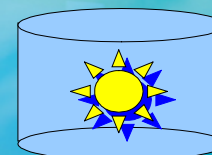


Stockage de Chaleur dans les Bâtiments à Basse Consommation

Frédéric Kuznik – frederic.kuznik@insa-lyon.fr

Plan de la présentation

- Contexte
 - Principes de stockage
 - Stockage sensible
 - Stockage latent
 - Stockage par sorption
 - Stockage chimique
 - Conclusions
- } *Intégration au bâtiment*





Contexte

Contexte général

♦ Contexte général => développement des EnR

EnR Solaire : ressource intermittente
+ déphasée / besoin

EnR PV et éolien : ressource variable => impact /
courbe de charge réseau

♦ Au niveau du bâtiment : encore de forts besoins thermiques

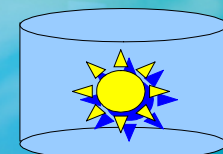
♦ Exemple « fil-rouge »:

♦ Bâtiment à architecture bioclimatique, 191m² de surface chauffée, 20m² de capteurs solaires thermiques, située à Paris



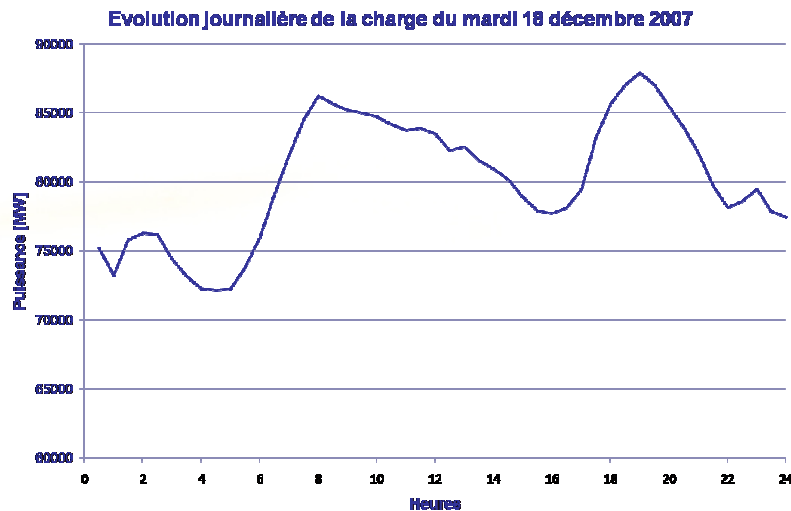
Chauffage: 22kWh/m²/an

Eau Chaude Sanitaire: 9kWh/m²/an



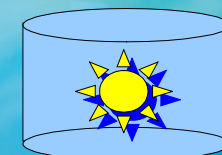
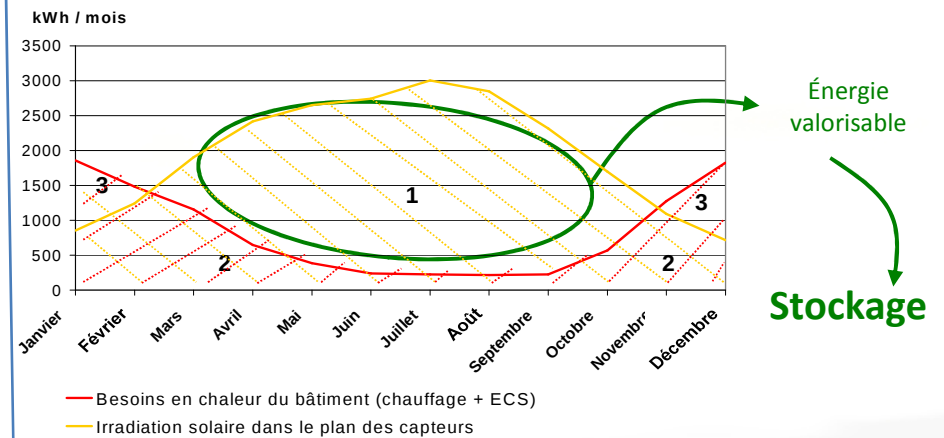
Contexte général

Rationalisation de la gestion de l'électricité
=
Éliminer les pointes de consommation



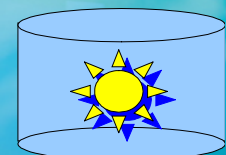
Rationalisation

Rationalisation de la gestion des énergies renouvelables
=
Ajuster la production au besoin



Autres critères

- ↗ Récupération de chaleur ou de froid
- ↗ Utilisation d'un tarif préférentiel
- ↗ Réduction de la puissance installée
- ↗ Réduction des cycles de marche/arrêt des systèmes



Contexte général

Objectif

- Améliorer le confort
- Lisser la courbe de charge du réseau
- Optimiser la fraction solaire
- Optimiser le rendement d'un système

Échelles de temps

- L'heure
- La journée
- La semaine
- Le mois

Démarche

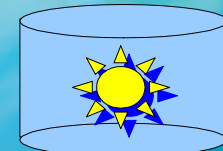
Type de stockage

- Chaleur sensible
- Chaleur latente
- Thermochimique par sorption
- Chimique par réaction endo/exo thermique

*Limites
théoriques*

*Limites
technologiques*

*Limites
économiques*

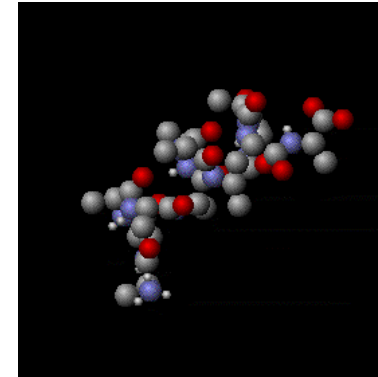




Principes de stockage

Stockage sensible

*Idée: conserver l'énergie thermique
dans un matériau en évitant les
transferts de chaleur*

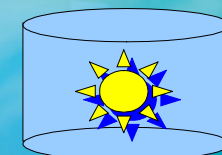


Capacité de stockage sensible
caractérisée par
la capacité calorifique C [kWh/m³K]

+

Isolation du matériau / transferts de
chaleur avec l'extérieur
(isolation)

