

Inertie thermique

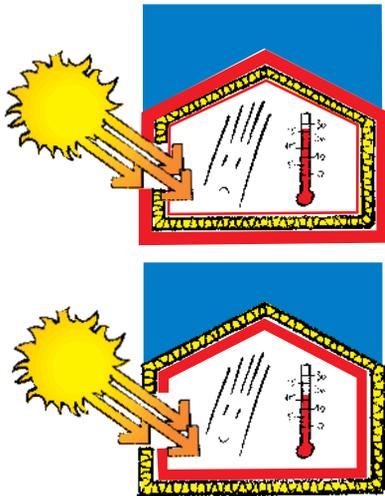
LES ENJEUX

L'enjeu principal consiste à limiter l'inconfort dû aux fortes variations de températures dans les bâtiments l'été, avec pour corollaire la possibilité de se passer de la climatisation.

Enjeux complémentaires :

- réduire la puissance de climatisation là où elle reste nécessaire
- réduire les consommations de chauffage grâce au stockage des apports solaires gratuits transmis par les vitrages en hiver.

AMORTIR LES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE À L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS



En été, diverses influences peuvent altérer le confort intérieur :

- La variation de température jour/nuit : la chaleur du jour et la fraîcheur de la nuit pénètrent dans le bâtiment à travers ses parois extérieures et par l'air introduit. En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, on observe des amplitudes moyennes sur le littoral (7 à 10°C) et fortes sur le reste de la région (12 à 15°C).
- Le rayonnement solaire : son action se fait principalement par les vitrages.
- La chaleur dégagée par les occupants, les appareils ménagers, l'éclairage électrique.
- Le vent qui agit sur la température extérieure et force la ventilation.
- Le mode d'occupation

Température et rayonnement présentent des maximums situés près de la mi-journée. Ils constituent des causes potentielles de fortes surchauffes dans le bâtiment au cours de l'après-midi.

Soumis aux fortes variations de températures entre le jour et la nuit dans le climat méditerranéen, un bâtiment amplifie ou amortit cette variation extérieure en fonction de ses caractéristiques, générant ainsi des températures intérieures plus ou moins stabilisées . L'inertie thermique qui est la capacité des matériaux de construction et du mobilier à s'opposer aux fluctuations de température intérieures, permet de réduire les pointes de chaleur. Les matériaux constituant le bâtiment stockent puis restituent

- la chaleur excédentaire du jour
- la fraîcheur de la nuit

On peut faire la comparaison avec un bassin d'orage qui régule le ruissellement : les excédents d'eau des pluies d'orage sont stockés, pour être restitués à la rivière en période plus sèche.



On distingue plusieurs formes d'inertie thermique :

- l'inertie quotidienne est utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde quotidienne de température, d'ensoleillement et autres apports gratuits, sur une période de 24h
- l'inertie séquentielle est utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde thermique due à une vague de chaleur en période de 12 jours.

La présente fiche technique fait référence à l'inertie quotidienne.



L'inertie en hiver ?

Les parois intérieures lourdes des pièces ensoleillées s'échauffent puis restituent lentement, dans la maison, la chaleur solaire qu'elles ont stockée. Outre une économie de chauffage, l'inertie des parois apporte une agréable sensation de confort puisqu'elles ne sont pas froides. A l'inverse, dans une maison légère, le rayonnement solaire ne peut être absorbé et provoque très rapidement des "surchauffes" de l'air intérieur (il n'y a donc ni économie, ni confort) tout en laissant la maison froide dès que le soleil a disparu.

FICHE 4. INERTIE THERMIQUE

- A. CONFORT D'ÉTÉ ET CLIMAT
- B. CONFORT D'ÉTÉ ET RÉGLEMENTATION
- 1. ORIENTATION / IMPLANTATION
- 2. TRAITEMENT DES ESPACES EXTÉRIEURS
- 3. PROTECTION SOLAIRE / ISOLATION
- 5. VENTILATION / RAFRAÎCHISSEMENT
- 6. ÉCLAIRAGE NATUREL / ARTIFICIEL



Produit par ARENE

Agence Régionale de l'Énergie
Provence-Alpes-Côte d'Azur

CMCI - 2 rue Henri Barbusse 13241 Marseille
Cedex 1

Tel: 33 4 91 91 53 00 - Fax: 33 4 91 91 94 36

Web : <http://www.arena.fr>

Coordination

Dominique RAULIN
ARENE

Rédaction

Denis JACOB - SOL.A.I.R.
Aix-en-Provence (13)

Thierry CABIROL - Ingénieur
Aix-en-Provence (13)

Olivier RIGAL - Architecte
Marseille (13)

Gérard SAUREL - Habitat et Société
Les Arcs (83)

L'INERTIE DANS LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

La situation actuelle jusqu'en 1999 se caractérise par l'absence de contraintes concernant le confort d'été en général et l'inertie en particulier.

