



Recherches sur les matériaux à changement de phase pour l'inertie thermique des bâtiments à Mines-ParisTech

Centre Energétique et Procédés
Equipe « Energétique, Matériaux & Procédés »
Sophia Antipolis

Patrick Achard

CEP – PARIS (73 personnes)

- Eco-conception et thermique des bâtiments
- Maîtrise de la demande d'énergie
- Thermique des systèmes
- Thermodynamique des systèmes
- Biomasse
- Transferts gaz-liquide

CEP/SCPI – PARIS (6 personnes)

- Systèmes Colloïdaux dans les Procédés Industriels

CEP/TEP – FONTAINEBLEAU (23 personnes)

- Thermodynamique et Equilibres entre Phases

CEP – SOPHIA (57 personnes)

- Energies renouvelables et Réseaux (EnR)
- Energétique, Matériaux & Procédés (EM&P)
- Procédés de conversion par voie Plasma
- Observation, Modélisation, Décision (OMD)

3 axes de recherche principaux

- (1) Maîtrise des procédés industriels
- (2) Infrastructures énergétiques
- (3) Nanomatériaux et énergie

Energétique, Matériaux et Procédés

Une équipe de recherche créée en 1990 sur trois axes de recherche:

- THermique des Enveloppes et Maîtrise des Ambiances --- THEMA
- Energétique et Matériaux Avancés --- EMA
- Technologies de l'Hydrogène Energie --- THE

Elle est constituée d'une quinzaine de chercheurs dont quatre Responsables Scientifiques HDR

Elle a comme spécificité

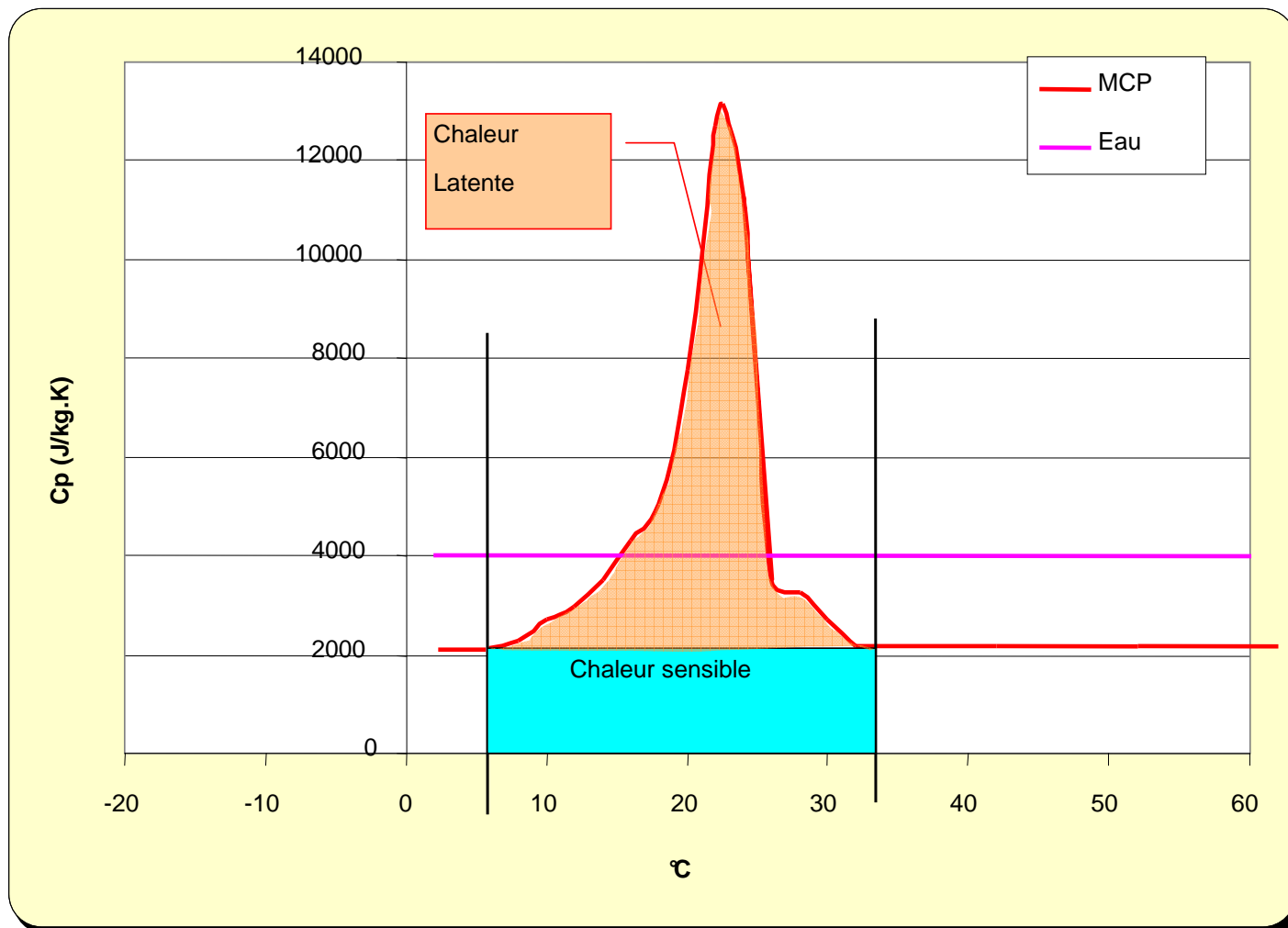
- de conduire des recherches sur des sujets « matériaux » pour faire progresser des problématiques énergétiques
- de travailler sur des composants d'enveloppe de bâtiments susceptibles de contribuer significativement au bilan d'énergie et au confort d'ambiance
- de conduire des travaux sur la filière Hydrogène, les piles à combustible et les composants de stockage d'énergie par voie électrochimique (supercapacités, accumulateurs au lithium..)