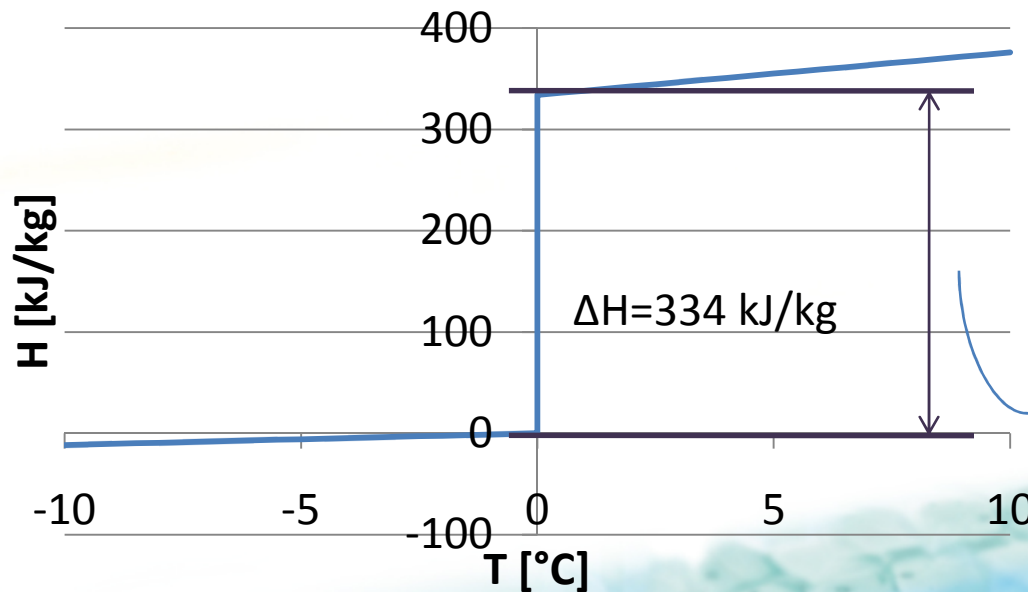
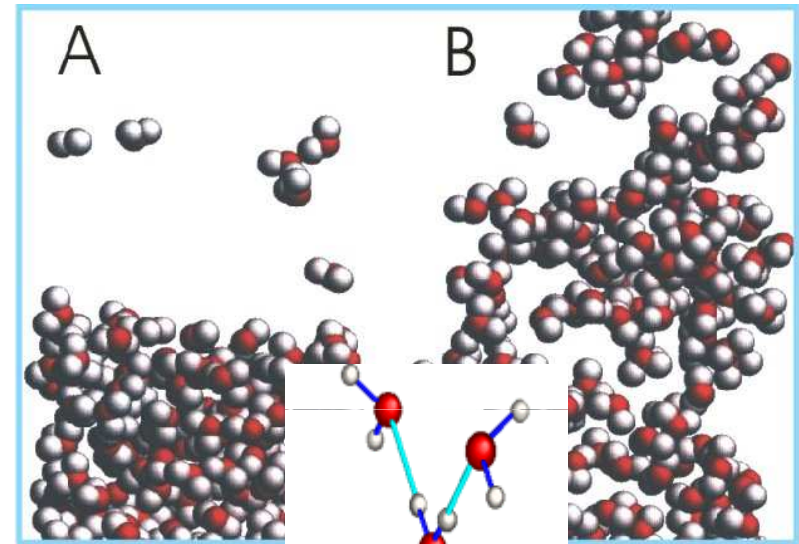
- ◆ Béton: $C=0,64$ kWh/m³K
- ◆ Eau: $C=1,16$ kWh/m³K
- ◆ Isolant: $C=0,03$ kWh/m³K
- ◆ Air: négligeable!



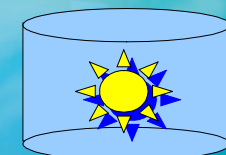
Stockage latent

Idée: conserver l'énergie thermique
en utilisant le changement de
phase

Exemple 1 eau solide (A) et eau liquide (B)

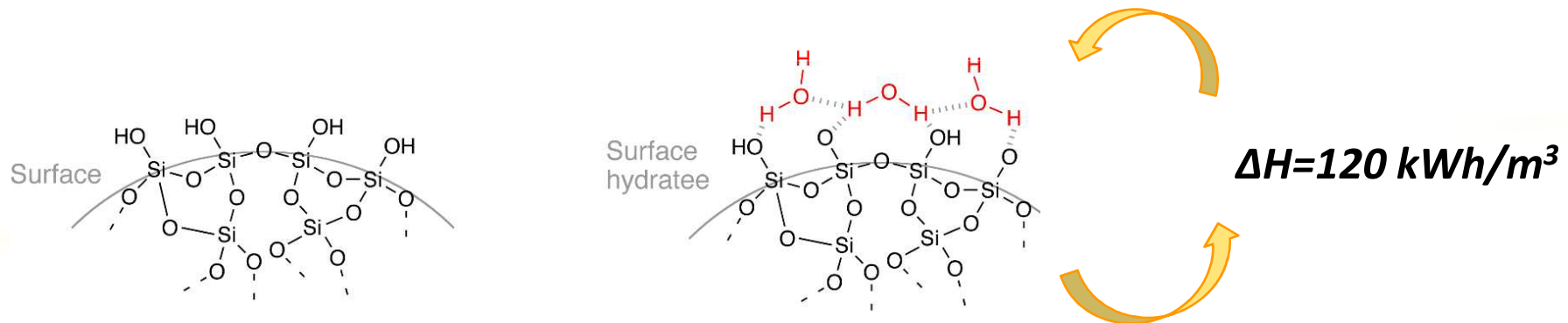


$\Delta H = 93 \text{ kWh/m}^3_{\text{eau}}$

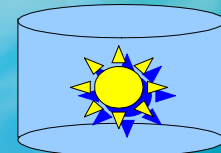


Stockage par sorption

Idée: conserver l'énergie thermique en utilisant des liaisons inter-moléculaires (hydrogène ou Van der Waals)

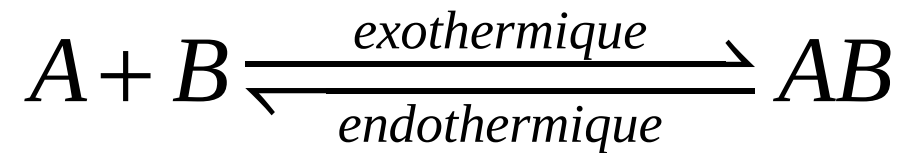


Exemple: Gel de silice ($\text{Si}(\text{OH})_4$)

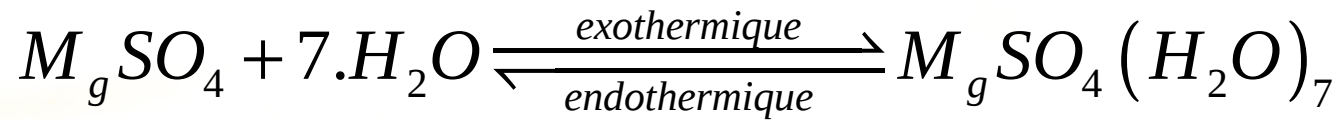


Stockage chimique

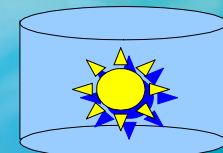
Idée: conserver l'énergie thermique en utilisant des liaisons de valence



