

9.1 La thermique

Protéger les bâtiments contre les variations thermiques, et plus particulièrement contre le froid, est une nécessité qui s'est affinée au fil des années avec l'exigence de confort de leurs occupants.

Jusqu'au début des années cinquante, le chauffage a assuré le maintien en température des locaux sans qu'une réglementation stricte en codifie les règles. Mais le rapide accroissement du coût de l'énergie et la menace de raréfaction des réserves naturelles de combustibles, ont fait prendre conscience de la nécessité de limiter davantage la consommation d'énergie.

Isoler les constructions est d'autant plus nécessaire que, selon les pays, 40 à 50 % de l'énergie totale consommée est consacrée au chauffage, domaine dans lequel le plus grand pourcentage d'économies peut être obtenu. C'est ainsi que l'évolution de la réglementation thermique conduit à réaliser depuis 1989 des logements consommant 50 % d'énergie en moins que ceux conçus conformément à la réglementation de 1974 (date du premier décret précisant les exigences thermiques auxquelles doivent satisfaire tous les logements neufs).

La RT 2000 franchit une nouvelle étape qui conduira, tous les 5 ans, à réduire progressivement la consommation d'énergie, de chauffage et de climatisation de l'ensemble des bâtiments neufs, résidentiels et tertiaires.

Il faut souligner que la seule isolation thermique ne résout pas tous les problèmes : globalement ce n'est pas la solution qui optimise la consommation énergétique ; **elle ne tient pas suffisamment compte de la notion de confort (aussi bien en hiver qu'en été).**

Un autre facteur entre en ligne de compte grâce au rôle de stockage et de régulation qu'il joue : l'inertie thermique de la construction.

Les expérimentations ont montré que l'emploi de matériaux lourds, et notamment du béton, permettait de profiter pleinement des apports solaires, donc de limiter les besoins en chauffage, tout en jouant un rôle régulateur, qui évite la surchauffe des locaux en toutes saisons.

Les besoins énergétiques d'un logement

Les constatations faites sur les logements et les recherches menées en laboratoire sur maquettes ou sur modèles, ont permis de faire évoluer la connaissance des phénomènes et d'établir les bases de la réglementation thermique actuelle.

A l'origine, on s'était contenté de considérer le flux de chaleur sortant, ne prenant en compte que les déperditions dans le calcul d'un coefficient global de déperdition du local : le coefficient G. Petit à petit, la prise en compte des « apports de chaleur » (solaire, apports internes) et du rendement des appareils de chauffage ont permis de mieux appréhender les besoins réels, donc la consommation en énergie des locaux (logements, bureaux, bâtiments industriels ou commerciaux).

■ Les déperditions de chaleur d'un local

L'ensemble des déperditions résulte de la transmission de chaleur par les parois, surtout par conduction, et de celle transmise par l'air par convection.

La transmission par les parois

Tout matériau transmet plus ou moins bien la chaleur et est caractérisé par sa conductivité thermique λ : faible pour les matériaux isolants (de l'ordre de 0,040 W/m °C pour le polystyrène expansé), forte pour les métaux (200 W/m °C pour l'aluminium). Pour le béton usuel, elle vaut 1,75 W/m °C.

La connaissance des conductivités thermiques des matériaux permet de déterminer le coefficient K de transmission surfacique d'une paroi quelconque, flux de chaleur transmis par cette paroi, par unité de surface et pour un écart de température de 1 °C entre l'intérieur et l'extérieur. On parle plus généralement de la résistance thermique R d'une paroi, inverse de K qui est la somme de la résistance proprement dite de la paroi $\frac{e}{\lambda}$ (pour une paroi homogène d'épaisseur e),

et des résistances superficielles d'échange des faces intérieures et extérieures :

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$$

La valeur de R, exprimée en m² °C/W, est donc (e exprimé en mètre) :

$$R = \frac{1}{K} = \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$$

Pour des matériaux hétérogènes constituant les éléments de construction, on définit des résistances thermiques utiles dont les valeurs sont fournies par la norme P 50-702 « Règles TH-K – Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. ».

