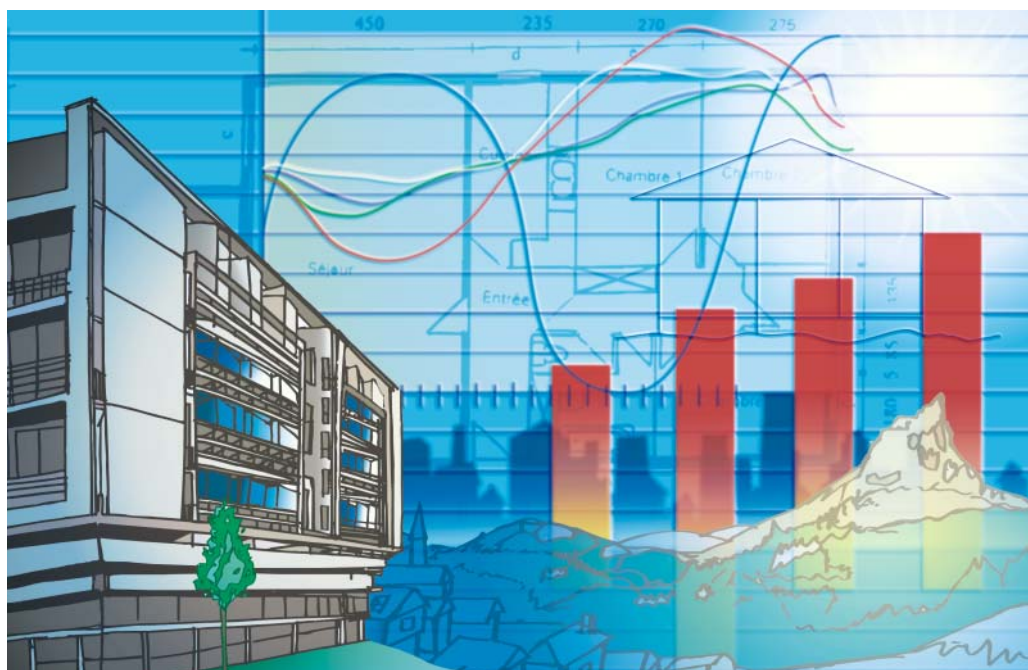


## INERTIE THERMIQUE DES LOGEMENTS ET CONFORT D'ÉTÉ

### Étude de sensibilité



# INERTIE THERMIQUE DES LOGEMENTS ET CONFORT D'ÉTÉ

Étude de sensibilité  
réalisée par   
*Le futur en construction*

# Avant-propos

● Une trop forte chaleur à l'intérieur d'une habitation est un facteur d'inconfort important. Si cela est souvent vécu comme une fatalité, la demande d'un environnement climatique intérieur maîtrisé, tout au long de l'année, est pourtant de plus en plus forte chez les usagers. Leur attente est d'ailleurs rejointe par les Pouvoirs publics car la RT 2000 (réglementation thermique 2000) prend en compte le confort d'été dans les bâtiments. Le béton – matériau lourd – présente une très forte inertie thermique qui apporte aux maîtres d'œuvre une réponse constructive, pour réaliser des habitations bien conçues en matière de confort thermique d'été.

L'étude effectuée par le CSTB à la demande de CIMBÉTON évalue l'impact de l'inertie thermique des bâtiments résidentiels sur le confort d'été. Il en ressort un ensemble d'informations permettant de concevoir des édifices qui présentent une inertie évitant les surchauffes et favorisant le confort d'été.

# Sommaire

---

● I - Facteurs essentiels du confort et apports du béton	7
<b>1.1 - Impact de l'inertie thermique sur le confort d'été dans l'habitat</b>	9
1.1.1 - Influence de l'inertie du bâtiment sur le confort d'été	9
1.1.2 - Une inertie forte ou très forte favorise le confort d'été	10
<b>1.2 - Les solutions offertes par le béton en matière d'inertie thermique</b>	12
1.2.1 - Planchers haut et bas	12
1.2.2 - Isolation intérieure et extérieure des façades	12
1.2.3 - Cloisonnements intérieurs	13

---

● 2 - Présentation de l'étude de sensibilité	15
<b>2.1 - Le confort thermique en été</b>	16
2.1.1 - Qu'est-ce que le confort thermique d'été ?	16
2.1.2 - Les facteurs du confort thermique d'été	17
2.1.3 - Climatisation mécanique	21
<b>2.2 - Méthodologie</b>	22
<b>2.3 - Résultats</b>	24
2.3.1 - Résultats en confort d'été	24
2.3.2 - Résultats en climatisation mécanique	29

---

● 3 - Annexes	33
<b>3.1 - Résultats de l'étude paramétrique en confort d'été</b>	34
<b>3.2 - Résultats de l'étude paramétrique en dimensionnement de climatisation</b>	37
<b>3.3 - Étude paramétrique</b>	40
3.3.1 - Calculs en confort d'été	40
3.3.2 - Calculs en climatisation mécanique	44
3.3.3 - Inertie des bâtiments et composition des parois	44
<b>3.4 - Plan des logements collectifs et des maisons individuelles</b>	51

---

# Facteurs essentiels du confort et apports du béton

## **1.1 Impact de l'inertie thermique sur le confort d'été dans l'habitat**

- 1.1.1 - Influence de l'inertie du bâtiment sur le confort d'été
- 1.1.2 - Une inertie forte ou très forte favorise le confort d'été

## **1.2 Les solutions offertes par le béton en matière d'inertie thermique**

- 1.2.1 - Planchers haut et bas
- 1.2.2 - Isolation intérieure et extérieure des façades
- 1.2.3 - Cloisonnements intérieurs

Nous vivons tous ces chaudes journées d'été pendant lesquelles nous avons le sentiment d'être écrasés par la chaleur sous un soleil qui brille de tous ses feux. Cet inconfort est souvent vécu comme une fatalité, même si la demande d'un environnement climatique intérieur maîtrisé tout au long de l'année se fait aujourd'hui de plus en plus forte, en particulier dans l'habitat. L'attente des usagers en la matière est d'ailleurs rejointe par les pouvoirs publics. En effet, la RT 2000\* (nouvelle réglementation thermique) prend en compte le confort d'été dans les bâtiments. De fait, la recherche du confort thermique d'été et la nécessité d'éviter les surchauffes sont des préoccupations croissantes pour les maîtres d'œuvre. Comme la protection contre le soleil et l'aptitude à la ventilation nocturne, l'inertie thermique de la construction est un des paramètres qui influent sur le confort thermique d'été dans l'habitat. En ce qui concerne les matériaux de construction couramment utilisés, l'inertie thermique d'un bâtiment se juge en première approximation par la masse interne de matériau mis en œuvre. Plus celle-ci est importante, plus l'inertie est forte. La composition des parois verticales et horizontales participe donc explicitement à la plus ou moins forte inertie d'une habitation, qu'il s'agisse d'une maison individuelle ou d'un logement collectif. Les schémas suivants présentent différents degrés d'inertie thermique obtenus en fonction de la nature des parois, dans le cas d'une maison individuelle isolée à rez-de-chaussée sur vide sanitaire, et dans le cas d'un logement dans un immeuble collectif.

### Maisons individuelles

Inertie très faible

**Plancher bas** : plancher bois, isolant, lame d'air, plâtre.  
**Plafond** : plâtre, isolant.  
**Mur extérieur** : plâtre, isolant + ossature bois.  
**Refend** : plâtre, ossature bois, plâtre.  
**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.



### Logements collectifs

**Plancher** : moquette, béton, isolant, plâtre.  
**Plafond** : plâtre, isolant, béton, moquette.  
**Mur extérieur** : plâtre, isolant + ossature, parement extérieur.  
**Mur mitoyen** : plâtre, isolant + ossature, plâtre.  
**Refend** : plâtre, ossature, plâtre.  
**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

Inertie très forte

**Plancher bas** : carrelage, mortier, béton, isolant.  
**Plafond** : plâtre, béton, isolant.  
**Mur extérieur** : plâtre, bloc creux, isolant, enduit.  
**Refend** : plâtre, bloc creux, plâtre.  
**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.



**Plancher** : carrelage, mortier, béton, plâtre.  
**Plafond** : plâtre, béton, mortier, carrelage.  
**Mur extérieur** : plâtre, béton, isolant, enduit.  
**Mur mitoyen** : plâtre, béton, plâtre.  
**Refend** : plâtre, béton, plâtre.  
**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

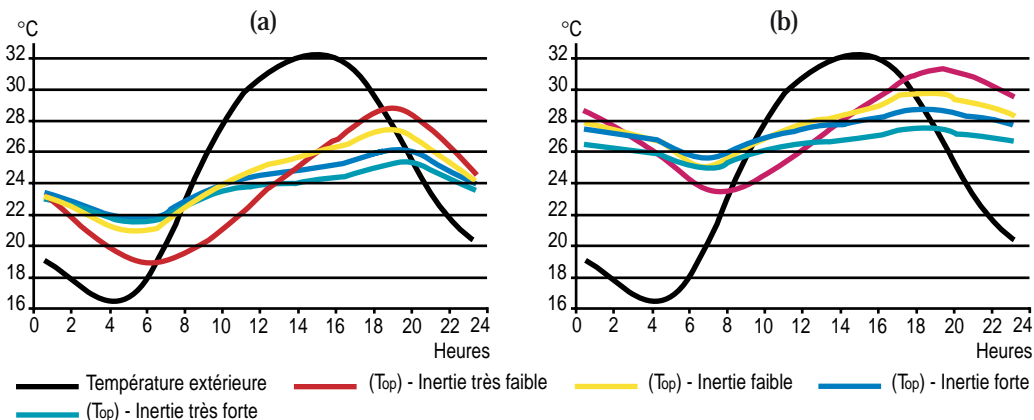
\* « Réglementation thermique 2000. Méthode de référence » publiée au Journal officiel le 30 novembre 2000 et complétée par l'arrêté du 1<sup>er</sup> décembre 2000 explicitant les méthodes de calcul Th-C et Th-E.

# 1.1 Impact de l'inertie thermique sur le confort d'été dans l'habitat

L'inertie thermique joue donc un rôle essentiel dans le confort thermique d'une habitation, comme peuvent le laisser supposer l'intuition du constructeur expérimenté et le bon sens. Pour faire en connaissance de cause des choix constructifs qui améliorent les performances de leurs projets en la matière, les maîtres d'œuvre doivent connaître avec précision l'impact de l'inertie thermique sur le confort d'été. L'étude réalisée par le CSTB à la demande de CIMBÉTON fournit à cet égard un ensemble de données et d'informations concrètes et fondamentales. En voici les points forts à retenir en préambule à l'exposé exhaustif de l'étude.

## 1.1.1 - Influence de l'inertie du bâtiment sur le confort d'été

À travers les deux scénarii de l'étude, la figure A montre l'impact de l'inertie d'un bâtiment considéré sur l'évolution journalière de la température opérative, comparée à la température extérieure. La température opérative ( $T_{op}$ ) correspond à la moyenne de la température de l'air et de la température moyenne des parois. La lecture des courbes met en évidence que plus l'inertie du bâtiment est importante, plus la ( $T_{op}$ ) maximale est faible, et plus la variation de température est également faible. Cela illustre que l'augmentation de l'inertie du bâtiment apporte un réel bénéfice à l'utilisateur.



**Figure A : exemples d'évolution des températures pour un logement collectif (a) et pour une maison individuelle (b).**

### 1.1.2 - Une inertie forte ou très forte favorise le confort d'été

La figure B montre la moyenne des ( $T_{op}$ ) maximales atteintes sur l'ensemble de l'étude ainsi que la moyenne des variations de ( $T_{op}$ ). Considérée par l'usage comme seuil d'inconfort, la température de 27 °C est visualisée. Le schéma met en évidence qu'une inertie forte ou très forte des habitations est favorable au confort d'été, qu'il s'agisse des températures maximales atteintes ou des variations de température entre le jour et la nuit. L'étude montre aussi que la fréquence de dépassement du seuil de 27 °C pour la ( $T_{op}$ ) est d'autant plus importante que l'inertie thermique est faible.