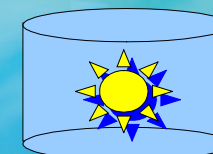
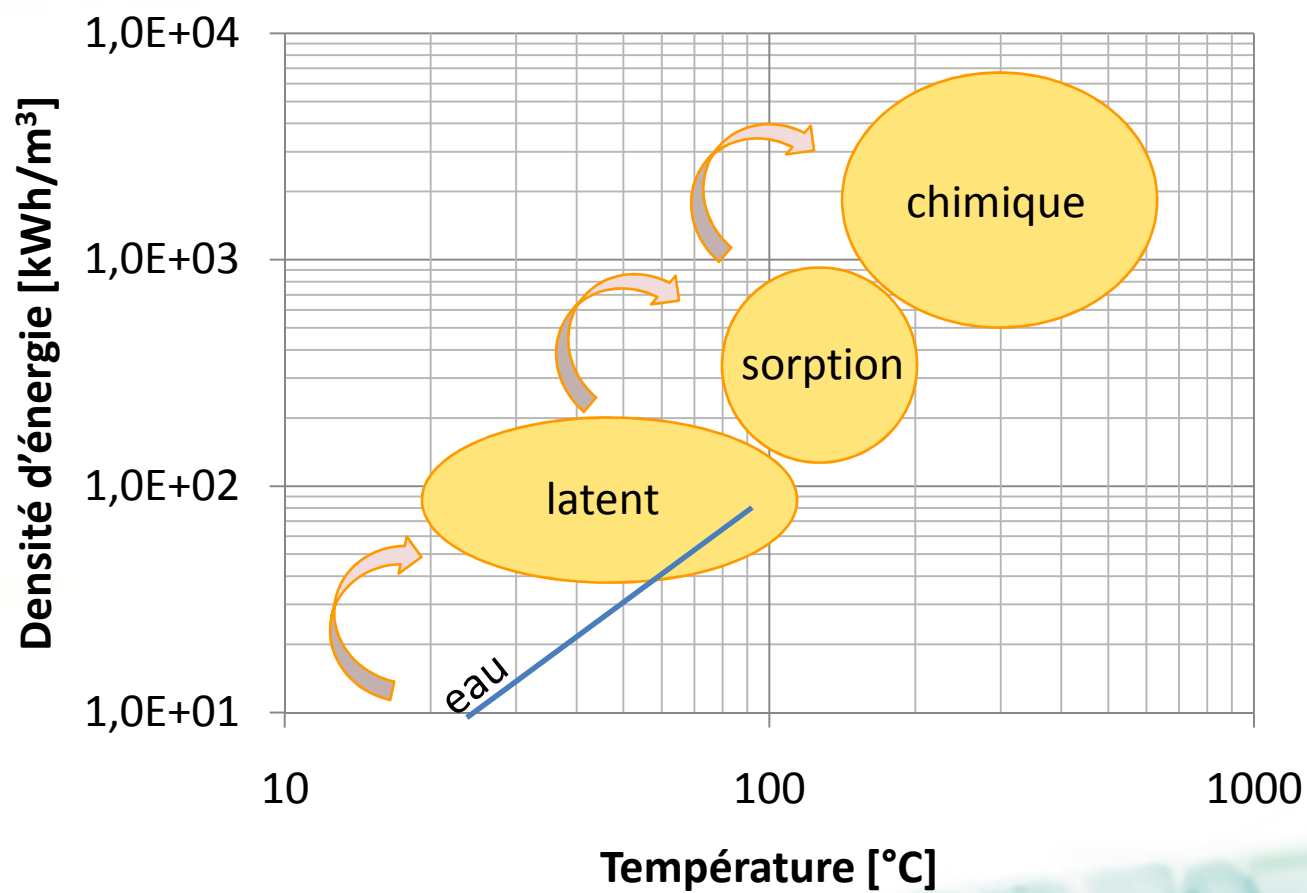
Exemple: Sulphate de magnésium



$$\Delta H = 2500 \text{ kWh/m}^3$$

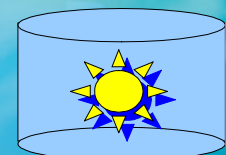


Matériaux de stockage



Critères de qualité d'un système de stockage

- Capacité et densité de stockage (kWh, kWh/m³)
- Puissance (kW)
- Efficacité ($E_{\text{sortie}}/E_{\text{stockée}}$)
- Stabilité (mécanique, chimique,...)
- Compatibilité chimique avec le réacteur
- Réversibilité / cyclage
- Coût (€/kWh)
- Toxicité
- Analyse du cycle de vie (LCA)





Stockage sensible

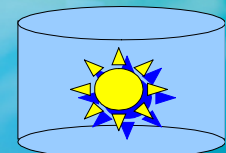
Stockage sensible dans le bâtiment

➤ Structure du bâtiment
➤ Ballon d'eau chaude

Échelle de temps
=
heure/journée



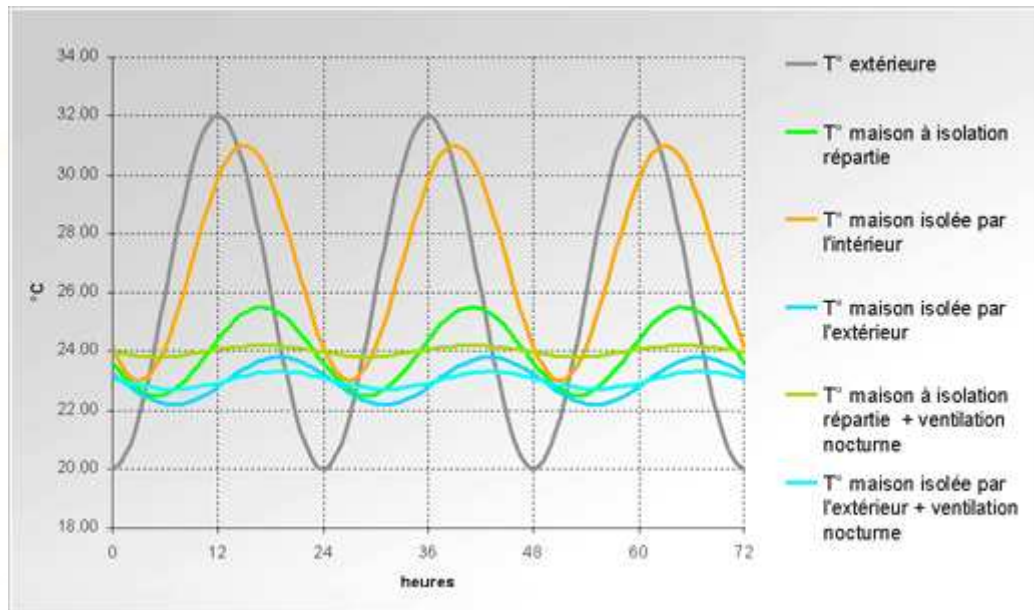
Cas du bâtiment « fil-rouge »: 72m³ d'eau ou 130m³ de béton si $\Delta T=70^{\circ}\text{C}$



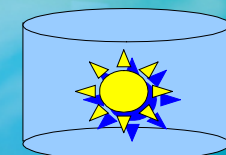
Structure du bâtiment

➤ Stockage limité par l'isolation et la pénétration de l'onde thermique dans le béton $\approx 14\text{cm}$

➤ Utilisation de l'inertie du bâtiment:



← Déphasage et diminution des fluctuations de température

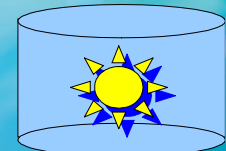


Chauffage solaire

- ④ Utilisation de la dalle pour stocker de la chaleur
- ④ 100m² de dalle correspond à environ 7000l d'eau

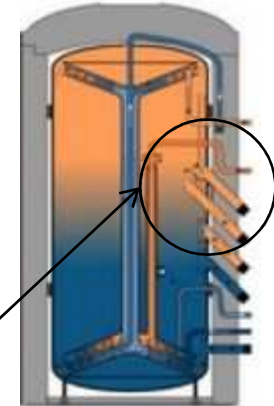


Source CLIPSOL



Stockage sensible

Ballon d'eau chaude



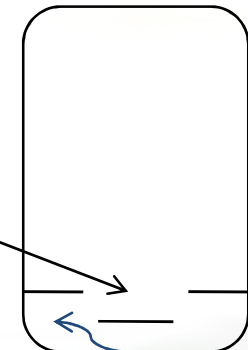
Consolar

Nécessité de diminuer les pertes thermiques

Nécessité de conserver la stratification thermique (optimum énergétique)