Par exemple, pour une maçonnerie non enduite constituée de blocs creux en béton de 20 cm d'épaisseur, la résistance thermique utile R_u est de l'ordre de $0,20 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Les déperditions par renouvellement d'air

Pour respirer et assurer l'hygiène en empêchant les condensations de vapeur d'eau, il est nécessaire de renouveler périodiquement l'air des locaux (de l'ordre de 0,5 à une fois leur volume par heure). L'air froid venant de l'extérieur se réchauffe en absorbant une certaine quantité de chaleur perdue lors de son évacuation.

Les déperditions par les parois

La réglementation RT 2000 conduit à déterminer les déperditions pour l'ensemble des parois d'un bâtiment et à calculer le coefficient $U_{\text{bât}}$ - coefficient de transmission surfacique moyen de l'enveloppe séparant l'intérieur du bâtiment de l'extérieur, d'un local non chauffé ou du sol (sous-sol non chauffé ou terre plein).

$$U_{\text{bât}} = \frac{(U \cdot A + \Psi L)}{A} \quad (\text{exprimé en } \text{W}/^\circ\text{K} \cdot \text{m}^2)$$

Avec :

U = coefficient de déperdition surfacique associé à la surface A de la paroi

Ψ = coefficient de déperdition linéique associé à la longueur L de la liaison

$U_{\text{bât}}$ intègre les ponts thermiques et tient compte des pertes vers les locaux non chauffés. En revanche, il est indépendant de la ventilation, rappelée ci-dessus. Les éléments de calcul de $U_{\text{bât}}$ sont décrits dans le document Règles Th-U (à paraître courant 2001). Il faut souligner qu'outre les valeurs limites d'isolation de certaines parties de la construction (désignées « garde-fous ») définies par l'arrêté du 29 novembre 2000, le coefficient $U_{\text{bât}}$ ne doit pas excéder, dans le cas des bâtiments d'habitation, de plus de 30 % le coefficient $U_{\text{bât-ref}}$.

La valeur de référence, $U_{\text{bât-ref}}$ est déterminée par la formule suivante :

$$U_{\text{bât-ref}} = \frac{a_1 \cdot A_1 + a_2 \cdot A_2 + a_3 \cdot A_3 + a_4 \cdot A_4 + a_5 \cdot A_5 + a_6 \cdot A_6 + a_7 \cdot A_7 + a_8 \cdot L_8 + a_9 \cdot L_9 + a_{10} \cdot L_{10}}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7}$$

Les valeurs A_i sont les surfaces des murs, planchers sous combles, toitures terrasses, planchers bas, portes, fenêtres nues et fenêtres équipées de fermeture.

Les valeurs L_i sont les linéaires de planchers intermédiaires et de toitures terrasses, principales sources des ponts thermiques.

Les coefficients a_i sont fixés par arrêté.

La France est découpée en 3 zones climatiques d'hiver H1, H2, H3 qui déterminent les valeurs de référence des coefficients a_i d'isolation des parois.

La réglementation RT 2000 introduit en plus du respect d'une valeur globale des coefficients de

déperdition $U_{\text{bât}}$, des valeurs limites (les « garde-fous ») pour les déperditions de certaines parois ainsi que celles des ponts thermiques dus aux liaisons planchers/murs.

COEFFICIENTS a_i (ARRÊTÉ DU 29 NOVEMBRE 2000)

COEFFICIENT a_i	ZONES H1 et H2	ZONES H3
a_1 (W/m ² K)	0,40	0,47
a_2 (W/m ² K)	0,23	0,30
a_3 (W/m ² K)	0,30	0,30
a_4 (W/m ² K)	0,30	0,43
a_5 (W/m ² K)	1,50	1,50
a_6 (W/m ² K)	2,40	2,60
a_7 (W/m ² K)	2,00	2,35
a_8 (W/m ² K)	0,50	0,50
a_9 (W/m ² K)	(1)	(2)
a_{10} (W/m ² K)	(3)	(4)