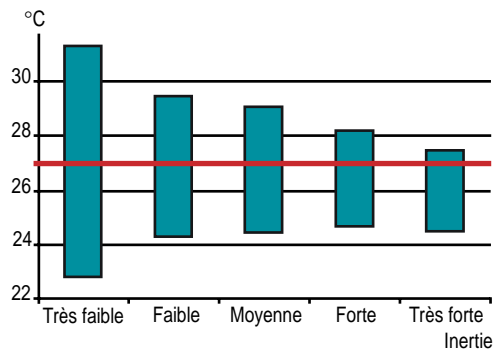
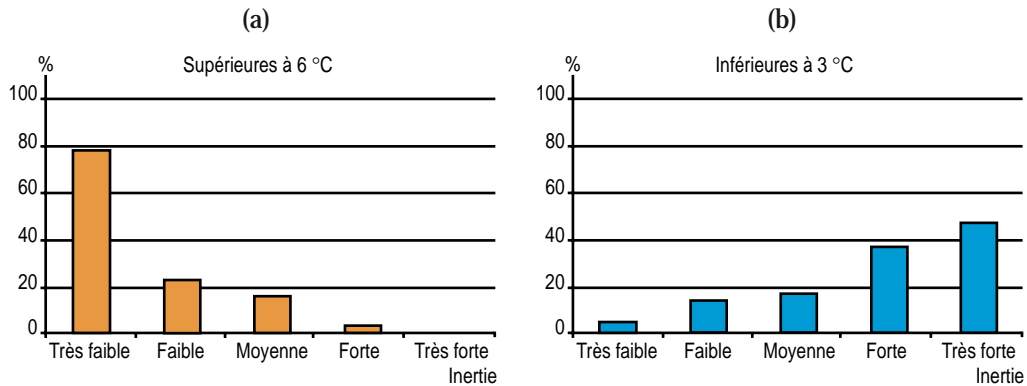


Figure B



L'observation des variations de ( $T_{op}$ ) jour/nuit est elle aussi très instructive en ce qui concerne l'impact de l'inertie thermique du bâtiment. Sur la figure C, en effet, de fortes variations de température jour/nuit apparaissent pour les inerties très faibles et faibles, ce qui a pour conséquence de pénaliser le confort à l'intérieur du logement. Par contre, les inerties fortes et très fortes sont favorables à de faibles variations ( $T_{op}$ ) jour/nuit.



**Figure C**

### **Effets essentiels de l'inertie thermique sur le confort d'été**

L'étude a permis de quantifier l'effet de l'inertie thermique sur le confort d'été. Il en ressort les conclusions suivantes :

- Plus l'inertie thermique de l'habitation augmente, plus la température maximale atteinte est faible et plus les variations de température jour/nuit sont faibles. Ces deux résultats sont particulièrement favorables au confort thermique en été. L'inertie thermique permet donc de lisser les flux thermiques et les températures extrêmes.
- L'utilisation de matériaux lourds, famille à laquelle le béton appartient, contribue à donner au bâtiment une forte inertie. Elle évite les surchauffes et aide à la stabilité de la température.
- Associée aux autres facteurs influant sur la température, et notamment la ventilation nocturne de l'habitation, une bonne inertie permet d'obtenir un bon confort thermique d'été dans la plupart des situations, en stockant la fraîcheur nocturne qui est restituée dans la journée.

## 1.2 Les solutions offertes par le béton en matière d'inertie thermique

Plus la masse interne de matériau mis en œuvre est importante, plus l'inertie thermique est forte. **Le béton, matériau lourd, présente une très forte inertie.** En effet, de par sa masse ( $2\,400\text{ kg/m}^3$ ), le béton est, parmi les matériaux de construction couramment utilisés, l'un des mieux placés en termes d'inertie. Pour le calcul de la masse interne, seule est considérée la masse des matériaux de construction mis en œuvre, comptés de l'intérieur du bâtiment jusqu'à ce que l'on rencontre une couche isolante (lame d'air, isolant). La conception et la composition des parois jouent un rôle primordial dans l'inertie thermique du bâtiment. Pour chaque type de paroi, il faut retenir les points suivants :

### 1.2.1 - Planchers haut et bas

---

L'utilisation de planchers lourds en béton apporte une contribution essentielle à l'inertie d'un bâtiment. C'est une solution usuelle dans l'habitat. Les revêtements de sol (moquette...), cependant, peuvent dégrader cet apport d'inertie.

### 1.2.2 - Isolation intérieure et extérieure des façades

---

Le type d'isolation des façades joue un rôle important sur le niveau de l'inertie thermique d'un bâtiment. L'isolation intérieure d'une façade, contrairement à

l'isolation extérieure, ne permet pas de profiter de la masse inerte des matériaux qui la composent. Pour une même composition de paroi, on peut donc obtenir deux inerties différentes selon la position de l'isolant.

### 1.2.3 - Cloisonnements intérieurs

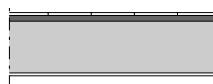
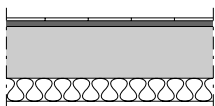
Les parois verticales intérieures aux logements et entre logements (cloisons, refends, murs mitoyens) peuvent contribuer à l'inertie, en fonction de leur surface. Des cloisons maçonnées peuvent ainsi constituer un complément d'inertie sensible, en particulier lorsque les autres parois présentent une inertie faible.

**Le béton offre aux maîtres d'œuvre une réponse constructive performante pour réaliser des habitations bien conçues en matière de confort thermique d'été, comme le montrent les différents exemples suivants de parois à forte inertie thermique.**

#### Maisons individuelles

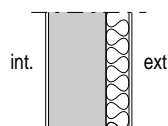
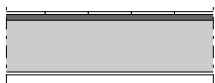
#### Logements collectifs

**Plancher bas (en cm) :**  
carrelage (1), mortier (2),  
béton (18), isolant (8).



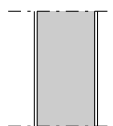
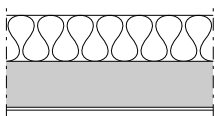
**Plancher/plafond (en cm) :**  
carrelage (1), mortier (2),  
béton (18), plâtre (8).

**Plancher intermédiaire (en cm) :**  
carrelage (1), mortier (2),  
béton (18), plâtre (1).



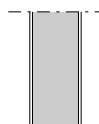
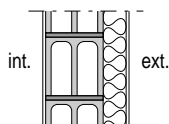
**Mur extérieur (en cm) :**  
plâtre (1), béton (20),  
isolant (8), enduit (1).

**Plancher haut (en cm) :**  
plâtre (1), béton (16),  
isolant (16).



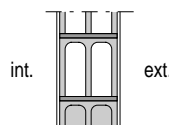
**Mur mitoyen (en cm) :**  
plâtre (1), béton (20),  
plâtre (1)

**Mur extérieur (en cm) :**  
plâtre (1), bloc creux béton (20),  
isolant (8), enduit (1,5).



**Refend (en cm) :**  
plâtre (1), béton (16),  
plâtre(1).

**Refend (en cm) :**  
plâtre (1), bloc creux béton (20),  
plâtre (1).



Echelle 5cm/m

Chapitre

# 2

## Présentation de l'étude de sensibilité

### **2.1 Le confort thermique en été**

- 2.1.1 - Qu'est-ce que le confort thermique d'été ?
- 2.1.2 - Les facteurs du confort thermique d'été
- 2.1.3 - Climatisation mécanique

### **2.2 Méthodologie**

### **2.3 Résultats**

- 2.3.1 - Résultats en confort d'été
- 2.3.2 - Résultats en climatisation mécanique

Les types de constructions existants ou en cours de développement dans le secteur de l'habitat correspondent à des caractéristiques d'inertie – et donc de confort d'été – pouvant varier sensiblement. Cette étude paramétrique en confort d'été a donc été réalisée sur des habitations types pour plusieurs techniques constructives (constructions actuellement courantes, à inertie renforcée, à inertie faible), afin de juger de l'impact de l'inertie thermique des bâtiments résidentiels sur le confort d'été.

Dans la suite de ce document, le lecteur trouvera explicitées la méthodologie employée, l'étude paramétrique effectuée et les données nécessaires au calcul. L'ouvrage fournit les résultats de l'étude paramétrique pour l'ensemble des habitations testées, ainsi qu'une analyse des résultats obtenus.

## 2.1 Le confort thermique en été

### 2.1.1 - Qu'est-ce que le confort thermique d'été ?

---

L'inconfort ressenti en été dans une habitation est principalement la conséquence de l'irradiation solaire du bâtiment. Il est en général possible d'obtenir un confort satisfaisant dans les bâtiments résidentiels en été en jouant seulement sur la conception du bâtiment (inertie thermique, protection solaire, exposition des façades) et sur la gestion de la ventilation.

Le niveau de confort ou d'inconfort thermique en été est principalement déterminé par la température opérative (voir encadré) atteinte dans un bâtiment, calculée tout au long d'un jour chaud de référence, lui-même fonction de la situation géographique considérée. Le confort obtenu dans un logement est alors évalué sur la base de la température opérative des trois heures les plus chaudes de ce jour.

## TEMPÉRATURE OPÉRATIVE

Pour définir le niveau de confort thermique, on retient en général les paramètres de température d'air ( $T_{\text{air}}$ ) et de température moyenne des parois (température radiante moyenne :  $T_{\text{rm}}$ ). La température opérative ( $T_{\text{op}}$ ) correspond à la moyenne de la température de l'air et de la température moyenne des parois :

$$T_{\text{op}} = \frac{1}{2} (T_{\text{air}} + T_{\text{rm}})$$

Elle donne une meilleure indication que la température d'air sur le confort thermique ressenti par l'occupant.

Une autre caractéristique du confort thermique en été est la différence de température obtenue entre le jour et la nuit. Une trop forte variation de température, en effet, n'est pas favorable au confort thermique. Cela nécessite par exemple de modifier sa vêtue en fin de nuit s'il fait trop frais.

Un habitat bien conçu par rapport à la problématique du confort thermique d'été doit donc être apte à minimiser la température maximale atteinte dans la journée, mais aussi à empêcher de trop fortes variations de température entre le jour et la nuit afin de ne pas rencontrer une température trop fraîche en fin de nuit.

### 2.1.2 - Les facteurs du confort thermique d'été

---

Le confort thermique dans l'habitat en été est déterminé par trois facteurs :

- la protection contre le soleil ;
- l'aptitude à la ventilation nocturne ;
- l'inertie thermique du bâtiment.

En jouant sur ces trois facteurs, il est possible d'atteindre un confort thermique satisfaisant.

### ■ 2.1.2.1 - Protection contre la pénétration du soleil

Les apports solaires sont des apports d'énergie « gratuits » pour un bâtiment. Ils sont en général bénéfiques et donc recherchés en hiver, et au contraire pénalisants en été. Ils constituent les apports d'énergie principaux dans l'habitat en été. Il est donc primordial de les minimiser afin d'éviter les surchauffes de l'environnement intérieur. Pour cela, on peut concevoir un bâtiment avec des masques architecturaux permettant aux façades de ne pas être soumises directement au rayonnement solaire. Cependant, la part principale des apports solaires provient de la transmission par les vitrages. Des protections solaires positionnées sur la face extérieure des vitrages contribuent donc fortement à minimiser les apports solaires, source principale de l'inconfort en été dans l'habitat.

### ■ 2.1.2.2 - Aptitude à la ventilation nocturne

La gestion du confort d'été passe aussi par la possibilité de ventiler avec de l'air frais une habitation. En effet, l'air extérieur permet de rafraîchir un bâtiment à partir du moment où sa température est inférieure à la température du bâtiment. Cette capacité de rafraîchissement d'un bâtiment est en général disponible la nuit.

La ventilation nocturne de l'habitat permet donc de rafraîchir la structure du bâtiment et d'éviter ainsi des surchauffes durant la journée. Ce dernier doit donc permettre de profiter du potentiel de rafraîchissement lié à la ventilation nocturne.

L'aptitude d'un bâtiment à la ventilation nocturne est déterminée à la fois par l'environnement du bâtiment et par la multiexposition des façades. Dans l'habitat, la possibilité de ventiler la nuit ne peut être envisagée que si l'environnement le permet. Ainsi, en zone bruyante (rue à fort trafic, voie ferrée, aéroport...), il n'est pas toujours possible d'ouvrir les fenêtres sans pénaliser le confort acoustique. De la même façon, lorsque le risque d'effraction existe (fenêtres de rez-de-chaussée non barreaudées en milieu urbain...), il est également impossible de maintenir les fenêtres ouvertes la nuit. La multiexposition des façades permet d'obtenir des débits de renouvellement de l'air – et donc un rafraîchissement – plus importants dans le bâtiment.

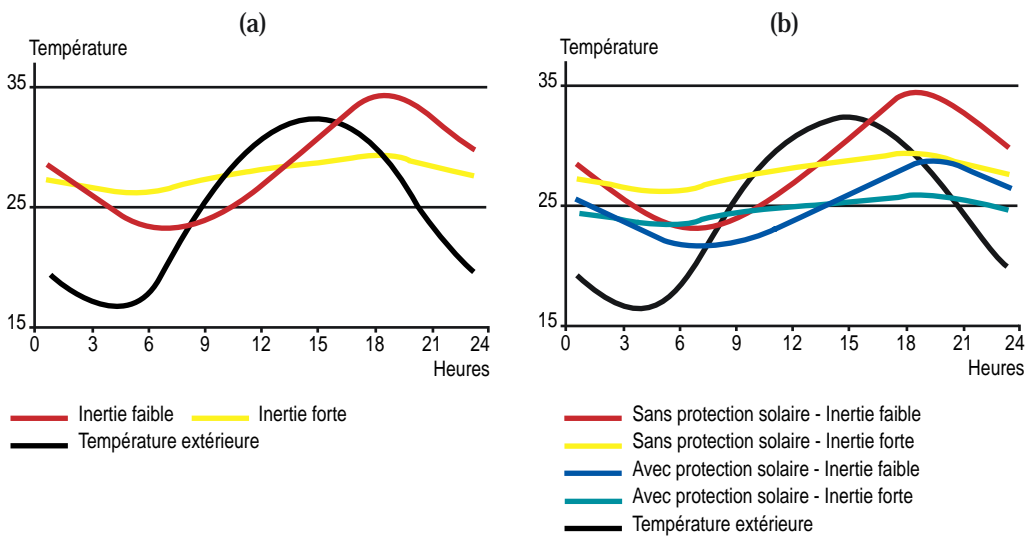
### ■ 2.1.2.3 - Inertie thermique du bâtiment

L'inertie thermique d'un matériau correspond à sa capacité à accumuler puis à restituer un flux thermique chaud ou froid. Cette capacité d'accumulation est d'autant plus importante – et par conséquent la restitution au fil du temps du flux thermique est d'autant plus lissée – que le matériau est inerte.