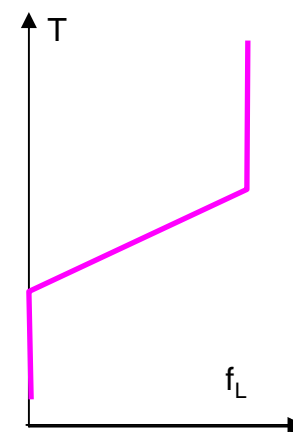
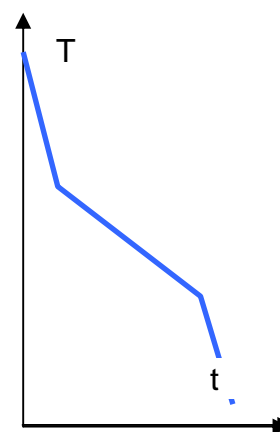
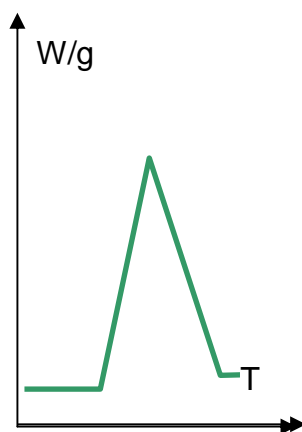
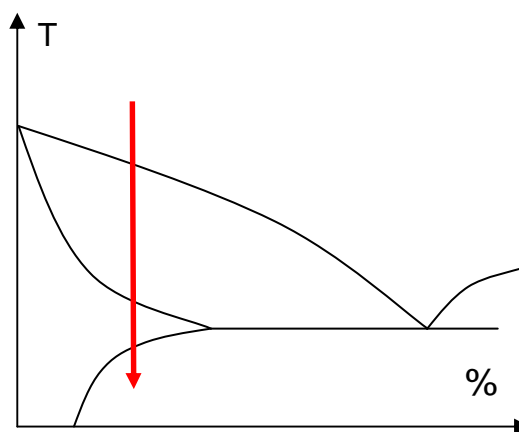
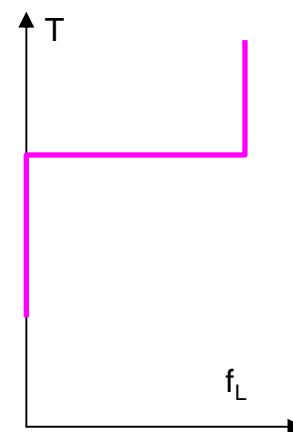
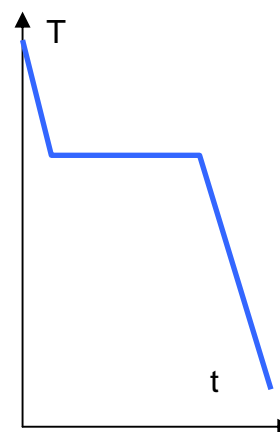
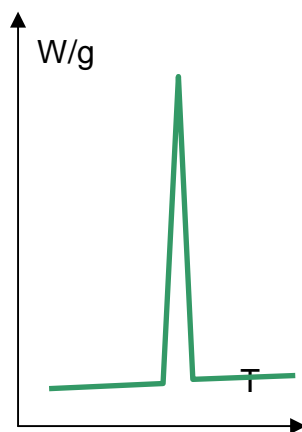
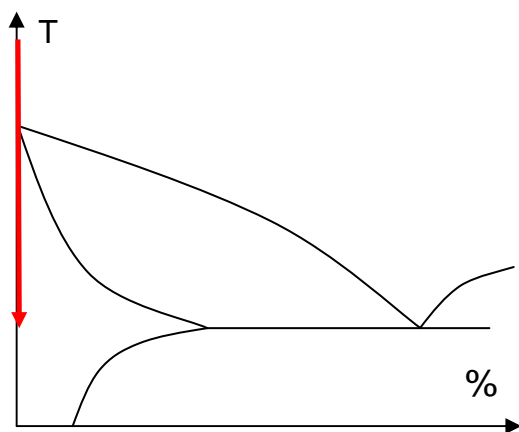
en portant la préoccupation de réduction d'émissions de gaz à effet de serre et de recours aux énergies renouvelables

Caractérisation d'un Matériau à Changement de phase - MCP

● Mesures λ et analyses thermiques DSC

- températures de transformation (fusion / cristallisation)
- chaleur latente de changement d'état
- chaleur massique C_p
- proportion liquide / solide en fonction de la t°





Quantité d'énergie stockable

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} mC_p dT + ma_m \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} mC_p dT$$

$$Q = m[C_{sp}(T_m - T_i) + a_m \Delta h_m + C_{lp}(T_f - T_m)]$$

Différentes catégories de MCP:

- Les corps organiques
- Les hydrates salins
- Les métaux

Composition: Corps purs

Mélanges eutectiques

Type de fusion: congruente ou non congruente

Présence de surfusion

Un habitat plus sobre du sol au plafond

Diviser par deux ou par trois la consommation énergétique des bâtiments : tel est l'un des objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement. Pour y parvenir, il faudra combiner plusieurs technologies existantes ou en développement.

Isolants bio-sourcés, chauffe-eau solaire, lampes basse consommation, double ou triple vitrage : les matériaux et techniques modernes de construction vont diviser par deux la consommation énergétique des bâtiments neufs. Celle-ci en effet, ne devra pas dépasser 50 kWh/m² en 2012, selon les objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement. Dans l'ancien, le problème est beaucoup plus complexe. La consommation moyenne des bâtiments atteint 240 kWh/m². Pour la diviser par trois - autre objectif affiché par le Grenelle -, il faudra utiliser toutes les ressources de la technologie. Revue de détail de l'arsenal « anti-gaspi » du futur.

1 Isolation et inertie thermique

Il n'existe pas dans la nature de meilleur isolant thermique que le vide : c'est dire l'efficacité des panneaux isolants sous vide (PIV) apparus depuis peu sur le marché. Ces panneaux, dont l'apparence évoque celle d'un paquet de café sous vide, sont fabriqués à partir d'un composite de silice nanostructurée, formant d'innombrables cavités, enveloppé dans un film étanche, dont l'air a été retiré. Un centimètre de ce matériau présente le même pouvoir d'isolation que 6 centimètres de polystyrène.

Les PIV conviennent particulièrement bien à l'isolation des bâtiments anciens, pour lesquels l'emploi d'autres isolants - comme la laine de verre ou le polystyrène - ferait perdre trop de place. Encore chers, ils doivent cependant être perfectionnés : impossible, par exemple, d'y planter un clou sans leur faire perdre leurs propriétés isolantes.

Un autre moyen de réguler la température d'une habitation est d'améliorer l'inertie thermique des murs au moyen d'un matériau à changement de phase (MCP). Ceux-ci ont la propriété, au-delà d'une certaine température, de se liquéfier en absorbant les calories de l'atmosphère ambiante, pour les restituer lorsque la température baisse. C'est, par exemple, le cas de l'eau qui se transforme en glace en dessous de 0 °C. Pour l'isolation de la maison, on utilisera des MCP dont la température de fusion se situe entre 19 et 27 °C

(comme la paraffine ou divers acides gras). Encapsulés dans une cloison sous forme de micro-bulles, ils réduisent de plusieurs degrés l'amplitude des variations de température de la pièce.

2 Amélioration du rendement des systèmes de chauffage

Dans une maison bien isolée, le besoin de chauffage devient marginal. Autant qu'il soit efficace. A consommation égale, une pompe à chaleur assure un rendement trois fois supérieur à un convecteur électrique : quand ce dernier produit 1 kW de chaleur pour 1 kW d'électricité, la pompe fournit 3 kW, et jusqu'à 5 kW dans le futur.

