

# FORMATION BATIMENT DURABLE

## GESTION DES SURCHAUFFES ESTIVALES

PRINTEMPS 2024

**Absorber la chaleur**



- ▶ Comprendre les notions d'inertie et les grandeurs associées
- ▶ Prendre conscience de l'impact des différents modes constructifs et du choix des matériaux
- ▶ Découvrir les matériaux à changement de phase



## **INTRODUCTION**

NOTIONS THÉORIQUES

EN PRATIQUE

MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE

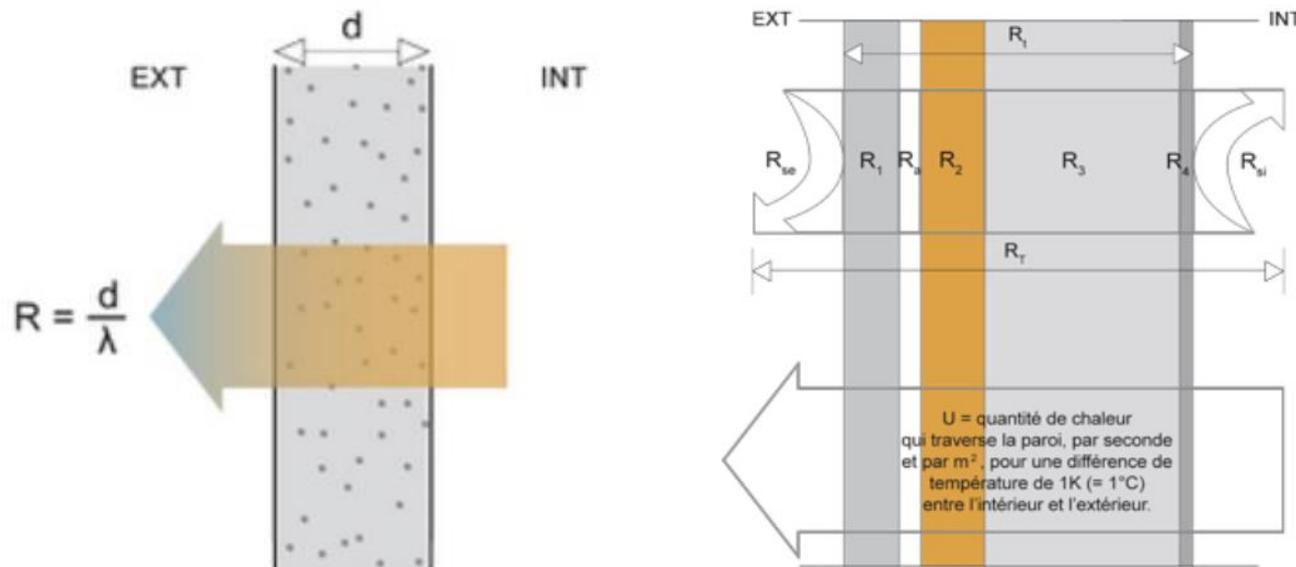


## RÉGIME PERMANENT ET RÉGIME VARIABLE

## Régime permanent

- Hypothèse : échanges thermiques permanents entre un bâtiment et son environnement, sous l'effet d'un gradient de température moyen

⇒ C'est la **résistance thermique, R**, des parois qui est prise en compte dans le bilan thermique.



Source : Guide PEB

⇒ Plus la résistance thermique est élevée, plus la paroi est performante



## Régime variable

► Or, dans la réalité ...

- la température extérieure varie,
- la température intérieure varie – si elle n'est pas maintenue constante avec un système de chauffage / refroidissement

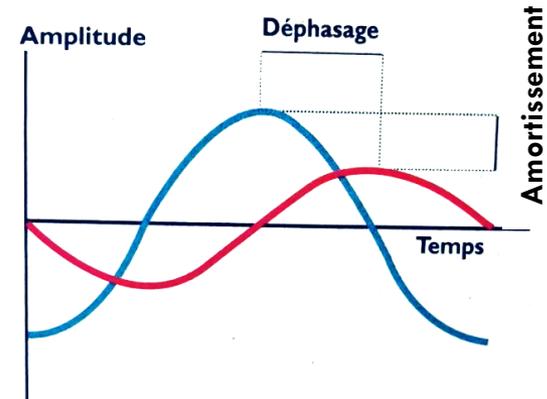
⇒ L'analyse des échanges doit être faite en régime **variable** !

- D'autres grandeurs entrent en jeu...
  - Inertie thermique



## Inertie thermique d'un bâtiment

- ▶ C'est la propriété du bâtiment à **s'opposer aux variations de température**
  - Il s'agit du bâtiment **avec tous ses composants**, notamment les parois de l'enveloppe extérieure, mais aussi les parois internes
- ▶ L'inertie thermique a pour effet
  - D'amortir l'amplitude l'onde thermique
  - De déphaser sa restitution dans le temps

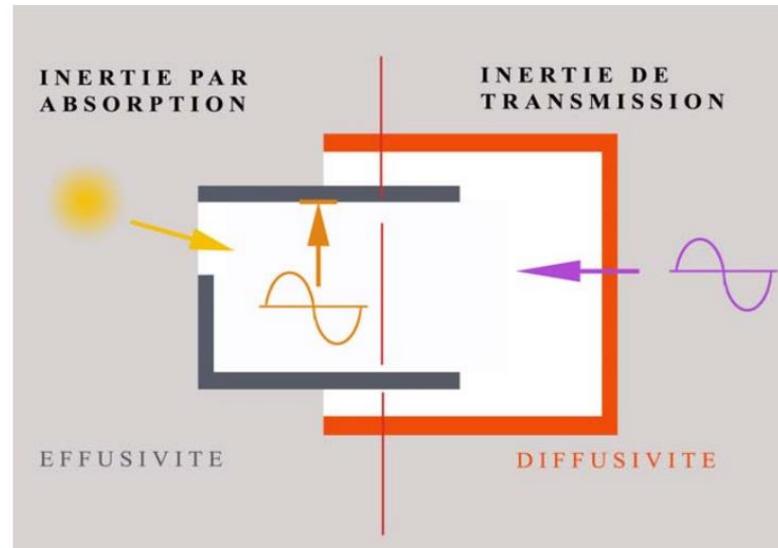


Source : La conception bioclimatique,  
Samuel Courgey et Jean Pierre Oliva



## Inertie thermique d'un bâtiment

- ▶ On peut distinguer deux cas de figures où intervient l'inertie thermique



Source : Julie LELONG

> Atténue les variations de températures intérieures dues à **l'intermittence des sources de chaleur** interne et à la pénétration solaire par les baies

> Concerne les **parois internes**

> Atténue les variations de températures extérieures dues **aux amplitudes thermiques du climat** et aux effets du rayonnement solaire sur les parois d'enveloppe externe

> Concerne les **parois de l'enveloppe**



### Inertie d'une paroi [kWh/m<sup>2</sup>K]

- ▶ C'est la capacité de la face interne des parois à absorber, stocker et restituer les apports instantanés de chaleur
- ▶ L'inertie d'une paroi se calcule par l'addition de l'inertie de ses composants

### Inertie intérieure d'une pièce [kWh/K]

- ▶ L'inertie d'une paroi se calcule par l'addition de l'inertie intérieure de toutes les parois de la pièce.
- ▶ Elle peut éventuellement être rapportée au m<sup>2</sup> de surface habitable.