On comprend alors l'intérêt de l'inertie thermique d'un bâtiment au regard du confort d'été. En effet, pendant la journée, cette inertie permet de stocker l'énergie solaire. L'air et les parois sont alors chauffés moins rapidement.

Pour les matériaux de construction couramment utilisés, l'inertie thermique d'un bâtiment peut se juger en première approximation par la masse interne de matériau mis en œuvre. Plus celle-ci est importante, plus l'inertie est forte. Pour le calcul de cette masse interne, on ne considère que la masse des matériaux de construction mis en œuvre, comptés de l'intérieur du bâtiment jusqu'à ce que l'on rencontre une couche isolante (lame d'air, isolant).

Prise seule, l'inertie thermique permet donc de lisser les flux thermiques chauds et donc les pics de température (figure 1a).



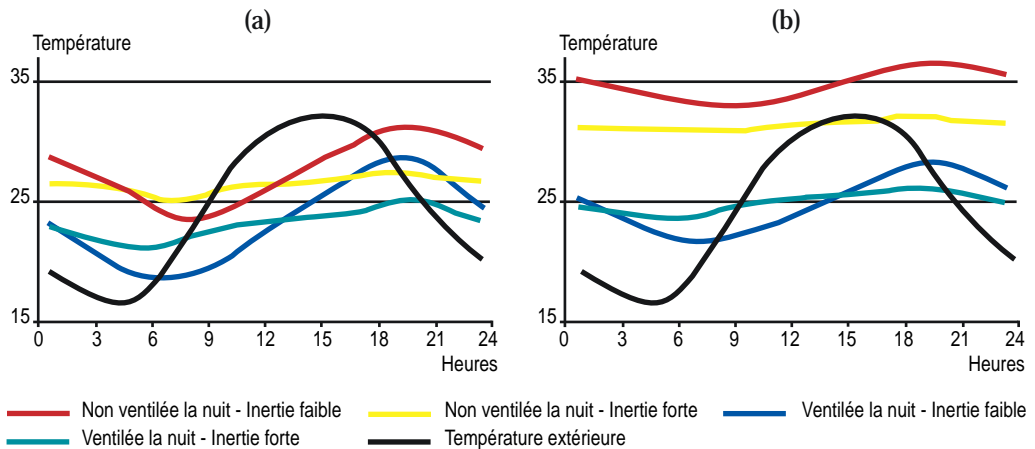
**Figure 1 : exemples d'évolution journalière de la ( $T_p$ ) pour une maison individuelle :**  
(a) : influence de l'inertie thermique ;  
(b) : influence de l'inertie thermique associée à une bonne protection solaire.

Associée aux autres facteurs, elle permet d'obtenir un bon confort thermique d'été. La figure 1b montre l'influence des protections solaires sur les températures atteintes au cours de la journée pour une maison individuelle à inertie thermique faible, puis forte.



D'autre part, la thermique d'été pose un problème particulier : la température maximale du bâtiment est atteinte durant la journée, alors que la capacité de rafraîchissement est disponible la nuit par la ventilation nocturne. Un bâtiment inerte, associé à une gestion de la ventilation nocturne, est alors plus apte à stocker la fraîcheur nocturne qu'il restitue la journée, qu'un bâtiment de faible inertie. Une forte inertie contribue donc à éviter les surchauffes la journée et à tendre vers un meilleur confort thermique.

À titre d'illustration, la figure 2 compare, pour une situation donnée, l'influence de l'inertie sur l'évolution de la température intérieure pour deux habitations (logement collectif et maison individuelle) non ventilées la nuit, puis ventilées la nuit.



## RÔLE DES PAROIS DANS L'INERTIE THERMIQUE D'UN BÂTIMENT

### **Planchers haut et bas**

L'utilisation de planchers lourds en béton apporte une contribution essentielle à l'inertie d'un bâtiment. C'est une solution usuelle dans l'habitat. Les revêtements de sol (moquette...), cependant, peuvent dégrader cet apport d'inertie.

### **Isolation intérieure et extérieure des façades**

Le type d'isolation des façades joue un rôle important sur le niveau de l'inertie thermique d'un bâtiment. L'isolation intérieure d'une façade, contrairement à l'isolation extérieure, ne permet pas de profiter de la masse inerte des matériaux qui la composent. Pour une même composition de paroi, on peut donc obtenir deux inerties différentes selon la position de l'isolant.

### **Cloisonnements intérieurs**

Les parois verticales intérieures au logement et entre logements (cloisons, refends, murs mitoyens) peuvent contribuer à l'inertie en fonction de leur surface. Des cloisons maçonnées peuvent ainsi constituer un complément d'inertie sensible, en particulier lorsque les autres parois sont d'inertie faible.

## **2.1.3 - Climatisation mécanique**

---

Actuellement, la climatisation mécanique n'est que faiblement développée dans l'habitat en France. On note cependant une croissance dans l'intérêt qu'elle suscite. Son installation se fait en général une fois le bâtiment construit. Toutefois, sa maîtrise dépend de la qualité du bâti. On comprend alors l'intérêt d'une bonne conception du bâtiment au regard des trois paramètres cités précédemment (protection solaire, ventilation nocturne, inertie thermique) afin de minimiser le dimensionnement du système de climatisation à installer. Dans ce cadre, l'inertie thermique de l'habitation est favorable au maintien d'une ( $T_{op}$ ) stabilisée et donc à un meilleur confort thermique.

## 2.2 Méthodologie

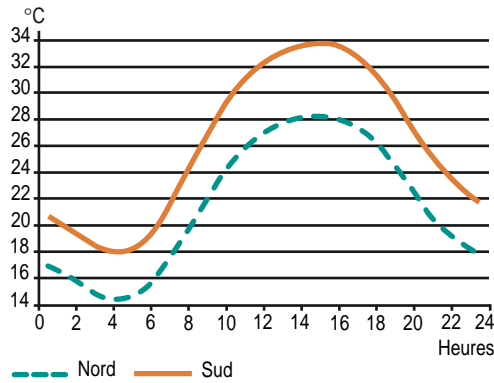
Afin de juger de l'impact de l'inertie thermique des bâtiments résidentiels sur le confort d'été, une étude paramétrique sur des habitations types pour plusieurs techniques constructives (constructions actuellement courantes, à inertie renforcée, à inertie faible) a été réalisée à l'aide du logiciel COMET de calcul de thermique d'été pour les bâtiments résidentiels conçu par le CSTB (voir annexe C). La méthode associée à ce logiciel suit la procédure de validation du projet de norme européen du TC89WG6 sur les performances thermiques des bâtiments en été sans système de climatisation. Ce logiciel, basé sur une méthode de simulation par analogie électrique, permet de calculer les températures d'air et opérative atteintes le long d'un jour chaud de base (dépassé statistiquement 5 jours par an) dans l'habitat résidentiel (méthode COMETRes).

Une description plus détaillée de l'étude paramétrique est présentée en annexe D, notamment pour la description des types de constructions testés. Les plans des habitations sont joints en annexe E.

Cette étude paramétrique, qui vise à balayer un éventail de situations pour la France métropolitaine, porte sur les points suivants :

- Quatre types d'habitations issues de la typologie du CSTB :
  - deux logements collectifs : Matisse (mono-exposition) et Mondrian (double exposition),
  - deux maisons individuelles : Puccini (maison mitoyenne à étage) et Mozart (maison individuelle en rez-de-chaussée) ;
- Cinq types de structures de construction amenant à tester ces bâtiments pour cinq inerties thermiques : très faible, faible, moyenne, forte et très forte. L'inertie très faible correspond à une structure légère du bâtiment (ossature bois ou métal), alors que les quatre autres structures ont une façade extérieure lourde (béton). Cependant, seule la structure à inertie très forte, grâce à une isolation par l'extérieur, profite de l'inertie de la façade (voir annexe D3) ;

- Deux zones climatiques (nord et sud de la France). Le calcul s'effectue pour un jour chaud de base pour chacune de ces zones. Les données du jour chaud de base correspondent à une évolution journalière de la température extérieure associée à l'ensoleillement ;



**Évolution de la température extérieure dans les zones climatiques Nord et Sud.**

- Deux orientations du bâtiment (nord-est et sud-ouest). Pour les habitations à multiexposition, l'orientation considérée est l'orientation principale du séjour ;
- Deux expositions au bruit (zone bruyante et zone calme), qui détermine l'aptitude de l'habitation à la ventilation nocturne ;
- Deux facteurs solaires de baies (double vitrage classique avec et sans protection solaire).

L'étude paramétrique a également été menée dans le cas d'une climatisation mécanique de l'habitat en vue de son dimensionnement. Pour ce faire, on considère alors qu'il n'y a jamais de ventilation nocturne. Cependant, les scénarios associés n'étant pas validés dans ce cas, les résultats obtenus ne sont à prendre qu'à titre qualitatif.

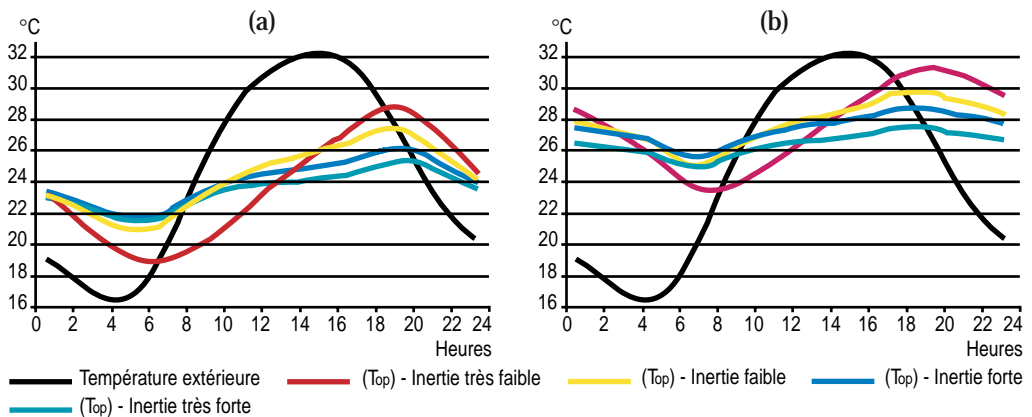
Cette étude comporte donc 400 simulations pour le confort d'été et 200 simulations pour la climatisation mécanique.

## 2.3 Résultats

### 2.3.1 - Résultats en confort d'été

Dans ce chapitre, les résultats sont analysés en se focalisant sur l'impact de l'inertie sur le confort d'été au travers de l'ensemble de l'étude paramétrique.

Dans un premier temps, deux scénarios différents de l'étude paramétrique montrent l'impact de l'inertie d'un bâtiment considéré sur l'évolution journalière de la ( $T_{op}$ ), comparée à la température extérieure (figure 3).



**Figure 3 : exemples d'évolution journalière de la ( $T_{op}$ ) pour chaque inertie de bâtiment, comparée à la température extérieure :**  
 (a) : logement collectif Mondrian, zone Sud et calme avec protection solaire ;  
 (b) : maison individuelle Mozart, zone Sud et bruyante avec protection solaire.

