



# Stocker de la chaleur avec les Matériaux à Changement de Phase

M. Larnicol

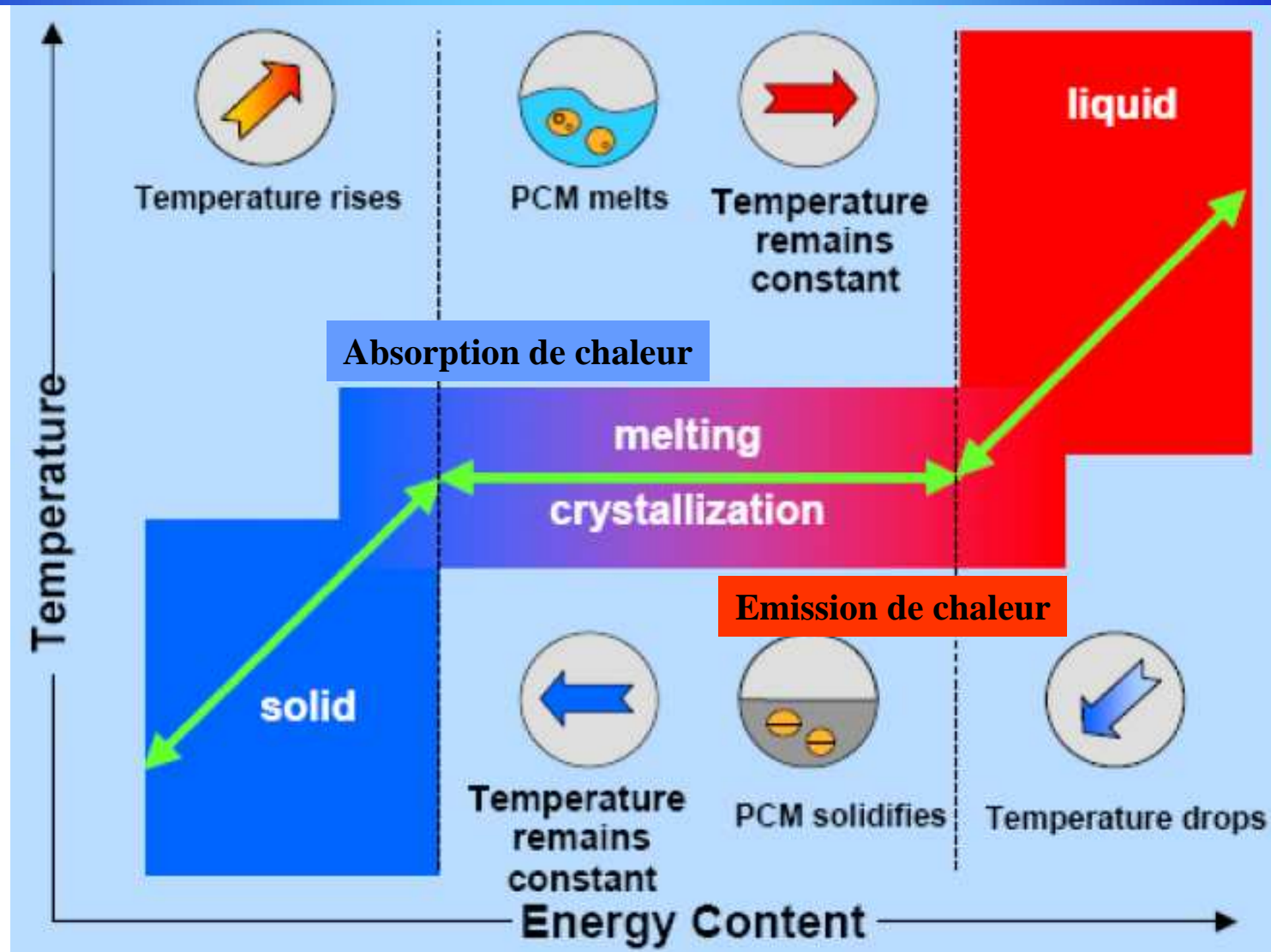
- Qu'est ce que les Matériaux à Changement de Phase (PCM) ?
- Principe de fonctionnement d'un stockage par chaleur latente
- Contexte énergétique
- Propriétés de quelques PCM pour des applications bâtiments
- Autres exemples d'applications
- Implication des Centres de Recherches Wallons dans l'étude de ces matériaux

# Qu'est ce que les matériaux à changement de phase (PCM)?

- Ce sont des composés qui stockent et libèrent de la chaleur latente lors d'une transformation de phase (solide - liquide ou liquide gaz) à **température constante**.
- Exemple : l'eau
  - ◆ Transition solide - liquide =  $0^{\circ}\text{C}$
  - ◆ Chaleur de fusion : 333 kJ/kg
- Augmentation de la température de l'eau :
  - ◆ de  $1^{\circ}\text{C}$  à  $80^{\circ}\text{C}$
  - ◆ 332 kJ/kg



# Principe de fonctionnement des PCM



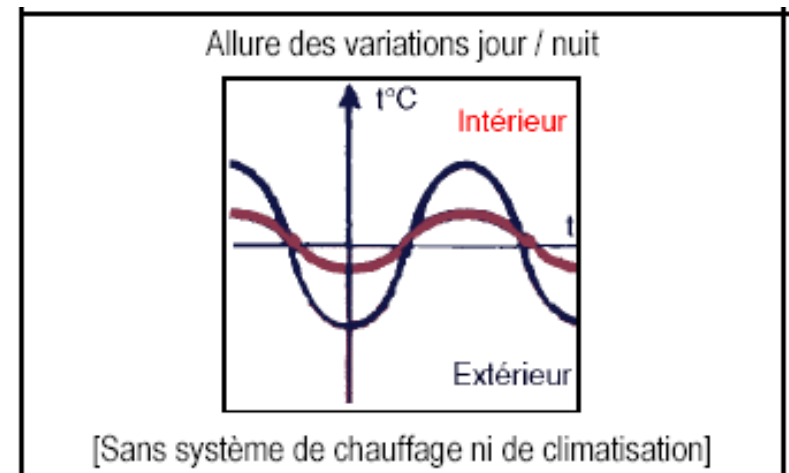
- En hiver, l'isolation thermique réduit les pertes de chaleur.
- En été, la surchauffe des bâtiments durant les périodes de forte chaleur devient un problème majeur, en particulier dans les bâtiments à faible inertie.