⇒ Comment **quantifier l'inertie thermique** ?



INTRODUCTION

**NOTIONS THÉORIQUES**

EN PRATIQUE

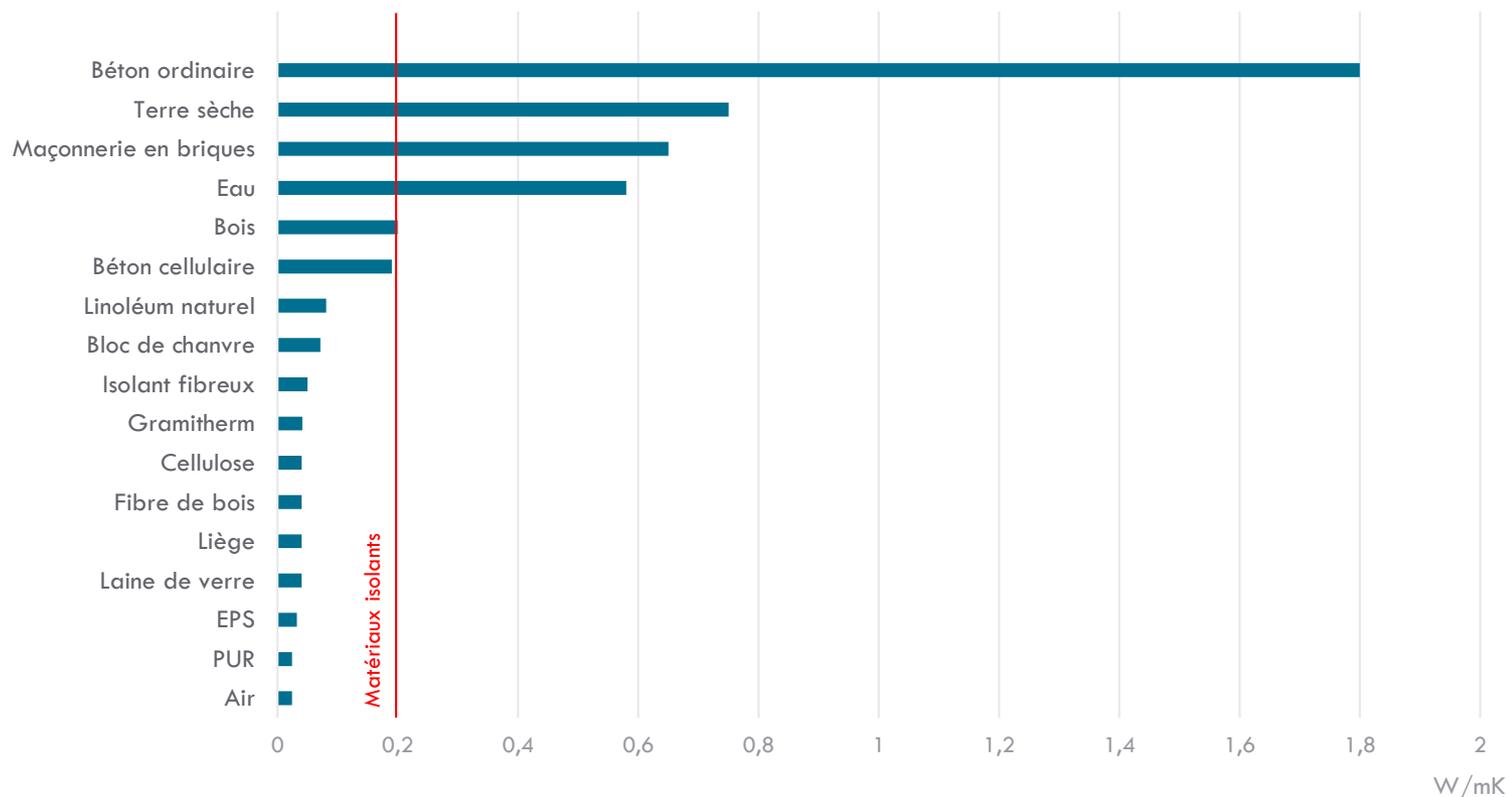
MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE



## CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

**Conductivité –  $\lambda$  [W/mK]**

- ▶ C'est l'aptitude d'un matériau à **transmettre de la chaleur par conduction**
  - Plus la conductivité est élevée, plus le matériau est conducteur
  - Plus la conductivité est faible, plus le matériau est isolant



## CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

### Chaleur spécifique : $\rho$ [J/kg.°C]

- ▶ C'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré, un kg de ce matériau.

