

FORMATION BATIMENT DURABLE

GESTION DES SURCHAUFFES ESTIVALES

AUTOMNE 2023

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

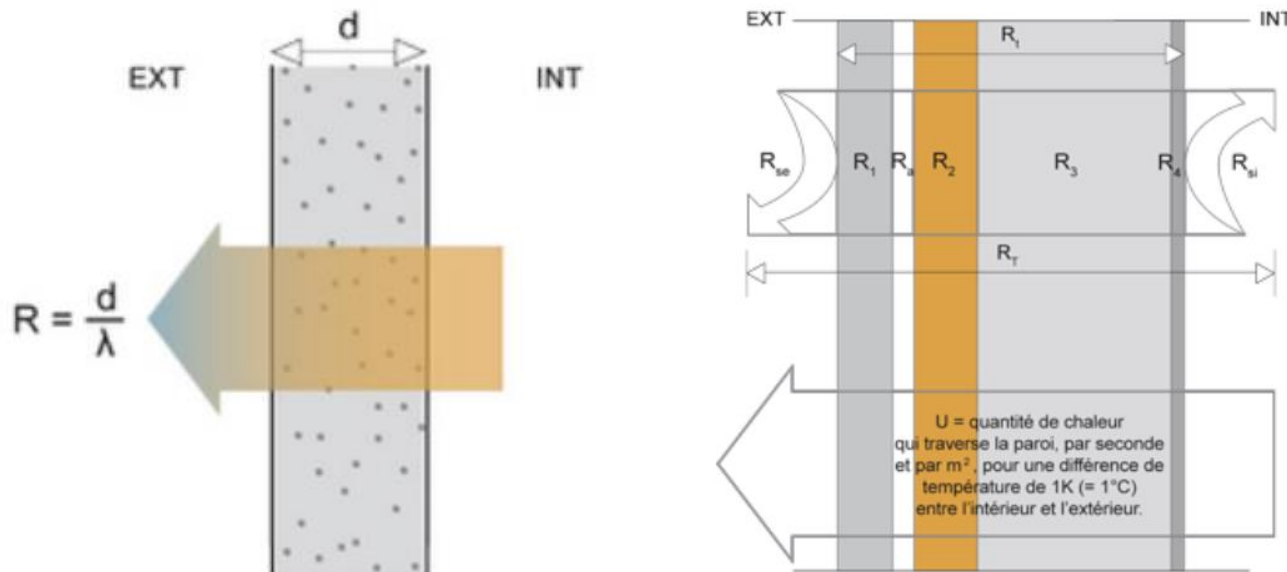


RÉGIME PERMANENT ET RÉGIME VARIABLE

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

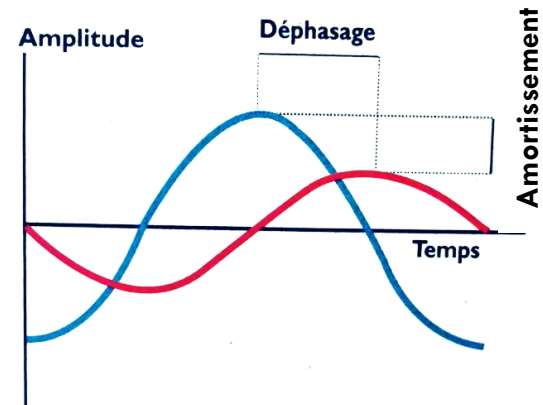
⇒ L'analyse des échanges doit être faite en régime **variable** !

- 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

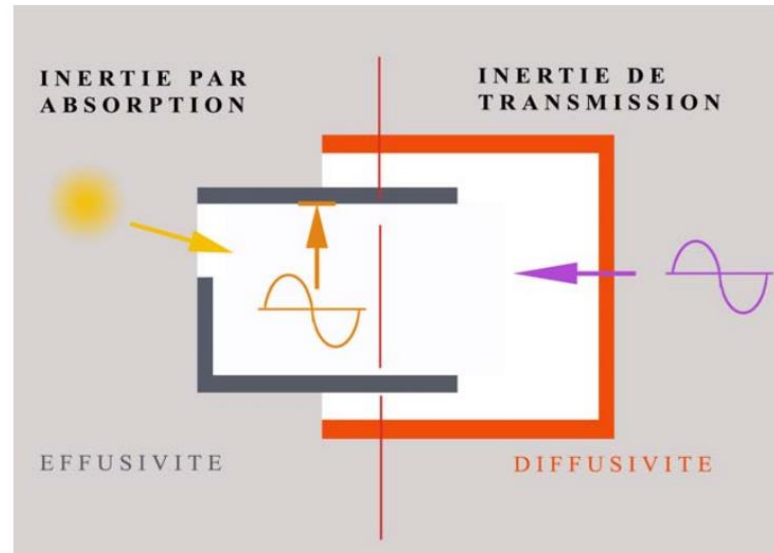


Source : La conception bioclimatique,
Samuel Courgey et Jean Pierre Oliva



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/m²K]

- ▶ 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 m² de surface habitable.

