

#### INERTIE THERMIQUE DANS LE BATIMENT

##### Principe

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa **capacité à stocker et à déstocker de l'énergie thermique dans sa structure**, quelle que soit la saison.

Elle est caractérisée par sa **capacité thermique** et exprime le flux de chaleur échangé par les parois du bâtiment avec son ambiance intérieure, par mètre carré de sol :  $W/m^2.K$  par  $m^2$ .

L'inertie thermique définit donc la vitesse à laquelle le bâtiment se refroidit ou se réchauffe.

Elle permet à la fois d'amortir les variations de la température intérieure en absorbant et en stockant la chaleur reçue (apports internes et solaires), mais elle permet également de déphaser cette variation de température, en restituant la chaleur stockée avec un décalage dans le temps.

Un **matériau inerte** (ex. pierre, béton) garde longtemps sa température initiale lorsqu'intervient une perturbation de son équilibre thermique, et met longtemps à atteindre sa nouvelle température d'équilibre.

Les matériaux constitutifs de la structure d'un bâtiment participent donc à la stabilité de sa température intérieure.

Globalement plus les matériaux sont denses et plus ils sont inertes, c'est pourquoi on parle de **masse thermique**.

Cette masse, de part sa capacité à emmagasiner de la chaleur et à la restituer en différé va participer à la fois au confort d'hiver mais aussi à celui d'été. L'hiver en évitant les sensations de parois froides et en permettant des aérations sans trop refroidir les pièces. L'été en apportant de la fraîcheur la journée, fraîcheur qu'on peut maintenir en créant des courants d'air la nuit pour évacuer les calories des murs.

##### Les paramètres de l'inertie

L'inertie thermique d'un matériau se caractérise par 2 valeurs :

**La diffusivité thermique** ( $D_f$ , en  $m^2/h$ ): elle caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps. Plus elle est faible, et plus le déphasage est important.

**L'effusivité thermique** ( $E_f$ , en  $J/(K.m^2.s^{1/2})$ ): elle caractérise la capacité des matériaux à réagir plus ou moins rapidement à un apport de chaleur intérieur au logement (provenant d'une source interne ou du rayonnement solaire). Plus l'effusivité est grande, et plus vite la chaleur interne sera absorbée par le mur, plus l'élévation de la température sera limitée. Une grande effusivité implique une grande capacité thermique du mur, dont la température ne s'élève que lentement.



Bonne utilisation de l'inertie thermique d'un bâtiment

Source : <http://polenergie.net/>

Matériau subjectivement chauds	Matériau neutres à frais	Matériaux froids
$0,33 < E_f < 0,67$	$0,67 < E_f < 1,25$	$E_f > 1,25$
Pièces orientées au Nord, ombragées, utilisation intermittente	À l'est, dans les espaces utilisés quotidiennement	Sud et Ouest, pièces avec fenêtres de toit
Liège, bois, laine	Plâtre, chaux, terre cuite	Marbre, grès, pierre naturelle

Choix des matériaux dans la conception suivant leur effusivité

**Ef : Effusivité**

Source : <http://www.artisanatpyrenees.eu/>

##### Paramètres physiques :

Diffusivité :  $D_f = \lambda / (\rho \cdot c)$

Effusivité :  $E_f = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$

Avec :

$\lambda$  conductivité ( $W/m.K$ )

$\rho$  masse volumique ( $kg/m^3$ )

$c$  chaleur spécifique ( $J/(kg.K)$ )

**Une bonne inertie** associe les 3 caractères suivants :

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

#### La capacité thermique massique ou chaleur spécifique

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de masse 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 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.

<b>Caractéristiques thermiques de matériaux courants</b>			
<b>Ordres de grandeur</b>			
<b>Matériaux</b>	<b>Capacité Thermique KJ/m<sup>3</sup>.K</b>	<b>Diffusivité Thermique m<sup>2</sup>/h</b>	<b>Effusivité Thermique J/(°C.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>)</b>
Béton de granulats Béton cellulaire	~ 2 200 ~ 600	~ 2.9 x 10 <sup>-3</sup> ~ 1.7 x 10 <sup>-3</sup>	~ 2 000 ~ 400
Terre cuite	~ 1 700	~ 2.5 x 10 <sup>-3</sup>	~ 1 400
Bois lourds Bois légers	~ 1 600 ~ 1 000	~ 0.5 x 10 <sup>-3</sup> ~ 0.4 x 10 <sup>-3</sup>	~ 600 ~ 360
Acier	~ 3 500	~ 6.1 x 10 <sup>-3</sup>	~ 14 000
Laine de cellulose	~ 40	~ 4 x 10 <sup>-3</sup>	~ 40

#### Enjeux

##### Source de confort

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

##### Economie d'énergie en hiver

En même temps qu'elle évite les surchauffes, l'inertie limite les pertes de chaleur. C'est donc un facteur d'économie d'énergie en hiver pour les locaux à occupation continue.