### Masse volumique : $C$ [kg/m<sup>3</sup>]

- ▶ C'est la masse d'un matériau par unité de volume

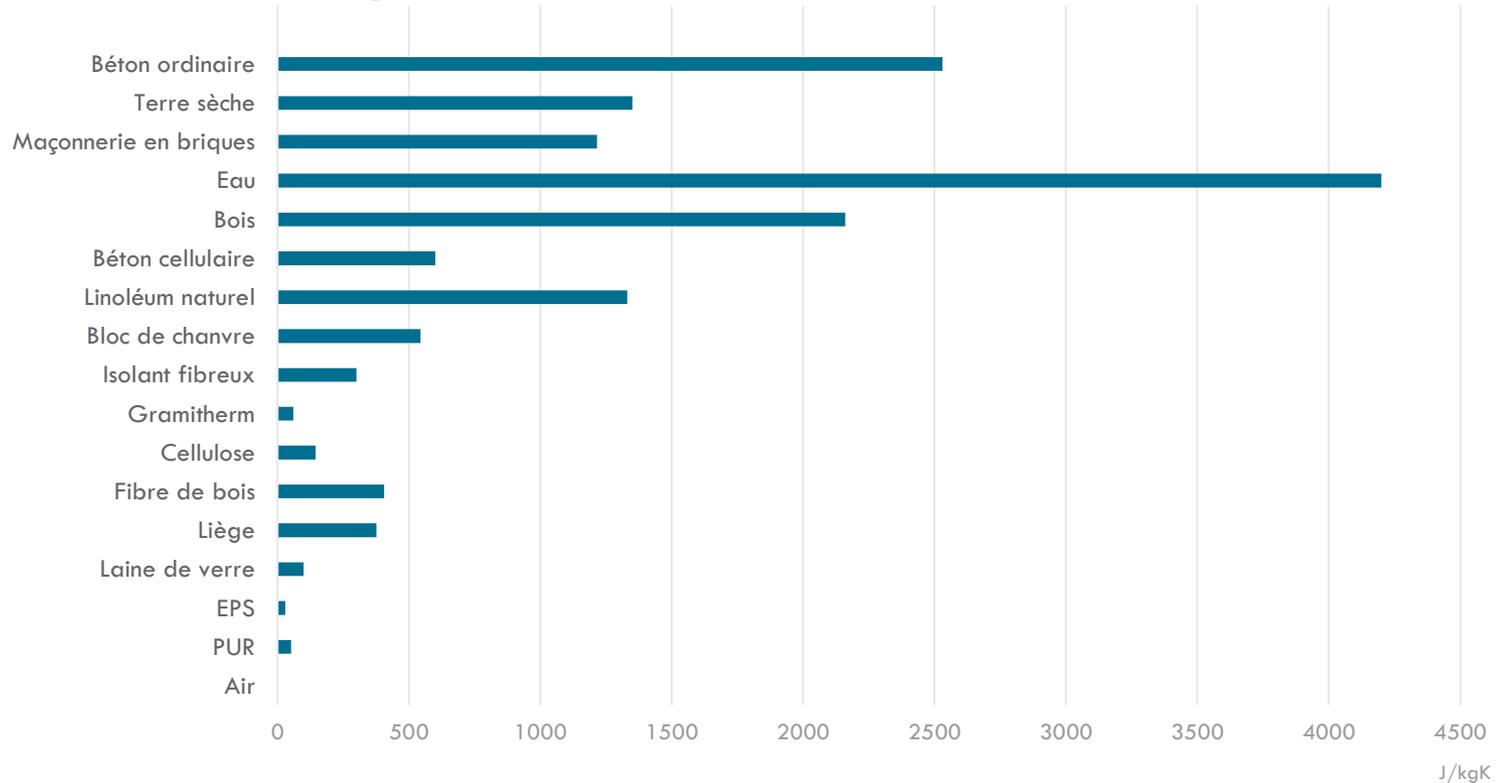


## CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

**Capacité thermique volumique / Chaleur volumique –  $\rho C$  [J/kgK]**

- ▶ C'est la chaleur nécessaire pour élever de 1°C, 1 m<sup>3</sup> du matériau
  - Plus la capacité thermique volumique est élevée, plus le matériau peut stocker de la chaleur

⇒ C'est l'**aptitude** d'un matériau à stocker de la chaleur



### Diffusivité – $a$ [ $m^2/h$ ] = $\lambda / \rho C$

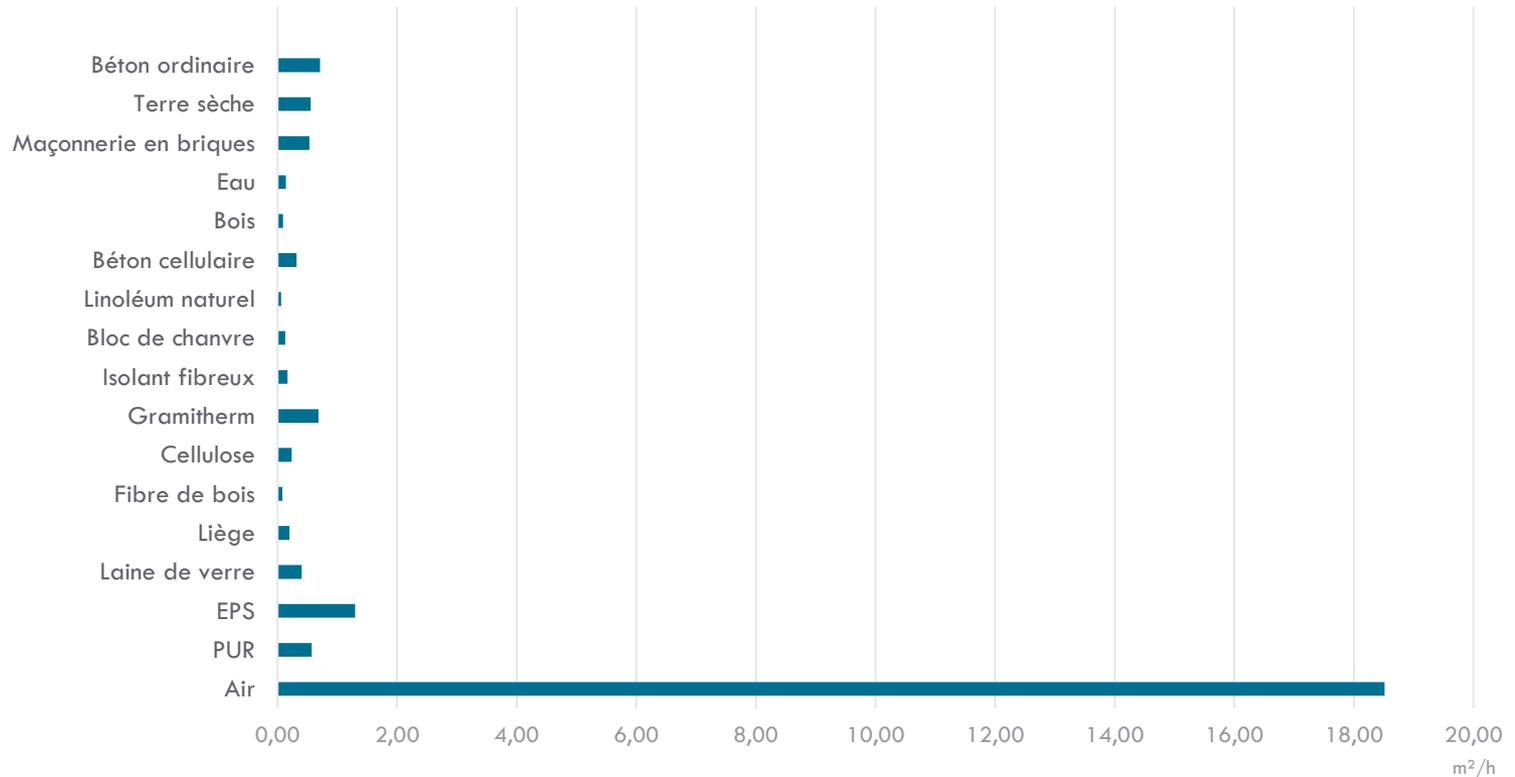
- ▶ C'est l'aptitude d'un matériau à **transmettre rapidement une variation de température**
  - Plus la diffusivité est élevée,
    - plus le front de chaleur traversera rapidement le matériau
- ⇒ Elle caractérise **l'efficacité du transfert thermique par conduction**
- ▶ La diffusivité est **inversement proportionnelle** au déphasage
- ▶ L'**inertie de transmission** fait appel principalement à la diffusivité thermique de la paroi d'enveloppe



## CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

**Diffusivité –  $a$  [ $m^2/h$ ] =  $\lambda / \rho C$** 

- C'est l'aptitude d'un matériau à **transmettre rapidement une variation de température**