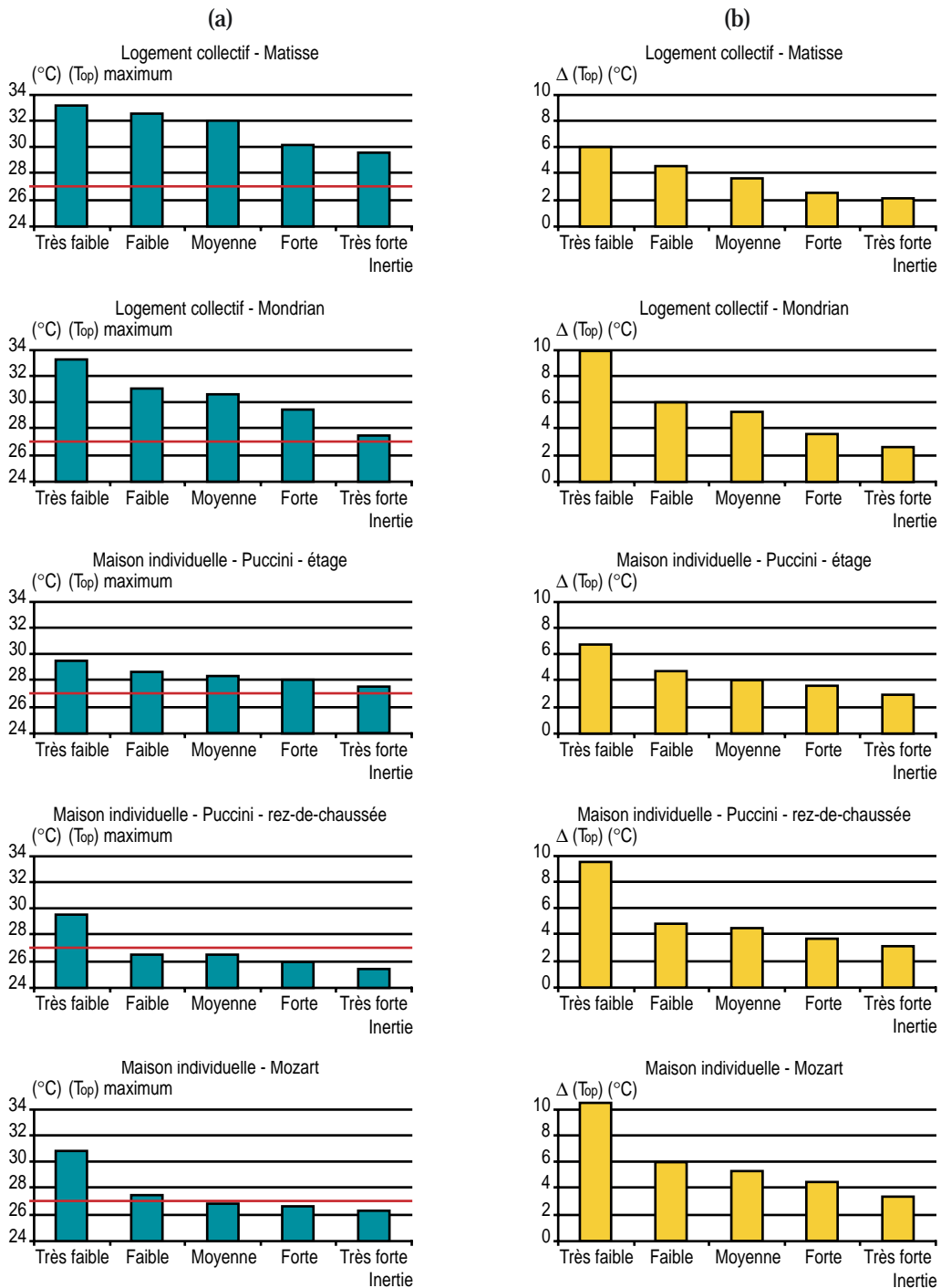
Ces illustrations montrent l'effet bénéfique de l'augmentation de l'inertie du bâtiment sur le confort thermique. En effet, plus l'inertie du bâtiment est importante, plus la température maximale atteinte est faible et plus la variation de température est également faible.

L'analyse porte sur les ( $T_{op}$ ) maximales atteintes ainsi que sur les variations jour/nuit de la ( $T_{op}$ ). Ce sont en effet les paramètres qui vont déterminer le confort thermique.

La limite des 27 °C est visualisée comme seuil d'inconfort

Températures maximales

Variations de température jour/nuit

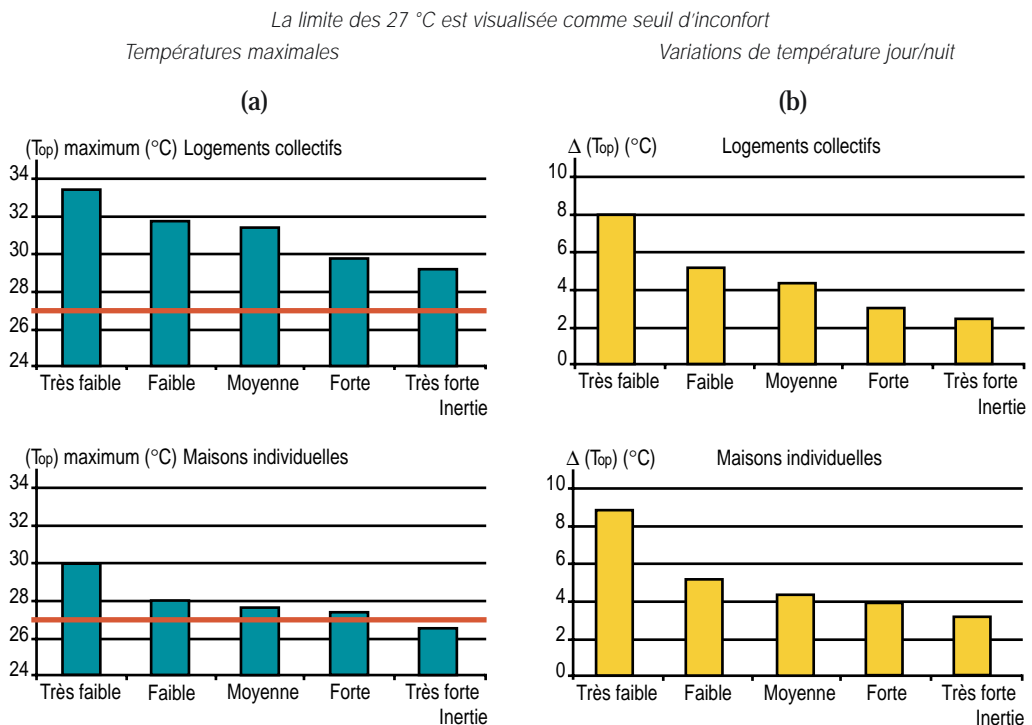


**Figure 4 :**

- (a) moyenne des  $(T_{op})$  maximales atteintes par type d'habitation et pour chaque type d'inertie ;
- (b) moyenne des variations de  $(T_{op})$  par type d'habitation et pour chaque type d'inertie.

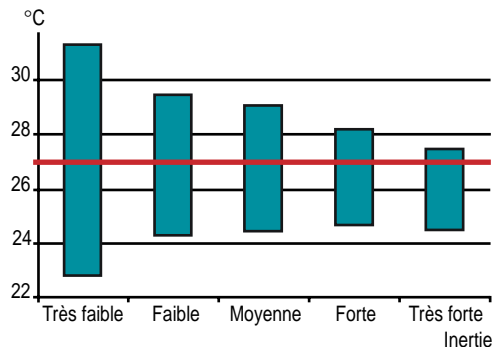
Dans les graphiques précédents sur l'analyse des ( $T_{op}$ ) maximales atteintes, la limite des 27 °C est visualisée. On considère en effet, de façon empirique, qu'à partir de 27 °C, le confort thermique dans l'habitat commence à se dégrader. La figure 4 montre les ( $T_{op}$ ) maximales atteintes par type d'habitation et pour chaque type d'inertie, ainsi que les variations de ( $T_{op}$ ) atteintes, « moyennées » sur l'ensemble des cas de l'étude paramétrique.

Plus l'inertie de l'habitation augmente, plus la température maximale atteinte est faible et plus les variations jour/nuit sont également faibles. On s'aperçoit aussi que le confort thermique est plus facilement obtenu dans les maisons individuelles que dans les logements collectifs. La figure 5 montre les mêmes résultats « moyennés » pour les logements collectifs d'une part et les maisons individuelles d'autre part.



**Figure 5 :**  
 (a) moyenne des ( $T_{op}$ ) maximales pour les logements collectifs et pour les maisons individuelles, et pour chaque type d'inertie ;  
 (b) moyenne des variations de ( $T_{op}$ ) pour les logements collectifs et pour les maisons individuelles, et pour chaque type d'inertie.

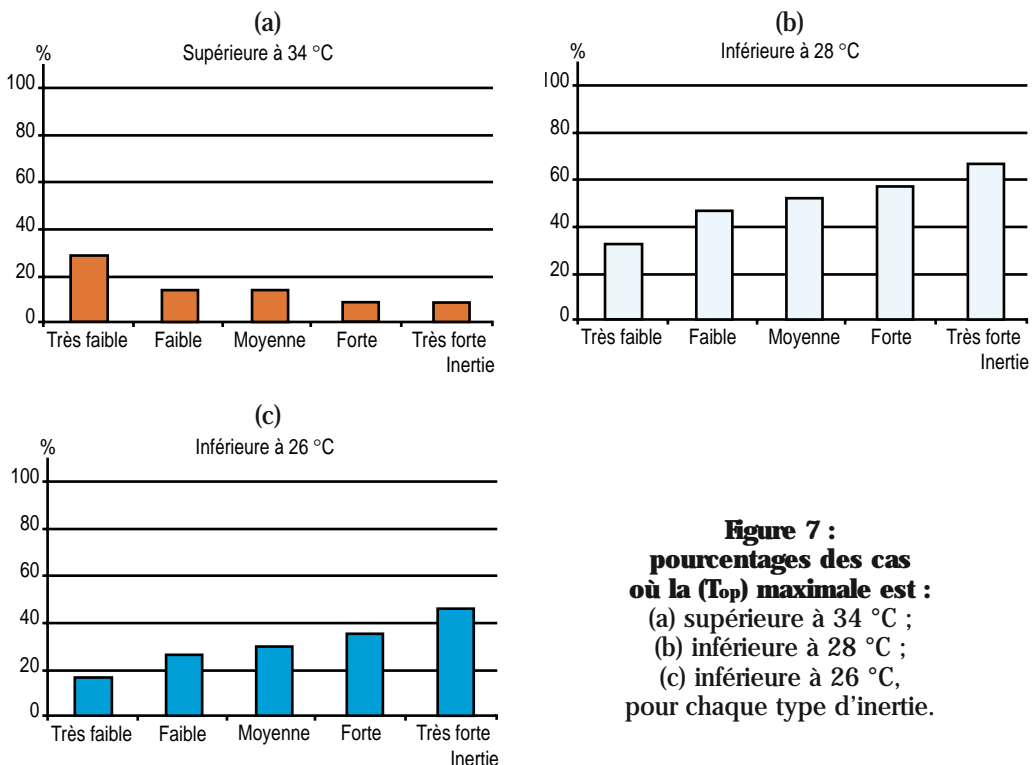
Une présentation plus synthétique peut être faite en globalisant les résultats sur l'ensemble des habitations testées. La figure 6 montre la moyenne des ( $T_{op}$ ) maximales atteintes sur l'ensemble de l'étude paramétrique ainsi que la moyenne des variations de ( $T_{op}$ ).



**Figure 6 :**  
moyenne des ( $T_{op}$ ) maximales atteintes et moyenne des variations de ( $T_{op}$ ) pour l'ensemble de l'étude paramétrique et par type d'inertie.

L'intérêt de l'inertie des habitations sur le confort d'été au regard des températures maximales atteintes et des variations de température jour/nuit apparaît ici clairement.

L'analyse peut être affinée afin de faire ressortir les cas où le confort d'été est obtenu et où les inconforts d'été sont nettement caractérisés. La figure 7 présente les occurrences de ( $T_{op}$ ) maximale.

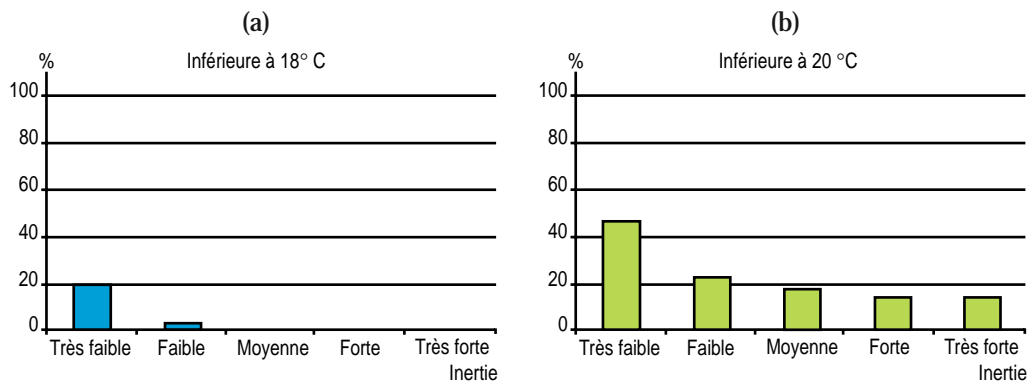


**Figure 7 :**  
pourcentages des cas où la ( $T_{op}$ ) maximale est :  
(a) supérieure à 34 °C ;  
(b) inférieure à 28 °C ;  
(c) inférieure à 26 °C,  
pour chaque type d'inertie.



Plus l'inertie thermique est forte, plus l'obtention du confort thermique [ $T_{op}$  maximale inférieure à 27 °C et même à 26 °C] est fréquente. Les températures maximales supérieures à 34 °C correspondent en général à des situations en zone bruyante où les hypothèses de scénarii (pas d'ouverture des fenêtres la nuit) ne seront plus respectées dans la réalité par les occupants. En effet, ces derniers préféreront a priori dégrader leur confort acoustique afin de rafraîchir leur logement. Le compromis entre confort thermique et confort acoustique est donc impossible dans ces cas.