Pour les locaux à occupation intermittente, l'inertie peut au contraire générer quelques surconsommations dues aux besoins de relance thermique plus importants.

##### Assurer l'équilibre énergétique

Pour assurer le confort d'été, l'inertie thermique doit être obligatoirement être associée à des dispositifs de refroidissement des structures qui permettront d'éliminer la nuit l'énergie emmagasinée la journée (apports solaires et internes).

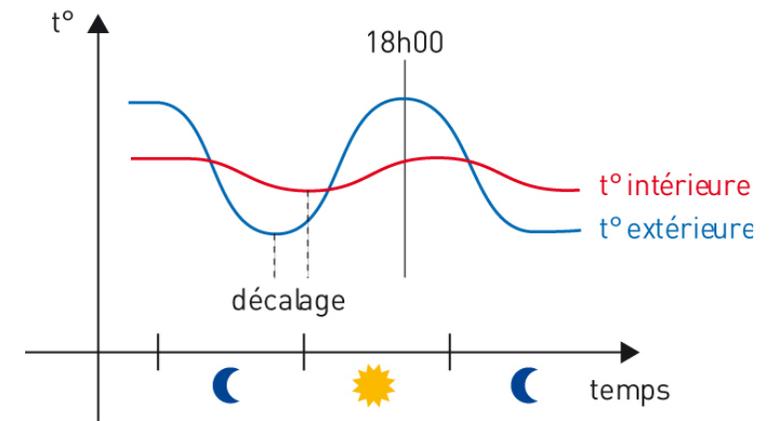
Si la température extérieure le permet, ce rafraichissement peut être obtenu naturellement par ventilation naturelle.

##### Confort d'été

Quels que soient la nature d'un bâtiment et son type d'occupation, l'inertie thermique est toujours un facteur favorable au confort d'été.

##### Confort d'hiver

Dans les bâtiments à occupation intermittente, l'inertie thermique est source de confort en été comme en hiver, mais elle est à priori source de surconsommation d'énergie en hiver puisqu'elle maintient la température intérieure à un niveau plus élevé en période d'inoccupation.



Principe d'évolution des températures de surfaces intérieure et extérieure d'une paroi à forte inertie

Source : [www.explorations-architecturales.com/](http://www.explorations-architecturales.com/)

#### Application pratique

L'inertie peut soit se calculer par simulation thermique dynamique (logiciels STD), soit se caractériser par approche globale simplifiée (RT 2005).

Le calcul réglementaire permet de classer rapidement un bâtiment (tableau issu des règles TH-I RT 2005) :

Plancher bas	Plancher haut	Paroi verticale	Classe d'inertie
lourd	lourd	lourde	très lourde
-	lourd	lourde	lourde
lourd	-	lourde	lourde
lourd	lourd	-	lourde
-	-	lourde	moyenne
-	lourd	-	moyenne
lourd	-	-	moyenne
-	-	-	très légère

Détermination forfaitaire de la classe d'inertie d'un niveau de bâtiment

#### Limites & points de sensibilité

##### Isolation par l'extérieur

Pour tirer le meilleur profit de l'inertie thermique d'un bâtiment inerte (en pierre ou en béton par exemple), on a intérêt à isoler par l'extérieur.

Ainsi en hiver, le mur va emmagasiner la chaleur intérieure puis la restituer et le froid extérieur va être stoppé par l'isolation. A l'inverse, en été, l'inertie interviendra comme tampon thermique face au réchauffement de l'ambiance intérieure. Ainsi, à condition de décharger cette masse thermique sur les cycles jour/nuit, l'inertie sera pleinement mobilisée pour limiter les surchauffes. Ce principe d'isolation permet d'utiliser l'inertie pour assurer stabilité et confort de l'ambiance intérieure.