**Effusivité –  $b$  [ $\text{J/s}^{0,5}\text{m}^2\text{K}$ ] =  $(\lambda \cdot \rho C)^{0,5}$** 

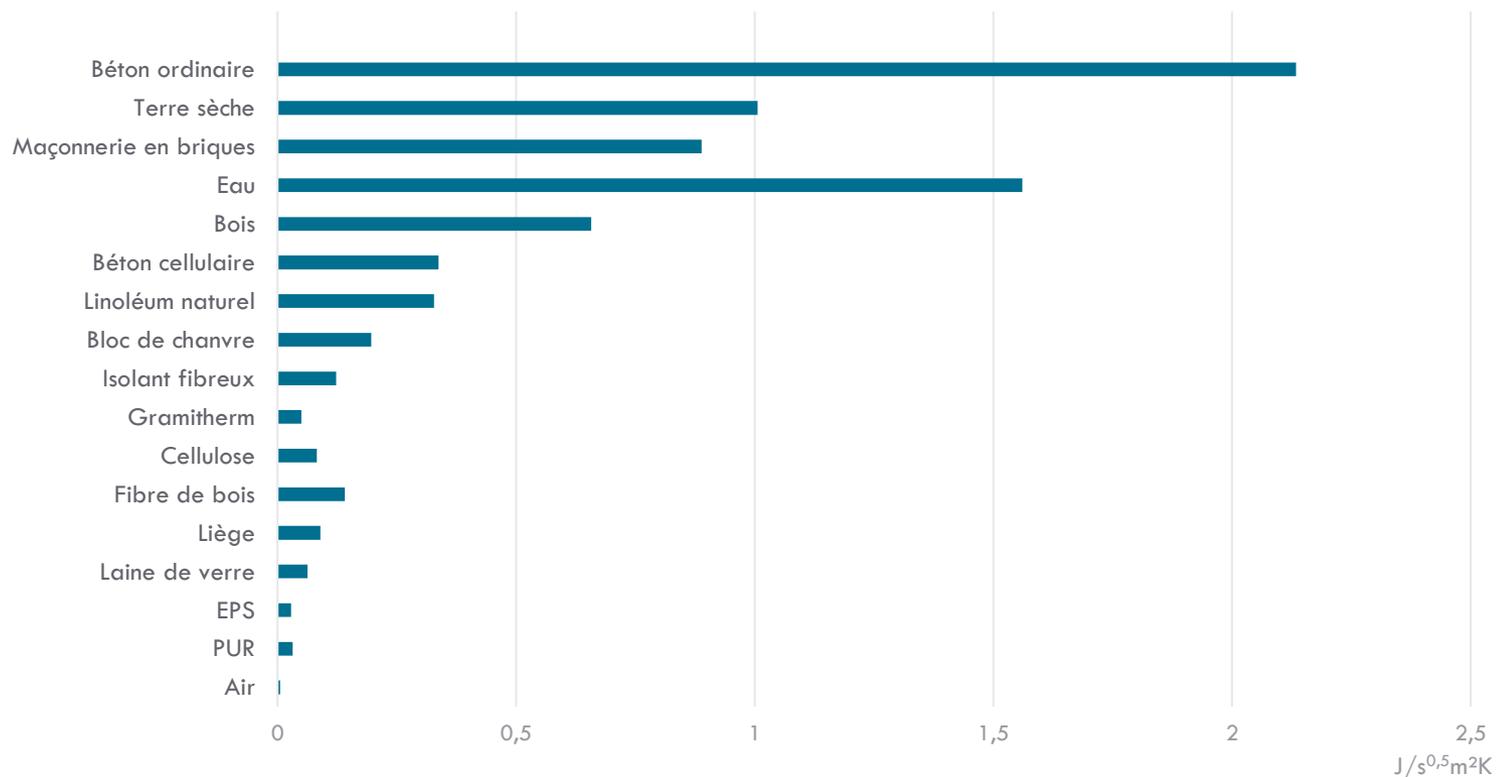
- ▶ C'est l'aptitude d'un matériau à **absorber rapidement des calories**
  - Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe de l'énergie sans se réchauffer notablement
  - Plus l'effusivité est faible, plus le matériau se réchauffe rapidement
  
- ▶ L'**inertie par absorption** fait appel principalement à l'effusivité des matériaux constituant les parois internes
  
- ▶ En absorbant facilement les flux de chaleur, un matériau effusif s'échauffera peu et limitera les variations de température interne.



## CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

**Effusivité –  $b$  [ $\text{J}/\text{s}^{0,5}\text{m}^2\text{K}$ ] =  $(\lambda \cdot \rho C)^{0,5}$**

- ▶ C'est l'aptitude d'un matériau à absorber rapidement des calories



## Temps caractéristique

- ▶ C'est le temps nécessaire pour qu'un matériau se retrouve à l'équilibre thermique après une perturbation de son environnement
- ▶ Le temps caractéristique dépend de la diffusivité thermique et de l'écart entre les deux températures d'équilibre.
  - Si le matériau a une faible diffusivité thermique, il atteindra l'équilibre après un temps long
  - Si le matériau a une diffusivité thermique élevée, il atteindra l'équilibre après un temps bref



## AUTRES NOTIONS THÉORIQUES

### Capacité thermique d'un local ou d'un bâtiment [J/°C]

- ▶ C'est la capacité thermique de toutes les parois en contact avec l'ambiance intérieure

### Constante de temps d'un local, $\tau$ [s]

- ▶ Elle caractérise la rapidité d'évolution de la température dans le local en fonction des sollicitations extérieures
  - Plus  $\tau$  est élevé, plus la température du local est stable
- ▶ C'est le rapport entre la capacité thermique et les déperditions (par transmission et par ventilation)
- ▶ La constante de temps est utilisée comme indicateur pour le calcul des surchauffes dans la PEB
- ▶ L'inertie thermique globale d'un bâtiment peut être appréciée à partir de la capacité thermique totale « utile » du bâtiment, c'est à dire la capacité de toutes les parois en contact avec l'ambiance intérieure



## Zoom sur le béton

► Le béton présente

- Une **diffusivité faible** : la vitesse de transfert de chaleur à travers le béton est faible, l'onde thermique progresse donc lentement avant d'atteindre l'ambiance intérieure

⇒ **L'inertie de transmission est élevée**

- Une **effusivité élevée** : le béton absorbe de l'énergie sans se réchauffer notablement...