L'appareil prélève l'énergie du soleil stockée dans le sol (pompe géothermique), dans l'air (pompe aérothermique) ou dans l'eau d'une nappe phréatique. Pour cela, il utilise un circuit à l'intérieur duquel circule un fluide ayant la propriété d'absorber les calories en se vaporisant et de les restituer en se condensant. « C'est le même principe que le réfrigérateur », résume Jean-Christophe Visier, directeur énergie, santé, environnement au CSTB. En 2007, près de 70.000 pompes à chaleur ont été installées en France, deuxième marché mondial après la Suède.

3 Une nouvelle génération de ventilations

L'amélioration de l'étanchéité des habitations rend indispensable l'installation d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC). Les produits commercialisés, de plus en plus sophistiqués, font varier le débit de l'air en fonction de l'humidité, ce qui optimise leur efficacité tout en réduisant la consommation d'énergie. Quant aux VMC double flux, elles limitent les déperditions de chaleur en récupérant les calories de l'air vicié : l'économie de chauffage représente environ la moitié de la consommation de la VMC.

Le dispositif peut aussi être couplé à un puits canadien (ou puits provençal) exploitant l'inertie thermique du sol pour réguler la température de l'air entrant : avant d'arriver dans la maison, celui-ci emprunte un long tuyau enterré à environ 2 mètres de profondeur, qui le rafraîchit (en Provence) ou le réchauffe (au Canada).

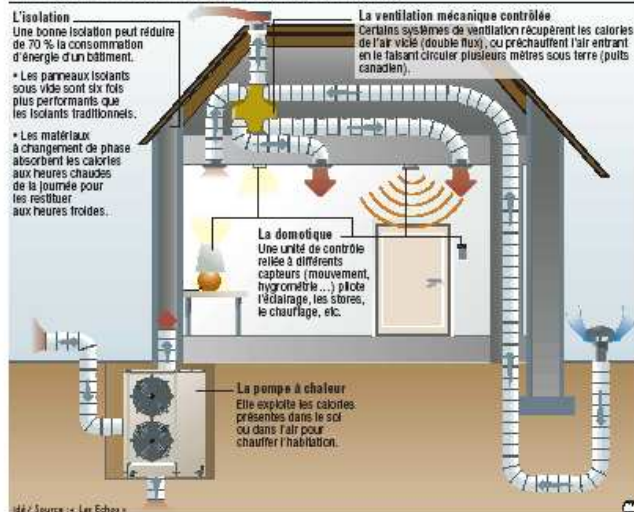
4 Une électronique plus raisonnable

Ouvrir les fenêtres pour aérer, fermer les volets pour empêcher la chaleur de rentrer, éteindre les

lumières en sortant, autant de gestes simples qui suffisent à réaliser de substantielles économies. A condition d'y penser... D'où l'idée d'intégrer aux bâtiments des dispositifs électroniques pilotant de manière optimisée les différents équipements : chauffage, éclairage, ouverture des stores, ventilation, etc. C'est le but du programme Homes (« habitat et bâtiment optimisés, maîtrise de l'énergie et services »), lancé par Schneider Electric avec le soutien d'Oséo. Celui-ci se concentre notamment sur la mise au point de capteurs auto-alimentés capables de mesurer la température, l'hygrométrie, la luminosité, ou même de détecter la présence d'une personne. L'information sera transmise par liaison sans fil à une unité de contrôle qui prendra la meilleure décision en fonction de l'exigence de confort programmée par les occupants. 88 millions d'euros seront investis sans ce programme entre 2008 et 2011.