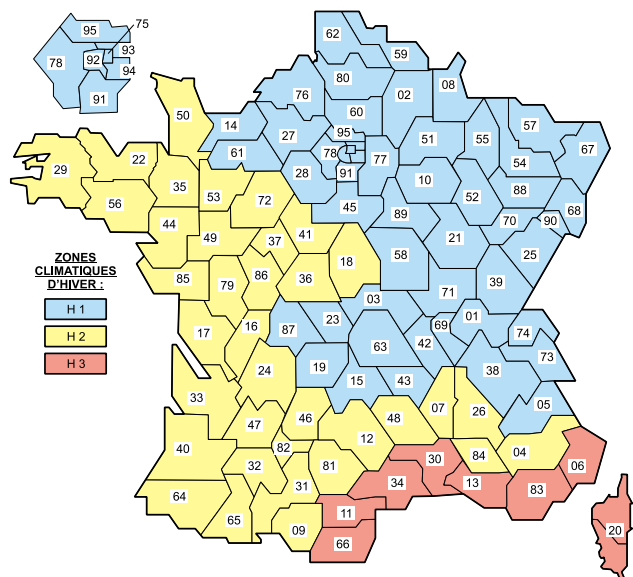
(1) 0,7 pour les maisons individuelles

(2) 0,7 pour les maisons individuelles

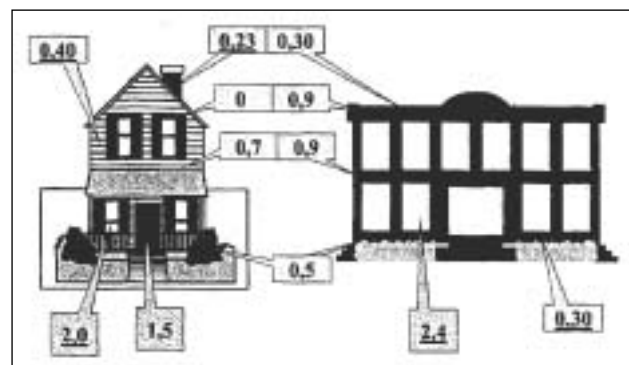
(3) 0,9 pour les autres bâtiments

(4) 0,9 pour les autres bâtiments

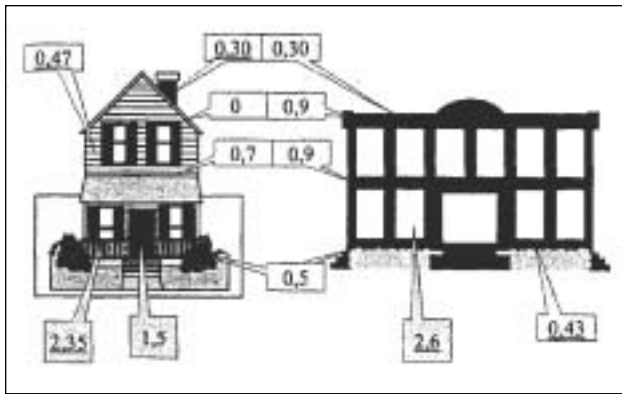
LES 3 ZONES CLIMATIQUES DE LA FRANCE



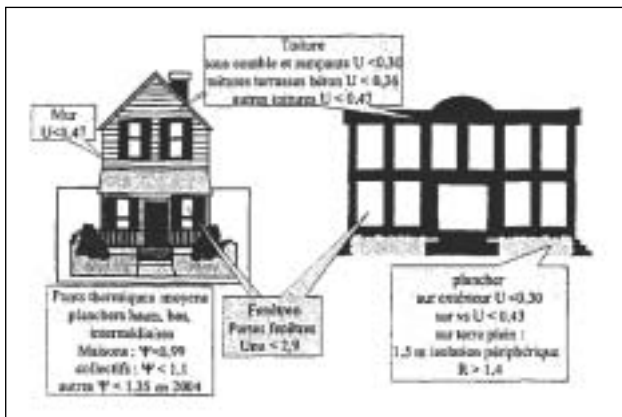
1. LES RÉFÉRENCES D'ISOLATION ZONES H1 ET H2



2. LES RÉFÉRENCES D'ISOLATION ZONES H3



3. LES GARDE-FOUS D'ISOLATION ZONES H1 ET H2



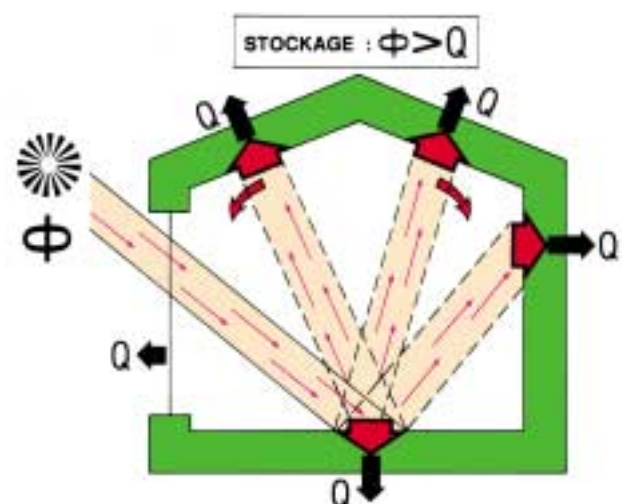
À titre d'exemples le schéma n° 3 précise les valeurs garde-fous d'isolation en zones H1 et H2.