⇒ **L'inertie par absorption est élevée**

> *La quantité de chaleur emmagasinée la journée est dissipée pendant la nuit ou*

> *La fraîcheur emmagasinée pendant la nuit grâce à une ventilation efficace est restituée au moment fort de la journée*



## Zoom sur le bois

- ▶ Le bois a la particularité de présenter
  - Une **diffusivité faible** : la vitesse de transfert de chaleur à travers le bois est faible, l'onde thermique progresse donc lentement avant d'atteindre l'ambiance intérieure
    - ⇒ **L'inertie de transmission est élevée**
  - Une **effusivité faible** : le bois se réchauffe rapidement...
    - ⇒ **L'inertie par absorption est faible**



## Isoler pour l'hiver ou pour l'été ?

- ▶ En hiver,
  - Conductivité thermique
    - >> matériaux ayant une faible conductivité thermique
  
- ▶ En été
  - Conductivité thermique
  - Réduction d'amplitude
    - >> matériaux ayant une capacité thermique volumique élevée
  
  - Déphasage de l'onde thermique
    - >> matériaux ayant une faible diffusivité thermique



## Impact de la position de l'isolation

- ▶ En inertie de transmission, la différence entre les deux solutions est faible
- ▶ En inertie par absorption, la différence entre les deux solutions est plus importante
  - L'inertie par absorption nécessite des matériaux effusifs accessibles (= qui possèdent une conductivité thermique et une chaleur volumique élevées

*Béton, terre cuite, terre crue...*

- La solution de l'effusivité placée à l'intérieur, donc de **l'isolation extérieure est préférable**



## Où placer l'inertie ?

- ▶ On n'a pas besoin d'inertie dans tous les locaux...
- ▶ Dans les locaux où l'inertie est nécessaire, les masses inertielles doivent être correctement placées et mises en œuvre

⇒ Chaque paroi a un rôle différent vis-à-vis de l'inertie !

- Façade Sud >> Captage solaire + déphasage
- Toiture + Façade Ouest >> Protection solaire + déphasage
- Sol intérieur >> Stockage
- Parois intérieures balayées par les mouvements d'air >> Stockage
- Parois intérieures pouvant servir d'émetteur >> Emission, avec ou sans stockage
- Espace entre volume habité et la terre >> Stockage + déphasage

⇒ Toutes les parois n'ont pas besoin d'être inertielles

⇒ L'inertie n'est pas le seul rôle d'une paroi...(acoustique, stabilité, résistance au feu, chauffage, flexibilité,...)



## NOTIONS THÉORIQUES

- ▶ Conductivité
- ▶ Capacité thermique volumique
- ▶ Diffusivité
- ▶ Effusivité
- ▶ Inertie thermique

## EN PRATIQUE

- ▶ **Comparaison de différents types de parois**
- ▶ Cas d'étude

## MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE



## COMPARAISON DE DIFFÉRENTS TYPES DE PAROIS

Pour une même conductivité thermique, comparons les paramètres suivants ...

► Déphasage [h]

- indique le temps écoulé entre les pics de chaleurs intérieurs et extérieurs

*Une valeur de 12 heures signifie ici que la température interne maximale est atteinte 12 heures après la température de surface externe maximale.*

► Amortissement (= Atténuation du flux de chaleur)

- indique la proportion de l'onde de chaleur extérieure transmise à l'intérieur

*Une valeur de 10 signifie que la surface extérieure présente des variations de température 10 fois plus importantes que la surface intérieure*

*Exemple : Pour un amortissement de 10, et*

*$T_{ext}$  qui varie de 15 à 35°C (variation de 20°C)*

*$T_{int}$  aura une variation de 2°*

► Capacité de stockage [kJ/m³K]

- ⇒ Ces indicateurs **servent uniquement à comparer différents composants** et ne font aucune déclaration sur la température intérieure réellement attendue

*Simulations réalisées à l'aide de l'outil [ubaktus](#)*



## Murs – Conductivité thermique $U = \sim 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

Maçonneries

Isolation par l'extérieur

- Mur 01 : Plafonnage + Maçonnerie + EPS + Crépi
- Mur 02 : Plafonnage + Maçonnerie + Fibre de bois + Enduit chaux

Isolation par l'intérieur

- Mur 03 : Enduit argile + Bloc chaux-chanvre + Maçonnerie
- Mur 04 : Plaque de plâtre + PUR + Maçonnerie

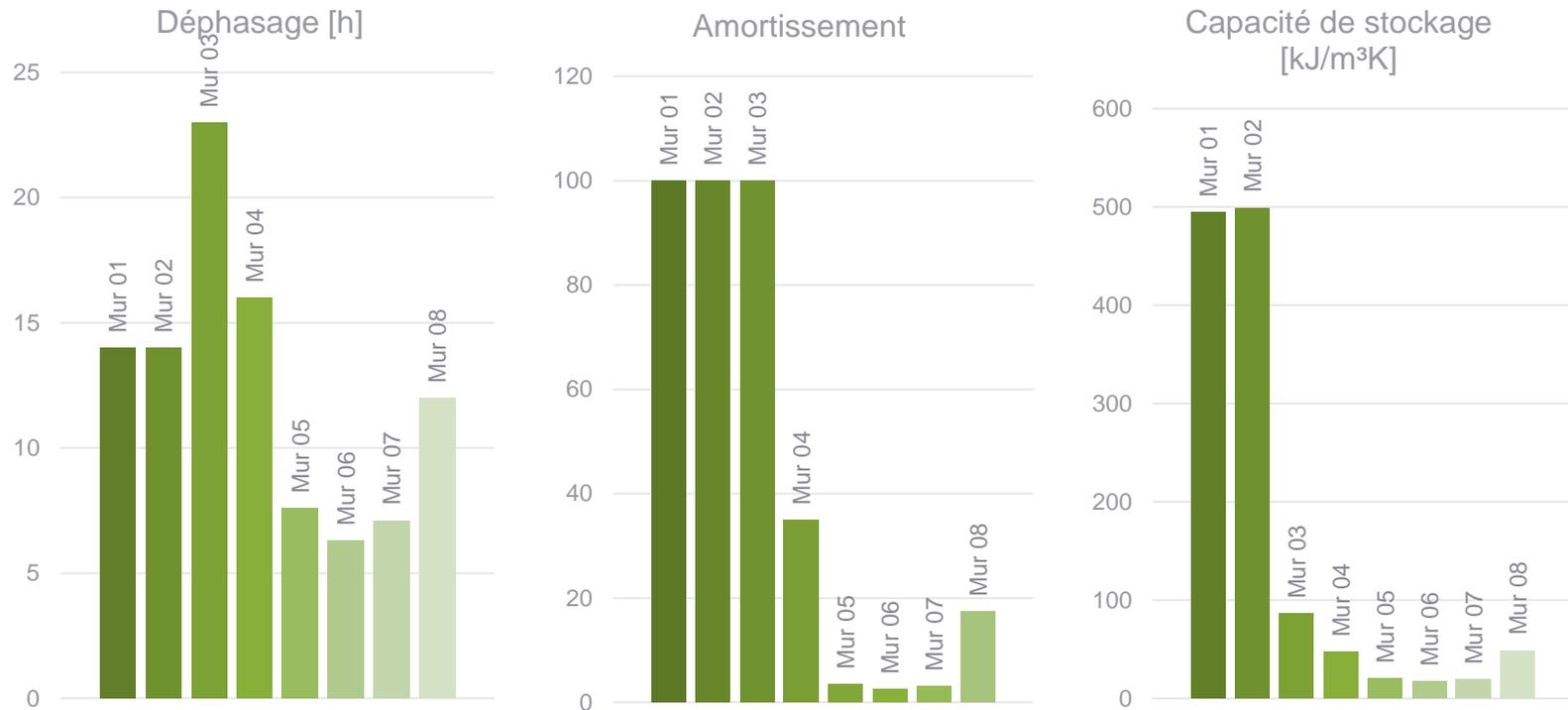
Structure bois

- Mur 05 : Plaque fibre-gypse + Ossature bois / Cellulose
- Mur 06 : Plaque fibre-gypse + Ossature bois / Herbes séchées
- Mur 07 : Plaque fibre-gypse + Ossature bois / Fibre de bois
- Mur 08 : Enduit argile + Poteau-Poutre en bois / Paille