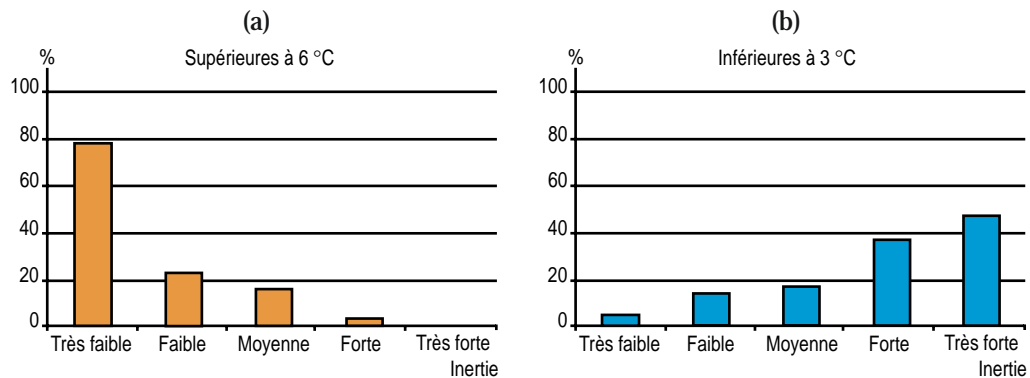
La figure 8 présente les occurrences de ( $T_{op}$ ) minimale.



**Figure 8 : pourcentages des cas où la ( $T_{op}$ ) minimum est :**  
 (a) inférieure à 18 °C ;  
 (b) inférieure à 20 °C, pour chaque type d'inertie.

Les températures minimales inférieures à 18 °C et même à 20 °C correspondent à des cas où la ventilation nocturne est forte. Ces températures, obtenues en fin de nuit, sont trop faibles pour être confortables en été car les températures en début de nuit sont élevées et la vêtue des occupants légère. Ces derniers sont donc, dans la réalité, soit obligés de se lever la nuit pour fermer les fenêtres, soit astreints à dormir fenêtres moins ouvertes, ce qui pénalise leur confort en début de nuit mais aussi leur confort diurne à venir. Il ressort clairement, à travers cette figure, que plus l'inertie thermique est faible et plus les deux situations décrites ci-dessus sont fréquentes.

La figure 9 présente les occurrences des variations de ( $T_{op}$ ) jour/nuit.



**Figure 9 : pourcentages des cas où les variations de température jour/nuit sont :**  
 (a) supérieures à 6 °C ;  
 (b) inférieures à 3 °C, pour chaque type d'inertie.

Les variations de ( $T_{op}$ ) permettent de mettre nettement en évidence l'impact de l'inertie thermique du bâtiment. La lecture des deux graphiques montre que pour les inerties très faible et faible, de fortes variations jour/nuit apparaissent, pénalisant ainsi le confort obtenu. Par contre, les inerties forte et très forte sont favorables à de faibles variations de ( $T_{op}$ ) jour/nuit.

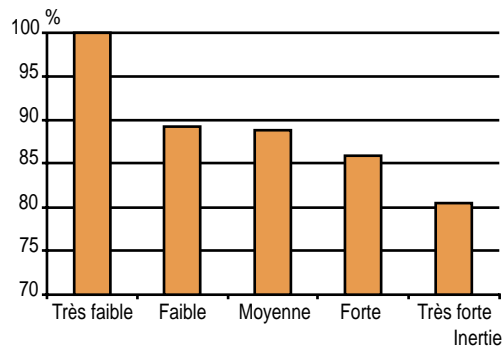
### 2.3.2 - Résultats en climatisation mécanique

Pour cette étude, on considère qu'il n'y a jamais de ventilation nocturne. Cependant, les scénarios de comportement associés à la gestion de la climatisation et de la ventilation n'étant pas validés dans ce cas, les résultats obtenus ne sont à prendre qu'à titre qualitatif.

Le calcul en climatisation mécanique est réalisé sur les mêmes jours chauds de base, avec une régulation de la température de l'air à l'intérieur afin qu'elle ne dépasse pas 26 °C.

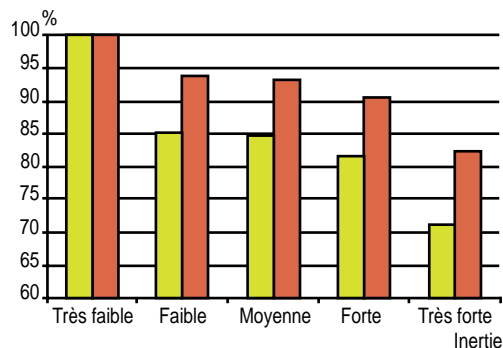
L'analyse ci-dessous porte sur la puissance maximale requise. Celle-ci correspond à la puissance maximale qu'il a été nécessaire de fournir à un moment de la journée afin que la température de l'air dans l'habitation ne dépasse pas 26 °C. Ce principe de calcul permet de dimensionner le système de climatisation à mettre en œuvre dans une habitation donnée et pour des conditions environnementales données, mais ne donne pas d'indications précises sur les consommations réelles d'énergie.

La figure 10 montre le gain obtenu sur la puissance maximale requise en augmentant l'inertie de l'habitation, sur la base du résultat obtenu avec une inertie très faible, pour l'ensemble de l'étude paramétrique. Plus l'inertie thermique est forte, plus la puissance maximale requise pour le maintien de la température de l'air inférieure à 26 °C est faible.



**Figure 10 : gain obtenu sur la puissance maximale requise, sur la base du résultat obtenu avec l'inertie très faible, pour l'ensemble de l'étude paramétrique.**

Pour une bonne conception de l'habitation, il est préférable de la protéger convenablement contre le soleil lorsque l'on souhaite la climatiser. Il est donc intéressant d'affiner ce résultat en présentant le même graphique pour la zone Sud et la zone Nord lorsque les bâtiments disposent d'une protection solaire (figure 11).

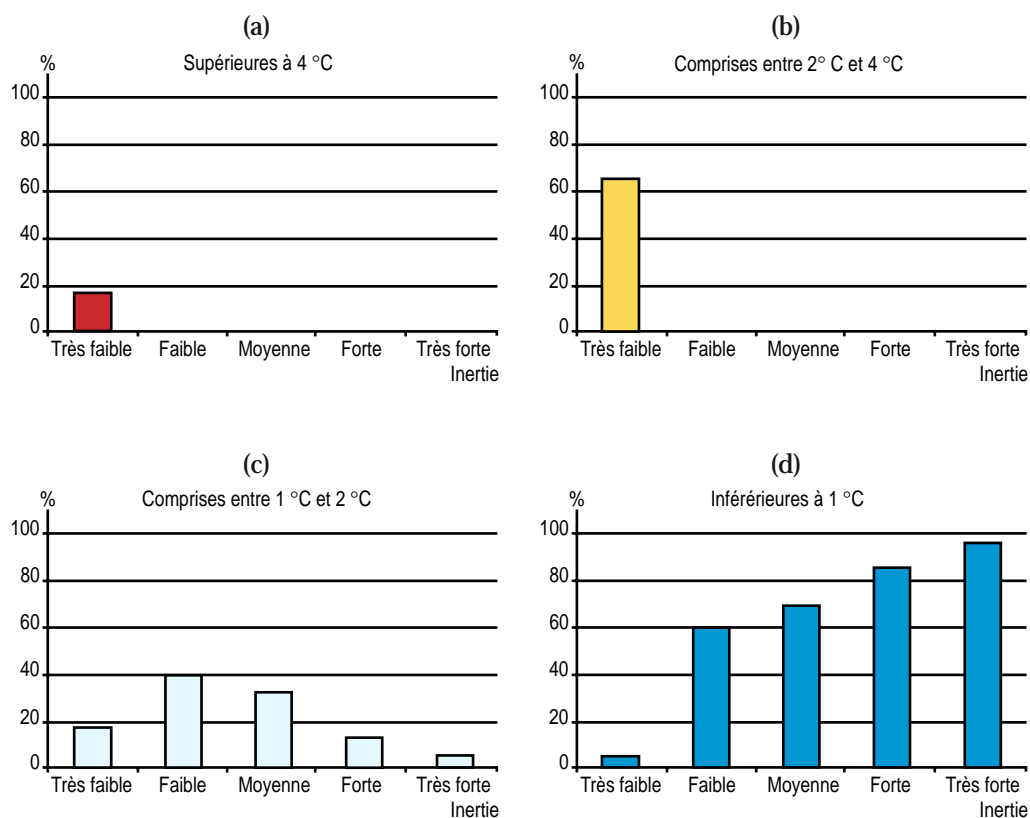


**Figure 11 : gain obtenu sur la puissance maximale requise, sur la base du résultat obtenu avec une inertie très faible.**

— Climat Nord - Avec protection solaire — Climat Sud - Avec protection solaire

On s'aperçoit alors que le gain relatif en dimensionnement de la climatisation est plus important en zone Nord qu'en zone Sud lorsque l'on augmente l'inertie thermique du bâtiment.

Le système de climatisation impose en général une régulation sur la température de l'air intérieur, qui dans notre cas ne dépasse donc pas 26 °C. La ( $T_{op}$ ), qui représente mieux le confort thermique ressenti, peut être amenée à dépasser 26 °C, car elle dépend de la température d'air mais aussi de la température des parois. Elle subit en tout cas une variation jour/nuit plus ou moins importante en fonction de l'inertie thermique du bâtiment (figure 12).



**Figure 12 : pourcentages des cas où les variations de température jour/nuit sont :**

- (a) supérieures à 4 °C ;
- (b) comprises entre 2 °C et 4 °C ;
- (c) comprises entre 1 °C et 2 °C ;
- (d) inférieures à 1 °C, pour chaque type d'inertie.

Pour les inerties très faibles, les figures 12a et 12b font ressortir des variations jour/nuit pénalisant le confort obtenu. Par contre, les inerties forte et très forte sont favorables à de faibles variations de ( $T_{op}$ ) jour/nuit, comme le montre la figure 12d.

# Conclusion

La recherche du confort thermique en été constitue un élément de préoccupation croissant pour les concepteurs ainsi que pour les habitants des logements. Il est principalement la conséquence de l'irradiation solaire du bâtiment. Il est en général possible d'obtenir un confort satisfaisant dans les bâtiments résidentiels en été en jouant seulement sur la conception du bâtiment (inertie thermique, protections solaires, exposition des façades) et sur la gestion de la ventilation. Un habitat bien conçu par rapport à la problématique du confort thermique d'été doit donc être non seulement apte à minimiser la température maximale atteinte dans la journée, mais aussi à empêcher de trop fortes variations de température entre le jour et la nuit pour ne pas obtenir une température trop fraîche en fin de nuit.

Dans ce contexte, l'inertie thermique permet de lisser les flux thermiques et donc les températures extrêmes. Associée aux autres facteurs et notamment à la ventilation nocturne de l'habitat, elle permet d'obtenir un bon confort thermique d'été dans la majeure partie des cas, en stockant la fraîcheur nocturne qui sera restituée pendant la journée.

L'étude de sensibilité en confort d'été réalisée montre ainsi que plus l'inertie de l'habitation augmente, plus la température maximale atteinte est faible et plus les variations jour/nuit sont également faibles, éléments favorables au confort thermique en été.

La climatisation mécanique n'est actuellement que faiblement développée en France dans l'habitat. On note cependant une croissance de l'intérêt de la climatisation dans l'habitat. Sa maîtrise dépend de la qualité du bâti. On comprend alors l'intérêt d'une bonne conception du bâtiment au regard du confort d'été afin de minimiser le dimensionnement du système de climatisation à installer et la consommation d'énergie induite par son fonctionnement.

L'étude de sensibilité en climatisation mécanique montre que l'inertie thermique permet de diminuer la puissance de la climatisation à installer dans un bâtiment. Elle est également favorable au maintien d'une ( $T_{op}$ ) stabilisée.

# Annexes

## **3.1 Résultats de l'étude paramétrique en confort d'été**

## **3.2 Résultats de l'étude paramétrique en dimensionnement de climatisation**

## **3.3 Étude paramétrique**

3.3.1 - Calculs en confort d'été

3.3.2 - Calculs en climatisation mécanique

3.3.3 - Inertie des bâtiments et composition des parois

## **3.4 Plan des logements collectifs et des maisons individuelles**

# 3.1 Résultats de l'étude paramétrique en confort d'été

À titre d'exemple, pour illustrer les calculs effectués, les tableaux A1, A2, A3 et A4 présentent les (T<sub>op</sub>) maximale, minimale, moyenne et variations de température dans la maison individuelle Mozart. Ils montrent l'influence des différents paramètres pris en compte (zone climatique, présence ou absence de protection solaire, orientation, etc.) dans la mesure des températures. Des tableaux similaires, non reproduits dans ce document, ont été établis pour chaque type de logement étudié.