■ Les apports de chaleur

La seule prise en compte des déperditions par les parois n'est pas totalement satisfaisante, car elle peut conduire à renforcer abusivement l'isolation des murs, à diminuer les surfaces vitrées – moins isolantes qu'une paroi opaque – ou même à limiter exagérément la ventilation.

En particulier, un critère pourtant très important n'était pas considéré, à l'origine : les apports de chaleur, essentiellement d'origine solaire.

Pour capter ce flux solaire, les baies vitrées et la capacité de stockage des parois constituent des facteurs essentiels.



On verra plus loin comment l'inertie thermique du bâtiment peut être exploitée pour améliorer le confort thermique d'été des occupants et diminuer la puissance nécessaire à la climatisation éventuelle des locaux.

La réglementation thermique RT 2000

Le décret relatif aux caractéristiques thermiques des constructions, modifiant le code de la construction et de l'habitation ainsi que l'arrêté relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments ont été publiés au journal officiel le 30 novembre 2000.

Le RT 2000 s'applique à tous les bâtiments neufs, résidentiels ou non dont le permis de construire est déposé à partir du 2 juin 2001, à l'exception des constructions suivantes :

- les bâtiments dont la température intérieure est inférieure ou égale à 12 °C ;
- les bâtiments climatisés ou chauffés en raison d'un processus industriel ;
- les piscines, patinoires et bâtiments d'élevage.

Pour respecter la réglementation thermique 2000, un bâtiment neuf, résidentiel ou tertiaire, doit satisfaire à trois exigences :

- consommation d'énergie inférieure à celle d'un bâtiment ayant des caractéristiques thermiques de référence (isolation, système de chauffage, de ventilation, d'eau chaude sanitaire, éclairage, etc.) :

$$C < C_{\text{réf}}$$

- en été, température intérieure inférieure à celle d'un bâtiment ayant des caractéristiques thermiques de référence (protections solaires, possibilité d'ouverture des fenêtres,...) :

$$T_{\text{ic}} < T_{\text{ic,réf}}$$

- les caractéristiques de l'isolation thermique des parois et des équipements de chauffage, ventilation, climatisation, eau chaude sanitaire, éclairage (pour le tertiaire) et de protection solaire doivent présenter des performances minimales appelées « garde-fou ».

Respect des exigences de la RT 2000

Deux approches peuvent être utilisées pour satisfaire les exigences de la réglementation :

■ Par le calcul

Le calcul de la consommation et de la température est une voie normale pour optimiser les projets et vérifier le respect de la réglementation. Les coefficients de consommation (C) et de consommation de référence ($C_{\text{réf}}$) ainsi que la température intérieure (T_{ic}) et la température intérieure de référence ($T_{\text{ic,réf}}$), sont déterminés avec l'aide de logiciels spécialisés. Les documents de référence pour les méthodes de calcul sont les règles publiées au journal officiel le 1^{er} décembre 2000 :

- TH-C pour le calcul des consommations d'énergie dans le bâtiment,
- TH-E pour le calcul des températures pour le confort d'été.

■ Par les solutions techniques agréées

La solution précédente impose une connaissance approfondie des textes. On peut se référer à des solutions techniques plus simples attachées à des familles de bâtiments définies par leur destination et leurs principes constructifs et architecturaux (maisons individuelles en maçonnerie, locaux scolaires, ateliers de productions...).

Pour un type de bâtiment donné, une solution technique décrit une combinaison de moyens (isolation thermique des parois, équipements de chauffage, ventilation, protections solaires, etc.) repérés par leurs caractéristiques thermiques fournies par l'étiquetage ou le fabricant, qu'il suffit de mettre en œuvre pour respecter la réglementation thermique.