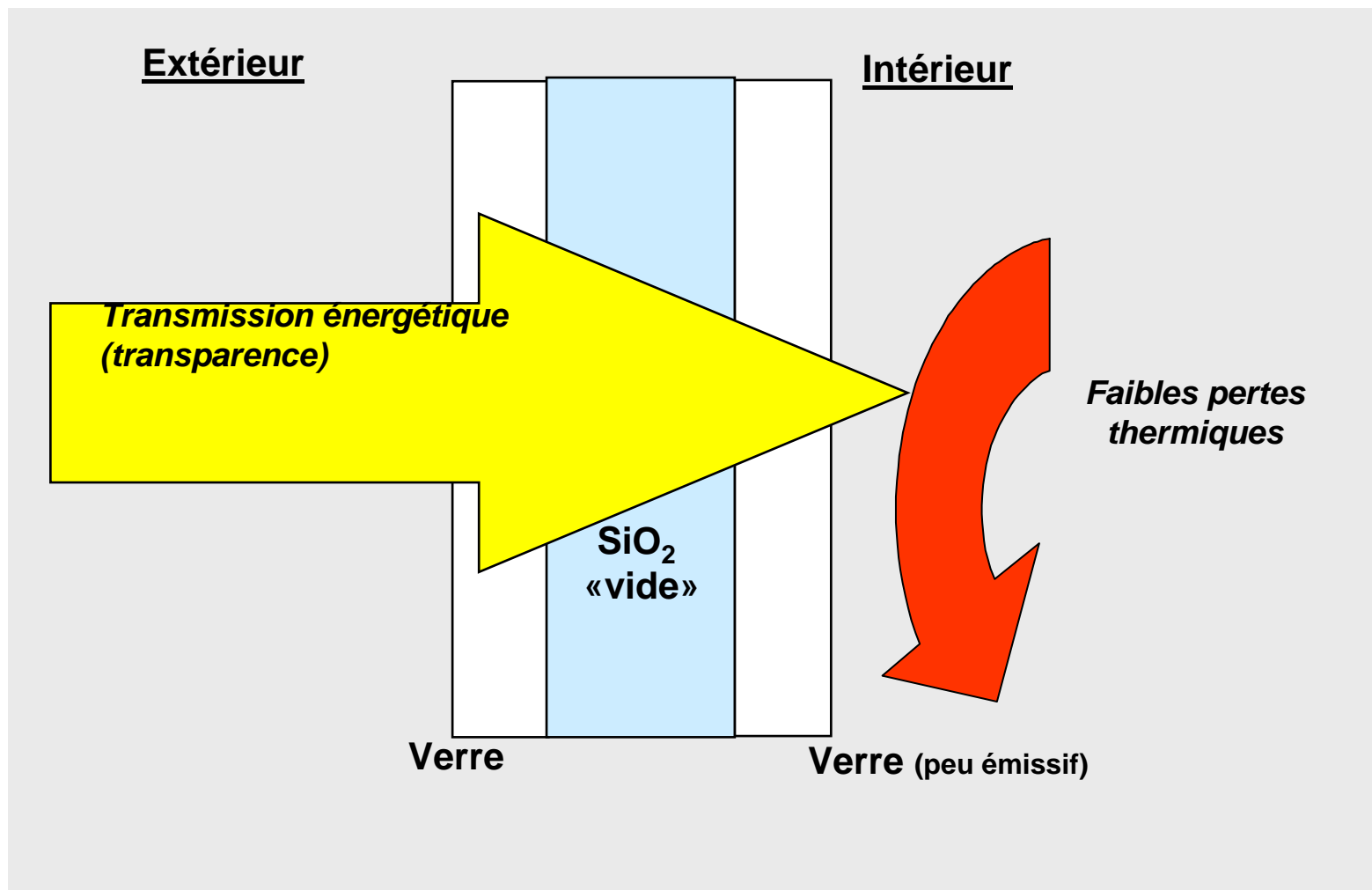
LAURENT BARBOTIN

Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments



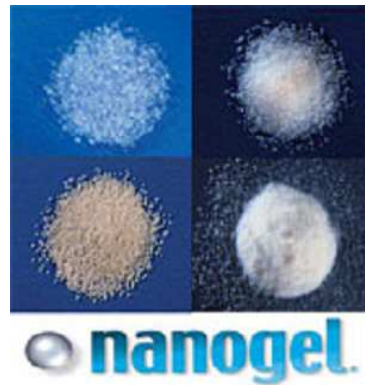
186 / Source : Les Echos

D'ici à 2012, le Grenelle de l'environnement a fixé pour objectif de diminuer par deux la consommation énergétique des bâtiments neufs, et par trois celle des bâtiments anciens.

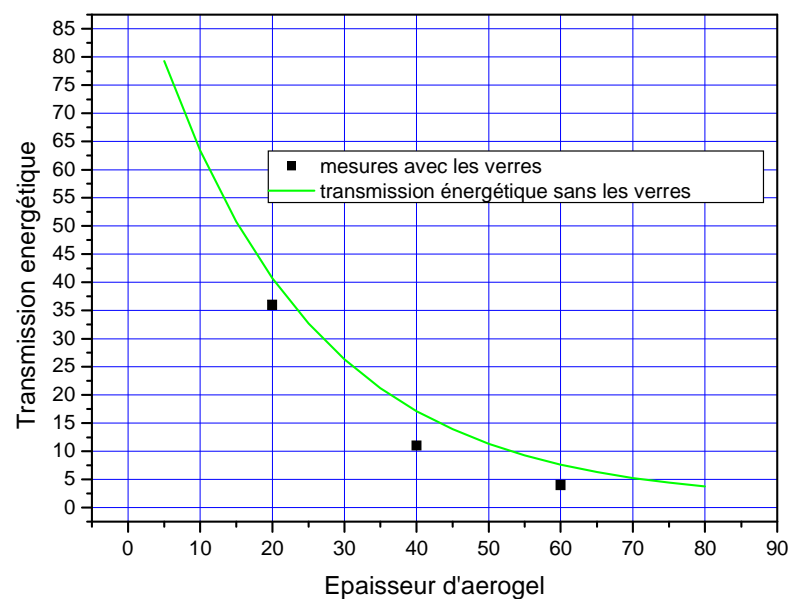
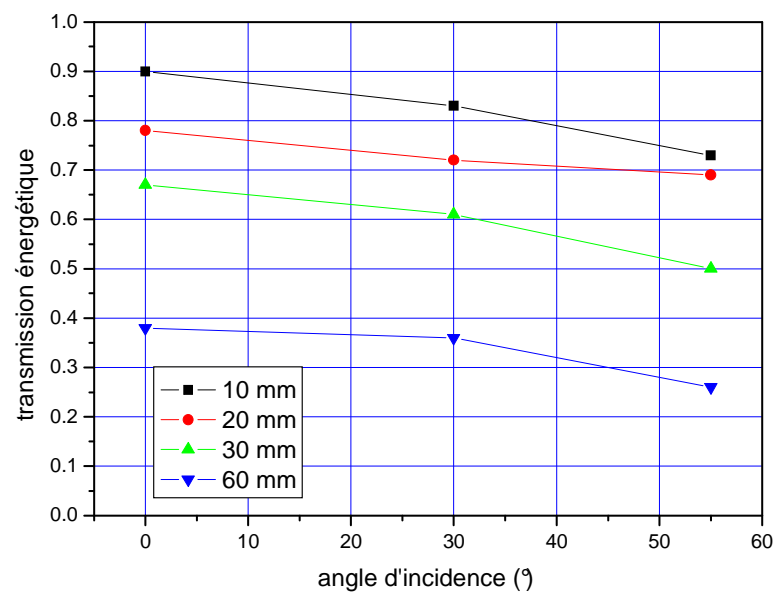


Isolation « opaque » (2)

Les « premiers » aérogels ...



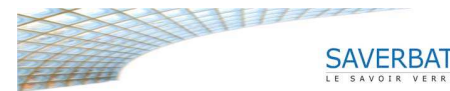
Transmission énergétique (τ_e) d'aérogel granulaire en fonction de l'épaisseur (sources : ZAE et CSTB)



CSTB
le futur en construction



INERTRANS



SIRIUS

Objectifs du projet

- Développer et étudier un nouveau concept d'enveloppe contribuant aux gains d'énergie par l'enveloppe et à l'éclairage naturel du local