**Tableau A1 : (T<sub>op</sub>) maximale**

<i>Maison individuelle Mozart - confort d'été (T<sub>op</sub>) maximale (lissée sur 3 heures)</i>																	
<i>Zone climatique</i>		<i>Nord (Ea intérieur)</i>								<i>Sud (Ed intérieure)</i>							
<i>Exposition au bruit</i>		<i>Calme</i>				<i>Bryant</i>				<i>Calme</i>			<i>Bryant</i>				
<i>Protection solaire des baies</i>		<i>Avec</i>		<i>Sans</i>		<i>Avec</i>		<i>Sans</i>		<i>Avec</i>		<i>Sans</i>		<i>Avec</i>		<i>Sans</i>	
<i>Orientation</i>		<i>NE</i>	<i>SO</i>	<i>NE</i>	<i>SO</i>	<i>NE</i>	<i>SO</i>	<i>NE</i>	<i>SO</i>	<i>NE</i>	<i>SO</i>	<i>NE</i>	<i>SO</i>	<i>NE</i>	<i>SO</i>	<i>NE</i>	<i>SO</i>
<i>Inertie</i>	<i>Très faible</i>	24,9	25,4	28,9	31,2	27,0	27,7	32,1	34,9	28,1	28,7	32,2	34,9	30,3	31,2	35,6	39,0
	<i>Faible</i>	23,8	24,0	25,9	27,2	25,8	26,3	29,2	31,0	26,9	27,2	29,0	30,5	29,1	29,6	32,6	34,8
	<i>Moyenne</i>	23,5	23,7	25,4	26,5	25,6	26,0	28,9	30,6	26,5	26,8	28,5	29,8	28,8	29,3	32,2	34,3
	<i>Forte</i>	22,9	23,1	24,6	25,5	25,0	25,4	28,1	29,8	25,9	26,1	27,6	28,7	28,1	28,6	31,4	33,4
	<i>Très forte</i>	22,0	22,2	23,6	24,5	23,7	24,2	27,4	29,2	24,9	25,2	26,6	27,7	26,8	27,3	30,6	32,8

**Tableau A2 : (Top) minimale**

<b>Maison individuelle Mozart - confort d'été (Top) minimale (lissée sur 3 heures)</b>																	
<b>Zone climatique</b>		<b>Nord (Ea intérieur)</b>								<b>Sud (Ed intérieure)</b>							
<b>Exposition au bruit</b>		<b>Calme</b>				<b>Bruyant</b>				<b>Calme</b>			<b>Bruyant</b>				
<b>Protection solaire des baies</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>	
<b>Orientation</b>		<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
<b>Inertie</b>	<b>Très faible</b>	16,2	16,2	16,4	16,5	20,5	20,7	22,6	23,4	18,4	18,4	18,6	18,7	23,1	23,4	25,2	26,3
	<b>Faible</b>	18,0	18,1	18,7	19,0	22,0	22,2	24,2	25,1	20,4	20,5	21,1	21,5	24,8	25,1	27,0	28,1
	<b>Moyenne</b>	18,2	18,2	18,9	19,2	22,1	22,4	24,4	25,4	20,6	20,7	21,4	21,8	25,0	25,3	27,3	28,5
	<b>Forte</b>	18,5	18,6	19,4	19,7	22,3	22,6	24,7	25,8	21,0	21,1	21,9	22,3	25,2	25,5	27,7	28,9
	<b>Très forte</b>	18,3	18,5	19,3	19,8	21,7	22,0	24,6	26,0	20,8	21,0	21,8	22,4	24,5	24,9	27,6	29,2

**Tableau A3 : (Top) moyenne**

<b>Maison individuelle Mozart - confort d'été (Top) moyenne (lissée sur 3 heures)</b>																	
<b>Zone climatique</b>		<b>Nord (Ea intérieur)</b>								<b>Sud (Ed intérieure)</b>							
<b>Exposition au bruit</b>		<b>Calme</b>				<b>Bruyant</b>				<b>Calme</b>			<b>Bruyant</b>				
<b>Protection solaire des baies</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>	
<b>Orientation</b>		<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
<b>Inertie</b>	<b>Très faible</b>	20,2	20,5	22,2	23,1	23,9	24,4	27,6	29,4	22,9	23,2	25,0	26,0	26,9	27,5	30,8	32,9
	<b>Faible</b>	20,9	21,0	22,4	23,1	24,1	24,5	27,0	28,4	23,6	23,8	25,2	26,1	27,2	27,6	30,2	31,9
	<b>Moyenne</b>	20,8	21,0	22,3	23,0	24,1	24,5	27,0	28,4	23,5	23,8	25,1	25,9	27,1	27,6	30,1	31,8
	<b>Forte</b>	20,7	20,9	22,1	22,8	23,8	24,2	26,7	28,1	23,5	23,7	24,9	25,7	26,9	27,3	29,9	31,5
	<b>Très forte</b>	20,1	20,3	21,6	22,3	22,9	23,3	26,3	27,9	22,8	23,1	24,4	25,2	25,8	26,4	29,4	31,4

Ces cas correspondent à des hypothèses de fenêtres fermées en permanence du fait du bruit extérieur qui ne seront pas respectées par les occupants dans la réalité à cause de la température atteinte très élevée (conventionnellement fixée supérieure à 34 °C).

Ces cas correspondent à des hypothèses de ventilation nocturne importante qui ne seront pas respectées dans la réalité du fait de la température minimale atteinte trop fraîche pour le confort nocturne (conventionnellement fixée inférieure à 19 °C).



**Tableau A4 :  $\Delta (T_{op})$  maximale/minimale**

<i>Maison individuelle Mozart - confort d'été <math>\Delta (T_{op})</math> (lissée sur 3 heures)</i>																	
<b>Zone climatique</b>		<b>Nord (Ea intérieure)</b>								<b>Sud (Ed intérieure)</b>							
<b>Exposition au bruit</b>		<b>Calme</b>				<b>Bruyant</b>				<b>Calme</b>				<b>Bruyant</b>			
<b>Protection solaire des baies</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>	
<b>Orientation</b>		<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
<b>Inertie</b>	<b>Très faible</b>	8,8	9,2	12,5	14,7	6,5	7,0	9,6	11,5	9,7	10,3	13,6	16,3	7,1	7,8	10,4	12,8
	<b>Faible</b>	5,8	5,9	7,2	8,2	3,9	4,1	5,1	6,0	6,5	6,7	7,9	9,0	4,2	4,5	5,5	6,6
	<b>Moyenne</b>	5,3	5,5	6,5	7,3	3,5	3,7	4,5	5,3	5,9	6,1	7,1	8,1	3,8	4,1	4,9	5,9
	<b>Forte</b>	4,4	4,5	5,2	5,7	2,6	2,8	3,5	4,0	4,9	5,0	5,7	6,4	2,9	3,1	3,8	4,4
	<b>Très forte</b>	3,7	3,8	4,3	4,8	2,0	2,2	2,8	3,3	4,1	4,2	4,8	5,3	2,2	2,4	3,0	3,6

## 3.2 Résultats de l'étude paramétrique en dimensionnement de climatisation

À titre d'exemple, pour illustrer les calculs effectués, les tableaux B1, B2, B3, B4 et B5 présentent les ( $T_{op}$ ) maximale, minimale, moyenne, variations de température et puissance de climatisation maximale requise dans la maison individuelle Mozart équipée d'une climatisation mécanique. Ils montrent les différents paramètres pris en compte (zone climatique, présence ou absence de protection solaire, orientation, etc.) dans la mesure des températures. Des tableaux similaires, non reproduits dans ce document, ont été établis pour chaque type de logement étudié avec climatisation mécanique.

**Tableau B1 : ( $T_{op}$ ) maximale**

<i>Maison individuelle Mozart - climatisation mécanique (<math>T_{op}</math>) maximale (lissée sur 3 heures)</i>									
<b>Zone climatique</b>		<b>Nord (Ea intérieur)</b>				<b>Sud (Ed intérieure)</b>			
<b>Protection des baies</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>	
<b>Orientation</b>		<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
<b>Inertie</b>	<b>Très faible</b>	26,1	26,3	26,8	27,5	26,5	26,6	27,2	29,3
	<b>Faible</b>	26,0	26,1	26,5	26,8	26,4	26,4	27,0	27,6
	<b>Moyenne</b>	25,9	26,0	26,5	26,8	26,4	26,4	26,9	27,4
	<b>Forte</b>	25,9	26,0	26,4	26,6	26,3	26,4	26,8	27,1
	<b>Très forte</b>	25,5	25,8	26,3	26,5	26,1	26,2	26,6	26,9

**Tableau B2 : (Top) minimale**

<i>Maison individuelle Mozart - climatisation mécanique (Top) minimale (lissée sur 3 heures)</i>									
<b>Zone climatique</b>		<b>Nord (Ea intérieur)</b>				<b>Sud (Ed intérieure)</b>			
<b>Protection des baies</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>	
<b>Orientation</b>		<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
<b>Inertie</b>	<b>Très faible</b>	21,9	21,9	22,3	22,4	23,2	23,1	23,4	23,6
	<b>Faible</b>	24,0	24,1	24,8	25,0	25,2	25,2	25,7	25,8
	<b>Moyenne</b>	24,2	24,2	25,0	25,1	25,3	25,3	25,8	25,9
	<b>Forte</b>	24,6	24,7	25,4	25,6	25,6	25,6	26,0	26,1
	<b>Très forte</b>	24,5	24,8	25,6	25,8	25,6	25,6	26,0	26,1

**Tableau B3 : (Top) moyenne**

<i>Maison individuelle Mozart - climatisation mécanique (Top) moyenne (lissée sur 3 heures)</i>									
<b>Zone climatique</b>		<b>Nord (Ea intérieur)</b>				<b>Sud (Ed intérieure)</b>			
<b>Protection des baies</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>	
<b>Orientation</b>		<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
<b>Inertie</b>	<b>Très faible</b>	24,2	24,3	25,0	25,2	25,1	25,2	25,7	26,4
	<b>Faible</b>	25,1	25,2	25,8	26,0	25,9	25,9	26,3	26,6
	<b>Moyenne</b>	25,1	25,3	25,9	26,1	25,9	26,0	26,4	26,6
	<b>Forte</b>	25,3	25,4	26,0	26,2	26,0	26,1	26,4	26,5
	<b>Très forte</b>	24,9	25,3	26,0	26,2	25,9	26,0	26,3	26,5

**Tableau B4 :  $\Delta$  (T<sub>op</sub>) maximale/minimale**

<b>Tableau B1 : maison individuelle Mozart - climatisation mécanique <math>\Delta</math> (T<sub>op</sub>) (lissée sur 3 heures)</b>									
<b>Zone climatique</b>		<b>Nord (Ea intérieur)</b>				<b>Sud (Ed intérieure)</b>			
<b>Protection des baies</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>	
<b>Orientation</b>		<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
<b>Inertie</b>	<b>Très faible</b>	4,2	4,3	4,5	5,1	3,3	3,5	3,8	5,7
	<b>Faible</b>	2,0	2,0	1,7	1,8	1,2	1,3	1,3	1,7
	<b>Moyenne</b>	1,8	1,8	1,5	1,6	1,1	1,2	1,2	1,5
	<b>Forte</b>	1,3	1,3	1,0	1,0	0,7	0,8	0,8	1,1
	<b>Très forte</b>	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8

**Tableau B5 : puissance de climatisation requise**

<b>Maison individuelle Mozart - climatisation mécanique Puissance max requise (Watt)</b>									
<b>Zone climatique</b>		<b>Nord (Ea intérieur)</b>				<b>Sud (Ed intérieure)</b>			
<b>Protection des baies</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>		<b>Avec</b>		<b>Sans</b>	
<b>Orientation</b>		<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
<b>Inertie</b>	<b>Très faible</b>	2004	2252	3027	3124	2865	3011	3110	3342
	<b>Faible</b>	1603	1797	2770	3034	2711	2864	3091	3169
	<b>Moyenne</b>	1557	1766	2763	3032	2694	2850	3084	3155
	<b>Forte</b>	1426	1639	2625	3011	2565	2713	3055	3113
	<b>Très forte</b>	854	1303	2432	2917	2196	2354	3018	3073

## 3.3 Étude paramétrique

L'objectif de cette étude est de tester l'impact de l'inertie des bâtiments en confort d'été et en climatisation mécanique dans l'habitat à travers l'étude paramétrique suivante.

### 3.3.1 - Calculs en confort d'été

---

Le calcul en confort d'été correspond à un calcul où l'habitation n'est soumise qu'à des sollicitations extérieures sans système de climatisation.

#### ■ 3.3.1.1 - Types d'habitations

Quatre habitations de la typologie du CSTB, dont les plans généraux sont fournis en annexe E, ont été utilisées pour l'étude paramétrique :

- 1) Matisse (logement en mono-exposition et en étage courant) ;
- 2) Mondrian (logement à double exposition en étage courant) ;
- 3) Puccini (maison individuelle mitoyenne à étage) en distinguant le rez-de-chaussée et l'étage ;
- 4) Mozart (maison individuelle de plain-pied).