La Nouvelle Réglementation Thermique (N.R.T.) en cours d'élaboration imposera des solutions techniques pour garantir un confort d'été minimal. Celles-ci concernent principalement l'inertie, les protections solaires des baies vitrées et la ventilation. Ces solutions se déclineront selon la zone clima-

tique définie pour l'été, pondérée par l'altitude du site et l'exposition aux bruits.

Elle concernera aussi bien le secteur de l'habitat que celui du tertiaire neuf non climatisé.



Les fortes isolations qui répondent aux exigences de la réglementation d'hiver associées à d'importantes surfaces vitrées provoquent souvent des sinistres thermiques d'été.

LES PARAMÈTRES DÉTERMINANTS

• la chaleur spécifique des matériaux des parois :

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de masse ou de volume pour voir sa température s'élever d'un degré.

Un matériau "stocke" d'autant plus d'énergie que sa chaleur spécifique est grande.

• la conductivité thermique des matériaux

C'est la propriété des matériaux à transmettre plus ou moins facilement de la chaleur d'un point à un autre de leur masse.

Un matériau "stocke" ou "déstocke" d'autant plus de chaleur en un temps donné que sa conductivité thermique est grande.

• la surface d'échange

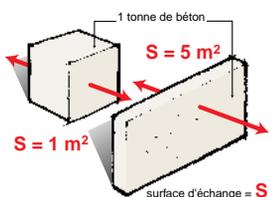
L'inertie d'une paroi dépend aussi de la surface d'échange.

Un mur de refend intérieur a deux fois plus de surface d'échange utile qu'une paroi en contact avec l'extérieur.

Les volumes compacts présentent une petite surface d'échange

Une bonne inertie associe les 3 caractères suivants :

- une forte capacité thermique (murs et planchers lourds en contact avec l'air intérieur)
- une conductivité élevée (murs en matériau "absorbant")
- une grande surface d'échange



Chaleur spécifique
KJ/m³.°C

laine de verre	130
béton cellulaire 500 kg/m³	325
brique creuse	680
béton	1400
plâtre	1500
bois	1600
acier	3900



conductivité thermique
W/m.°C

laine de verre	0,04
béton cellulaire 500 kg/m³	0,18
bois	0,23
enduit plâtre	0,35
béton	1,75
fer	72,00

Nota : par souci de simplification, nous avons préféré exprimer les températures en degré Celsius (°C) plutôt qu'en degré Kelvin (K)
1°C ≈ 1K

LES MOYENS CLASSIQUES DE L'INERTIE - LES ÉPAISSEURS UTILES

Les masses qui contribuent le plus efficacement à l'inertie thermique sont limitées à 150 kg de maçonnerie par mètre carré de surface d'échange.

L'enveloppe du bâtiment :

- dalle de rez de chaussée ou dalle sous toiture,
- mur isolé contre cloison lourde,

n'a qu'une face intérieure d'échange.

L'inertie est efficace jusqu'à 150 kg/m² de paroi soit 8 cm d'épaisseur de béton ou 10 cm de parpaings creux enduits

Les parois internes au bâtiment :

- mur intérieur de refend,
- cloison lourde,
- dalle intermédiaire,

ont deux faces intérieures d'échange

L'inertie est efficace jusqu'à 300 kg/m² de paroi soit 14 cm d'épaisseur de béton ou 20 cm de parpaings creux



8

les épaisseurs utiles pour l'inertie



8 + 8

Dans les locaux isolés par l'intérieur, l'inertie thermique pourra être assurée par les refends intérieurs pleins ou les dalles de béton;

Au dernier étage on préférera des plafonds lourds.

La très grosse inertie met en jeu des séquences temporelles qui se superposent :

l'inertie quotidienne qui mobilise jusqu'à 8 cm d'épaisseur,

l'inertie séquentielle (12 jours) qui concerne les premiers 20 cm,

l'inertie saisonnière (plusieurs mois) sollicite les grosses parois dans toute leur épaisseur.