L'*inertie thermique* d'un bâtiment est sa capacité à stocker de la chaleur dans ses murs, ses planchers, etc.

Elle dépend de la masse du bâtiment.

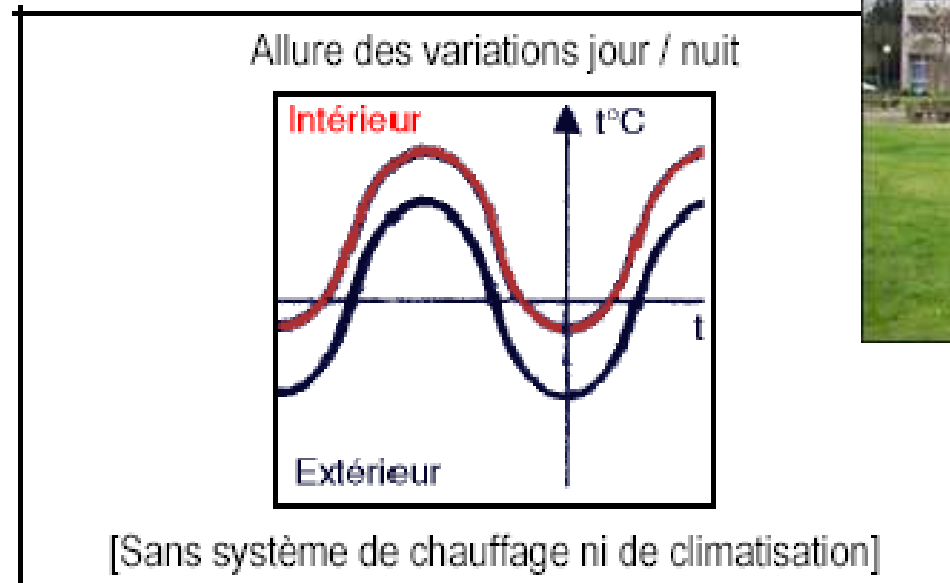
# Bâtiment avec une forte inertie thermique

- Plus les murs sont épais et les matériaux lourds (béton, pierre, brique pleine, terre crue, etc.), plus l'inertie est grande.
- Plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement. Les pics de surchauffe sont amortis.
- Le bâtiment conserve une température stable.
- Une bonne ventilation la nuit permet d'évacuer la chaleur accumulée pendant la journée.



# Bâtiment avec une faible inertie thermique

- suit sans amortissement ni retard les fluctuations de la température extérieure.



- Plusieurs possibilités:

- ◆ Augmenter la masse du bâtiment (inertie thermique)
- ◆ Réduire les apports solaires dans les bâtiments
- ◆ Installer des climatiseurs

et / ou

- ◆ Stocker l'énergie de manière passive

Comment? → Utiliser des Matériaux à Changement de Phase (PCM)



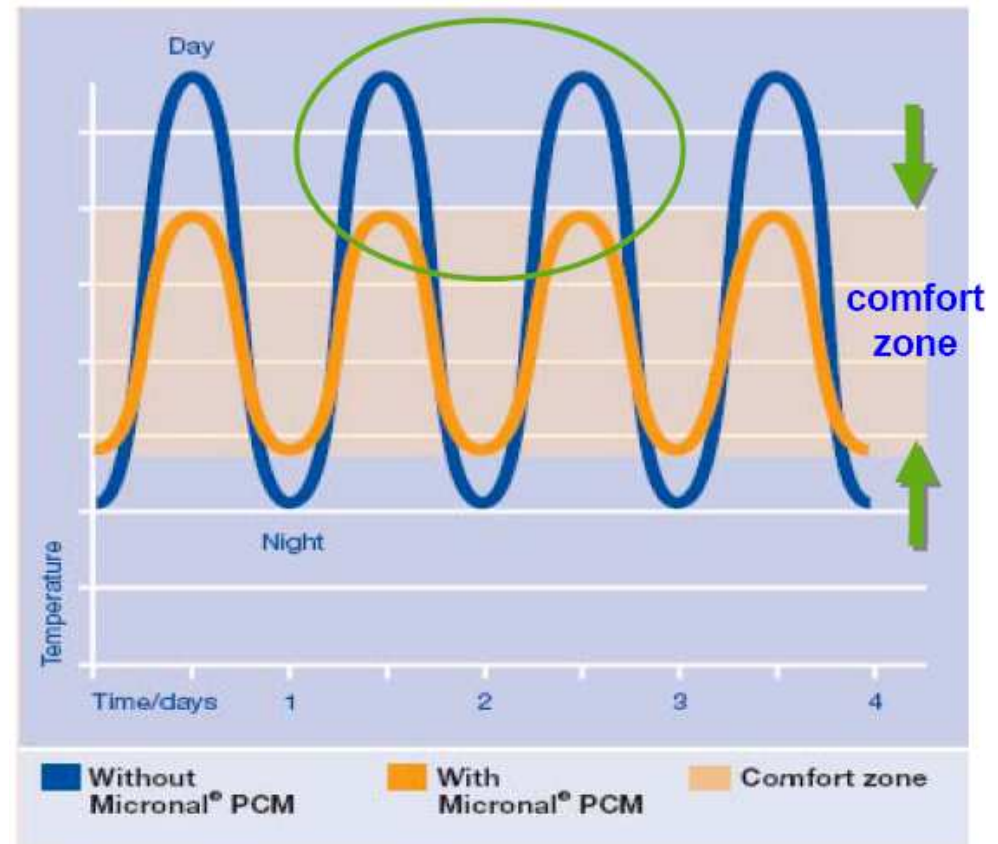
# Problématique liée à l'installation des climatiseurs

- Le recours à des systèmes de climatisation électriques est de plus en plus fréquent.  
⇒ en contradiction avec la recherche de la performance énergétique des bâtiments

Si 2 millions de logements étaient équipés d'un système d'air conditionné  
⇒ la puissance supplémentaire à fournir serait de **4.000 MW**