MCP

+

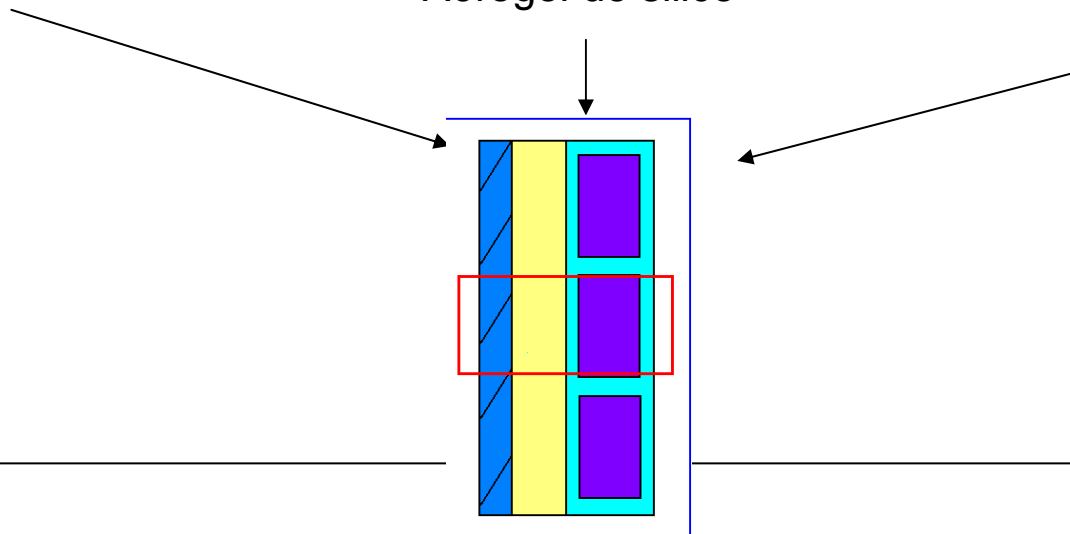


Aérogel de silice

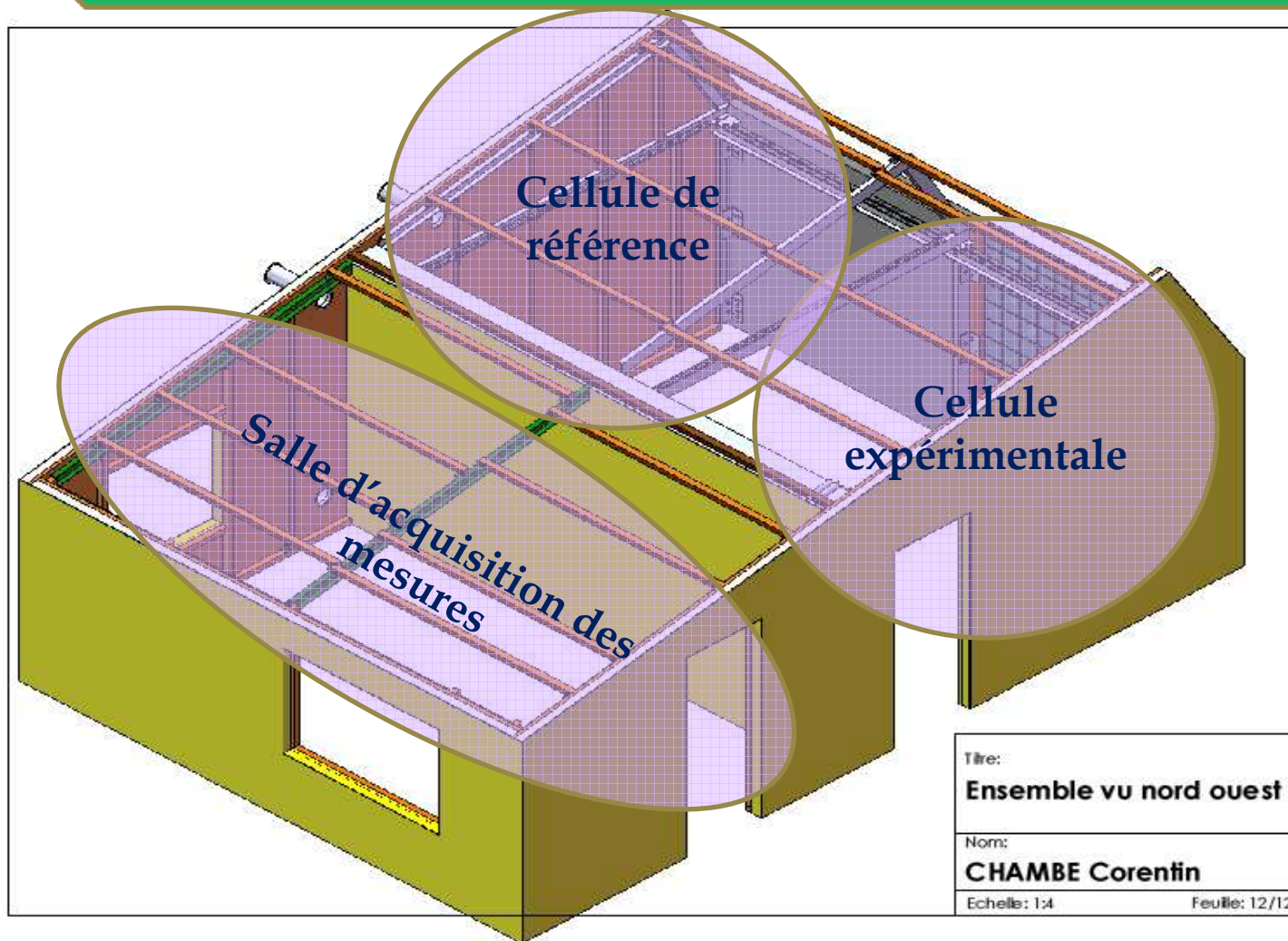
+



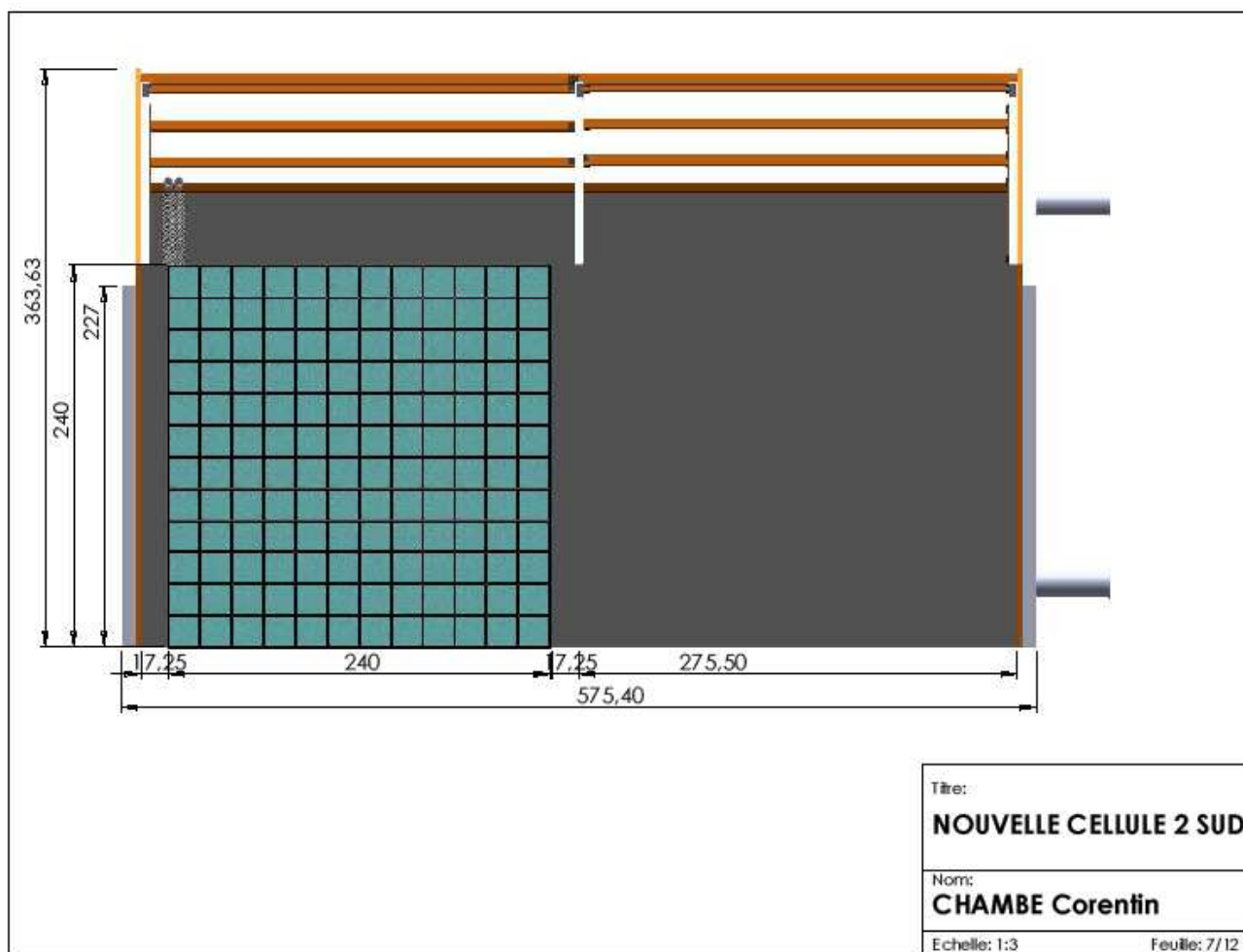
Brique de
verre



Représentation 3D vue N/O

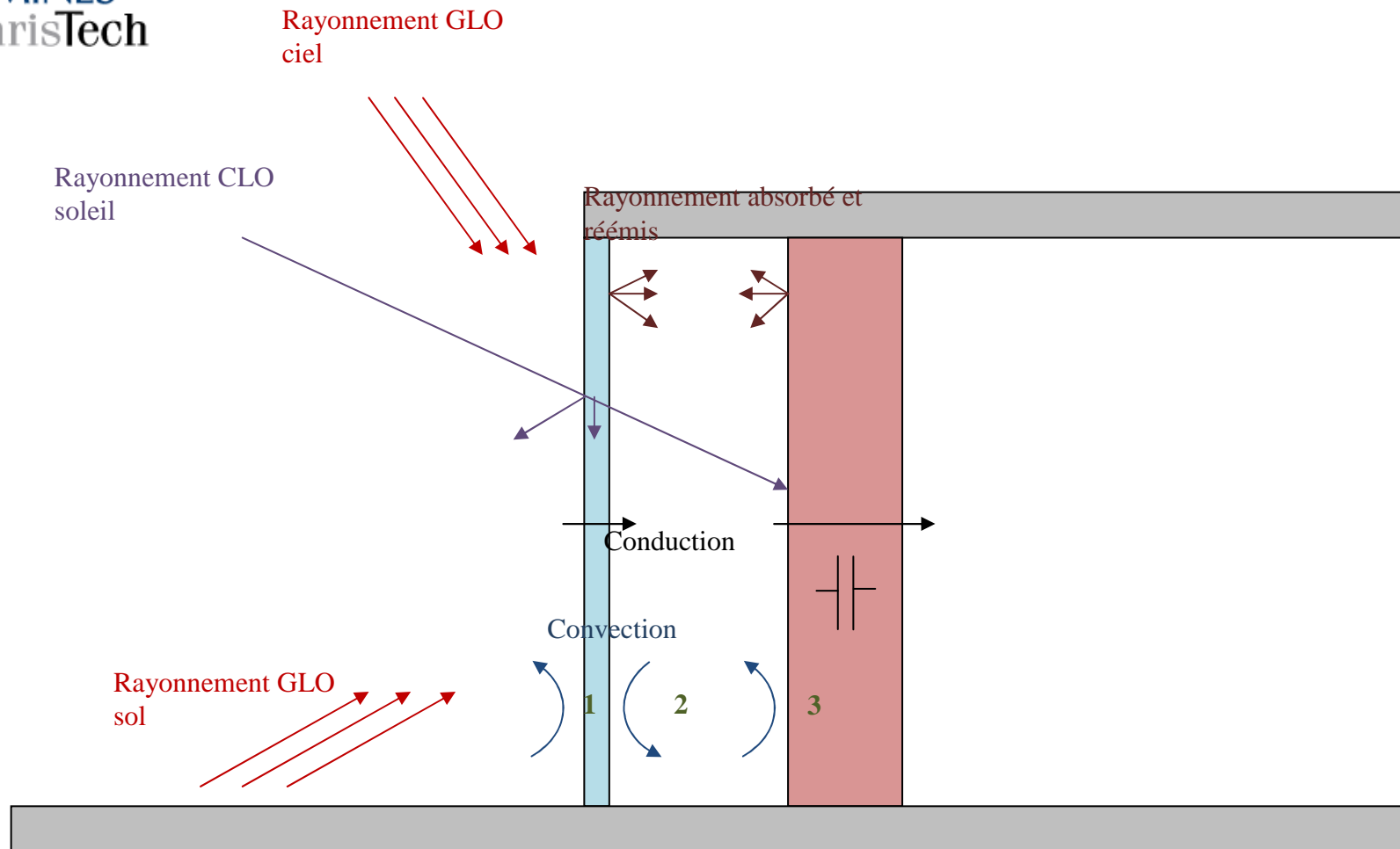


Vue côté sud









bilan thermique du mur capteur



**Utilisation
des
Matériaux à Changement de Phase (M.C.P.)
dans le bâtiment**

André BONTEMPS

Université Joseph Fourier

LEGI

Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels

Résultats obtenus entre autres dans le cadre de:

- Programme Cluster – Énergies Rhône – Alpes

MANITOBAT (LEGI, LOCIE, CETHIL, SIMAP, GRETh, EURACLI)

- ANR Habisol

COOL PV (CEA, LEGI, LET, LEPTAB, CRISTOPIA, CLIPSOL, ...)

Conditionnement du MCP

- Conditionnement des MCP
- Caractérisation des MCP dans leur conditionnement
 - Enthalpie spécifique
 - Conductivité thermique
 - Réponse thermique à une sollicitation