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



INTRODUCTION

NOTIONS THÉORIQUES

EN PRATIQUE

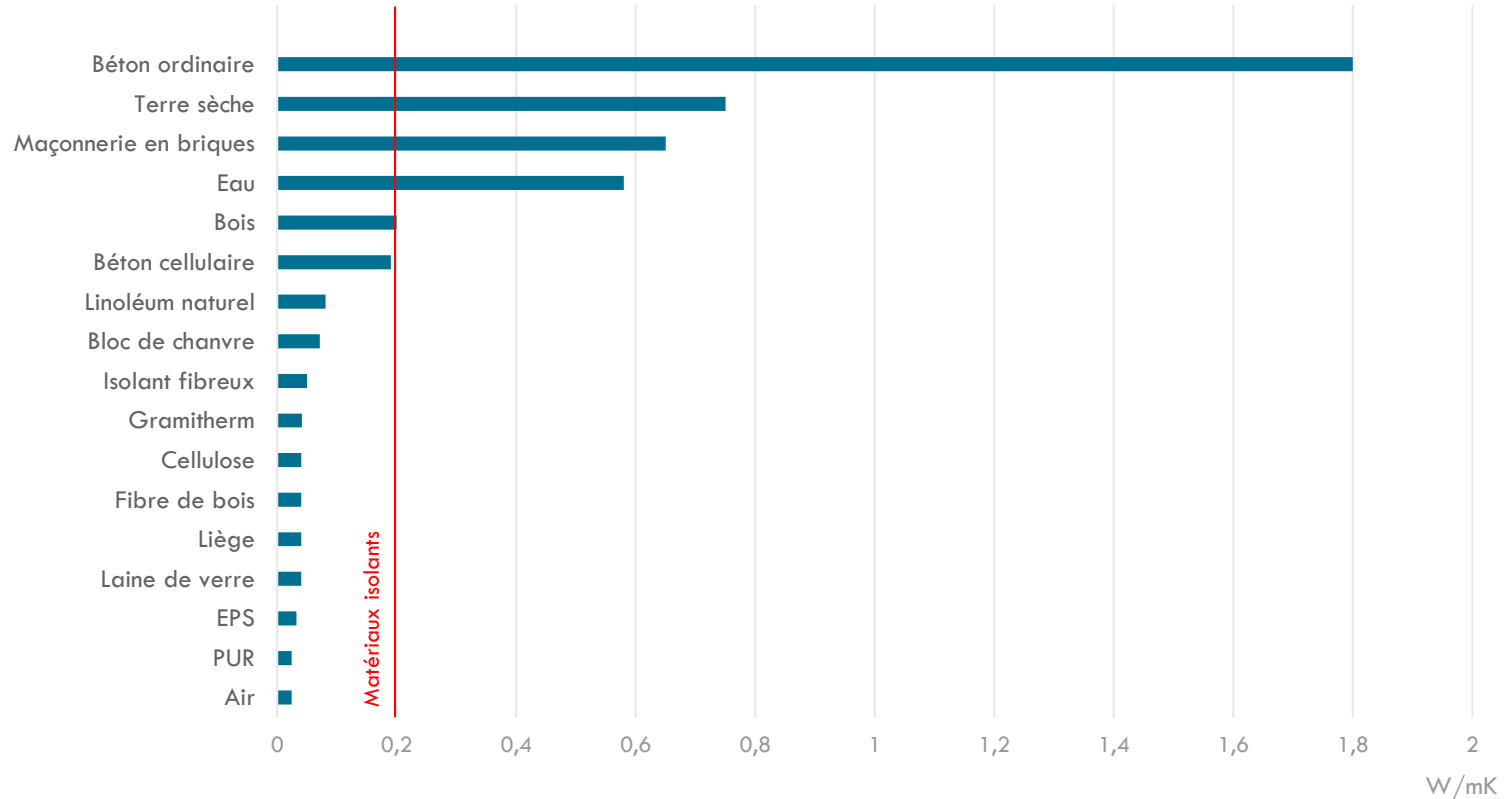
MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE



CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

Conductivité – λ [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 : ρ [J/kg.°C]

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

Masse volumique : C [kg/m³]