##### Inertie thermique d'une maison en structure légère

Une maison réalisée entièrement en bois aura une faible inertie thermique. Même si son isolation est irréprochable, la maison n'aura pas une grande capacité à stocker la chaleur :

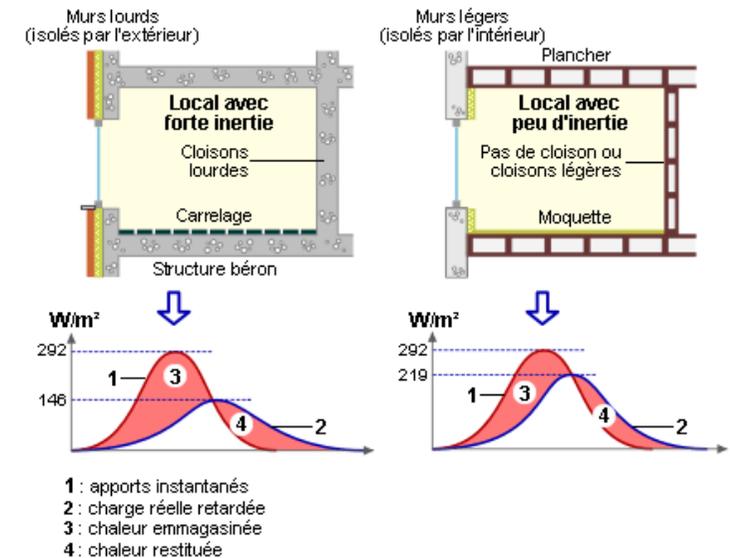
- En hiver, les apports solaires de la journée ne seront pas conservés longtemps, la chaleur émise par le système de chauffage devra être importante et continue pour que la maison ne se refroidisse pas pendant la nuit.
- En été, la maison risque de surchauffer pendant la journée.

Ce type de construction demande donc une attention particulière en climat méditerranéen.

Pour augmenter l'inertie thermique de ce type de maison, il va falloir augmenter la masse des éléments internes de la maison : cloisons en briques, dalles en bétons, dalles de plancher... Lorsque la masse intérieure d'une maison en bois est importante, le principe se rapproche alors d'une maison en pierre isolée par l'extérieur. Les murs en bois permettent d'obtenir une excellente isolation et les éléments internes pourront être rapidement chauffés.

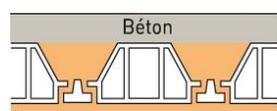
#### Evolution dans le temps de l'apport de chaleur dû à l'ensoleillement dans un local avec ou sans inertie thermique

(Comparaison entre la chaleur instantanée transmise au travers du vitrage et la chaleur restituée au local)



Source : [www.energieplus-lesite.be/](http://www.energieplus-lesite.be/)

##### • Poutrelles/entrevous



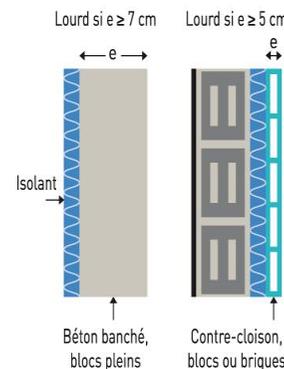
Béton  
Dalle de compression  
Lourd si  $e \geq 4$  cm

##### • Prédalles



Béton  
Lourd si épaisseur de plancher  
-  $e \geq 15$  cm  
-  $e \geq 10$  cm avec isolant en sous-face

Exemples de planchers lourds



Exemples de murs lourds

#### Exemples de compositions de planchers et murs lourds

Source : [www.explorations-architecturales.com/](http://www.explorations-architecturales.com/)

#### Recommandations pour le climat méditerranéen

##### Inertie lourde

En climat méditerranéen (hors zone de montagne) le problème majeur est d'assurer le confort d'été.

Pour cela il faut privilégier les inerties lourdes et très lourdes qui vont atténuer les fortes augmentations de températures et améliorer le confort en journée.

##### Refroidissement nocturne

L'inertie est nécessaire mais elle n'est pas suffisante et doit obligatoirement être complétée par un système de refroidissement nocturne.

En effet, la nuit, les parois lourdes devront restituer la chaleur emmagasinée pendant la journée afin de retrouver la totalité de leur potentiel de tampon thermique en début de matinée.