Le respect d'une solution technique agréée vaut respect de la réglementation. Il s'agit d'une approche très libérale puisque tous les acteurs souhaitant aider à l'application de la réglementation thermique (industriels, maîtres d'ouvrages, distributeurs d'énergie, etc.) peuvent proposer des solutions techniques et les faire agréer par les pouvoirs publics.

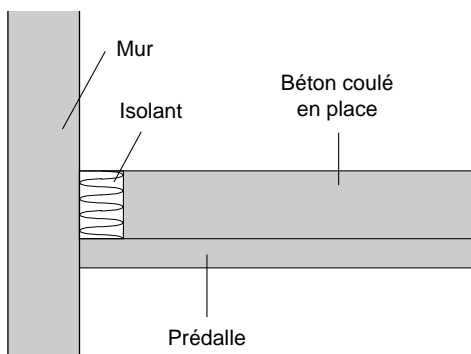
Le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (direction générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction) doit notamment produire une solution technique applicable aux maisons individuelles.

Traitement des ponts thermiques

La réglementation incite à traiter les ponts thermiques qui peuvent représenter jusqu'à 40 % des pertes de chaleur par les parois. Elle introduit un garde-fou qui deviendra contraignant lors du prochain renforcement de la réglementation à l'horizon 2005. Dans l'intervalle, il appartient aux professionnels de développer des solutions. Les règles Th-U fourniront les valeurs des coefficients linéiques qui couvrent la grande majorité des ponts thermiques courants.

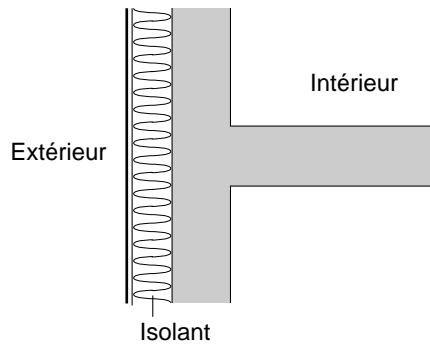
Les solutions constructives actuelles ont jusqu'ici plus ou moins bien résolu le traitement des ponts thermiques ; les voies possibles d'amélioration semblent devoir s'orienter vers quatre familles de solutions :

1. Coupure thermique entre about de plancher et mur extérieur (rupteurs thermiques).



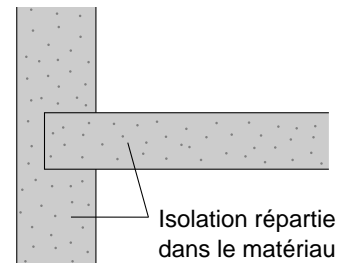
Cette solution présente l'avantage d'être compatible avec les techniques constructives actuelles de gros œuvre et de doublage isolant intérieur.

2. Isolation par l'extérieur



La solution est thermiquement très satisfaisante mais d'une mise en œuvre et d'un coût plus pénalisants que les techniques actuelles.

3. Matériaux structurels isolants



Les bétons de granulats légers et le béton cellulaire répondent à ces exigences et sont bien adaptés pour des structures peu chargées (c'est le cas notamment de l'habitat individuel).

4. Double mur ou blocs de maçonnerie désolidarisant paroi porteuse et paroi extérieure

Le double mur est peu développé en France ; par contre les blocs avec lame isolante ou les blocs à bancher isolants existent et pourraient être développés à la faveur de la mise en place de la RT 2000.

■ Le confort d'été

Il faut souligner ici l'apport novateur de la RT 2000 puisque pour la première fois, le confort d'été des bâtiments non climatisés est pris en compte dans la réglementation thermique. Cette décision procède d'un double constat : les exigences croissantes d'isolation ainsi que les nouvelles pratiques de construction, qui peuvent conduire à des inerties thermiques faibles et augmentent les risques d'inconfort.

Cependant, dans de nombreux cas, il est possible d'obtenir un confort satisfaisant sans recours à un système spécifique de climatisation. L'objectif de l'approche réglementaire est de limiter l'inconfort en tenant compte des contraintes de l'environnement climatique et acoustique et des possibilités techniques et économiques.