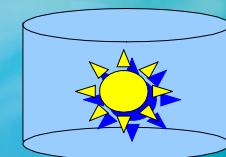
phon

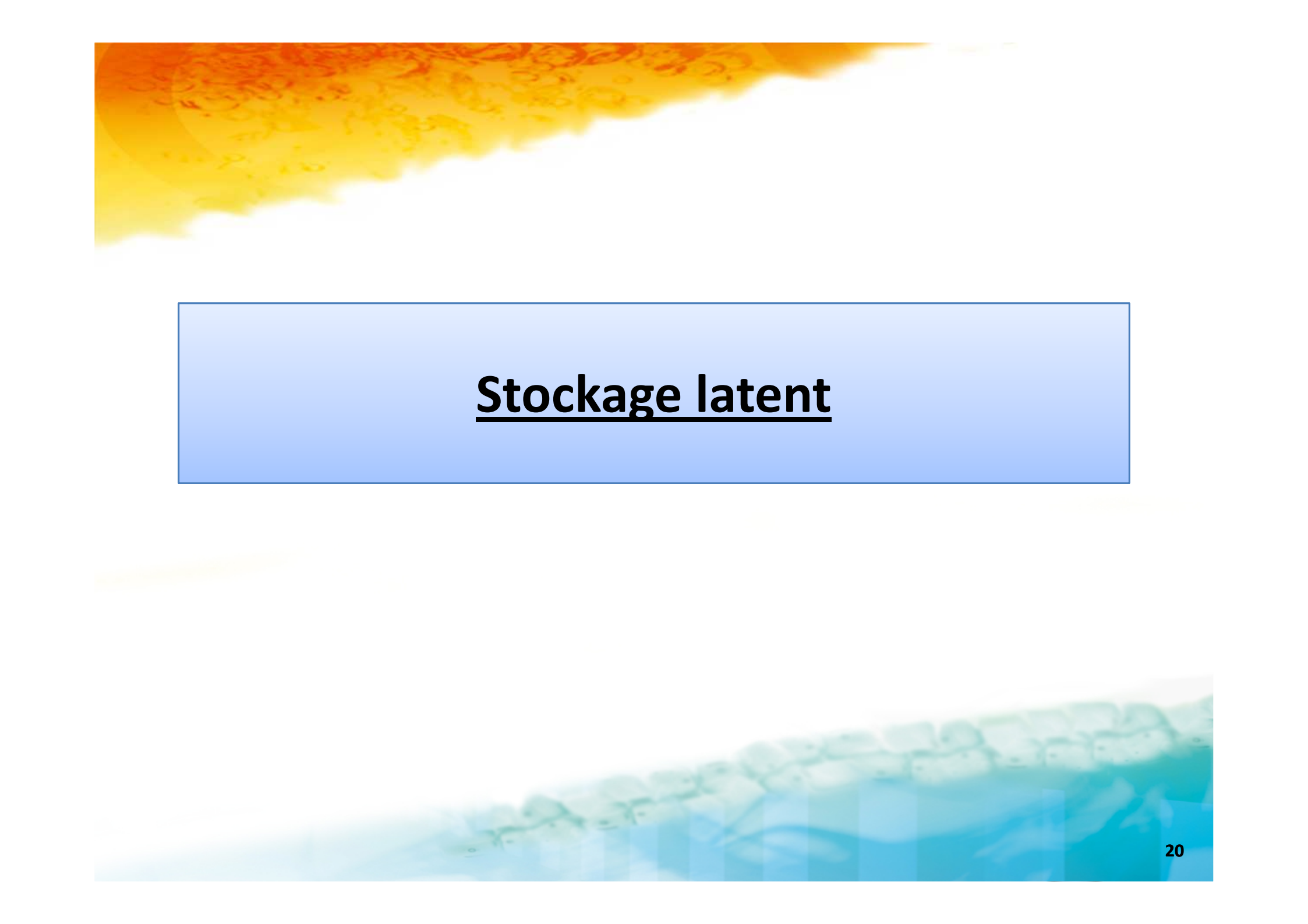


SHC-Task32



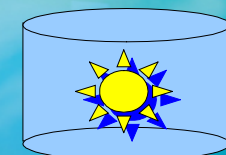
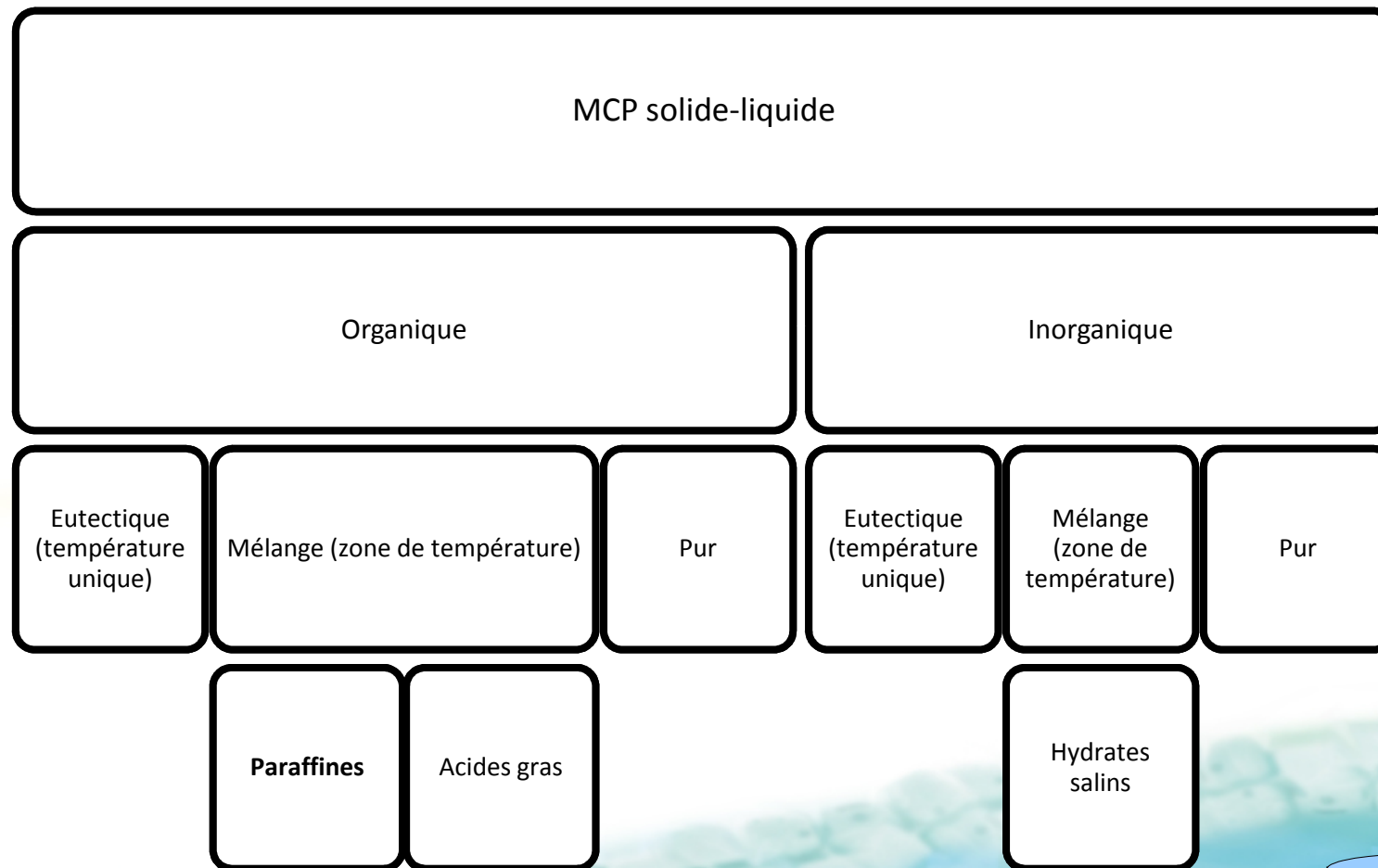
Canne d'injection