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

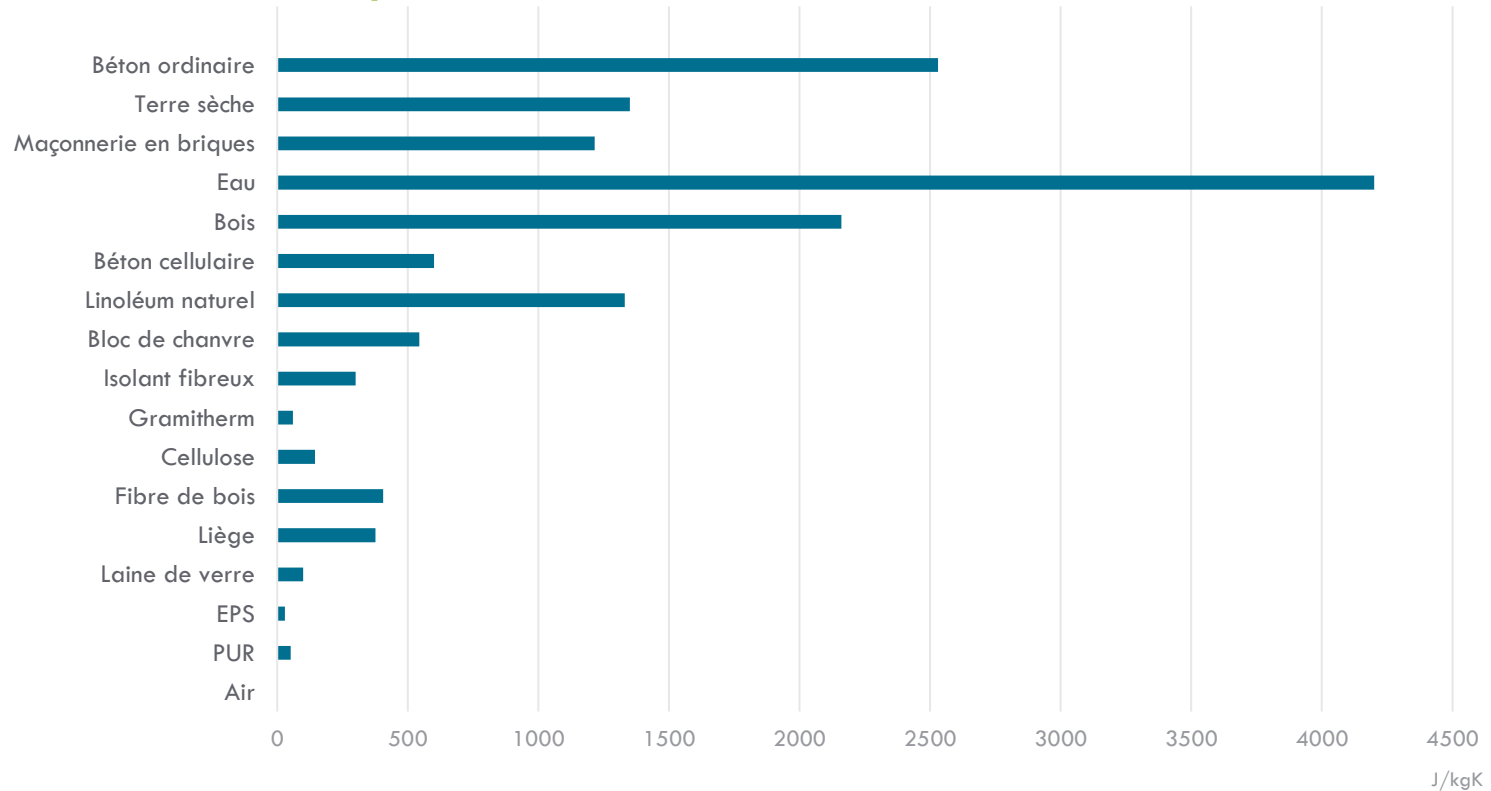


CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

Capacité thermique volumique / Chaleur volumique – ρC [J/kgK]

- ▶ C'est la chaleur nécessaire pour élever de 1°C, 1 m³ 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**



CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

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

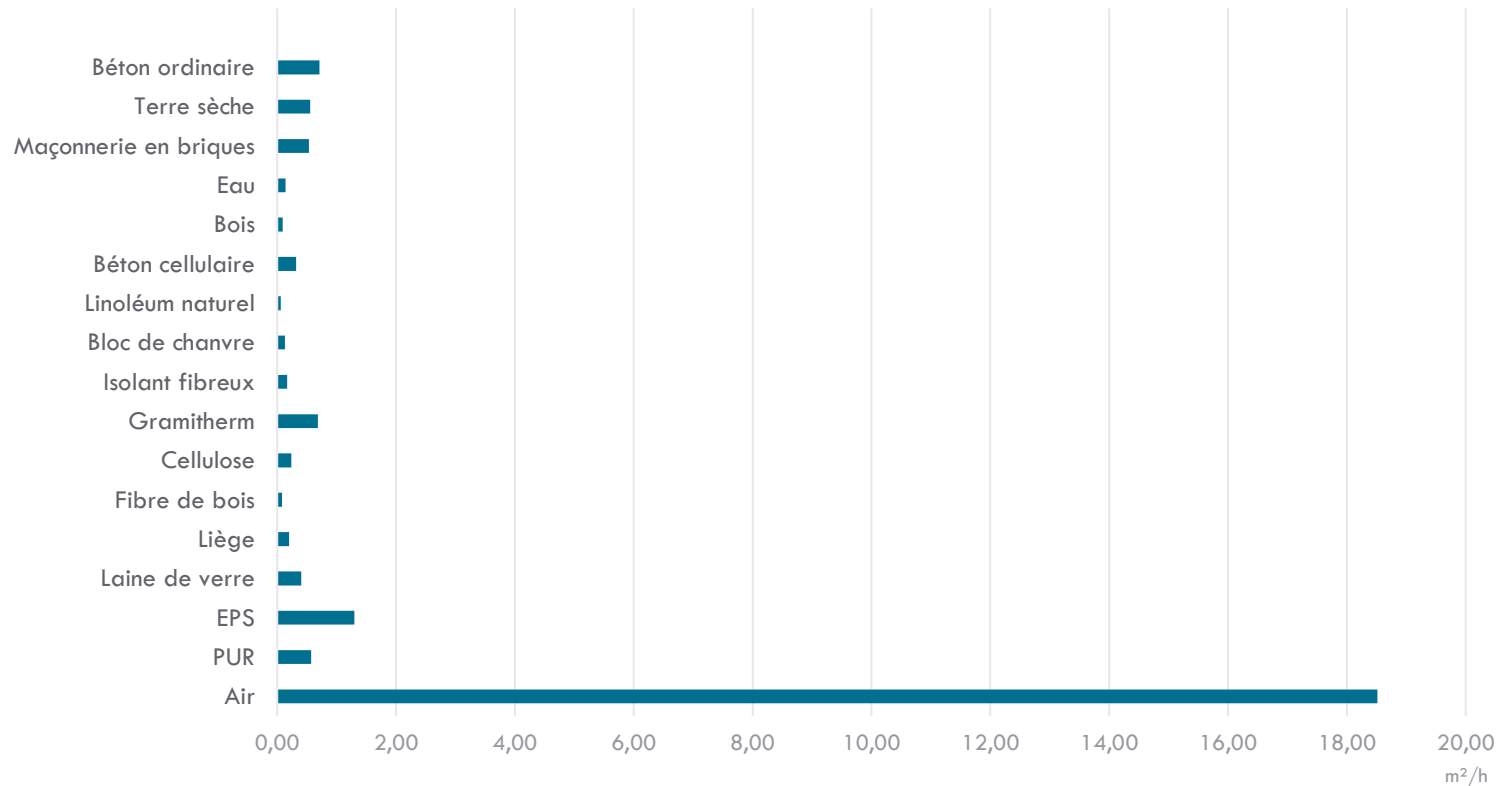
- ▶ C'est l'aptitude d'un matériau à **transmettre rapidement une variation de température**
 - Plus la diffusivité est élevée,
 - plus le front de chaleur traversera rapidement le matériau
- ⇒ Elle caractérise **l'efficacité du transfert thermique par conduction**
- ▶ La diffusivité est **inversement 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 [$\text{J/s}^{0,5}\text{m}^2\text{K}$] = $(\lambda \cdot \rho C)^{0,5}$

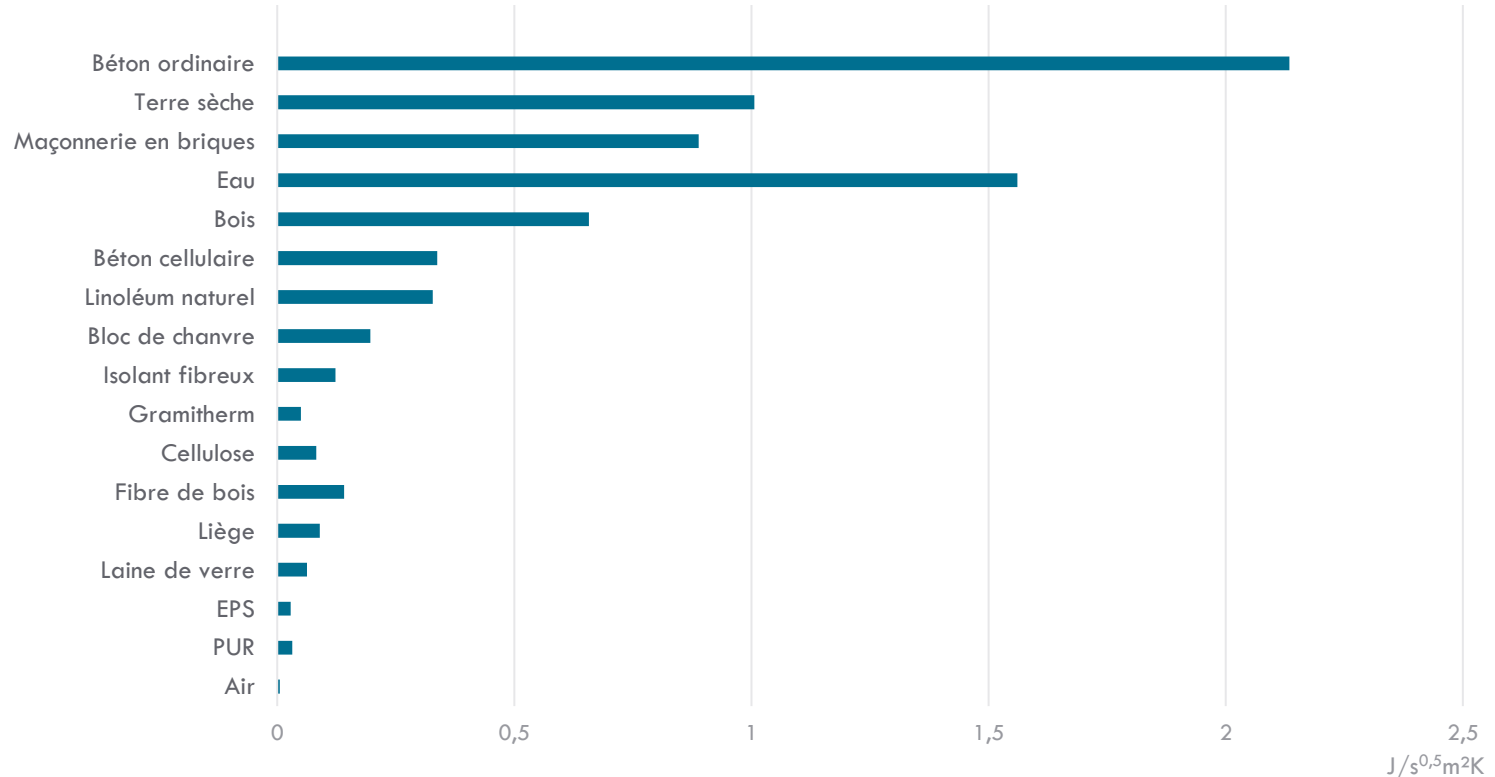
- ▶ C'est l'aptitude d'un matériau **à absorber rapidement des calories**
 - Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe de l'énergie sans se réchauffer notablement
 - Plus l'effusivité est faible, plus le matériau se réchauffe rapidement
- ▶ L'**inertie par absorption** fait appel principalement 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 [$\text{J/s}^{0,5}\text{m}^2\text{K}$] = $(\lambda \cdot \rho C)^{0,5}$