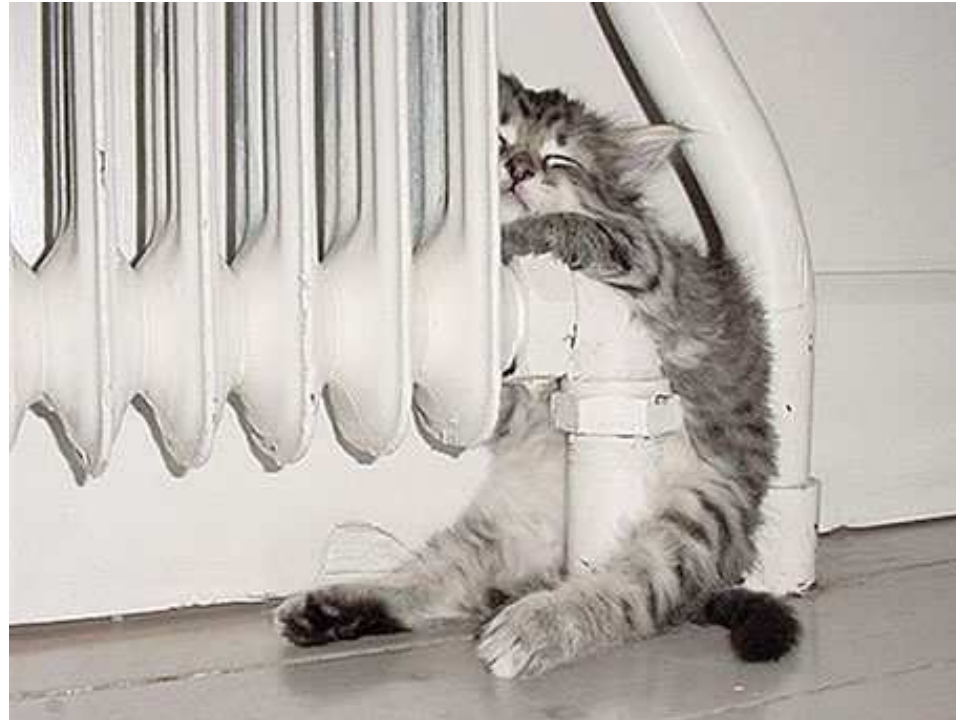
- L'énergie thermique créée par les radiations solaires est stockée dans les murs durant la journée.  
⇒ Les PCM retardent l'élévation de la température de la pièce.



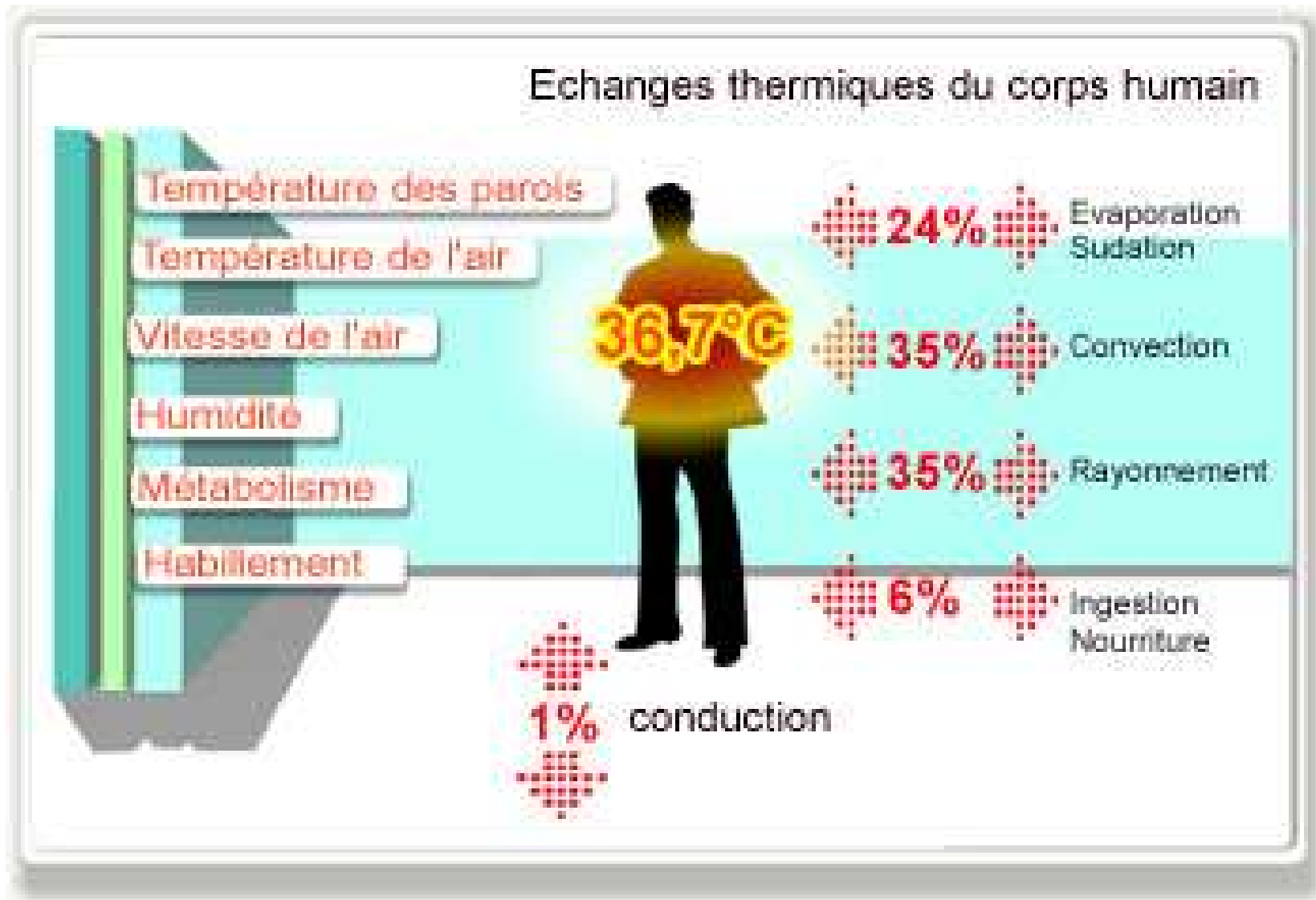
- L'énergie stockée est libérée dans la pièce en soirée quand la température ambiante chute.