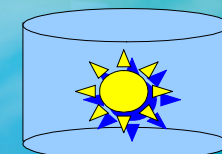
Stockage latent

Classification matériau à changement de phase



Exemple de paraffines

Composé	Température de changement de phase* [°C]	Chaleur latente [kJ/kg]	Conductivité thermique [W/mK]	Masse volumique [kg/m³]	Densité d'énergie [kWh/m³]
Paraffine C16-C18[MOR85]	20-22	152	-	-	-
RT20 [RUB]	22	172	-	880	42
Paraffine C13-C24 [ABH83]	22-24	189	0,21 (sol)	760 (liq) 900 (sol)	42
RT26 [RUB]	25	131	-	880	32
Paraffine C18 [SAS89]	27,5	243,5	0,148 (liq) 0,358 (sol)	774 (liq) 814 (sol)	54
RT27 [RUB]	28	179	-	870	43
Paraffine C22-C45 [ABH83]	58-60	189	0,21 (sol)	795 (liq) 920 (sol)	44

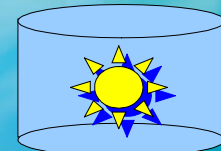


Utilisation du stockage latent

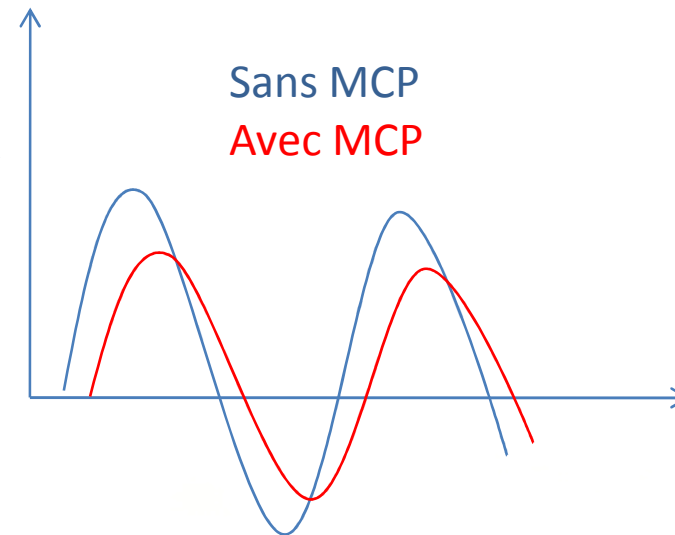
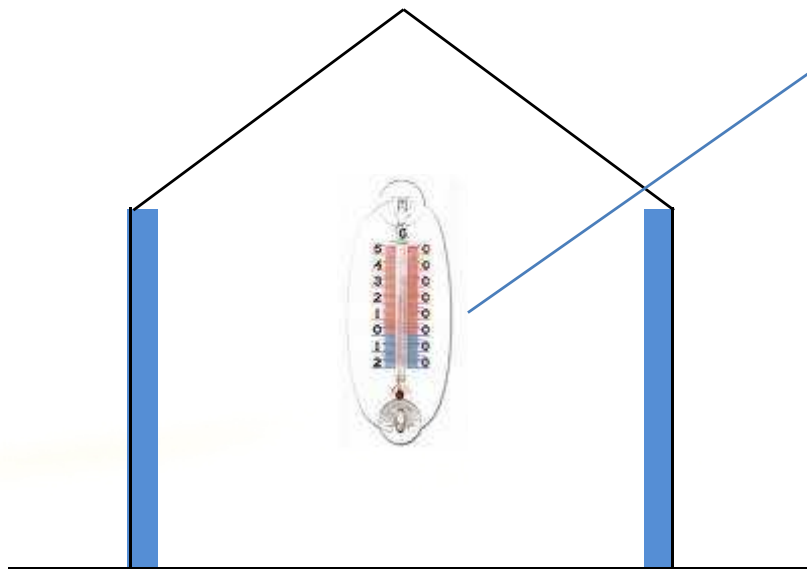
- Solaire passif => dans la structure de l'enveloppe
- Traitement de l'air => dans la ventilation
- Ballon d'eau chaude => dans le ballon

Échelle de temps
=
heure/journée

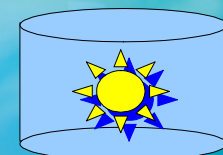
*Cas du bâtiment « fil-rouge »: 72m³ d'eau ou 130m³ de béton si $\Delta T=70^{\circ}\text{C}$
55 m³ de MCP*



MCP dans l'enveloppe



Stockage de chaleur quand $T > T_f$
Déstockage de chaleur quand $T < T_f$



MCP dans l'enveloppe

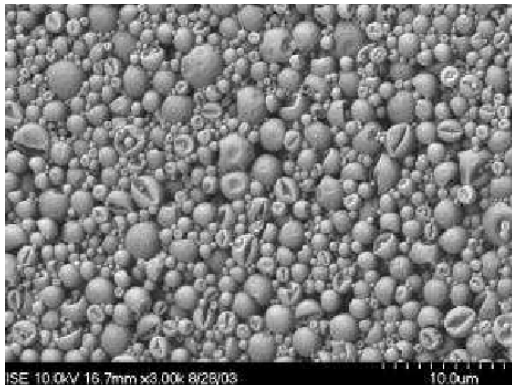


Dupont de Nemours ENERGAIN

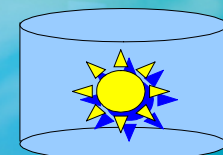


BASF MICRONAL

*Produits
commerciaux*

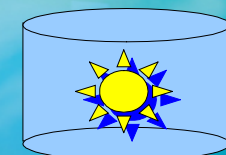
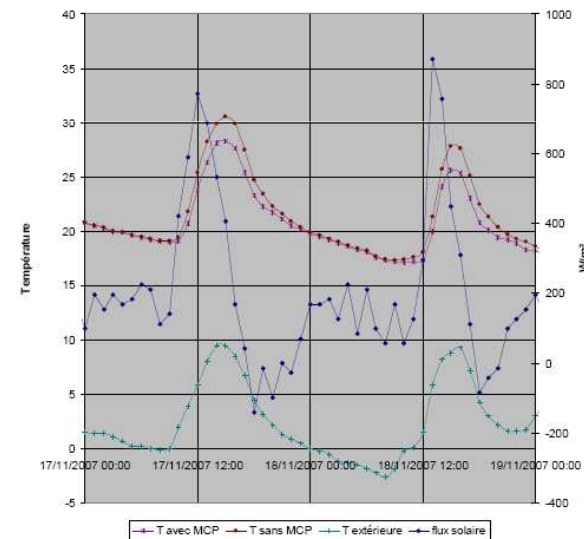