Comme pour la limitation de la consommation d'énergie en réglementation thermique d'hiver le

confort d'été peut être obtenu par deux voies :

- le calcul conformément aux règles TH-E : l'application des caractéristiques de référence permet de calculer la température atteinte pour une journée type d'été ($T_{iC_{ref}}$ qui prend en compte l'inertie thermique du bâtiment). Cette valeur $T_{iC_{ref}}$ (prise au moins égale à 26 °C) est la valeur à ne pas dépasser pour le projet considéré.
- la conformité à des solutions de référence qui déterminent pour la zone climatique considérée, l'orientation des baies où l'exposition au bruit (permettant ou non l'ouverture des baies la nuit, le degré d'inertie de la construction ou la nature des protections solaires.

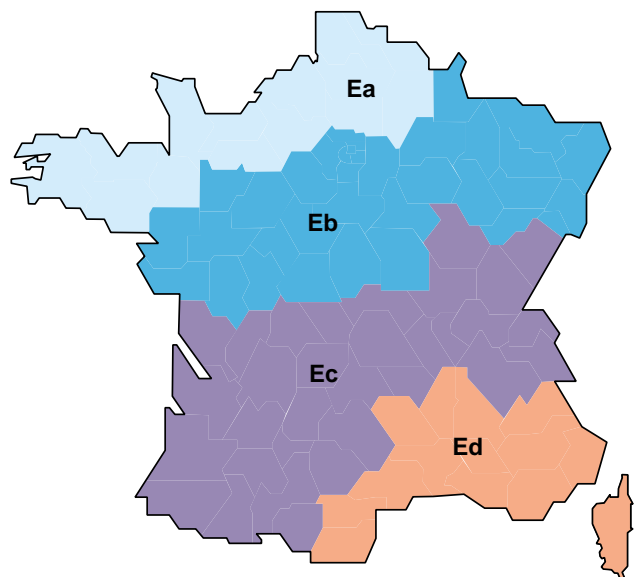
L'inertie thermique, facteur de confort et d'économies d'énergie

■ Les apports solaires et les apports internes

Les apports dits « gratuits » (solaires et internes) entrent de façon très appréciable dans le bilan thermique des logements. Le développement d'une « architecture solaire passive » doit permettre d'obtenir une meilleure utilisation des apports solaires : orientation du bâtiment, importance des surfaces vitrées au sud, mais aussi maîtrise de l'inertie thermique.

Le processus physique d'introduction de l'énergie solaire dans un bâtiment fait jouer aux matériaux qui le composent, en fonction de leur inertie, un rôle

ZONES CLIMATIQUES D'ÉTÉ



Les quatre zones : zones climatiques d'été Ea, Eb, Ec, Ed, définies sur une base départementale ;

majeur de stockage d'énergie. Leur intérêt ne se limite pas aux économies d'énergie qu'il entraîne, mais représente également une importante contribution à la notion de confort, d'hiver comme d'été en écrétant les pointes de température.

De façon simplifiée, on peut considérer que le flux solaire pénétrant par un vitrage et tombant sur une

surface – le plus souvent le plancher – en élève la température superficielle, avec comme conséquences, la pénétration d'une partie du flux dans la masse du plancher, le rayonnement vers les autres parois et le réchauffement de l'air ambiant par convection.

Le phénomène provoque une montée en température progressive des parois. Si l'énergie solaire est supérieure à celle que nécessite le maintien de la température désirée, il se produit une « surchauffe », d'autant plus prononcée que le bâtiment est bien isolé et de faible inertie.

	ZONE H1/H2	ZONE H3
<p>MAISON A OSSATURE BOIS. CLOISONS, PLANCHER ET PLAFOND LÉGERS</p>	<p>Consommation annuelle 11340 kWh</p> <p>Nombre d'heures d'été ou la température dépasse 27° 362</p> <p>38° Température maximale atteinte</p>	<p>Consommation annuelle 6440 kWh</p> <p>Nombre d'heures d'été ou la température dépasse 27° 720</p> <p>41° Température maximale atteinte</p>
<p>MAISON EN BÉTON A MURS LOURDS. PLANCHER LOURD. CLOISONS ET PLAFOND LÉGERS</p>	<p>Consommation annuelle 10020 kWh</p> <p>Nombre d'heures d'été ou la température dépasse 27° 20</p> <p>Température maximale atteinte</p>	<p>Consommation annuelle 4150 kWh</p> <p>Nombre d'heures d'été ou la température dépasse 27° 469</p> <p>Température maximale atteinte</p>
<p>MAISON EN BÉTON A MURS LOURDS. CLOISONS, PLANCHER ET PLAFOND LOURDS</p>	<p>Consommation annuelle 9230 kWh</p> <p>Nombre d'heures d'été ou la température dépasse 27° 0</p> <p>Température maximale atteinte</p>	<p>Consommation annuelle 4090 kWh</p> <p>Nombre d'heures d'été ou la température dépasse 27° 416</p> <p>Température maximale atteinte</p>

Consommation annuelle d'énergie pour le chauffage de trois cellules types en zones H1 /H2 et H3. Nombre de jours de surchauffe (> 27 °C).