# La notion de confort thermique

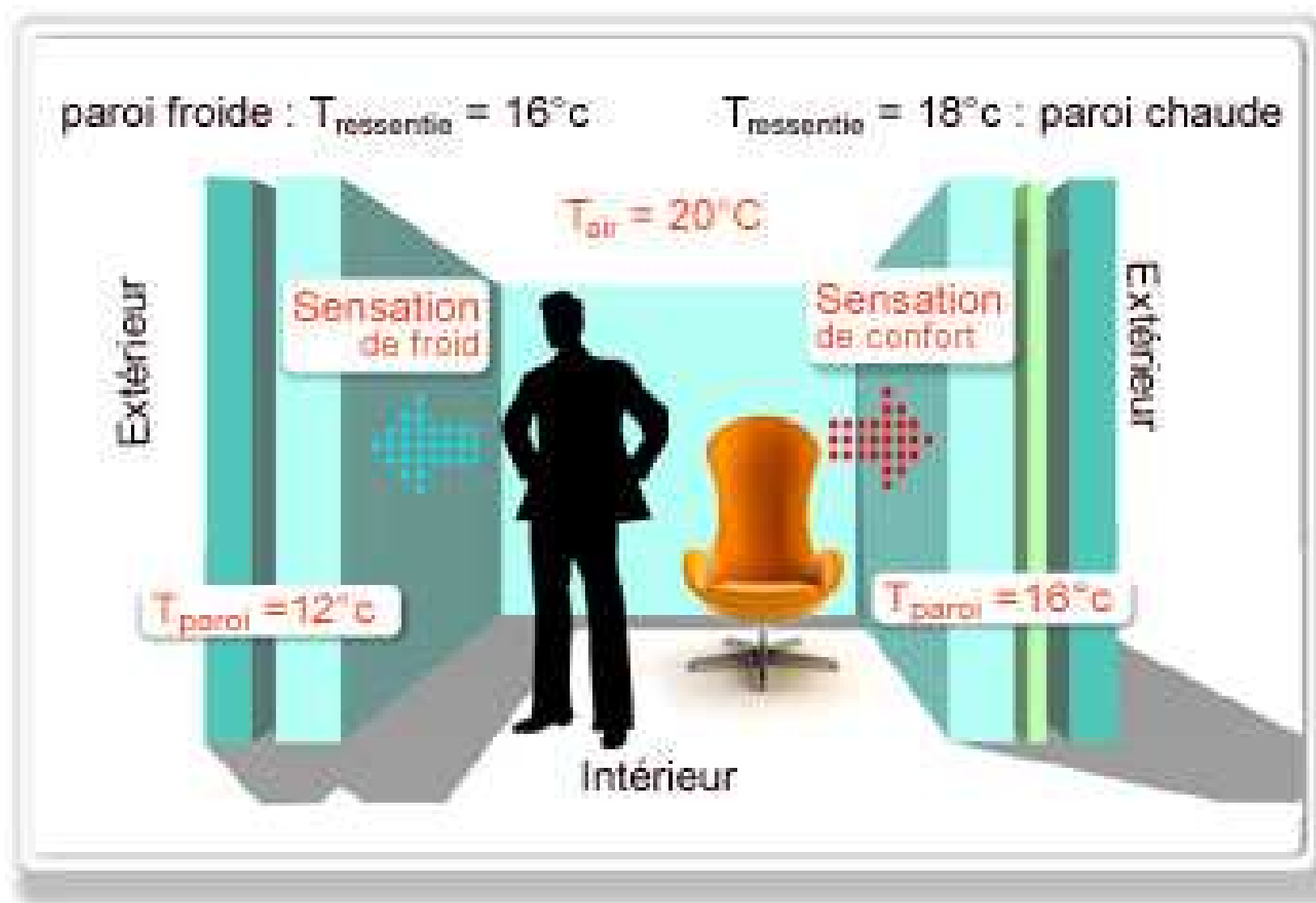
- "Etat de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique".
- Varie d'un individu à l'autre.
- Dépend du niveau d'activité physique.



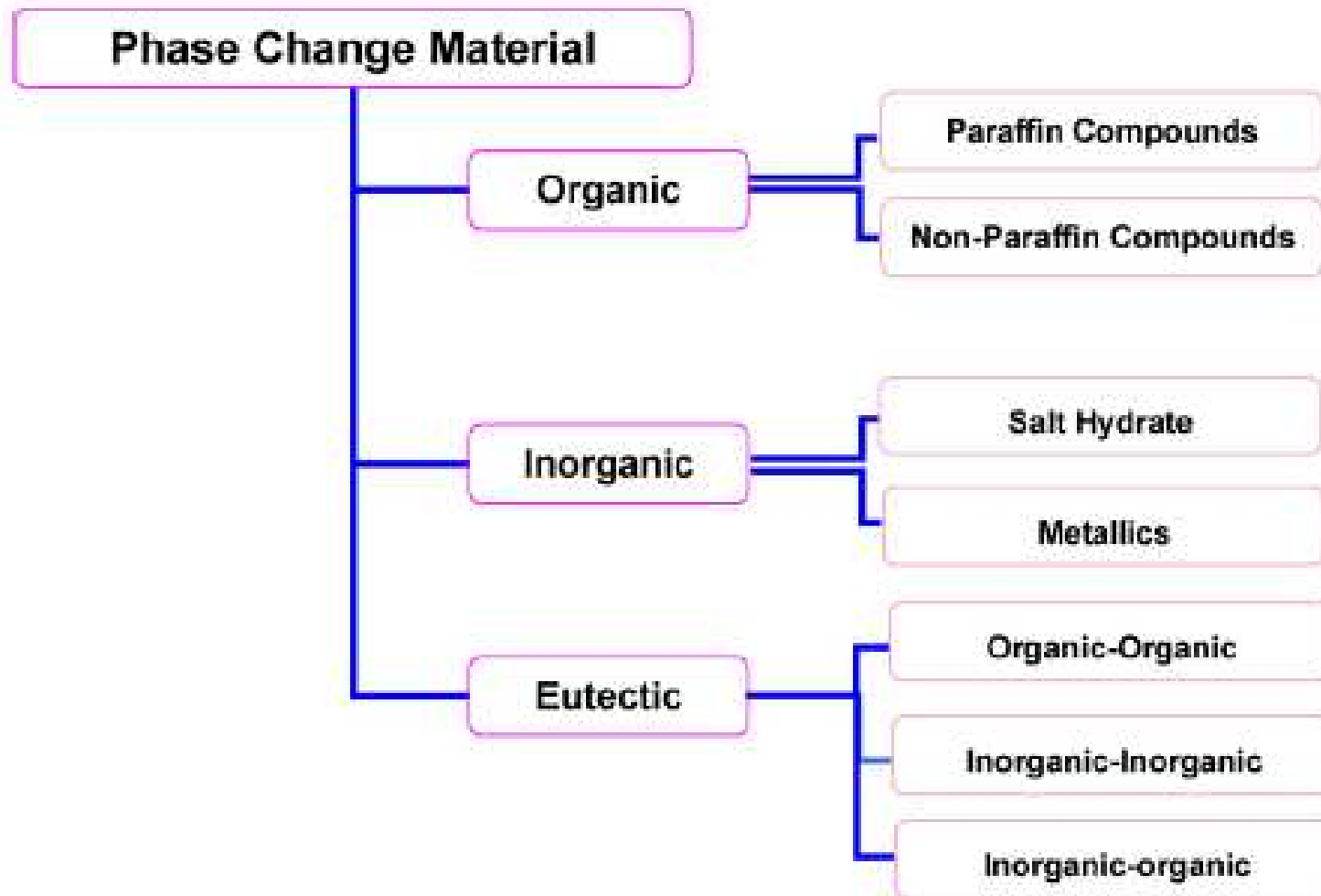
# Existence de conditions d'ambiance optimales