- 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 [$\text{J}/^\circ\text{C}$]

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

Constante de temps d'un local, τ [s]

- ▶ Elle caractérise la rapidité d'évolution de la température dans le local en fonction des sollicitations extérieures
 - Plus τ 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

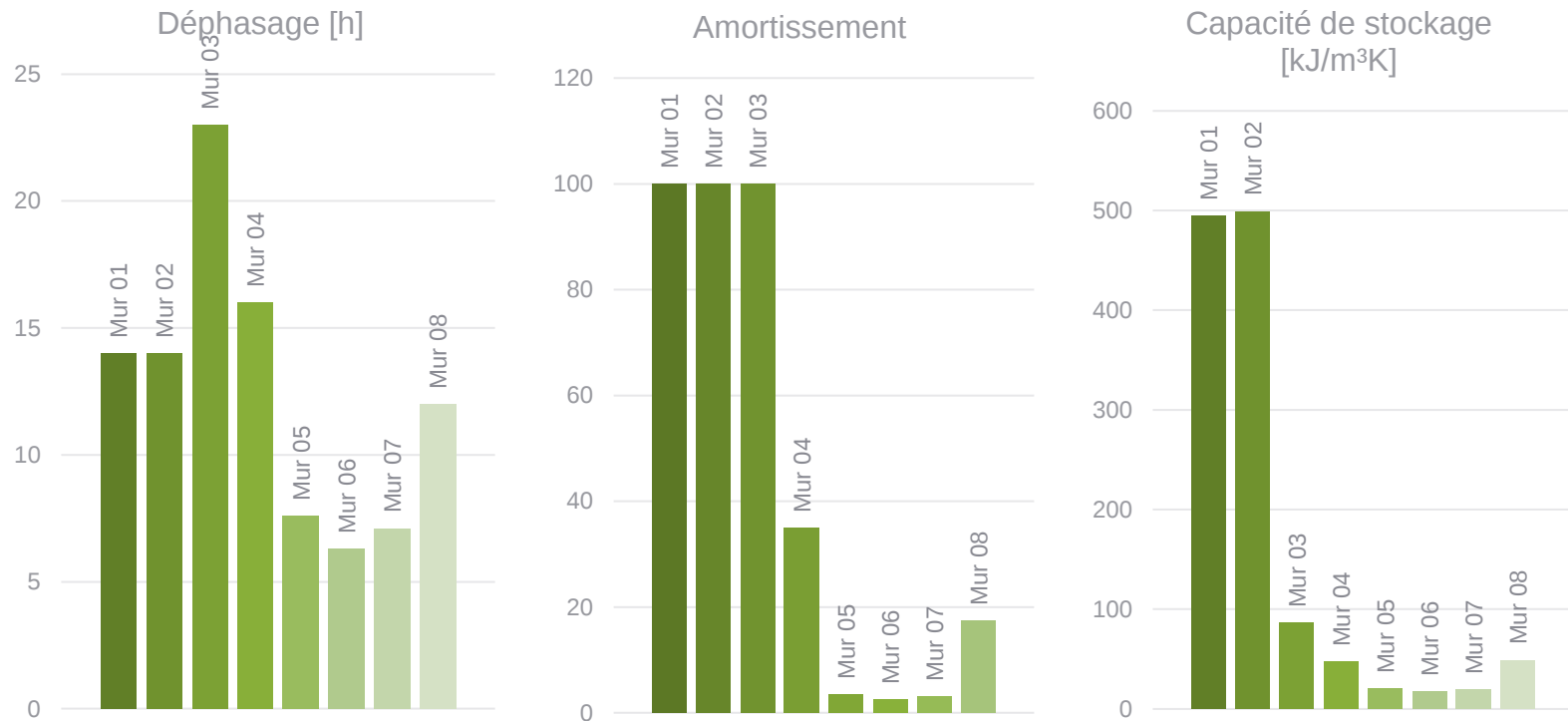
Structure bois

- 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

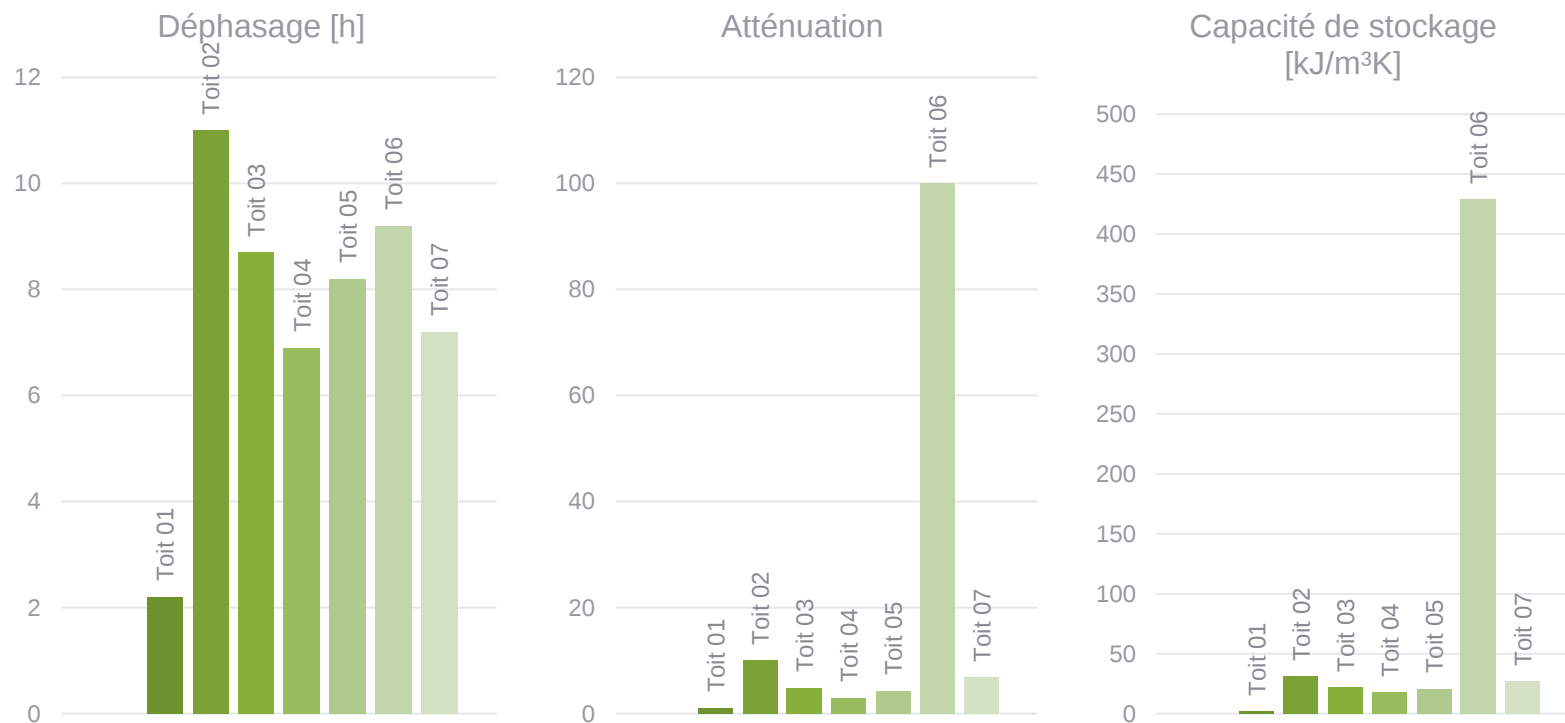
- Toit 03 : Structure bois + Fibre de bois
- Toit 04 : Structure bois + Herbes séchées
- Toit 05 : Structure bois + Cellulose