PCM micro-encapsulé dans le béton



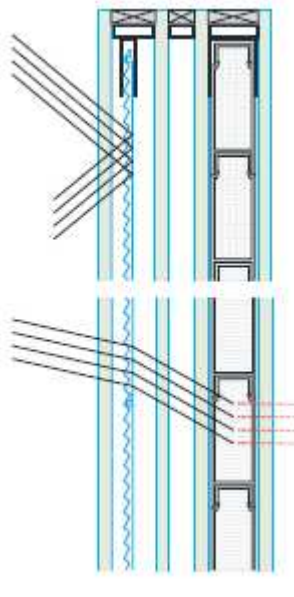
MCP dans l'enveloppe (opaque)

Exemple de mesures in-situ à Lyon: bâtiment tertiaire;
rénovation; structure légère

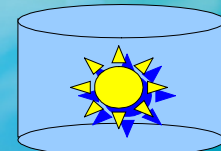


MCP dans l'enveloppe (translucide)

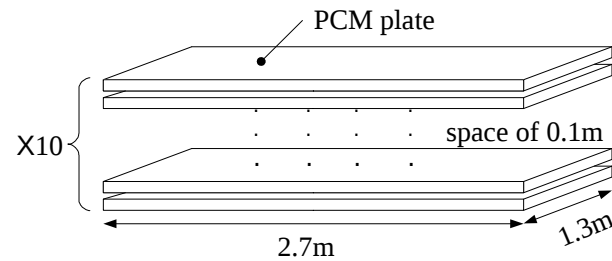
Brique de verre remplie de MCP (Projet ANR PREBAT INERTRANS – en cours)



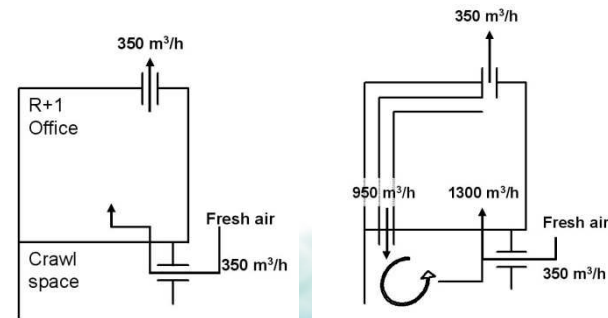
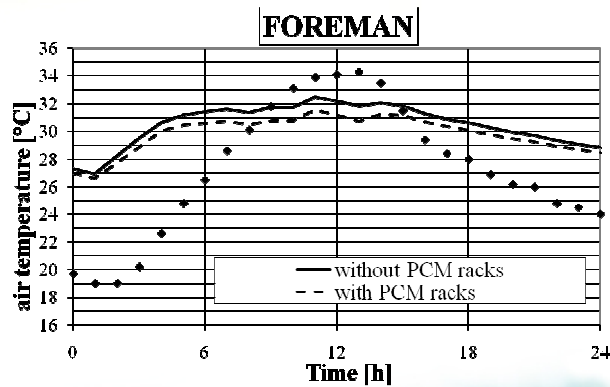
Produit commercial GLASSX



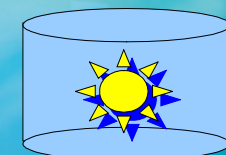
MCP et traitement d'air



Râteliers de MCP permettant le stockage de chaleur dans le système de traitement d'air: cas d'un bâtiment neuf à Lyon



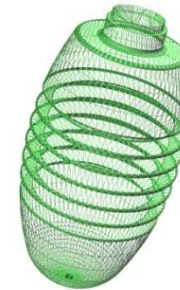
Ventilation normale (gauche)
et été (droite)



Stockage latent

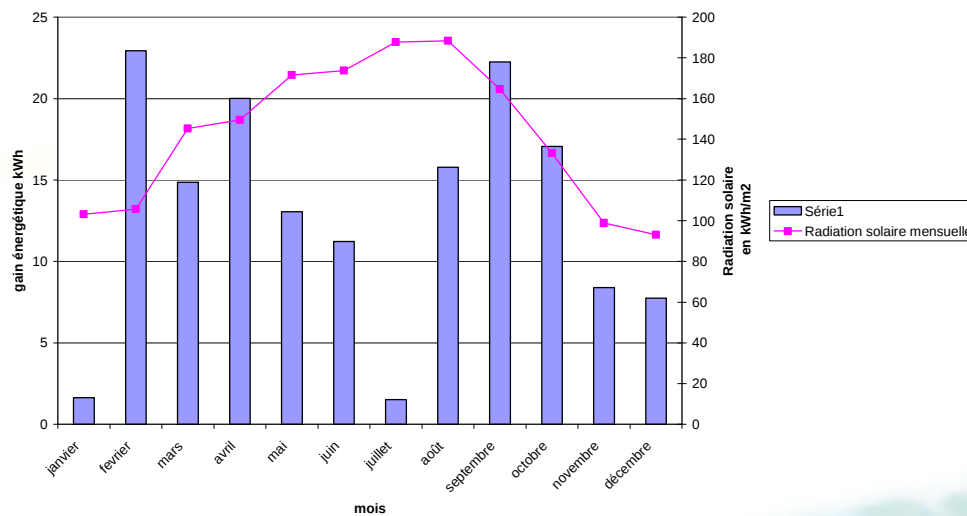
Ballon d'eau chaude

Augmenter la capacité de stockage d'un ballon d'eau chaude par ajout de modules remplis de MCP

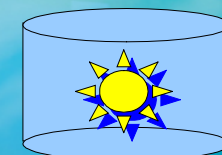


E-Stocker – KAPLAN ENERGY

Gains sur l'appoint à Nice ballon 300l 60 mm d'isolation entre 200 modules PCM et sans modules PCM