# Existence de conditions d'ambiance optimales



# Les différents types de matériaux PCM



## Température de fusion proche de la température ambiante

- **Paraffines brutes, encapsulées, en poudre ou en granulés (~70 à 170 kJ/kg)**
  - ◆ Rubitherm, BASF, EPS, BRACE
- **Sels hydratés conditionnés dans des poches en aluminium (~180 à 210 kJ/kg)**
  - ◆ Dörken, Climator
- PEG 600 (~140 kJ/kg)
- Mélanges paraffines + sels (~165 kJ/kg)
  - ◆ Rubitherm





# PCM : exemples de composés

## Melting point and latent heat of fusion: paraffins

No. of carbon atoms	Melting point (°C)	Latent heat of fusion (kJ/kg)
14	5.5	228
15	10	205
16	16.7	237.1
17	21.7	213
18	28.0	244
19	32.0	222
20	36.7	246
21	40.2	200

## Melting point and latent heat of fusion: non paraffins

Material	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)
Formic acid	7.8	247
Caprylic acid	16.3	149
Glycerin	17.9	198.7
Polyethylene glycol 600	20–25	146
D-Lactic acid	26	184
Methyl palmitate	29	205
Camphenilone	39	205

## Melting point and latent heat of fusion: salt hydrates

Material	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)
$K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$	14.0	109
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	21.0	105
$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	25.5	148
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	27.0	105
$CaCl_2 \cdot 12H_2O$	29.8	174
$LiNO_3 \cdot 2H_2O$	30.0	296
$LiNO_3 \cdot 3H_2O$	30	189
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	32.0	267
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32.4	241
$KFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	33	173
$CaBr_2 \cdot 6H_2O$	34	138
$LiBr_2 \cdot 2H_2O$	34	124
$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	36.1	134
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	37.0	223
$Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	37.1	115
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	40.0	279
$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	40.7	170

Heat storage composition	Eutectic	Melting point (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)
Carpic acid (61.5 wt%) + lauric acid (38.5 wt%)		19.1	132
Carpic acid (73.5 wt%) + myristic acid (26.5 wt%)		21.4	152
Carpic acid (75.2 wt%) + palmitic acid (24.8 wt%)		22.1	153
Carpic acid (86.6 wt%) + stearic acid (13.4 wt%)		26.8	160
Lauric acid (62.6 wt%) + myristic acid (37.4 wt%)		32.6	156



# Qualités requises pour les PCM

- Des chaleur de fusion et chaleur spécifique les plus élevées possible
- Température de fusion adapté au domaine d'application
- Une bonne stabilité chimique et thermique
- Comportement reproductible à la cristallisation, sans dégradation.
- Composé non corrosif
- Ne doit être **ni nocif, ni hautement inflammable ni dangereux**
- Degré de surfusion et variation volumique les plus petits possible
- **Conductivité thermique élevée**
- Disponible en grande quantité et à faible coût.

## Organiques

### ● Avantages

- ◆ Non corrosif
- ◆ Pas de surfusion
- ◆ Stabilité chimique et thermique

### ● Désavantages

- ◆ Enthalpie de changement de phase et densité plus faible
- ◆ Conductivité thermique faible
- ◆ Inflammable
- ◆ Changement de volume élevé

## Inorganiques

### ● Avantages

- ◆ Enthalpie de changement de phase et densité plus élevées
- ◆ Meilleure conductivité thermique
- ◆ non inflammable

### ● Désavantages

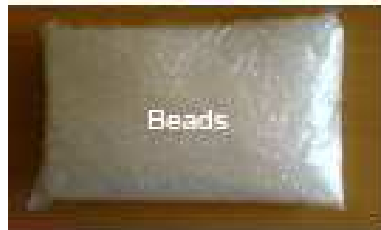
- ◆ Surfusion
- ◆ Corrosif pour les métaux
- ◆ Mauvaise stabilité thermique
- ◆ Dégradation
- ◆ Utilisation en container scellé



Solutions



Clear Rubber  
PCM Sheet



Beads



Aluminium Foil  
PCM Sheet



TEAP Polyolefine spherical capsule



TEAP Polypropylene flat  
panel



PCM  
Rubber Balls

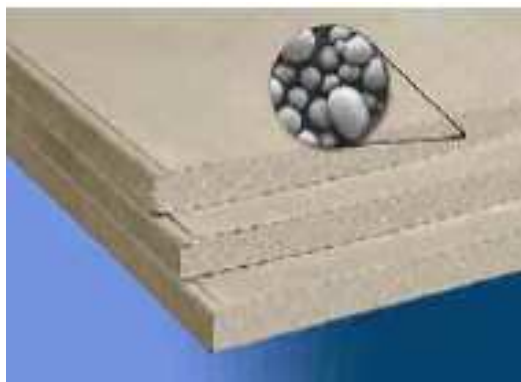
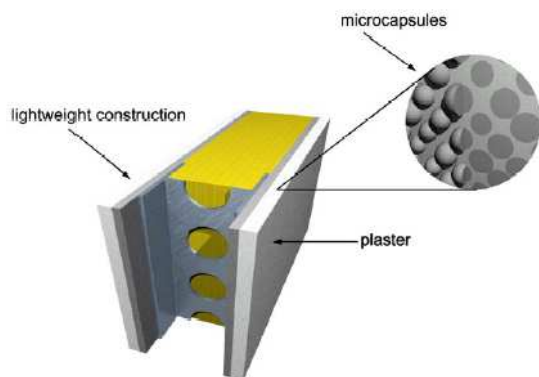


