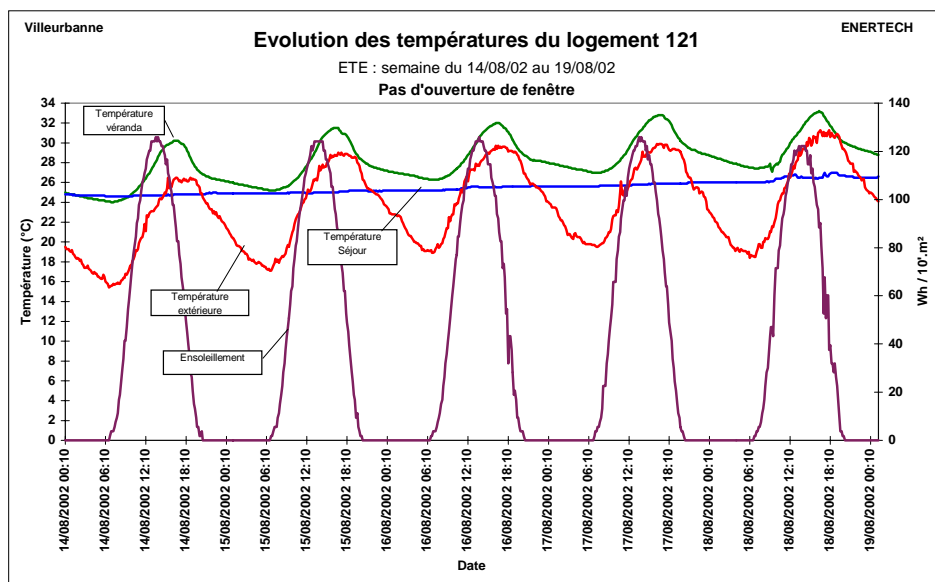


Figure 13 : logements à Villeurbanne : insolation et températures en août, sans ouverture des fenêtres

On observe que :

- la période a été très ensoleillée (pas de passages nuageux),
- la température extérieure augmente régulièrement chaque jour. Ainsi, le maximum croit de  $1,15^{\circ}\text{C}/\text{j}$ ,
- la température intérieure du logement augmente de façon linéaire de  $0,38^{\circ}\text{C}/\text{j}$ . Elle atteint  $26,5^{\circ}\text{C}$  en fin de période.

La période observée ici est critique : le logement reçoit plus d'énergie chaque jour qu'il n'en dissipe sur l'extérieur. L'inertie pourtant forte ne peut pas inverser la tendance. Il est vrai que l'absence totale d'ouverture des fenêtres, notamment la nuit, n'est pas très favorable, mais cet immeuble souffre d'un mal fréquent dans les bâtiments neufs très performants : il est très isolé, possède beaucoup d'inertie, mais offre des dispositions insuffisantes pour refroidir les structures pendant la nuit. Il est voué une partie de l'été à un certain inconfort.

Toujours dans le même immeuble et dans la même période, la figure 14 présente les caractéristiques d'un autre logement dans lequel la porte fenêtre du séjour sur la véranda, et les fenêtres de la véranda sur l'extérieur sont ouvertes à partir du troisième jour.

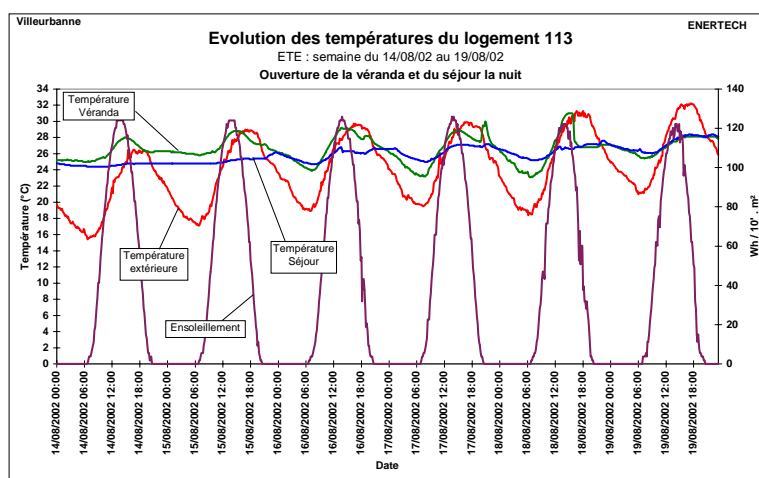


Figure 14 : Logements à Villeurbanne : insolation et températures en août, avec ouverture des fenêtres

Malheureusement elles ne sont pas ouvertes que la nuit et on constate qu'elles restent ouvertes aussi toute ou partie de la journée. Le résultat n'est donc pas très convainquant. En effet la température décroît pendant la nuit, ce qui est favorable, mais croît de façon plus importante que le cas précédent durant la journée. Globalement le résultat est pire : il fait plus chaud dans ce second logement après cette semaine, que dans le premier.