Conditionnement du MCP

Méthodes utilisées

- Imprégnation du matériau
- Stockage dans un récipient ou dans une paroi étanche
- Stockage dans des mini ou microéléments destinés à être incorporés dans le matériau
- Stockage dans un milieu poreux

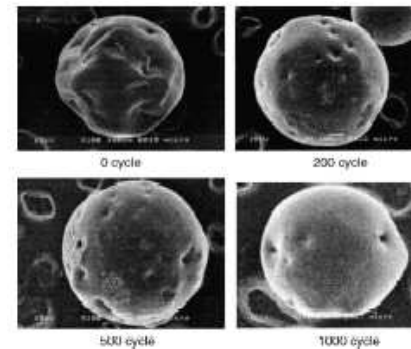
Critères importants

- Éviter toute fuite de MCP (effusion, fuite de liquide,..)
- Permettre la manipulation des conteneurs

Conditionnement du MCP

Incorporation dans des microcapsules

Société Colour Touch (Euracli)



BASF Micronal®PCM

Avec Knauf

"It looks like plasterboard, but, thermally, it behaves like 9 cm of concrete," explains Marco Schmidt, BASF's technical director. "Ten m² of SmartBoard™, containing 3 kg of Micronal, stores 1kW/h of heat energy. We believe that products modifying or managing energy transference are the future for the construction industry."