INERTIE THERMIQUE DES PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UN BÂTIMENT D'HABITATION

L'inertie thermique est déterminée par la somme des points d'inertie des différentes composantes du bâtiment (murs, planchers, cloisons) et du mobilier. Les points d'inertie caractérisent l'amplitude du flux thermique par m² de plancher pour une variation intérieure de température de 1°C. Ils sont exprimés en W/m².°C

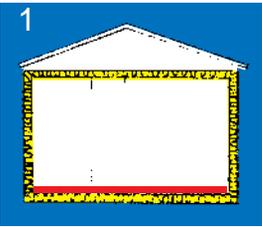
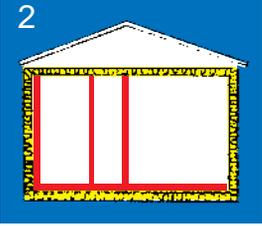
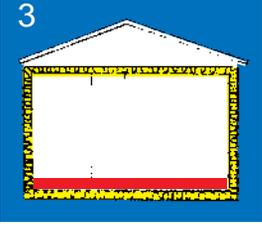
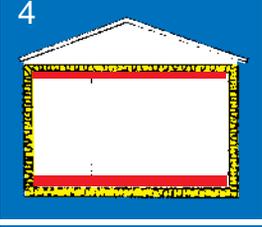
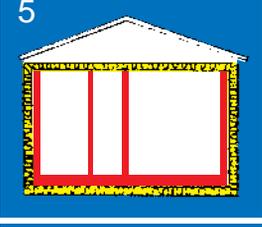
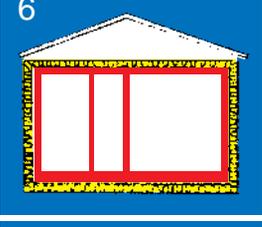
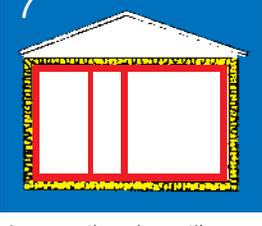
TYPE DE PAROI	DESCRIPTIF	TYPE DE LOGEMENT	POINTS D'INERTIE THERMIQUE
PLANCHER BAS	Plancher béton ≥ 15 cm sans isolant ou plancher isolé en sous face avec à l'intérieur au moins 7 cm de béton	Tous	6
	Plancher avec résilient	Tous	5
	Plancher bois	Tous	3
PLANCHER HAUT	Plancher béton ≥ 15 cm sans isolant ou plancher isolé par l'extérieur avec à l'intérieur au moins 7 cm de béton	Tous	6
	Isolation intérieure avec doublage 1 cm plâtre	Tous	1
SÉPARATIF	Béton plein (≥ 15cm) sans isolant ou béton 7 cm avec isolation autre face	Logement en pignon Autre	2 5
	Bloc creux béton 20 cm sans isolant	Logement en pignon	2
	Brique creuse 20 cm sans isolant	Autre	3
	Brique apparente perforée 22 cm		
	Doublage 1 cm plâtre	Tous	1
MUR DE FAÇADE ET DE PIGNON	Isolation extérieure avec à l'intérieur : béton plein (≥ 7cm) ou bloc creux béton (≥ 11 cm) ou brique pleine (≥ 10,5 cm) ou brique perforée (≥ 10,5 cm)	Maison individuelle isolée	5
		Logement en pignon	3
		Autre	2
	Isolation extérieure avec à l'intérieur : brique perforée (≥ 22 cm) ou isolation répartie avec blocs à perforation verticale (37 cm)	Maison individuelle isolée	4
		Logement en pignon	2
		Autre	1
Isolation intérieure : cloison brique creuse (5 cm)	Maison individuelle isolée Autre	3 1	
Isolation intérieure : doublage 1 cm plâtre	Maison individuelle isolée Autre	1 0	
CLOISON	Brique pleine ou perforée (10,5 cm)	Tous	6 (ou 4)*
	Brique creuse 5 cm plâtrée, ou carreau de plâtre plein 6cm ou bloc aggro béton 5 cm plâtré	Logement avec refend intérieur Autre	4 (ou 2) 3 (ou 2)
	Alvéolaire à parement de plâtre 1 cm sur chaque face	Logement avec refend intérieur Autre	3 1
MOBILIER	Forfait habitation	Tous	1

classe d'inertie	très légère	légère	moyenne	lourde	très lourde
total des points	6	7/8	9 à 12	13 à 18	19 à 26