Ceci confirme ce que la figure 9 nous avait déjà montré : on ne doit pas ventiler par ouverture des fenêtres à n'importe quelle heure...Le refroidissement des structures, paramètre essentiel du confort d'été avec l'inertie, apparaît donc comme un art délicat !

Il n'est guère possible, dans l'état actuel de la campagne de mesure en cours, d'aller plus loin dans les investigations, notamment pour corrélérer avec précision l'impact des ouvertures de fenêtres sur le confort. Des mesureurs ont été posés sur tous les ouvrants. Ils permettront de savoir à quels moments les fenêtres ont été ouvertes. Mais les données de ces mesures ne seront disponibles qu'au mois d'août...

### **3-3 Inertie et consommation d'énergie**

En l'absence de campagne de mesure sur le sujet, on ne pourra donc pas répondre formellement à la question « Quel est l'impact de l'inertie sur la consommation des bâtiments ? ».

Pour les bâtiments à occupation continue, l'inertie est incontestablement un atout pour mieux gérer les apports de chaleur. On peut sans risquer de se tromper affirmer qu'elle induira une économie d'énergie.

En revanche, le cas des bâtiments à occupation discontinue pose problème. L'inertie est *a priori*, source de surconsommation. Mais on peut peut-être formuler le problème différemment. En effet, que l'inertie conduise à plus de pertes thermiques en période d'inoccupation est incontestable. Mais si cette énergie est de la chaleur gratuite qu'il est impossible d'éliminer durant la journée (apports par des élèves par exemple), et que grâce à cette chaleur, le bâtiment est plus chaud le matin et nécessite moins d'énergie pour son redémarrage, on aura bien réduit le recours à l'énergie conventionnelle d'appoint. Cette condition se réalisera si, à l'heure de fin d'occupation des locaux, la température interne dépasse la consigne de 19°C. A ce moment là on pourra effectivement décaler dans le temps l'heure à laquelle le bâtiment atteindra 19°C et commencera à perdre une chaleur qu'il faudra bien lui restituer le lendemain matin pour qu'il atteigne la consigne à 8h. Ce faisant, on aura bien réduit (par ce décalage de l'heure de début de perte à compenser) l'énergie nécessaire à sa remise en température.

Si cette idée s'avérait exacte, ce serait intéressant, parce que cela permettrait de résoudre grâce à l'inertie, à la fois la question du confort et celle de la consommation.

Pour savoir si cette thèse est exacte, il est peu probable que la modélisation puisse apporter une réponse fiable. Trop de paramètres assez complexes à décrire entrent en jeu, et l'erreur que l'on peut commettre sur eux est du même ordre de grandeur, ou même plus importante, que l'enjeu du problème posé. La solution la plus simple consisterait probablement à instrumenter de façon astucieuse quelques bâtiments assez typiques situés dans le bassin méditerranéen.

## **4 - Quelle stratégie pour le confort dans les bâtiments ?**

Ce qui précède a montré sans ambiguïté l'intérêt de l'inertie pour le confort, été comme hiver. Mais on retiendra que l'inertie seule ne suffit pas à apporter du confort : il faut impérativement pouvoir équilibrer, à l'échelle de la journée ou de quelques jours, les apports de chaleur et la dissipation de cette chaleur. Or en climat méditerranéen, la tâche paraît rude,

voire impossible, pour certains types de bâtiments comme les bâtiments d'enseignement. Il faudra alors se souvenir d'une règle élémentaire de bon sens : pour réduire la nécessité de dissiper de la chaleur la nuit, il faut réduire les apports de chaleur aux locaux. Ces apports sont de deux natures :

- les apports solaires,

- les apports internes constitués essentiellement de l'éclairage et de la bureautique.

Rappelons que la campagne de mesure sur les bureaux en PACA utilisée dans ce qui précède, a montré que 40% de la charge de climatisation était due à ces apports internes !