Sans ce cycle de décharge jour/nuit l'inertie thermique peut devenir génératrice de phénomène de surchauffe en conservant la chaleur dans l'ambiance intérieure.

#### Application à Marseille

##### Confort d'été – rafraîchissement par surventilation nocturne

Marseille présente un fort gradient de température entre le jour et la nuit. Il est donc possible de faire descendre la température de la masse thermique pendant la nuit, par le biais d'une surventilation nocturne (de l'ordre de 10 vol/h).

L'inertie va libérer son énergie thermique, la masse thermique se refroidit et retrouver son potentiel « tampon » vis-à-vis de l'élévation de température en journée.

##### Confort d'hiver – diminution des consommations de chauffage

Il faut valoriser les apports solaires gratuits en stockant la chaleur dans la masse thermique qui diffusera cette énergie thermique en différé, la nuit.

L'enveloppe performante permet de garder cette chaleur. Ainsi la température est maintenue pendant la nuit sans surconsommation de chauffage. L'inertie contribue donc à limiter les fluctuations de températures, de plus elle diminue la sensation de paroi froide et améliore ainsi le confort.

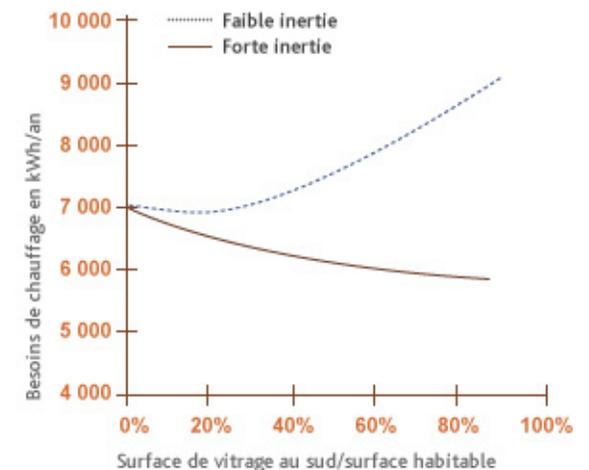
#### Comparaison de deux maisons identiques

L'étude ci-dessous présente l'impact de l'inertie thermique sur les besoins de chauffage d'une maison.

**La première maison a une forte inertie** thermique car l'isolation est placée à l'extérieur (mur en maçonnerie).

**La seconde maison a une faible inertie** thermique car l'isolation est placée à l'intérieur (mur en maçonnerie).

Si on augmente progressivement, dans ses deux maisons, la surface de vitrage en façade sud, on constate une réduction des besoins de chauffage de la maison à forte inertie alors que les besoins de la maison à faible inertie augmentent de façon importante.



Calculs GEFOSAT, logiciel de simulation dynamique PLEIADES + COMFIE. Conditions météorologiques de Montélimar. Etude sur une maison de 100m<sup>2</sup> - 250m<sup>2</sup>, mur à isolation par l'intérieur (faible inertie) ou par l'extérieur (forte inertie), fenêtres alu double vitrage, surface de vitrage 1.8m<sup>2</sup> à l'est, l'ouest et le nord, chauffage 15 °C nuit et 19°C jour.

Source : Thierry Salomon et Stéphane Bedel, *La maison des [néga] watts*, Mens : Éd. Terre vivante, 1999.



#### Pour aller plus loin...

##### Sources :

- [www.enertech.fr/docs/Inertie.pdf](http://www.enertech.fr/docs/Inertie.pdf)
- [www.grenoble.archi.fr/enseignement/cours/tixier/M21C\\_Fiche\\_Inertie\\_02\\_03.pdf](http://www.grenoble.archi.fr/enseignement/cours/tixier/M21C_Fiche_Inertie_02_03.pdf)
- [www.ecosources.info/dossiers/Inertie\\_thermique](http://www.ecosources.info/dossiers/Inertie_thermique)
- [www.regionpaca.fr](http://www.regionpaca.fr) (confort d'été, fiche 4 : inertie thermique)
- [www.techno-science.net](http://www.techno-science.net)
- [www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com)

##### Pour en savoir plus :

- [archi.climatic.free.fr/01questce.html](http://archi.climatic.free.fr/01questce.html)
- [variance.free.fr/notes%20techniques/inertie.htm](http://variance.free.fr/notes%20techniques/inertie.htm)