## COMPARAISON DE DIFFÉRENTS TYPES DE PAROIS

**Murs** – Conductivité thermique  $U = \sim 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$



**Toitures – Conductivité thermique  $U = \sim 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$** 

Toiture en pente

Isolation en sarking

- Toit 01 : Structure bois + PUR
- Toit 02 : Structure bois + Fibre de bois

Isolation entre chevrons

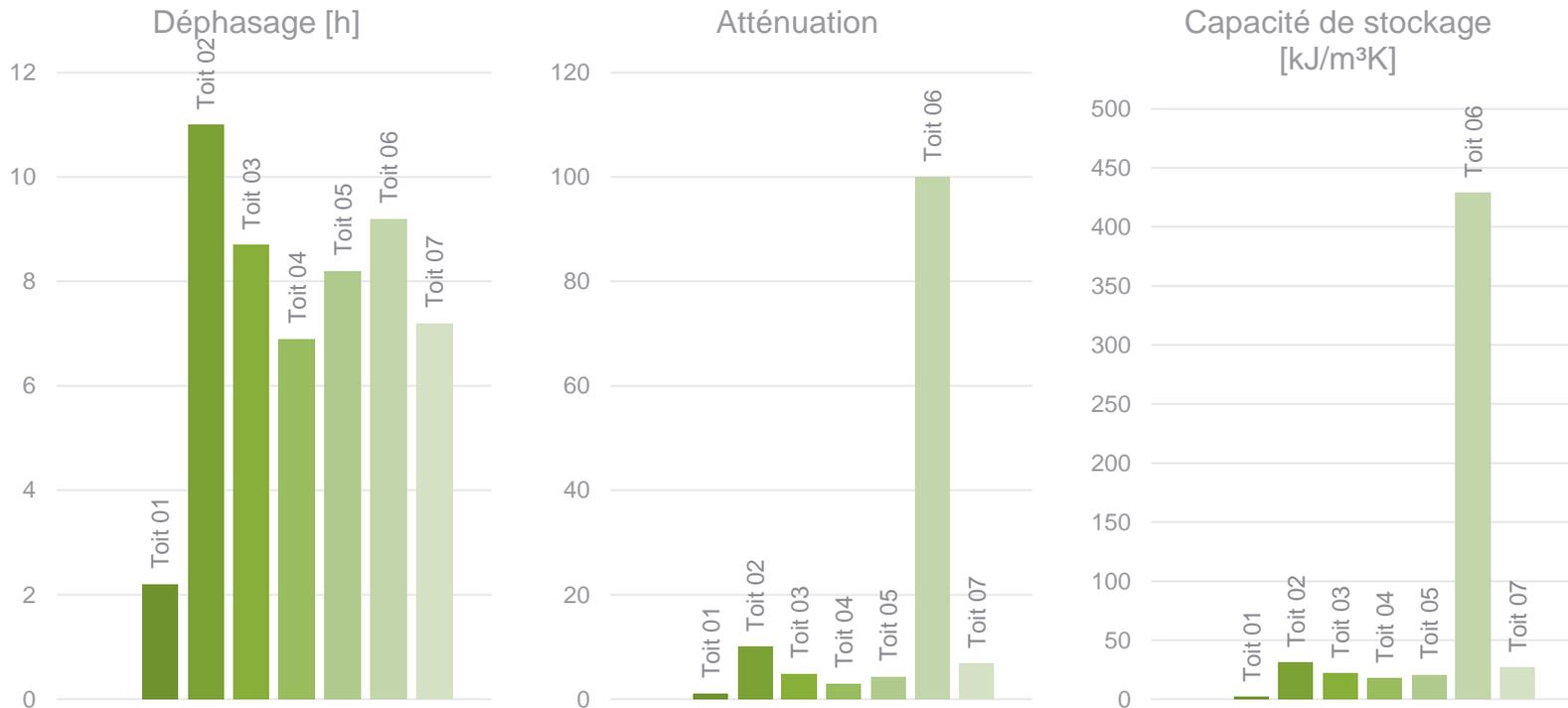
- Toit 03 : Structure bois + Fibre de bois
- Toit 04 : Structure bois + Herbes séchées
- Toit 05 : Structure bois + Cellulose

Toiture plate

- Toit 06 : EPDM + PUR + Structure béton
- Toit 07 : EPDM + Fibre de bois + Structure bois + Fibre de bois

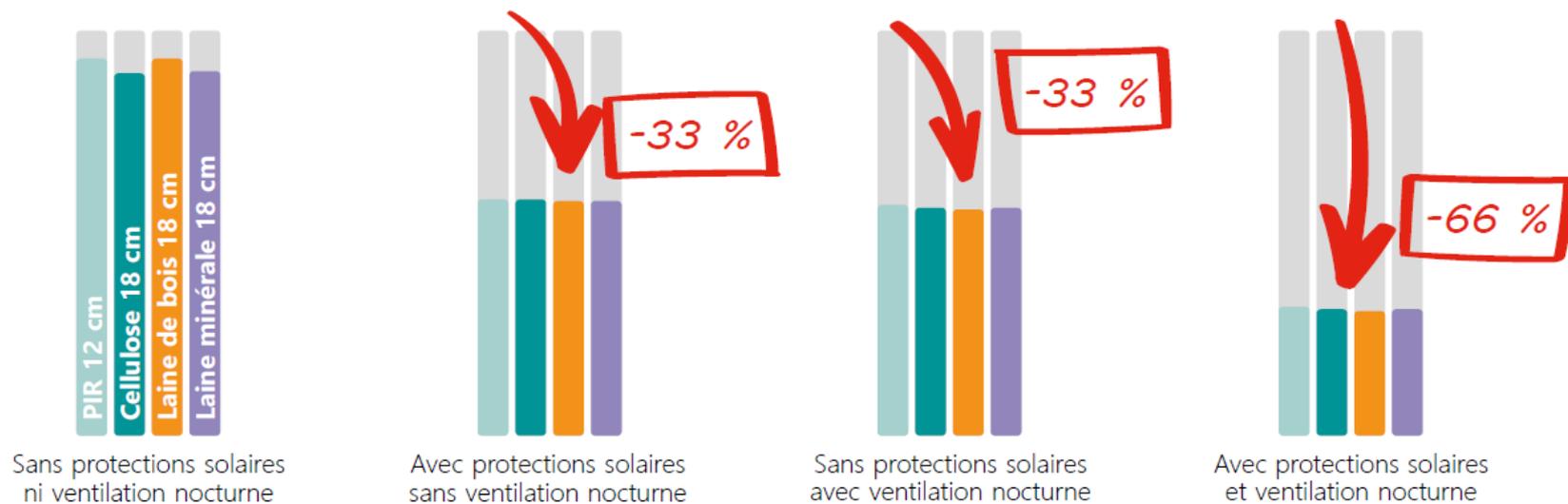


## COMPARAISON DE DIFFÉRENTS TYPES DE PAROIS

Toitures – Conductivité thermique  $U = \sim 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ 