En conséquence, la priorité d'action est aujourd'hui double :

1 - il faudra se garder de recourir sans discernement aux bâtiments dits « bioclimatiques ». Créer de la surface vitrée au Sud ne peut se faire, en climat méditerranéen, que pour certains types de bâtiments, notamment ceux dont les apports internes de chaleur sont limités. Pour les bâtiments d'enseignement, il est exclu de recourir à des apports solaires massifs parce que les salles reçoivent déjà, avec la présence des élèves (3 kW), celle de l'éclairage (1 kW) et celle éventuelle des ordinateurs (3 kW), une puissance supérieure à leurs besoins thermiques même en plein hiver. La figure 15 illustre ce propos. On y voit la température dans une salle de lycée le 5 février à Montpellier. Le chauffage est piloté par un optimiseur qui fonctionne correctement puisque la salle est à 19°C à 8h. Elle atteint 27°C à 10h, puis décroît par suite de sa non-utilisation. Notons d'ailleurs que, bien que la température dépasse très largement 19°C, le chauffage continue à fonctionner, ce qui est encourageant pour le potentiel d'économie d'énergie que l'on peut faire en France !

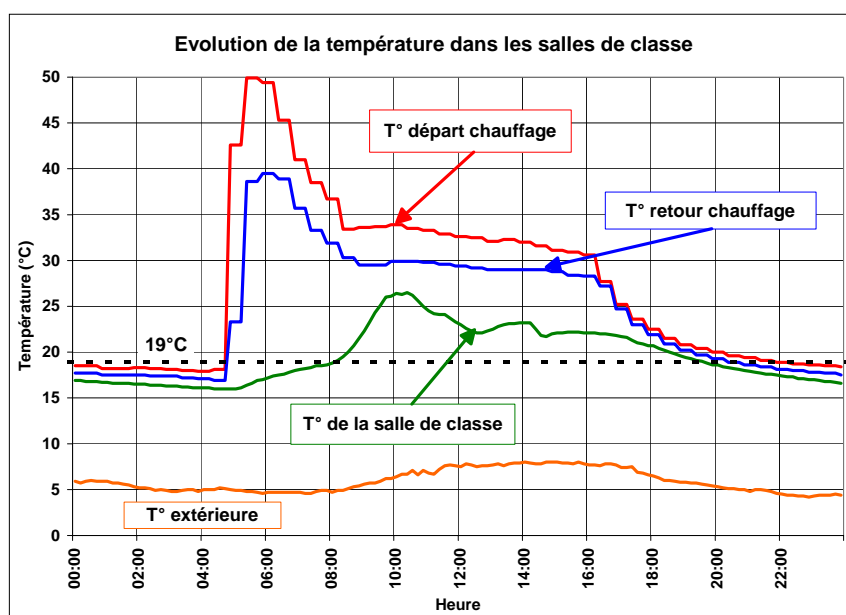


Figure 15 : Lycée à Montpellier - Températures au cours de la journée du 5 février

Cet exemple montre que les apports internes sont surabondants dans une salle de classe. Le chauffage n'est sollicité que pour la remise en température matinale, mais dans la suite de la journée il n'est plus nécessaire dans les salles occupées. Rechercher les apports solaires constitue donc une erreur grave qui va irrémédiablement conduire à des surchauffes, quelle que soit l'inertie envisagée. Il faudra plutôt savoir se protéger efficacement du soleil.

2 - La seconde priorité d'action consiste à réduire par tous les moyens les consommations d'électricité, principale source de chaleur à l'intérieur des locaux. Pour cela il va falloir recourir à des éclairages performants (division par 2 des consommations), et réduire

la consommation de la bureautique, en ne faisant notamment fonctionner les machines que lorsqu'on en a réellement besoin. Rappelons incidemment que l'éclairage représente plus de la moitié de la consommation électrique d'un lycée....

Cet éclairage sur le rôle essentiel de la MDE (Maîtrise de la Demande d'Electricité) dans la réalisation du confort en climat méditerranéen est intéressant. Il devrait peut-être permettre de consentir certains surinvestissements marginaux qui ne sont pas acceptés aujourd'hui lorsqu'il s'agit de ne faire que de la MDE.

## **Conclusion générale**

Au regard du confort estival, la situation des bâtiments actuels (très performants sur le plan thermique) en zone méditerranéenne est aujourd'hui assez critique. La croissance importante des apports internes les amène à des situations de rupture dans lesquelles on ne peut plus assurer le confort que par le biais de la climatisation.

Dans ce contexte, l'inertie thermique a un rôle important à jouer. Elle doit impérativement être réhabilitée. Mais elle ne suffira pas à elle seule pour résoudre le problème. Il faut :

- partir en guerre contre les bâtiments survitrés ou mal protégés du soleil. Ils sont pourtant à la mode...

- réduire massivement les consommations internes d'électricité, source principale des surchauffes ■