Nice: 15% gain d'énergie

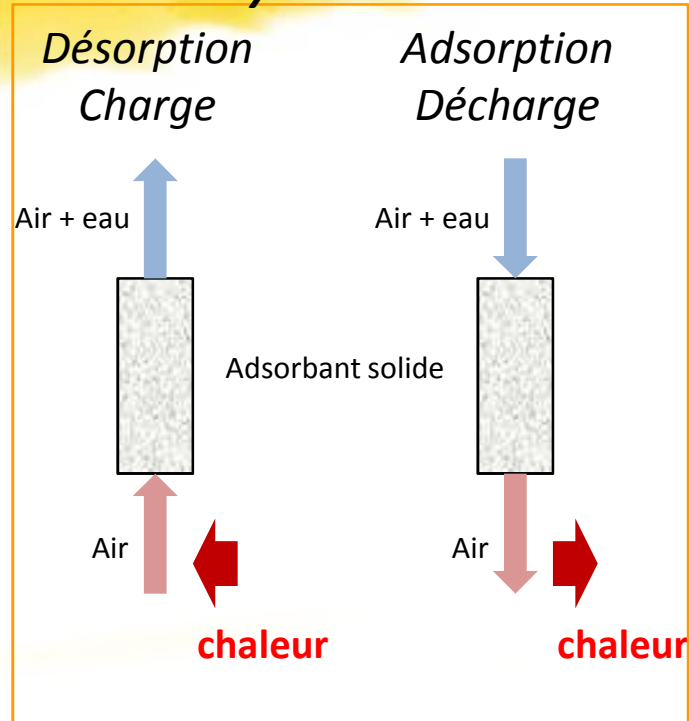




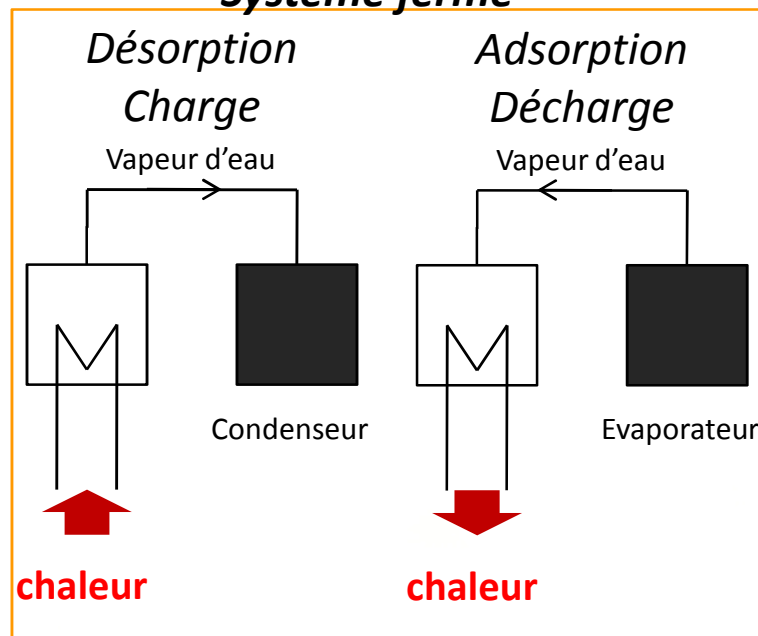
Stockage par sorption

Stockage par sorption

Système ouvert

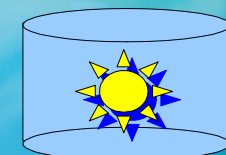


Système fermé



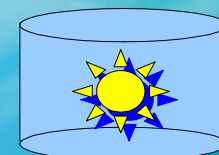
Échelle de temps
=
Journée/semaine

**Cas du bâtiment « fil-rouge » : 72m³ d'eau ou 130m³ de béton si $\Delta T=70^{\circ}\text{C}$
55 m³ de MCP
29 m³ de zéolite**



Matériaux de sorption

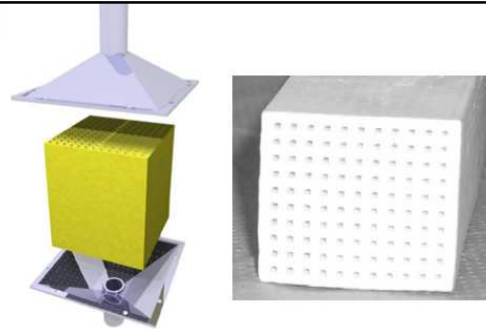
Matériau	Température de désorption (°C)	Quantité d'eau sorbée (kg/kg de sorbant)	Densité d'énergie (kWh/m ³)	Température maximale dans le milieu de stockage
Zeolite LiLSX	200	0.24	225	107
Zeolite NaLSX	200	0.23	185	97
Gel de silice	120	0.18	123	62
SAPO	100-150	0.23	154	72



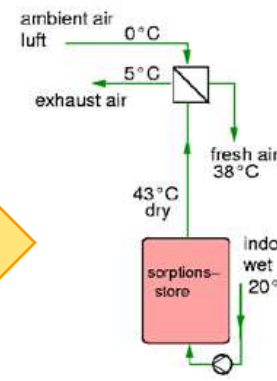
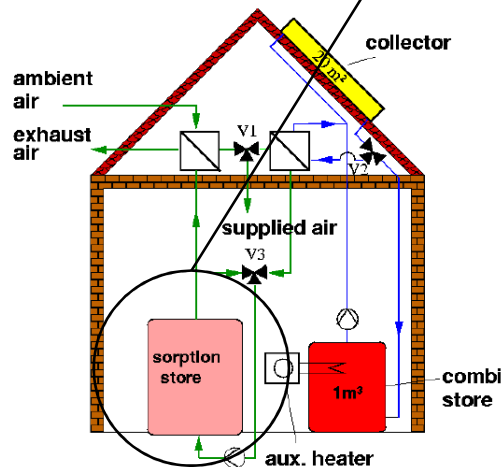
Système Ouvert MonoSorp

AEE INTEC - Autriche

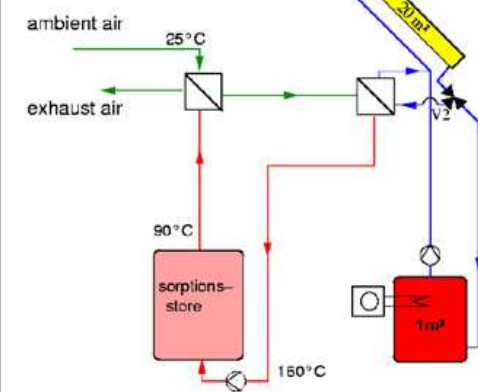
Structure en
zéolite+matrice
polymère



Modes de fonctionnement
été/hiver



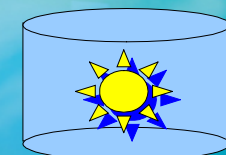
(a)



(b)

Avantages: simplicité, densité d'énergie

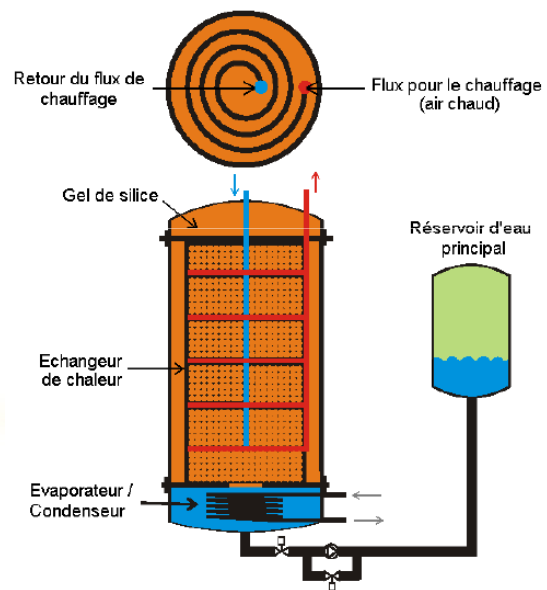
Inconvénients: 160°C, humidité de l'air



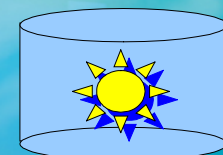
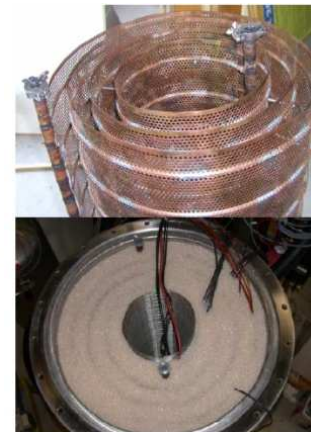
Système Fermé Modestore