EPS Ltd stainless ball capsule

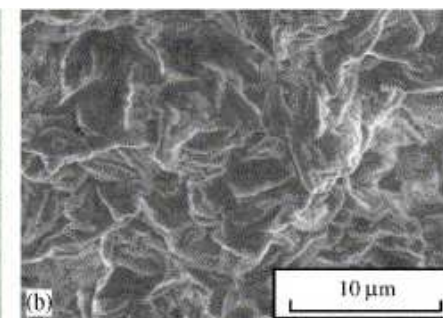


EPS Ltd module beam

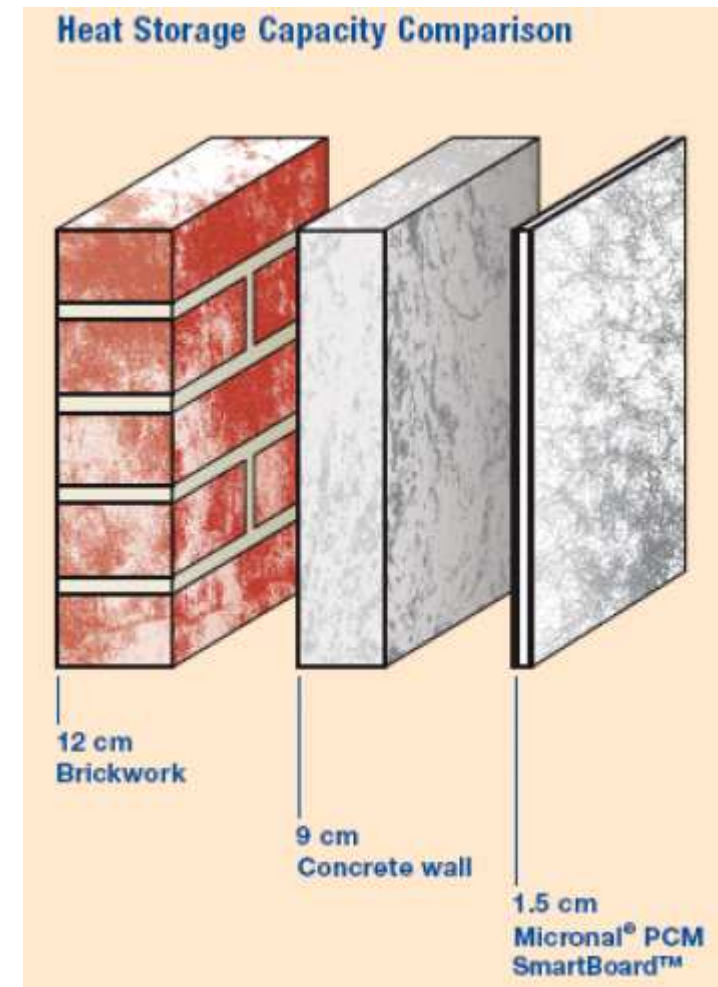
- Plaques prêtes à l'emploi
  - ◆ Smartboard de BASF + plâtre Maxit de Knauf
  - ◆ Dupont de Nemours



**KNAUF**



- Une paroi en plâtre de 1,5 cm avec des PCM présenterait les mêmes capacités de stockage de chaleur qu'un mur en béton de 9 cm ou un mur en brique de 12 cm...
- Possibilité de designs variés.
- Applicable pour la rénovation de bâtiments.