Puis soit:

- incorporation dans du plâtre ou un matériau liant
- remplissage d'un conteneur étanche

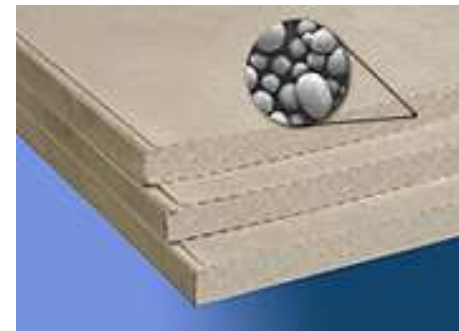


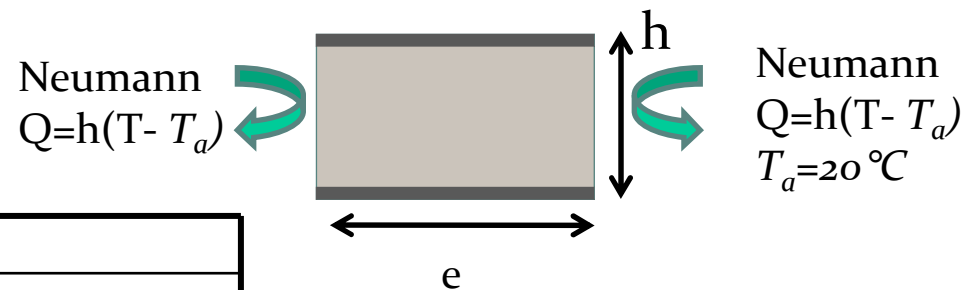
Photo BASF

Conditionnement du MCP

Utilisation de mousses métalliques



Modélisation effectuée pour déterminer les caractéristiques optimales de la mousse

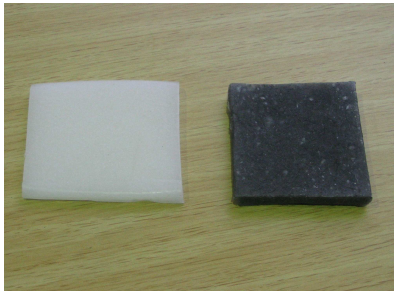


Cahier des charges	Solutions
Fonte du MCP	$e = 5\text{mm}$
Homogénéisation température du MCP	$h = 5\text{mm}$ Pour acier et aluminium
Stockage de l'énergie : 8h	6h
Solidification en fin de cycle	16h30

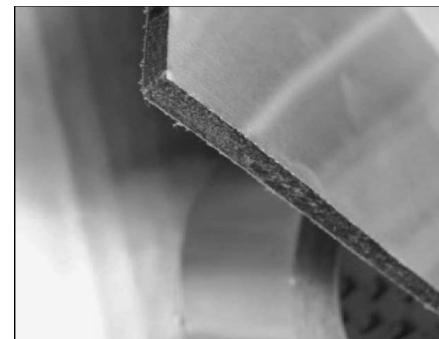
Conditionnement du MCP

✓ Inclusion du MCP dans polymère réticulé

Élaboration par MSC (Paris 7)



Panneau de MCP dans polymère réticulé
(Dupont™ Energain®)

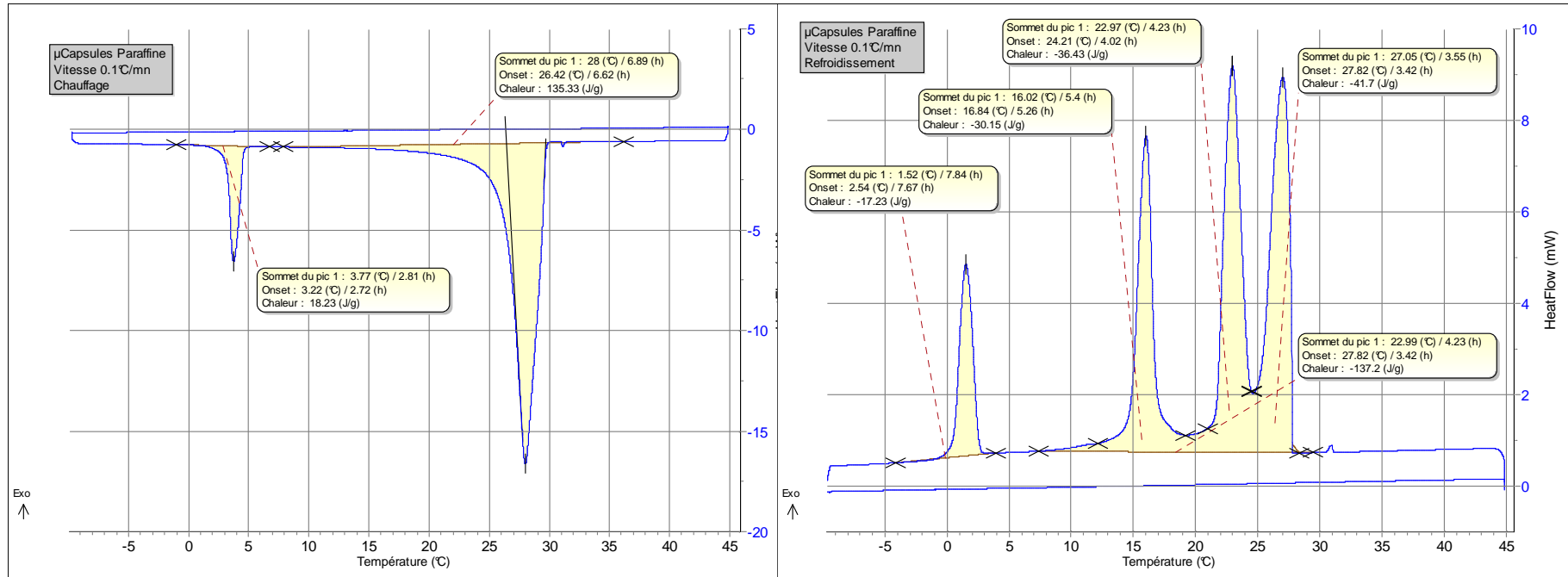


Puis conditionnement dans un conteneur étanche

Caractérisation du MCP

Microcapsules

Mesures calorimétriques (microcapsules Colour Touch)