* valeur entre parenthèses à utiliser si le logement possède peu de cloison (ratio au sol inférieur à 0,7)

source : le confort d'été, programmer et atteindre une performance thermique - le logement - CETE Méditerranée . CSTB

INFLUENCE DE LA MASSE THERMIQUE SUR LES CONSOMMATIONS ET LE CONFORT THERMIQUE D'ÉTÉ

	C = Carpentras N = Nice	Masse thermique utile ⁽¹⁾ kg/m ² habitable	Masse thermique totale kg/m ² habitable	Consommation annuelle (kWh)	Temps de surchauffe (t° > 27°C)/an	Quantification simplifiée de l'inertie thermique d'après le projet N.R.T. pour 7 systèmes constructifs	Inertie calcul par point
1 	C	37	133	6 800	849	Plancher bas : dalle flottante avec moquette	3
	N			4 350	897	Murs extérieurs : ossature bois, isolant intérieur, doublage plaque de plâtre Cloison : plaque de plâtre alvéolée Plafond : plaque de plâtre sous isolant Mobilier	1 1 1 1
Total							7
2 	C	178	360	6 530	615	Plancher bas : dalle flottante avec moquette	3
	N			3 900	635	Murs façade : ossature bois, isolant intérieur, doublage plaque de plâtre Pignon séparatif : béton banché, isolant extérieur Cloison : plaque de plâtre alvéolée + refend : bloc creux 15 cm, enduit deux faces Plafond : plaque de plâtre sous isolant Mobilier	0 2 3 1 1
Total							10
3 	C	187	432	5 970	533	Plancher bas : dalle 12 cm sur isolant + carrelage	6
	N			3520	556	Murs façade : blocs creux, isolant intérieur avec plaque de plâtre cartonné Cloison : plaque de plâtre alvéolée Plafond : plaque de plâtre Mobilier	1 1 1 1
Total							10
4 	C	326	805	5 950	445	Plancher bas : dalle 12 cm sur isolant + carrelage	6
	N			3 470	463	Murs façade : blocs creux, isolant intérieur avec plaque de plâtre cartonné Cloison : plaque de plâtre alvéolée Plafond : dalle béton 16 cm sous isolant Mobilier	1 1 6 1
Total							15
5 	C	334	579	5 920	389	Plancher bas : dalle 12 cm sur isolant + carrelage	6
	N			3 400	410	Murs façade : bloc creux, isolant intérieur, doublage par briques creuses 5 cm enduites Cloison : plâtre plein 5 cm et refend bloc creux 15 cm Plafond : plaque de plâtre sous isolant Mobilier	3 4 1 1
Total							15
6 	C	474	953	5 920	249	Plancher bas : dalle 12 cm sur isolant + carrelage	6
	N			3 400	266	Murs façade : bloc creux, isolant intérieur, doublage par briques creuses 5 cm enduites Cloison : plâtre plein 6 cm et refend bloc creux 15 cm Plafond : dalle béton 16 cm sous isolant Mobilier	3 4 6 1
Total							20
7 	C	539	1 196	6 060	176	Plancher bas : dalle 12 cm sur isolant + carrelage	6
	N			3 420	190	Murs façade : blocs creux, isolant extérieur Cloison : plâtre plein 6 cm et refend bloc creux 15 cm Plafond : dalle béton 16 cm sous isolant Mobilier	5 4 6 1
Total							22

1. masse thermique utile : masse thermique intérieure à l'isolation et limitée à 150kg/m² de surface d'échange.

Les valeurs de consommation ont été déterminées pour un logement de 83 m² et 208 m³, coefficient global de déperdition 1,03 W/m².°C

- Architecture climatique, une contribution au développement durable (tomes 1 et 2) - Pierre Lavigne - Edisud - 1994.1998
- Conception thermique de l'Habitat - SOL.A.I.R. - Edisud - 1988
- Projet de Nouvelle Réglementation Thermique
- Confort d'été, programmer et atteindre une performance thermique - CETE Méditerranée, CSTB (non disponible).



QUANTIFICATION DE L'INERTIE THERMIQUE D'APRÈS N.R.T.

L'inertie globale d'un bâtiment est constituée par l'addition des inerties des diverses parois constitutives. Elle exprime le flux de chaleur échangé par les parois du bâtiment avec son ambiance intérieure, par mètre carré de sol : $W/m^2 \cdot ^\circ C$ par m^2 .

Le projet de nouvelle réglementation distingue 5 classes d'inertie quotidienne I_q . (voir tableau)

La classe d'un bâtiment est déterminée à partir de ses éléments constructifs.