Lorsque le flux solaire diminue, les phénomènes s'inversent et les parois restituent progressivement l'énergie calorifique qu'elles ont emmagasinée.

Le rôle de l'inertie des parois apparaît donc essentiel, non seulement dans la réduction des consommations annuelles, mais aussi dans le confort, c'est-à-dire le maintien de la régularité de la température.

Des études menées par l'INSA de Lyon et plus récemment par le CSTB ont mis en évidence les avantages de l'utilisation de matériaux lourds, et notamment du béton, dans la construction. Les études ont été faites par modélisation et confirmée par des mesures sur des cellules-types présentant le même degré d'isolation, mais faisant appel à des conceptions différentes.

Pour les trois cellules les plus significatives considérées dans l'étude de l'INSA, allant de l'inertie la plus faible à la plus forte, l'économie d'énergie sur une année est de l'ordre de 20 à 30 %.

En matière de confort, les résultats ont été appréciés à partir des mesures de la température intérieure et du nombre d'heures où celle-ci dépassait la limite considérée comme seuil de confort de 27°.

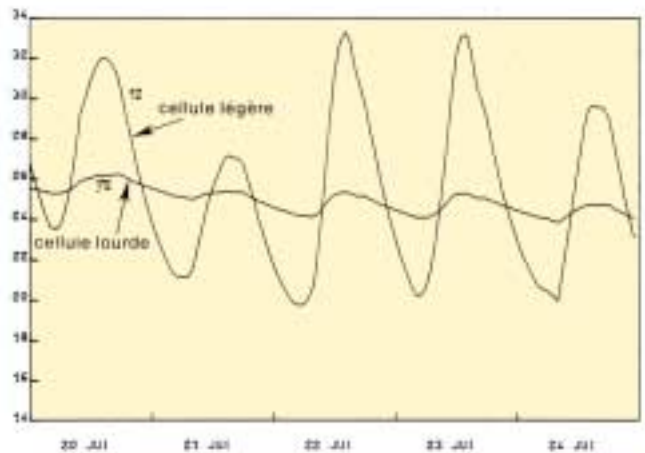
L'utilisation de murs en béton complétés par une isolation permet à l'inertie thermique de jouer à plein son rôle de stockage et de régulation de la chaleur. La consommation diminue nettement (surtout en zone H3) et le confort augmente : températures de pointe moins élevées, pendant un nombre d'heures très diminué par rapport à une construction de faible inertie.



La thermographie permet de déterminer avec précision les zones de déperdition d'une construction.

Dans le cas où un plancher haut, lourd en béton, augmente encore l'inertie thermique, le gain supplémentaire de consommation est appréciable, surtout en zone H1/H2. Le confort d'été est également amélioré. Le rôle de l'inertie thermique s'avère donc indiscutable : l'accroissement des masses permet de diminuer les consommations annuelles et d'augmenter la qualité du confort par une régulation naturelle des températures résultantes.

Le béton se révèle être, dans le domaine des matériaux lourds, celui qui présente le plus d'avantages de ce point de vue et devrait donc voir son rôle s'accroître dans le domaine de la thermique des constructions.



L'inertie de la construction amortit les pointes de température et la maintient à un seuil acceptable : 24 à 25,5 °C, au lieu de 33 °C pour une cellule légère. (Ex. de températures intérieures relevées au cours d'une semaine d'été en zone H3).

En conclusion, parmi les multiples possibilités offertes par la réglementation thermique actuelle, les résultats précédents montrent que l'on doit privilégier les solutions faisant appel à des matériaux lourds comme le béton, dont le bon emploi en combinaison avec une isolation complémentaire se traduit par une sensible économie d'énergie et un confort dû à la suppression des phénomènes de surchauffe, particulièrement gênants lorsque les écarts de température diurne et nocturne sont importants.