Toiture plate

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

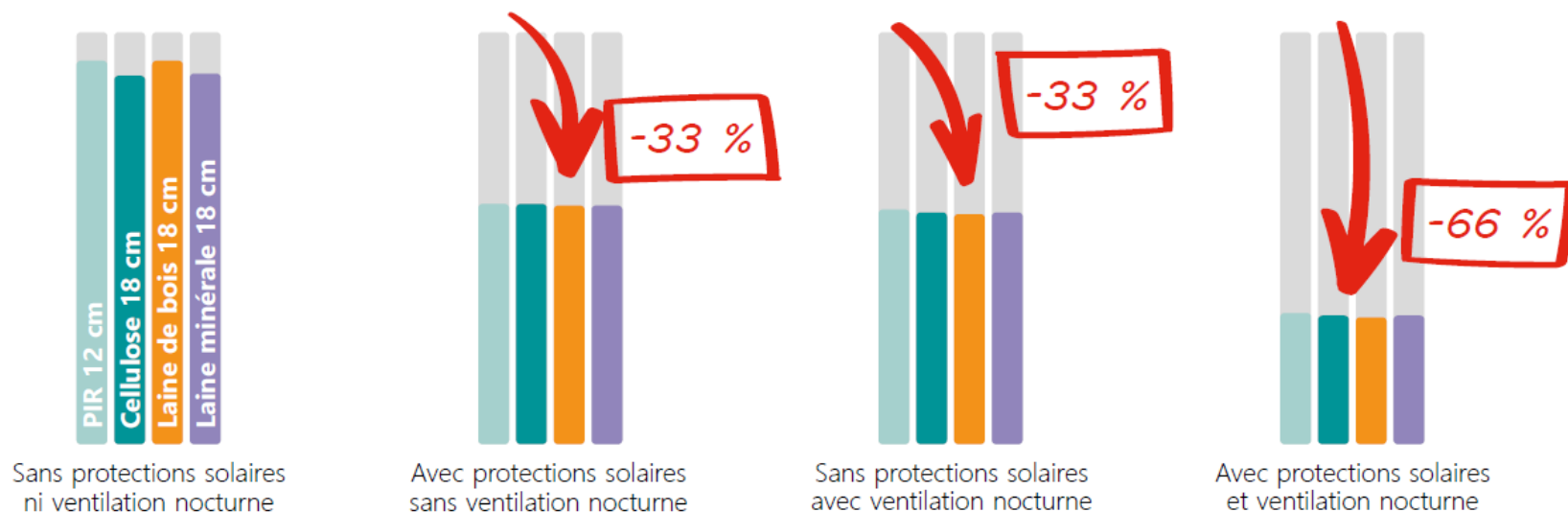


COMPARAISON DE DIFFÉRENTS TYPES DE PAROIS

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/Bron : 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