Nota : l'ancienne classification proposée par le CSTB faisant référence à la masse utile de matériaux par m^2 de sol : kg/m^2 de sol

très faible : inf. à 100

faible : 100 à 150

moyenne : 150 à 400

forte : sup. à 400

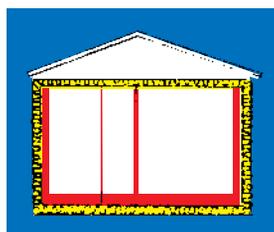
Cette grandeur ne permettait pas d'apprécier complètement l'influence de la surface d'échange, ainsi que celle de la résistance thermique des revêtements de sol. Par ailleurs, la progressivité des 4 classes n'était pas satisfaisante.

RECOMMANDATIONS POUR LA RÉGION PROVENCE - ALPES - CÔTE D'AZUR

Les inerties légères sont à proscrire en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, (sauf éventuellement en montagne).

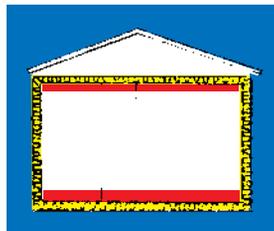
Plus l'inertie est importante, meilleur est le confort pendant la journée en été : il faut tendre vers l'inertie lourde ou très lourde.

La maison individuelle sur un seul niveau :



389 heures par an

$T^>27^\circ C$



445 heures par an

Pour une inertie lourde

Solution 1 :

associer des refends, des cloisons intérieures (ou des contrecloisons sur les murs de l'enveloppe) maçonnées et un plancher haut ou bas lourd.

Solution 2 :

associer deux planchers haut et bas lourds .

L'association des solutions 1 et 2 ou le rajout de l'isolation extérieure sur l'une des solutions permet d'obtenir l'inertie très lourde.

En revanche, les doublages et cloisons à base de plaques de plâtre associés à une seule dalle lourde procurent une inertie insuffisante.

L'inertie est encore plus utile lorsqu'elle est associée à de grands vitrages ensoleillés.

Surface vitrée moyenne : l'inertie lourde est bien adaptée

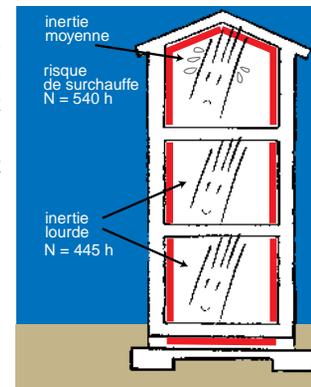
Surface vitrée forte (>10% de la surface de plancher) : l'inertie très lourde est nécessaire.

Bâtiment d'habitation à étages :

Au rez-de-chaussée et aux étages intermédiaires, l'inertie est généralement suffisante grâce aux planchers lourds.

Mais sous toiture, l'inertie doit être complétée.

soit par une dalle supérieure, soit par des cloisons lourdes, soit par l'isolation extérieure.



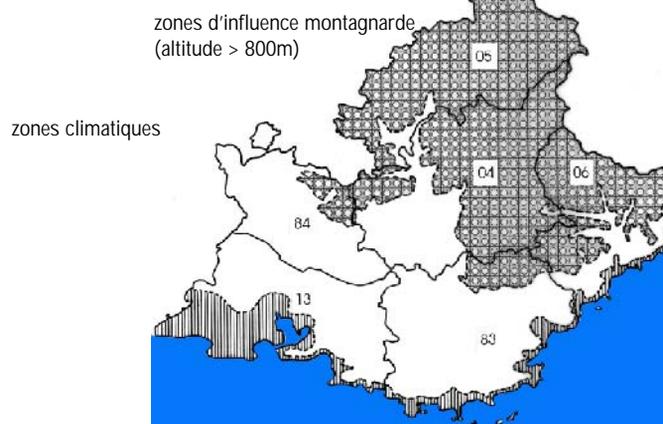
Risque de surchauffe - $T > 27^\circ C$

Habitation sur le littoral méditerranéen :

Sur le littoral, bien que l'amplitude de température entre le jour et la nuit soit plus faible qu'à l'intérieur des terres, une inertie moyenne ou lourde reste indispensable pour assurer le confort d'été.

Habitation en montagne et haute montagne :

En montagne où l'inconfort d'été n'existe pratiquement pas l'inertie peut sembler inutile. Une inertie moyenne ou lourde reste toutefois utile par rapport à la thermique d'hiver : associée à des surfaces vitrées orientées au sud, elle permet de stocker les apports solaires et de réduire les besoins de chauffage.