## COMPARAISON DE DIFFÉRENTS TYPES DE PAROIS

- ▶ Extrait des résultats d'une étude du Buildwise sur l'impact de la nature de l'isolant des toitures à versants



- 2 | Comparaison de l'impact de l'installation de protections solaires ou de la ventilation nocturne sur les indicateurs de surchauffe au-delà de 25 °C.

Source : CSTC Contact 2021/2

⇒ La nature de l'isolant a un impact mineur sur la surchauffe estivale



## NOTIONS THÉORIQUES

- ▶ Conductivité
- ▶ Capacité thermique volumique
- ▶ Diffusivité
- ▶ Effusivité
- ▶ Inertie thermique

## EN PRATIQUE

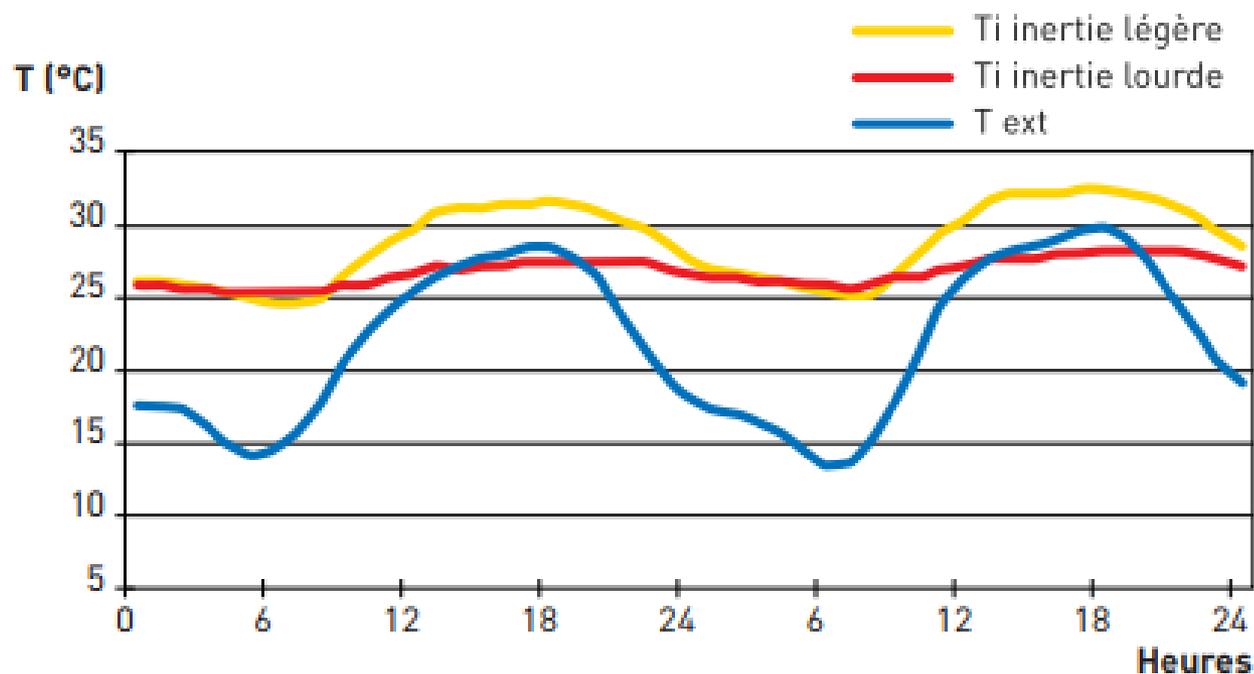
- ▶ Comparaison de différents types de parois
- ▶ **Cas d'étude**

## MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE



## Impact de l'inertie sur le confort d'été dans une maison d'habitation

Maison individuelle (été)  
Températures Intérieures - Influence de l'Inertie.

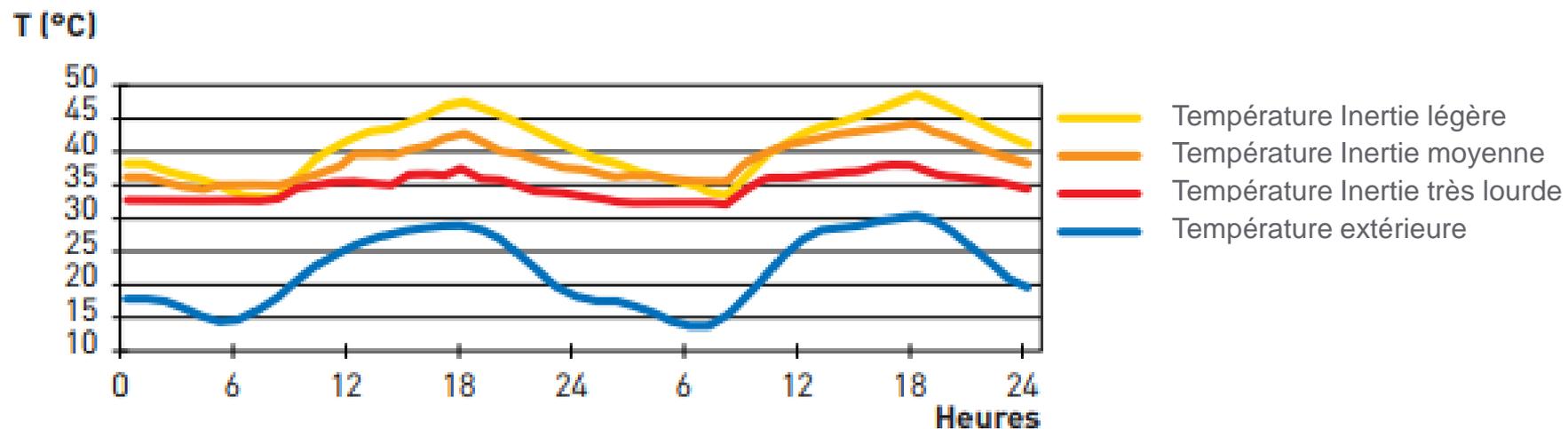


Source : Tribu



## Impact de l'inertie sur le confort d'été dans un bâtiment de bureaux

### BUREAUX été T = f (inertie)



Source : Tribu



### Assurer le confort d'été

- ▶ Pour tous les bâtiments, une inertie importante est presque toujours bénéfique l'été.
- ▶ Cependant, en cas de journées caniculaires consécutives, la structure finit par se charger en chaleur et met plus de temps à se « vider » des surchauffes stockées.
  