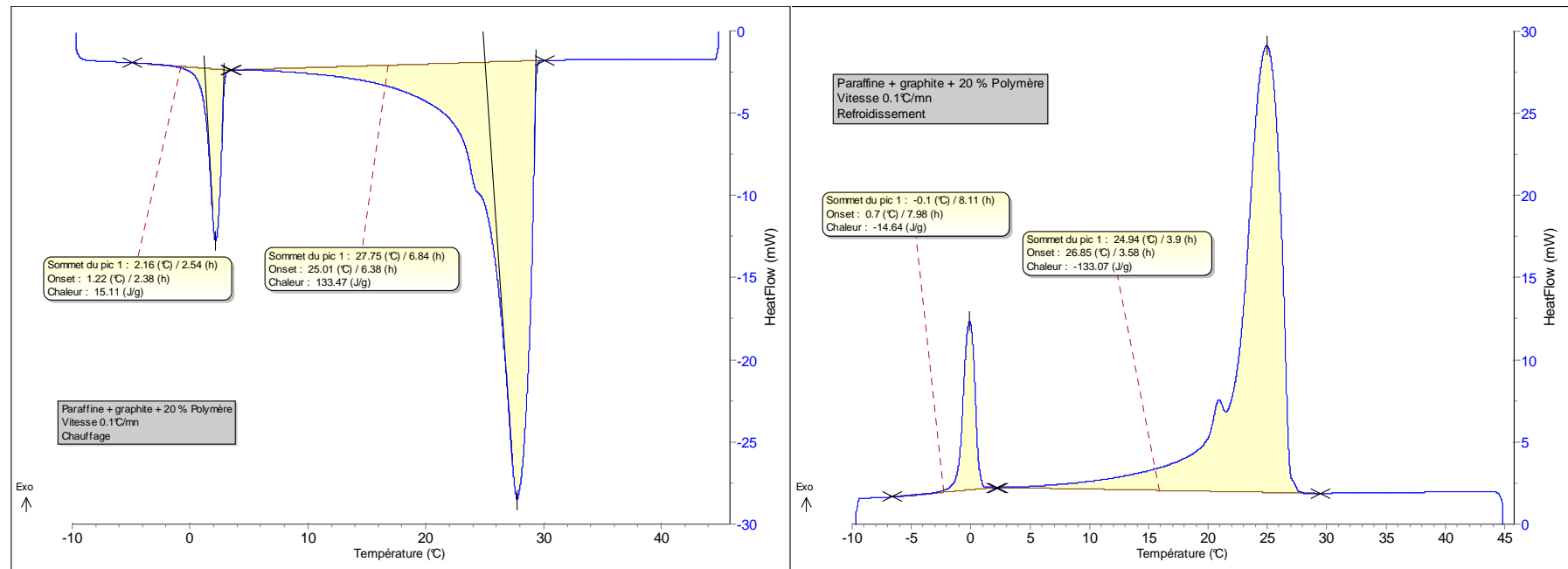


$$\Delta h = 135 \text{ kJ/kg}$$

Caractérisation du MCP

Polymère réticulé

Mesures calorimétriques (Échantillons Paris 7)



Chauffage

Refroidissement

$\Delta h = 133,5 \text{ kJ/kg}$
(entre 5 et 30 °C)

À comparer avec le Δh obtenu dans les mêmes conditions avec:

SmartBoard™ $\Delta h = 30 \text{ kJ/kg}$

Energain® $\Delta h = 77 \text{ kJ/kg}$

CRISTOPIA *Energy Systems*



➔ La société :

Essaimage de l'Ecole des Mines de Paris à Sophia Antipolis
(Centre Énergétique et Procédés)
Développe une technologie originale de stockage d'énergie
thermique depuis 1982
Filiale du groupe CIAT depuis 1988



➔ Bureaux commerciaux :

Siège social et usine à Vence (France)
Bureaux commerciaux à Kuala Lumpur (Malaisie)



➔ Accords de licence :

Japon : Mitsubishi Corporation
Inde : Cristopia Energy Systems India Private Ltd. (Joint
Venture)
Chine : CIAT Hangzhou (Joint Venture)

➔ Représentation mondiale :

Dans plus de 25 pays pour distribuer la technologie CRISTOPIA

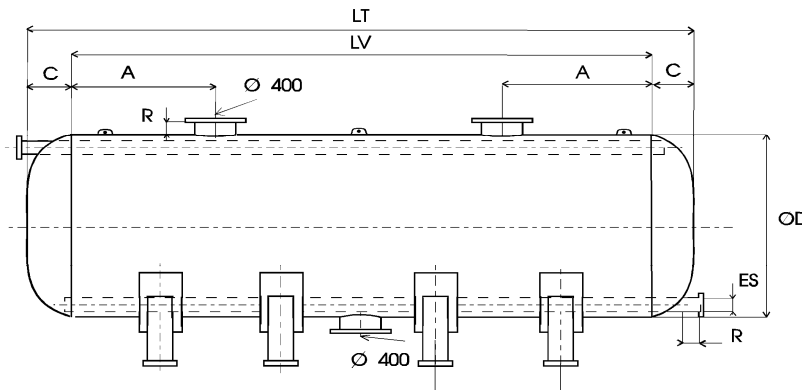
*Plus de 1 500 références dans 25 pays - 10 millions de kWh déplacés chaque jour
500 MW_{élec.} économisés (1/2 réacteur nucléaire)*

LE SYSTEME de **ST**ockage **L**atent (**STL**)

IL SE COMPOSE DE 2 ELEMENTS

:

- une cuve (fabriquée sur mesure)
- des nodules



- ➔ Encapsulation du MCP dans un élément géométrique simple auto empilable : sphère
- ➔ Sphères en plastique fabriquées par extrusion-soufflage
- ➔ Peu de main d'œuvre pour le remplissage des cuves

KLCC Kuala Lumpur (*Malaisie*) – 2005
STL - AC.00 - 3 000
(165 000 kWh / 47 000 T.H)



COUR EUROPEENNE DE JUSTICE

Luxembourg - 2007

STL - AC.00 - 60 (3 300 kWh / 940 T.H)



Activité de R&D

- ➔ Un savoir-faire unique dans le domaine du stockage d'énergie thermique
- ➔ Thématiques de Recherche :
 - ➔ Stockage passif
 - ➔ Stockage de chaleur (30-90°C) : solaire, chauffage, cogénération
 - ➔ Refroidissement des panneaux photovoltaïques
 - ➔ Régulation intelligente
 - ➔ Intégration du stockage dans les systèmes
- ➔ Besoins de partenariats pour le développement des MCP et les applications passives dans le bâtiment
- ➔ Besoins de projets de démonstration pour inciter les BE à utiliser la technologie STL en France (Maîtrise de la Demande Electrique)



THANK YOU
for your attention