L'inertie thermique ça marche !

Une maison très inerte est, en été, trois fois moins souvent en surchauffe qu'une maison légère (faible inertie).

On constate du 15 Juin au 15 Septembre : 533 h de dépassement

du seuil de $27^\circ C$ à faible inertie, 176 h seulement avec une forte inertie.

Cette constatation est généralisable à tous les bâtiments construits en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, hors bande côtière et zone de montagne (environ plus de 800m d'altitude).

EN RÉNOVATION

Les constructions du XX^{ème} siècle, jusque dans les années 60, souffrent de l'absence d'isolation thermique, mais bénéficient parfois d'un confort d'été acceptable en raison d'une inertie lourde grâce aux murs, cloisons et planchers lourds.

Il faut prendre garde à ne pas détruire ce confort par une isolation intérieure de l'enveloppe, voire par la pose de faux plafonds



Le confort d'été dans les bâtiments anciens

Les vieilles bâtisses (mas provençaux, châteaux, églises...) aux maçonneries très épaisses (50cm ou plus) sont souvent très confortables l'été grâce à une très grosse inertie, mais souvent aussi grâce à la fai-

étanches pour réduire la hauteur des locaux, de moquettes épaisses, de revêtements bois, ou de contre-cloisons légères.

L'isolation par l'extérieur est généralement à favoriser, en prenant toutes les précautions utiles concernant la qualité du procédé et sa mise en œuvre.

blesse relative des surfaces vitrées et des apports thermiques internes.

En revanche, ces bâtiments sont souvent très inconfortables l'hiver, faute d'isolation thermique. Il faut donc se garder de chercher à reproduire de telles constructions, même si l'intérêt de l'inertie est à retenir.

DANS LES BUREAUX NON CLIMATISÉS ET LES BUREAUX RAFFRAÎCHIS

(raffraîchissement par système radiatif à faible charge thermique : plafond ou plancher rafraîchissant)

Les principales différences avec l'habitat concernent :

- l'occupation essentiellement diurne, avec une recherche d'une forte intermittence jour/nuit pour les installations de chauffage, peu compatible avec une inertie très lourde.
- le souci de conserver une souplesse d'aménagement et de cloisonnement des locaux, favorisant le recours à des cloisons légères.
- des apports thermiques internes (bureautique et éclairage) et externes (grands vitrages) importants.

Une inertie au moins "moyenne" est nécessaire pour espérer éviter

le recours à la climatisation, elle pourra être obtenue par un plancher bas associé à une ventilation du faux plafond accroché sous un plancher lourd.

Une moquette fine est envisageable à défaut de sol thermoplastique ou de carrelage.



L'inertie thermique est un facteur de minoration de la puissance frigorifique installée.

Elle doit être intégrée dans la gestion de l'intermittence tant pour le chauffage que la climatisation.

DANS LES SALLES DE CLASSE

Généralement non climatisés, ces locaux doivent être protégés contre les pics de température : l'inertie est un complément indispensable aux protections solaires des baies vitrées et à la ventilation nocturne.

Les planchers haut et bas doivent être lourds et les faux-plafonds ventilés (pour autant qu'ils ne participent pas à la protection contre les incendies entre deux niveaux).

L'INERTIE THERMIQUE ET LES AUTRES PARAMÈTRES

Le chauffage

L'inertie freine les évolutions de la température des locaux. L'hiver, elle contribue donc à la stabilité de l'ambiance, ce qui est généralement souhaité.

Dans les locaux à occupation discontinue, comme les écoles ou les bureaux, l'inertie oblige à anticiper sur les horaires de mise en route et d'arrêt du chauffage. Sous réserve d'une programmation de qualité, ceci est sans incidence notable sur les consommations.



A noter :

le système de chauffage doit toujours être moins inerte que le bâtiment.

La ventilation nocturne

La ventilation nocturne destinée à rafraîchir les locaux est indissociable de l'inertie puisqu'elle évacue la chaleur stockée le jour par les parois lourdes.

Un bâtiment inerte doit être ventilé la nuit, même si l'efficacité apparente (chute de température) de la ventilation est moins spectaculaire que dans un bâtiment léger.

Les protections solaires

La réduction des apports solaires est une priorité quelle que soit l'inertie du bâtiment considéré. Pour les locaux à occupation permanente ou diurne, les inerties fortes sont d'autant plus nécessaires que les protections solaires sont incomplètes.