- ▶ L'inertie seule n'est pas suffisante pour assurer le confort, elle doit être associée à
  - une stratégie de contrôles des apports solaires et internes
  - une stratégie de ventilation nocturne



INTRODUCTION

NOTIONS THÉORIQUES

EN PRATIQUE

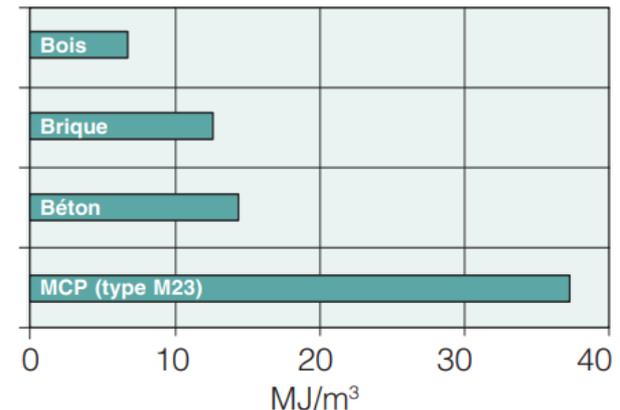
**MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE**



## Principe de fonctionnement

- ▶ Tous les matériaux changent de phase et passent d'un état à l'autre selon les conditions de température et de pression
- ▶ Le changement de phase s'accompagne d'un échange de chaleur avec l'environnement
- ▶ Certains matériaux passent de l'état solide à l'état liquide et inversement à des températures ambiantes (de 20 à 26°C). C'est le cas de la paraffine.

⇒ Intégrer de la paraffine à des matériaux de finition permet de capter une partie de la chaleur du local et de la restituer lorsque la température diminue



**Fig. 1** Capacité de stockage de l'énergie (pour un échauffement du matériau de 20 à 26 °C).

Source : Buildwise



## MATÉRIAU À CHANGEMENT DE PHASE

### Intégrations des MCP

- ▶ Dans des enduits à base d'un liant minéral ou organique
- ▶ Dans des membranes,
- ▶ ...

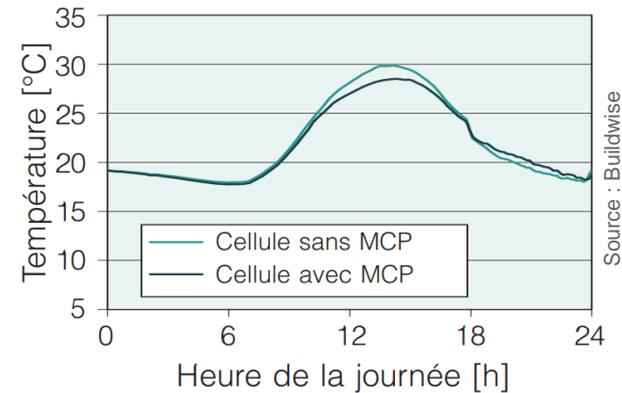
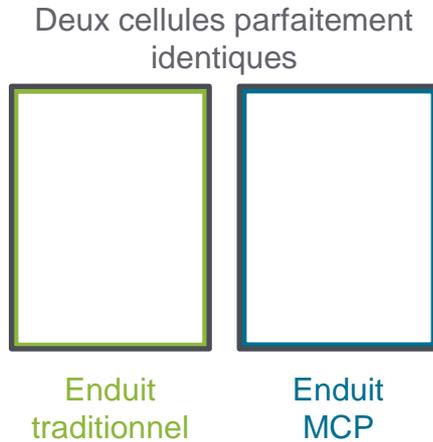


Source : BioPCM



## Projet RETERMAT

- ▶ Etude réalisée par Buildwise en collaboration avec CRM, CENTEXBEL, CERTECH



**Fig. 2 Evolution de la température dans les cellules jumelées au cours d'une journée d'été ensoleillée.**

### ▶ Résultats

- Caractéristiques physiques de l'enduit MCP comparable à celles d'un enduit à base de gypse
- Ecart de l'ordre de 3°C entre les parois des deux cellules
- Ecart de l'ordre de 1 à 1,5°C au niveau de la température ambiante
- Les MCP doivent pouvoir « se décharger » >> ventilation intensive nécessaire



## Terre crue

- ▶ L'eau condensée dans la terre augmente la capacité thermique de la terre crue.
  - 3% d'humidité contribue à hauteur de 10 % de la capacité thermique
- ▶ L'eau apporte aussi à la terre crue une **inertie latente**
  - Elle change d'état selon les fluctuations thermiques et hygrométriques ambiantes

*En été, les conditions atmosphériques extérieures provoquent l'évaporation d'une partie de l'eau contenue dans la terre, et cette évaporation consomme de l'énergie, ce qui tend à diminuer localement la température*





- ▶ L'inertie permet d'amortir l'amplitude de l'onde thermique et de déphaser sa restitution dans le temps
- ▶ Pour **assurer le confort d'été**, il faut privilégier les matériaux...
  - avec une faible diffusivité (inertie en transmission)
  - avec une forte effusivité (inertie par absorption)
- ▶ Les modes constructifs ont un impact sur l'inertie d'un bâtiment,
- ▶ La nature de l'isolant a un impact relativement faible sur l'inertie des parois
- ▶ L'inertie seule n'est pas suffisante pour assurer le confort, elle doit être associée à
  - une stratégie de contrôles des apports solaires et internes
  - une stratégie de ventilation nocturne





## Guide bâtiment durable

[www.guidebatimentdurable.brussels](http://www.guidebatimentdurable.brussels)

- ▶ Enveloppe énergétique  
Dossier | Assurer une grande inertie thermique  
Dossier | Inertie des murs intérieurs



## Sites internet

- ▶ Formations Bâtiment durable  
<https://environnement.brussels/thematiques/batiment/les-bonnes-pratiques-pour-construire-et-renover/pour-vous-aider/formations-116>
- ▶ Energie + : <https://energieplus-lesite.be/#>



## Ouvrages

- ▶ [Jean Louis IZARD, \(2006\), L'inertie thermique dans le bâtiment, ENVIROBAT-Méditerranée, ENSA-Marseille](#)
- ▶ CIM béton, Béton et confort thermique, Collection technique Cimbéton, Paris



## Formations et séminaires

- ▶ Inscrivez-vous aux formations organisées par Bruxelles Environnement  
<https://environnement.brussels/formationsbatidurable>

Consultez tous les supports [gratuitement](#) !



**Julie RENAUX**

Ingénieur projet  
écorce sa

 + 32 4 226 91 60

 [info@ecorce.be](mailto:info@ecorce.be)

**éCORCE**  
INGÉNIERIE CONSULTANCE



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