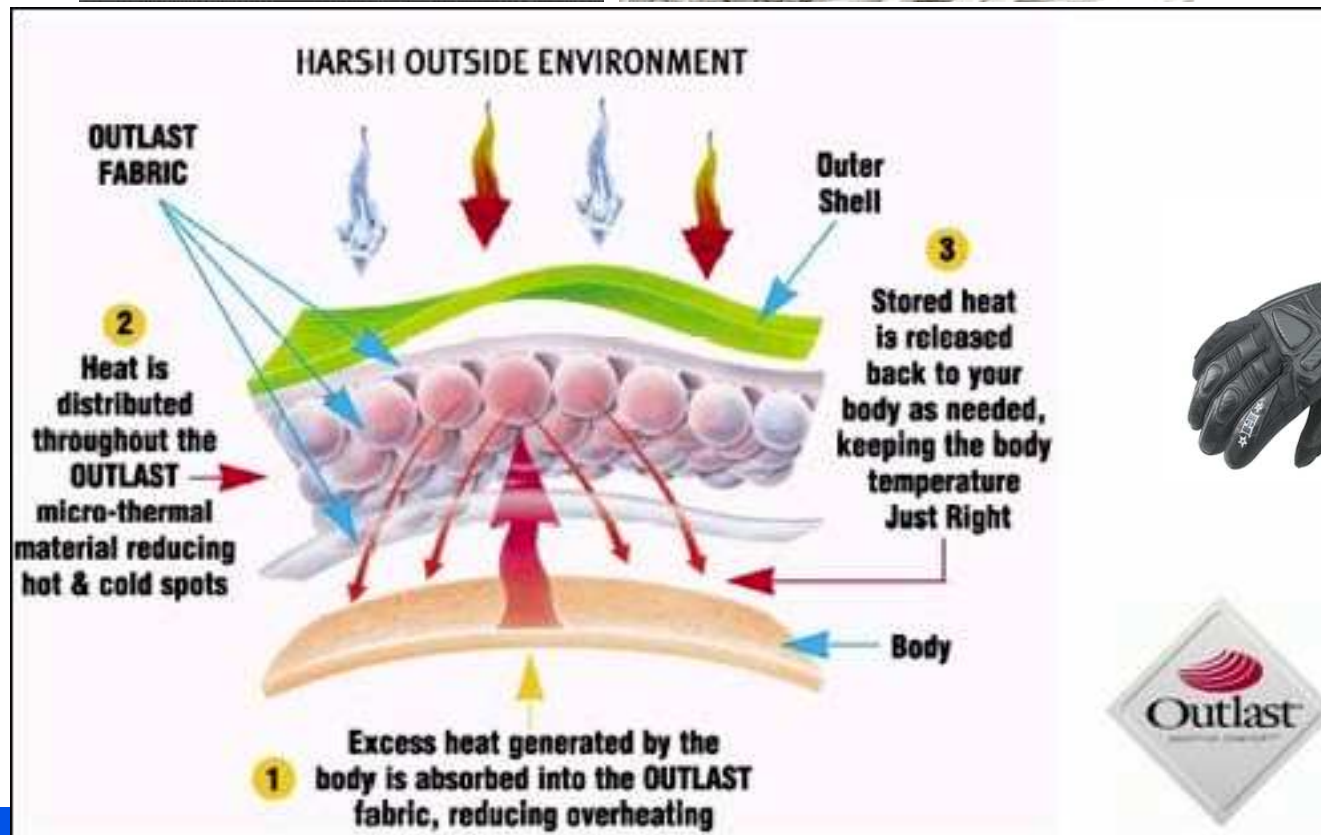
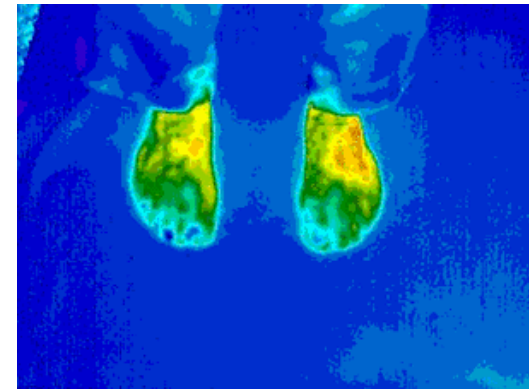
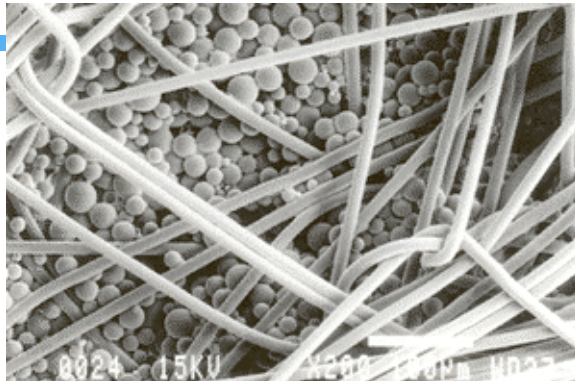
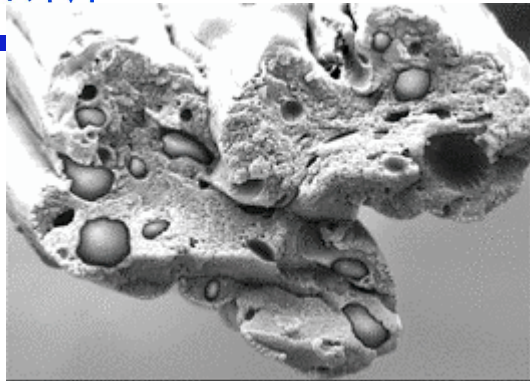


- Refroidissement des moteurs électriques et thermiques
- Chauffage et eau chaude : décalage en période creuse
- Application médicales : transport de sang, thérapie chaude-froide
- Stockage passif dans les bâtiments
- Sécurité : maintenance d'un certain niveau de température dans les salles avec serveurs électriques/électroniques
- Amortissement des pics de températures exothermiques dans des réactions chimiques
- Centrale solaire / systèmes thermiques spatiaux
- Confort thermique dans les véhicules
- Protection thermique des systèmes électroniques intégrés dans l'électroménager.
- Protection thermique des aliments : transport, hôtellerie, glaces, ...
- Stockage thermique de l'énergie solaire
- Textile





# Autre application : textile



# Autres applications



**ELECTRONIC COOLING**







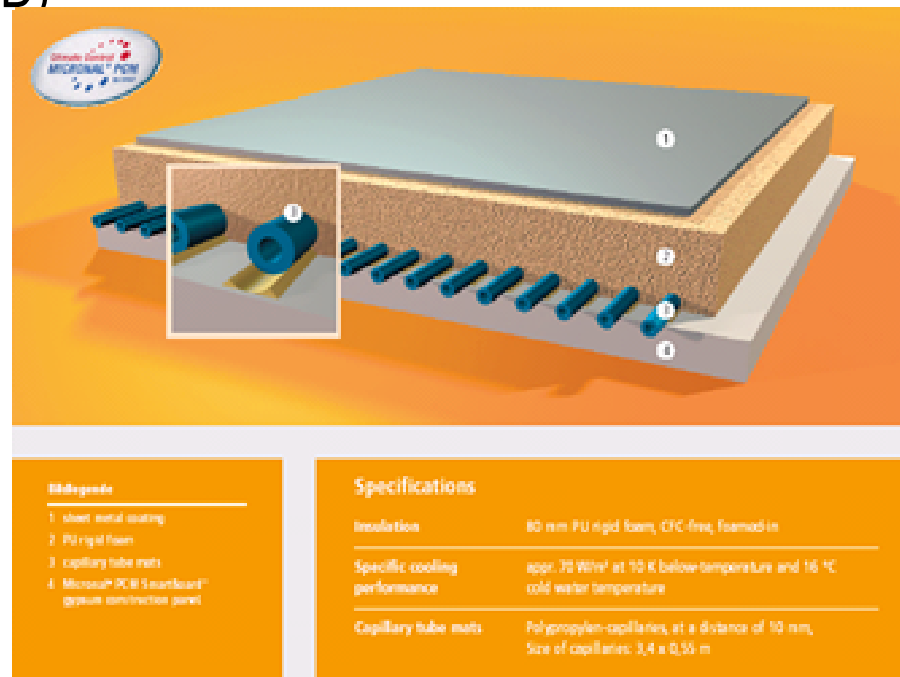
water tank with PCM modules inside



Fig.1: A photograph of the prototype solar chimney with built-in PCM modules for natural ventilation