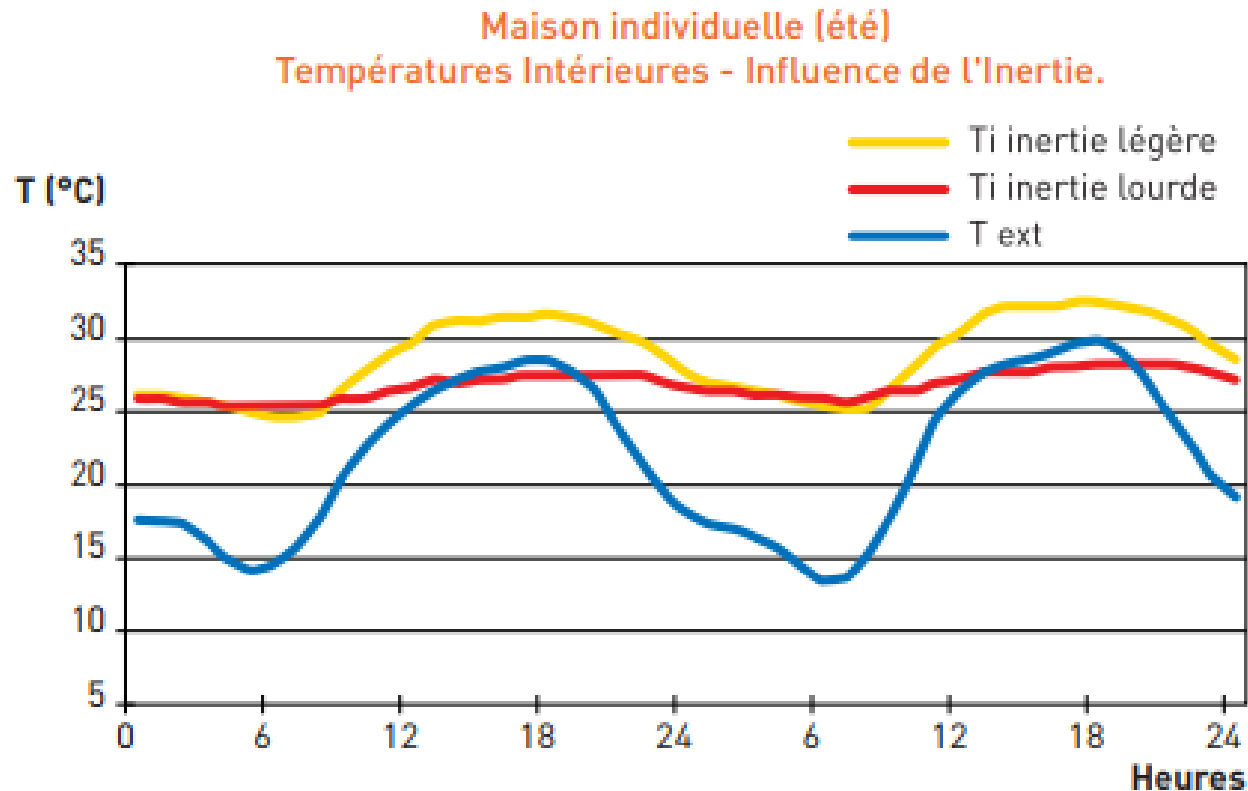
EN PRATIQUE

- ▶ 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

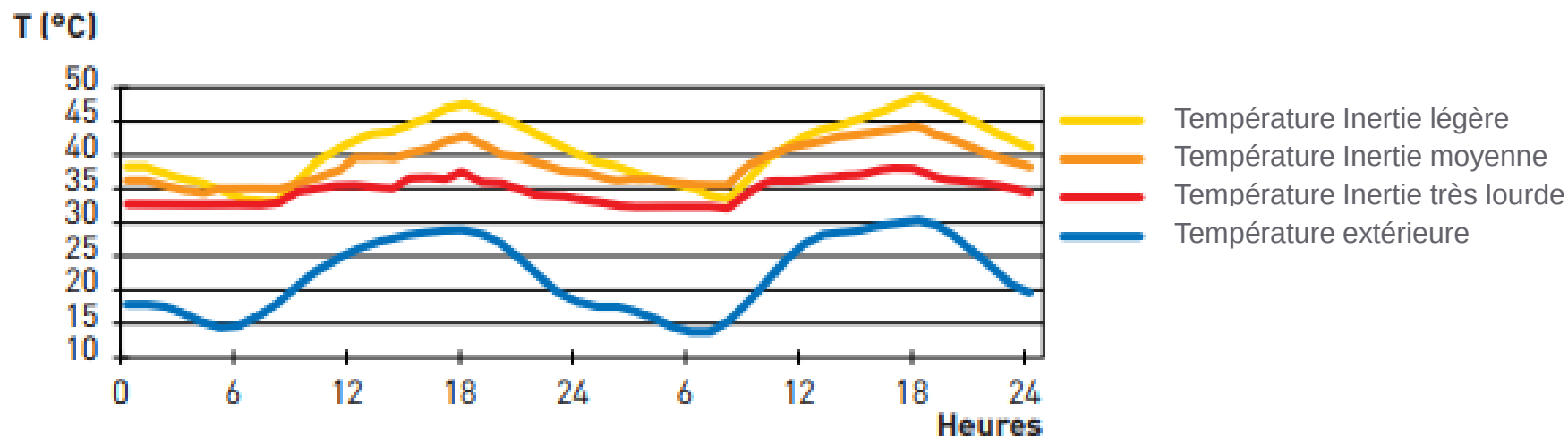


Source/Bron : Tribu



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

BUREAUX été $T = f(\text{inertie})$



Source/Bron : 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

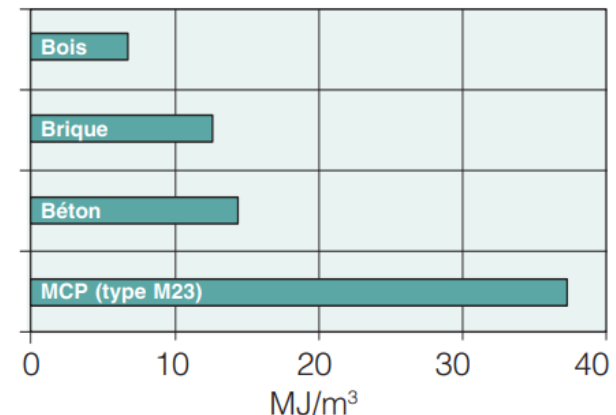


Fig. 1 Capacité de stockage de l'énergie (pour un échauffement du matériau de 20 à 26 °C).

Source : Buildwise



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

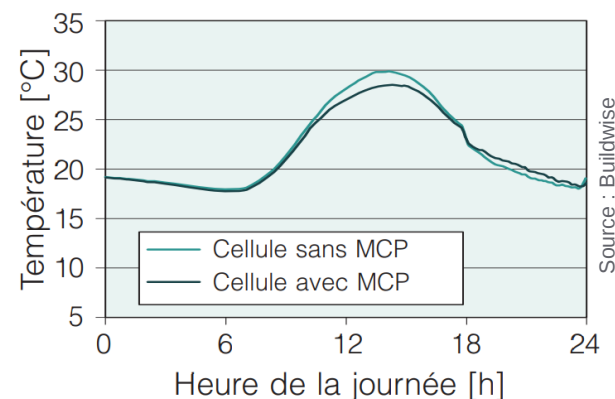
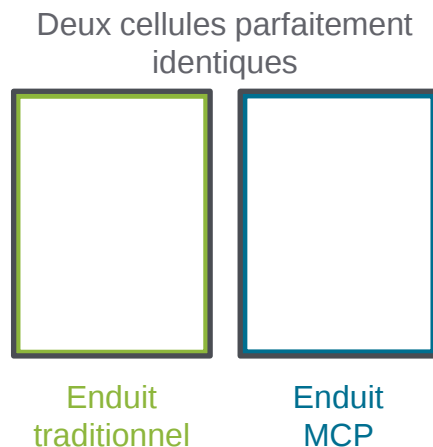


Fig. 2 Evolution de la température dans les cellules jumelées au cours d'une journée d'été ensoleillée.

- **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

- ▶ Enveloppe énergétique
Dossier I Assurer une grande inertie thermique
Dossier I 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 https://www.enviroboite.net/IMG/pdf/0607_Inertie_thermique_batiment_Izard_V1.pdf
- ▶ 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](#) !



Sophie HAINE

Ingénieur projet
écorce sa

 + 32 4 226 91 60

 info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