### ■ 3.3.1.2 - Types de constructions

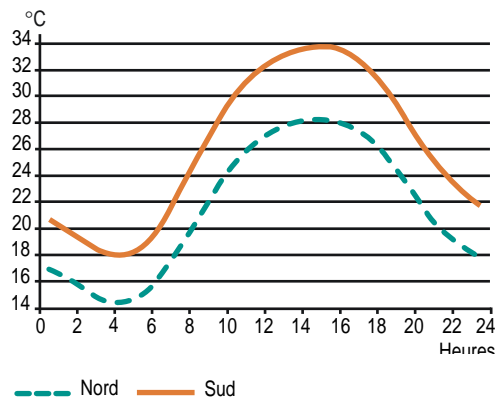
Pour chaque habitation, cinq types de constructions ont été définis :

- un cas d'inertie très faible ;
- 4 cas d'inertie faible à très forte, fondés sur des solutions techniques représentatives à base de liants hydrauliques.

Le détail des solutions techniques est fourni dans le chapitre D3.

### ■ 3.3.1.3 - Zones climatiques

Deux zones climatiques sont considérées et correspondent chacune à un jour chaud de référence (dépassé statistiquement 5 jours par an), pour le Nord (Lille) et pour le Sud de la France (Carpentras).



**Figure D1 :**  
**évolution de la température extérieure dans les zones climatiques Nord et Sud.**

### ■ 3.3.1.4 - Orientations

Deux orientations sont testées pour chaque habitation :

- nord-est ;
- sud-ouest.

### ■ 3.3.1.5 - Exposition au bruit

Deux scénarios d'exposition au bruit définis dans la méthode COMETRes sont utilisés dans cette étude :

- habitation peu exposée au bruit : implique une ventilation nocturne importante dans toutes les pièces ;
- habitation exposée au bruit : implique l'absence de ventilation nocturne pour les habitations en mono-exposition (Matisse) et une ventilation uniquement matinale pour les bâtiments à plusieurs expositions, et ce, uniquement dans les pièces autres que les chambres.

### ■ 3.3.1.6 - Protection solaire des baies

Deux facteurs solaires sont testés pour les baies (avec et sans protection solaire).

On considère un double vitrage traditionnel 4/12/4 dont les caractéristiques sont les suivantes :

<i>Cœf. transmission</i>	<i>Cœf. réflexion</i>	<i>Emissivité</i>
( $\tau$ )	( $\rho$ )	( $\epsilon$ )
0,83	0,08	0,92

Pour le calcul du facteur solaire avec protection, on prendra une protection solaire extérieure (5 cm du vitrage), ventilée et de caractéristiques :

<i>Cœf. transmission</i>	<i>Cœf. réflexion</i>	<i>Emissivité</i>
( $\tau$ )	( $\rho$ )	( $\epsilon$ )
0,1	0,36	0,92

Le calcul est réalisé pour des conditions d'été types, conformément au projet de norme européenne (TC89 WG7 *ad hoc* group SLT, calcul de référence), à l'aide du logiciel FASOL-V, développé au CSTB.

Calcul sans menuiserie :

<b>Composantes</b>	<b>Double vitrage traditionnel sans protection solaire</b>	<b>Double vitrage traditionnel avec protection solaire</b>
Sf1v : courte longueur d'onde (CLO)	0,693	0,074
Sf2v : grande longueur d'onde et convectif (GLC)	0,07	0,056
<b>Sfv : facteur solaire global</b>	<b>0,763</b>	<b>0,13</b>

Prise en compte de la menuiserie :

$$S_{f1b} = (S_{f1v} R_s) \times \text{coef.}$$

$$S_{f2b} = (S_{f2v} R_s + S_{fm} (1 - R_s)) \times \text{coef.}$$

avec :

S<sub>fm</sub> : facteur solaire de la menuiserie (pris égal à 0,08 pour le bois et le PVC)

R<sub>s</sub> : rapport de la surface de la paroi vitrée à la surface de la baie (pris à 0,7)

Coef. : prise en compte de l'effet de nu intérieur (Coef. = 0,9 règles Th-K)

<b>Composantes</b>	<b>Double vitrage traditionnel sans protection solaire</b>	<b>Double vitrage traditionnel avec protection solaire</b>
Sf1v : courte longueur d'onde (CLO)	0,437	0,047
Sf2v : grande longueur d'onde et convectif (GLC)	0,065	0,057
<b>Sfv : facteur solaire global</b>	<b>0,502</b>	<b>0,104</b>

Les coefficients de transmission surfacique K (W/m<sup>2</sup>.°K) pour les vitrages avec menuiserie (K<sub>men</sub> = 2) sont les suivants :

	<b>Double vitrage traditionnel sans protection solaire</b>	<b>Double vitrage traditionnel avec protection solaire</b>
K (W/m <sup>2</sup> .°K)	2,35	1,93

Les autres paramètres nécessaires à la description des habitations étudiées (en particulier les surfaces) seront ceux utilisés dans la typologie du CSTB.

L'étude paramétrique en confort d'été comporte donc 400 simulations (16 simulations par type de construction et par habitation ou niveau d'habitation) en évolution naturelle.



### **3.3.2 - Calculs en climatisation mécanique**

---

Les calculs en climatisation mécanique correspondent à des calculs sur des jours chauds de base où on impose une température intérieure de référence de façon à obtenir la puissance de refroidissement requise.

Pour cette étude, on considère qu'il n'y a jamais de ventilation nocturne, ce qui divise le nombre de simulations par deux par rapport à l'étude en confort d'été. Les fenêtres restent fermées en permanence. Cependant, les scénarios associés n'étant pas validés dans ce cas, les résultats obtenus ne sont à prendre qu'à titre qualitatif.

Le calcul en climatisation mécanique est réalisé sur les mêmes jours chauds de base avec une régulation sur la température de l'air à l'intérieur afin qu'elle ne dépasse pas 26 °C.

Le résultat porte sur la puissance maximale requise. Celle-ci correspond à la puissance maximale qu'il a été nécessaire de fournir à un moment de la journée afin de maintenir la température de l'air dans l'habitation à 26 °C. Ce principe de calcul permet de dimensionner le système de climatisation à mettre en œuvre dans une habitation donnée dans des conditions environnementales données, mais il ne donne pas d'indication sur les consommations réelles d'énergie.

L'étude paramétrique en climatisation mécanique comporte donc 200 simulations évaluant les puissances de refroidissement requises pour chacun des cas.

### **3.3.3 - Inertie des bâtiments et composition des parois**

---

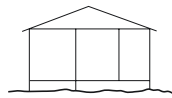
#### **■ 3.3.3.1 - Inertie des bâtiments**

Cinq niveaux d'inertie sont déclinés pour chaque logement considéré.

### ● 3.3.3.1.1 - Maisons individuelles

#### Mozart

##### Inertie très faible



**Plancher bas** : plancher bois, isolant, lame d'air, plâtre.

**Plafond** : plâtre, isolant.

**Mur extérieur** : plâtre, isolant + ossature, bois.

**Refend** : plâtre, ossature bois, plâtre.

**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre,

**Plancher bas** : plancher bois, isolant, lame d'air, plâtre.

**Plancher intérieur** : plancher bois, lame d'air, plâtre.

**Plafond** : plâtre, isolant.

**Mur extérieur** : plâtre, isolant + ossature, bois.

**Mur mitoyen** : plâtre, isolant + ossature, plâtre.

**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

##### Inertie faible



**Plancher bas** : carrelage, mortier, béton, isolant.

**Plafond** : plâtre, isolant.

**Mur extérieur** : plâtre, isolant, bloc creux, enduit.

**Refend** : plâtre, bloc creux, plâtre.

**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

**Plancher bas** : carrelage, mortier, béton, isolant.

**Plancher intérieur** : carrelage, mortier, béton, plâtre.

**Plafond** : plâtre, isolant.

**Mur extérieur** : plâtre, isolant, bloc creux, enduit.

**Mur mitoyen** : plâtre, isolant, bloc creux.

**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

##### Inertie moyenne



**Plancher bas** : carrelage, mortier, béton, isolant.

**Plafond** : plâtre, isolant.

**Mur extérieur** : plâtre, isolant, bloc creux, enduit.

**Refend** : plâtre, bloc creux, plâtre.

**Cloison intérieure** : plâtre, bloc creux, plâtre.

**Plancher bas** : carrelage, mortier, béton, isolant.

**Plancher intérieur** : carrelage, mortier, béton, plâtre.

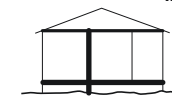
**Plafond** : plâtre, isolant.

**Mur extérieur** : plâtre, isolant, bloc creux, enduit.

**Mur mitoyen** : plâtre, isolant, bloc creux.

**Cloison intérieure** : plâtre, bloc creux, plâtre.

##### Inertie forte



**Plancher bas** : carrelage, mortier, béton, isolant.

**Plafond** : plâtre, béton, isolant.

**Mur extenseur** : plâtre, isolant, bloc creux, enduit.

**Refend** : plâtre, bloc creux, plâtre.

**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

**Plancher bas** : carrelage, mortier, béton, isolant.

**Plancher intérieur** : carrelage, mortier, béton, plâtre.

**Plafond** : plâtre, isolant.

**Mur extérieur** : plâtre, isolant, bloc creux, enduit.

**Mur mitoyen** : plâtre, béton.

**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

##### Inertie très forte



**Plancher bas** : carrelage, Mortier, béton, isolant.

**Plafond** : plâtre, béton, isolant.

**Mur extérieur** : plâtre, bloc creux, isolant, enduit.

**Refend** : plâtre, bloc creux, plâtre.

**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

**Plancher bas** : carrelage, mortier, béton, isolant.

**Plancher int.** : carrelage, mortier, béton, plâtre.

**Plafond** : plâtre, béton, isolant.

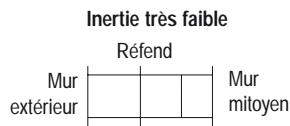
**Mur extérieur** : plâtre, bloc creux, isolant, enduit.

**Mur mitoyen** : plâtre, béton.

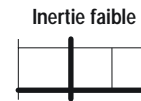
**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

● 3.3.3.1.2 - Logements collectifs

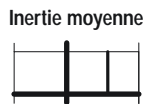
**Matisse et Mondrian**



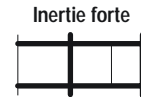
**Plancher** : moquette, béton, isolant, plâtre.  
**Plafond** : plâtre, isolant, béton, moquette.  
**Mur extérieur** : plâtre, isolant + ossature, parement extérieur.  
**Mur mitoyen** : plâtre, isolant + ossature, plâtre.  
**Refend** : plâtre, ossature, plâtre.  
**Cloison Intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.



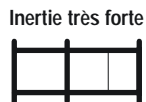
**Plancher** : carrelage, mortier, béton, plâtre.  
**Plafond** : plâtre, isolant, béton, moquette.  
**Mur extérieur** : plâtre, isolant, béton, enduit.  
**Mur mitoyen** : plâtre, isolant, béton, isolant, plâtre.  
**Refend** : plâtre, béton, plâtre.  
**Cloison Intérieure** : plâtre, bloc creux, plâtre.



**Plancher** : carrelage, mortier, béton, plâtre.  
**Plafond** : plâtre, béton, mortier, carrelage.  
**Mur extérieur** : plâtre, isolant, béton, enduit.  
**Mur mitoyen** : plâtre, béton, plâtre.  
**Refend** : plâtre, béton, plâtre.  
**Cloison Intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.



**Plancher** : carrelage, mortier, béton, plâtre.  
**Plafond** : plâtre, isolant, Béton, moquette.  
**Mur extérieur** : plâtre, isolant, béton, enduit.  
**Mur mitoyen** : plâtre, isolant, béton, isolant, plâtre.  
**Refend** : plâtre, béton, plâtre.  
**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

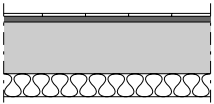
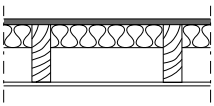
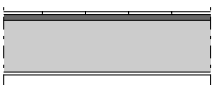
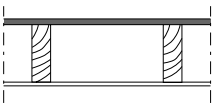
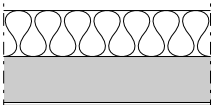
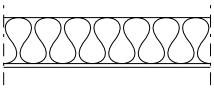
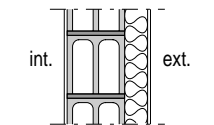
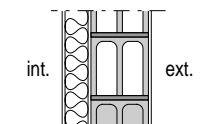
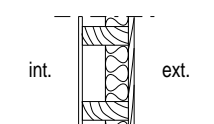


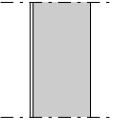
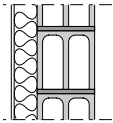
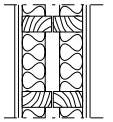
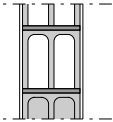
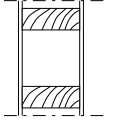
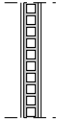
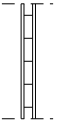
**Plancher** : carrelage, mortier, béton, plâtre.  
**Plafond** : plâtre, béton, mortier, carrelage.  
**Mur extérieur** : plâtre, béton, isolant, enduit.  
**Mur mitoyen** : plâtre, béton, plâtre.  
**Refend** : plâtre, béton, plâtre.  
**Cloison intérieure** : plâtre, lame d'air, plâtre.