- **Exemple d'application aux plafonds :**

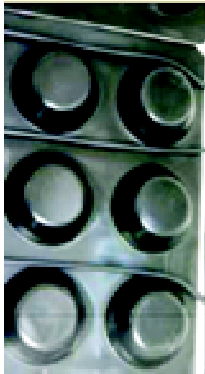
- ◆ Plafonds réfrigérés avec une plaque métallique d'un côté (pour l'accrochage), et un plaque de plâtre « Micronal PCM SmartBoard » : ILKA ZELL (D)



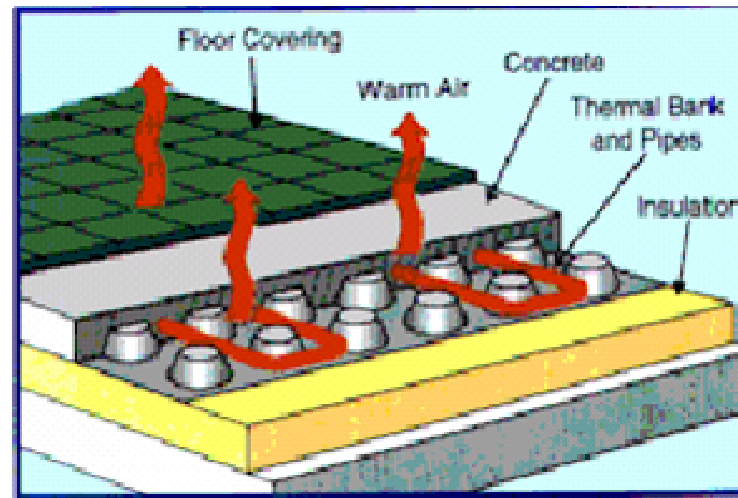
- **Exemple d'application aux sols :**

- ◆ Les granulés à base de PCM peuvent être incorporés dans des chapes conjointement à un système de chauffage par le sol

## TEAP Microencapsulated PCM for Wall



- Recent building development of a new Environmental Technology Centre (ETC) at Murdoch University in Australia including office, laboratories and exhibition facilities includes a PCM under-floor heating system.
- A commercial PCM system provided by **TEAP** Energy using **salt hydrate** in a macro-encapsulated aluminum tray faced polythene PVC tray like containment system.



## Parois modulables en verre



**Heatable partition walls: an additional heat source for extremely cold days**

Solar house Ebnet-Kappel / Switzerland(2000)

Architect: Dieter Schwarz, Domat / Ems (Switzerland)





## Et pour l'été...



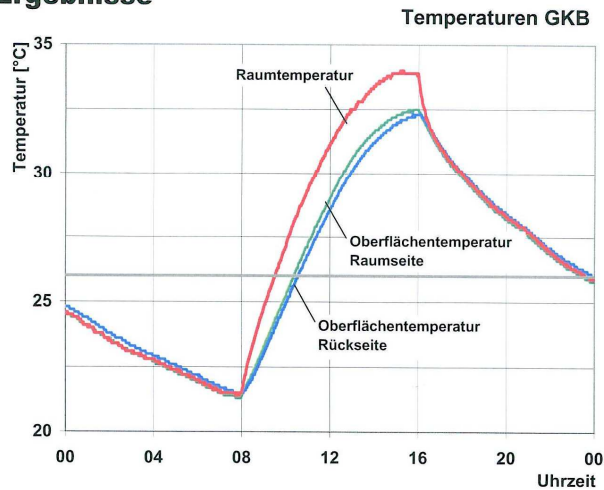
© Heko Helwig

- Isolation thermique translucide
- Protection contre la chaleur excessive
- Transformation de l'énergie
- Collecteur thermique

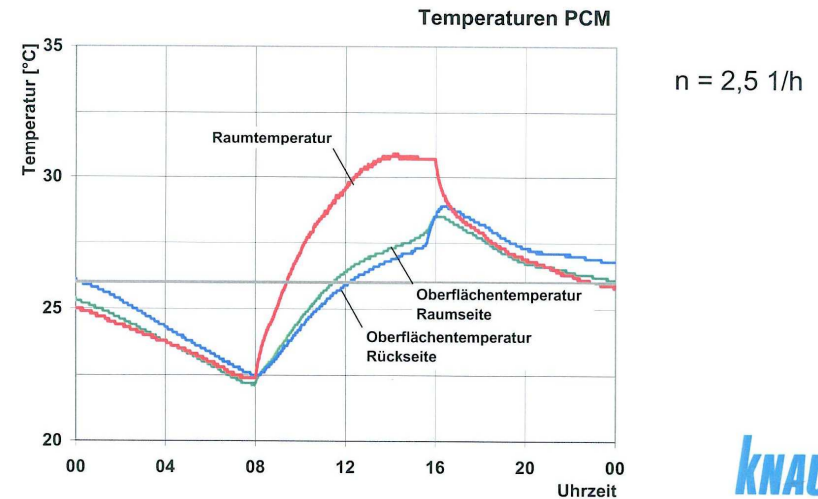
# Quelques études sur site (réalisées principalement aux Pays-Bas et en Allemagne)



## Vergleich PCM zu GKB Ergebnisse



## Vergleich PCM zu GKB Ergebnisse



- Plusieurs projets de recherche impliquant des PCM en cours...
- Participer au développement de produits à forte valeur ajoutée
- Accroître notre niveau d'expertise des produits PCM:
  - ◆ Sélection des matériaux disponibles pour une application donnée
  - ◆ Caractériser les propriétés thermiques intrinsèques des PCM bruts :  
Cp, chaleur latente, température de fusion...
  - ◆ Caractériser les autres propriétés de ces produits : micro-structurales, mécanique, résistance chimique, fatigue au cyclage...

- ◆ Caractériser les propriétés des éléments de finitions intégrant des PCM (matériaux de construction, matrice organique, caissons ou supports métalliques...)
- ◆ Simuler le comportement des PCM intégrés dans des finitions.
- ◆ Effectuer des tests en grandeur réelle afin de valider le comportement thermique des PCM sur site.
- Travailler avec les entreprises intéressées pour développer des produits ciblés.



- Surcoût à payer pour avoir ces panneaux avec des PCM.
- Validation des PCM au niveau technique : CSTC, CSTB...
- Matériaux « adoptés » par les bureaux d'études et les architectes
- Intégrés dans la conception de l'ouvrage à réaliser (logiciel intégrant les fonctionnalités des PCM)
- Conformité aux normes de sécurité (résistance au feu, ...)
- Décharge des PCM : combinée à un système de ventilation passif et/ou actif.