■ 3.3.3.2 - Composition des parois


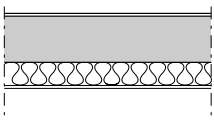
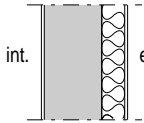
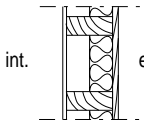
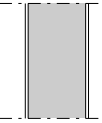
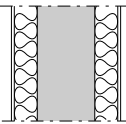
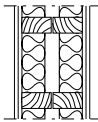
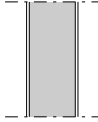
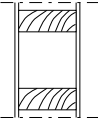
Pour chaque paroi des logements (maison individuelle et logement collectif), une composition à inertie forte et une composition à inertie faible sont proposés. La description des parois est faite de l'intérieur vers l'extérieur.



### ● 3.3.3.2.1 - Maison individuelle

Type de cloison	Inertie	Composition (cm)	Schéma
<b>Plancher bas</b>	Forte	carrelage (1) mortier (2) béton (18) isolant (8) $K = 0,43$ (W/m <sup>2</sup> .°K)	
	Faible	plancher bois (2) isolant (8) lame d'air (12) plâtre BA13 (1,3) $K = 0,34$ (W/m <sup>2</sup> .°K)	
<b>Plancher intermédiaire</b>	Forte	carrelage (1) mortier (2) béton (18) plâtre (1)	
	Faible	plancher bois (2) lame d'air (20) plâtre (1)	
<b>Plafond</b>	Forte	plâtre (1) béton (16) isolant (16) $K = 0,23$ (W/m <sup>2</sup> .°K)	
	Faible	plâtre BA13 (1,3) isolant (16) $K = 0,24$ (W/m <sup>2</sup> .°K)	
<b>Mur extérieur</b>	Forte	plâtre (1) bloc creux (20) isolant (8) enduit (1) $K = 0,41$ (W/m <sup>2</sup> .°K)	
	Faible	plâtre (1) isolant (8) bloc creux (20) enduit (1) $K = 0,41$ (W/m <sup>2</sup> .°K)	
	Faible	plâtre BA13 (1,3) isolant (8) + ossature bois (2) $K = 0,33$ (W/m <sup>2</sup> .°K)	

<b>Type de cloison</b>	<b>Inertie</b>	<b>Composition (cm)</b>	<b>Schéma</b>
<b>Mur mitoyen</b>	Forte	plâtre (1) béton (20)	
	Faible	plâtre BA13 (1,3) isolant (5) bloc creux (20)	
	Faible	2 x plâtre BA13 (1,3) isolant (5) + ossature lame d'air (5) isolant (5) + ossature 2 x plâtre BA13 (1,3)	
<b>Refend</b>	Forte	plâtre (1) bloc creux (20) plâtre (1)	
	Faible	plâtre BA13 (1,3) ossature bois (20) plâtre BA13 (1,3)	
<b>Cloison intérieure</b>	Forte	plâtre (1) bloc creux (5) plâtre (1)	
	Faible	plâtre (1) lame d'air (3) plâtre (1)	

● 3.3.3.2.2 - Logement collectif

<b>Type de cloison</b>	<b>Inertie</b>	<b>Composition (cm)</b>	<b>Schéma</b>
<b>Plancher/plafond</b>	Forte	carrelage (1) mortier (2) béton (18) plâtre (1)	
	Faible	moquette (1) béton (18) isolant (5) plâtre (1)	
<b>Mur extérieur</b>	Forte	plâtre (1) béton (20) isolant (8) enduit (1) $K = 0,43 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°K)}$	
	Faible	plâtre BA13 (1,3) isolant (8) + ossature bois (2) $K = 0,33 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°K)}$	
<b>Mur mitoyen</b>	Forte	plâtre (1) béton (20) plâtre (1)	
	Faible	plâtre BA13 (1,3) isolant (5) béton (20) isolant (5) plâtre BA13 (1,3)	
	Faible	2 x plâtre BA13 (1,3) isolant (5) + ossature lame d'air (5) isolant (5) + ossature 2 x plâtre BA13 (1,3)	
<b>Refend</b>	Forte	plâtre (1) béton (16) plâtre (1)	
	Faible	plâtre BA13 (1,3) ossature bois (20) plâtre BA13 (1,3)	

Type de cloison	Inertie	Composition (cm)	Schéma
<b>Cloison intérieure</b>	Forte	plâtre (1) bloc creux (5) plâtre (1)	
	Faible	plâtre (1) lame d'air (3) plâtre (1)	

● 3.3.3.2.3 - Caractéristiques des composants de paroi

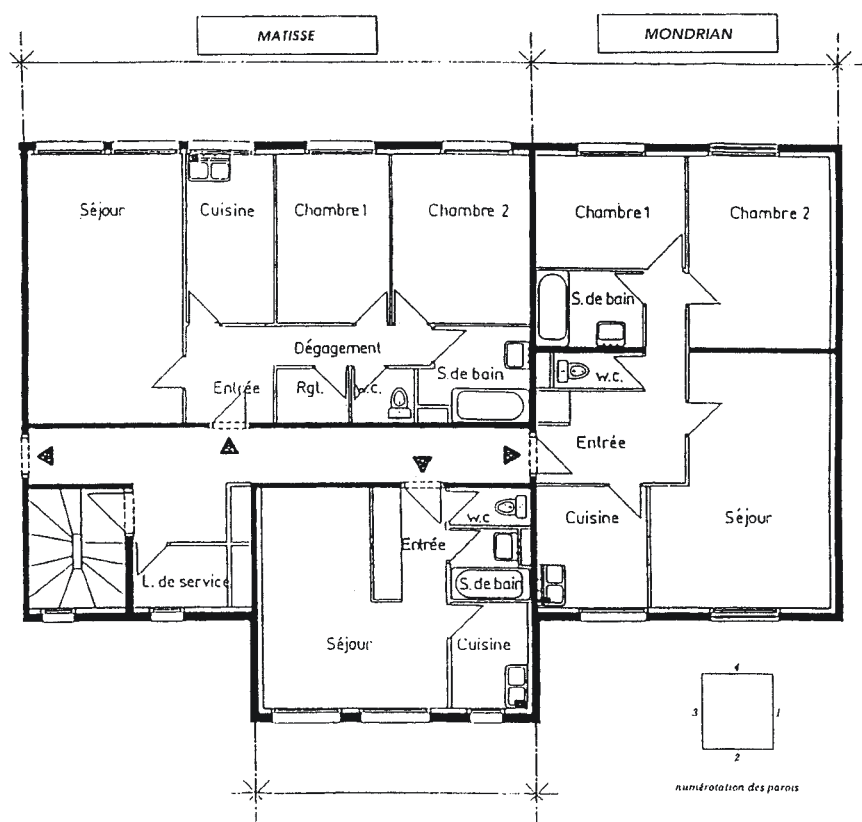
	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .°K)	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>
<b>Isolant</b>	0,04	35
<b>Béton banché</b>	1,75	2 400
<b>Béton bloc creux</b>	0,8	1 000
<b>Carrelage</b>	2	1 900
<b>Plâtre</b>	0,35	900
<b>Mortier, enduit ou parement extérieur</b>	1,15	2 000
<b>Bois</b>	0,12	700
<b>Lame d'air</b>	0,19	1,218

$\lambda$  = conductivité thermique utile

$\rho$  = masse volumique sèche équivalente

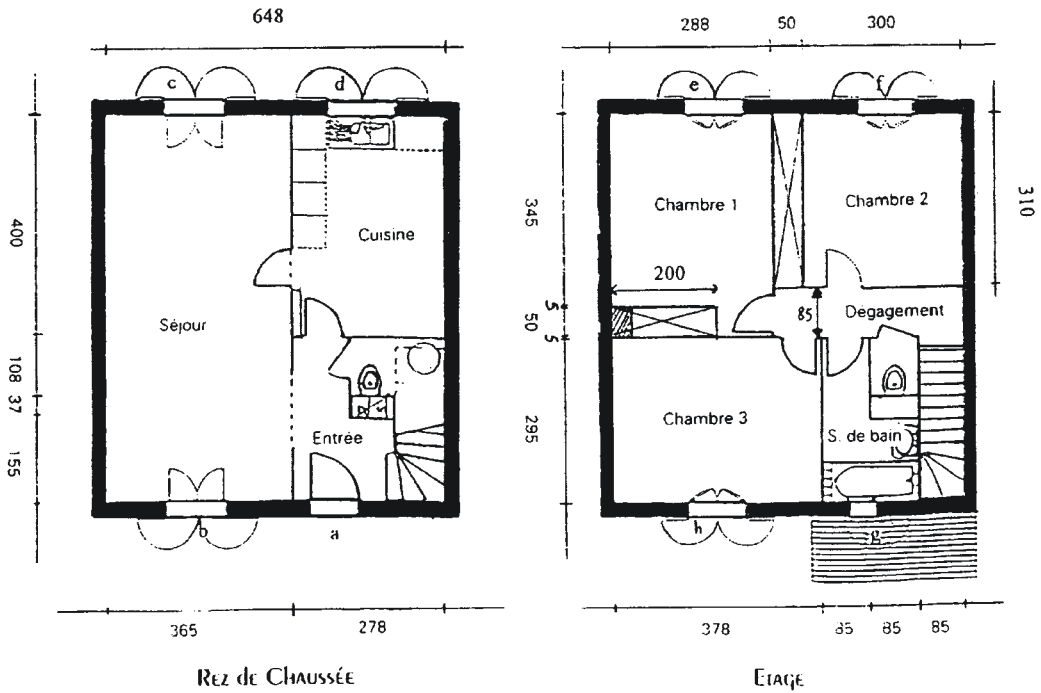
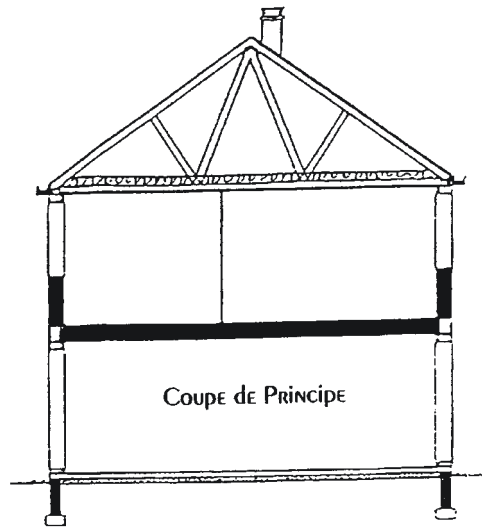
# 3.4 Plan des logements collectifs et des maisons individuelles

**Matisse et Mondrian :**  
logements collectifs

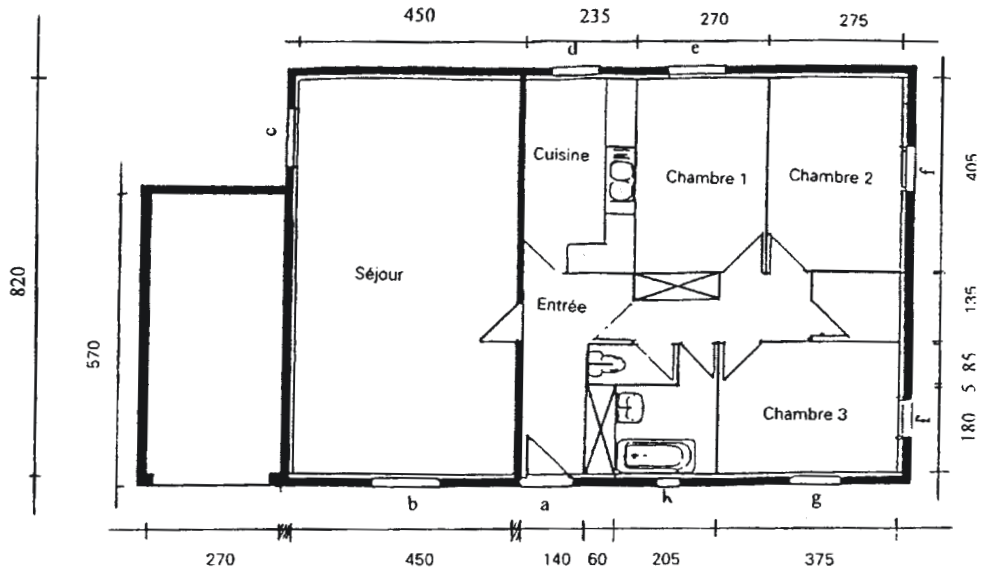




**Puccini :**  
maison individuelle mitoyenne à étage



**Mozart :**  
maison individuelle



---

**Illustration de la couverture**

David Lozach

**Réalisation**

Amprincipe – Paris

R.C.S. Paris B 389 103 805

**Maquette**

Nathalie Pecquet

**Impression**

Imprimerie Chirat

---

Édition mai 2001

---



**CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS**

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10  
E-mail : [centrinfo@cimbeton.asso.fr](mailto:centrinfo@cimbeton.asso.fr) • internet : [www.cimbeton.asso.fr](http://www.cimbeton.asso.fr)