ITW – Université de Stuttgart

Schéma de principe



Prototype

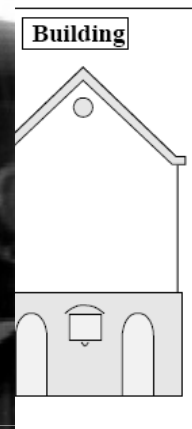
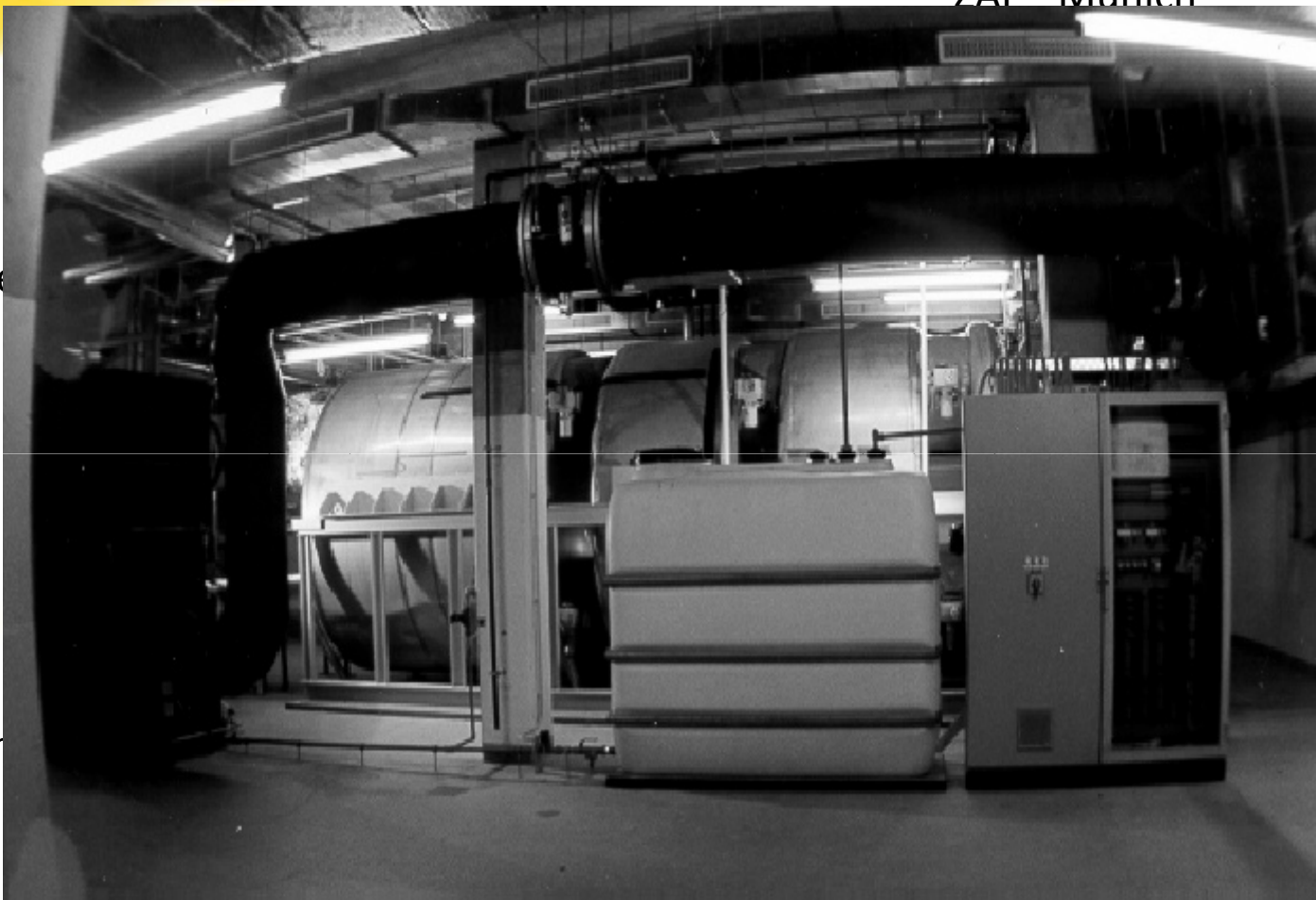


École et club de jazz

ZAF - Munich

Chauffage de

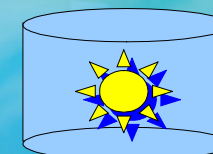
Refroidissem
(« dessicant



IEC

50 % RH
3000 Nm³/h

Coût: 60k€ - Pay back 7 à 8 ans !



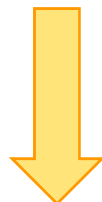


Stockage chimique

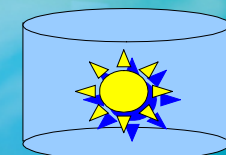
Stockage chimique

Réaction			Densité de stockage d'énergie (kWh/m ³)	Température de stockage (°C)
C <=>	A +	B		
MgSO ₄ *7H ₂ O	MgSO ₄ *H ₂ O	6H ₂ O	2520	122
Fe(OH) ₂	FeO	H ₂ O	2200	150
CaSO ₄ *2H ₂ O	CaSO ₄	2H ₂ O	1400	89

Échelle de temps
=
Journée/mois
/saison



**Cas du bâtiment « fil-rouge »: 72m³ d'eau ou 130m³ de béton si $\Delta T=70^{\circ}\text{C}$
 55 m³ de MCP
 29 m³ de zéolite
 2 m³ de sulfate de magnésium**



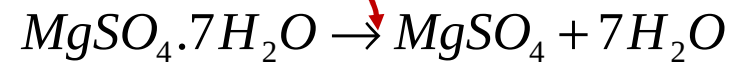
Projet en cours...

$T = 122^{\circ}\text{C}$

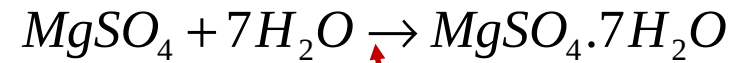


MgSO_4

Été



Hiver

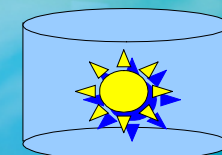
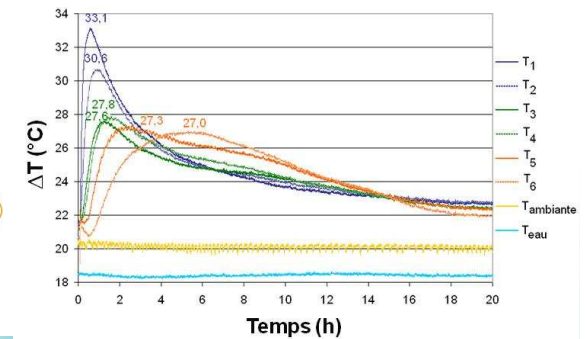
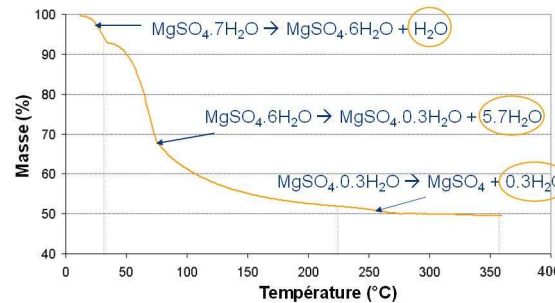


2.52 MWh/m³ de MgSO_4

Incorporé dans une matrice
zéolite

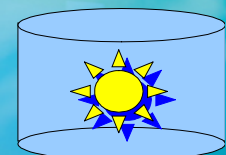


Zeolite- MgSO_4



Conclusions

- De solutions existent pour stocker la chaleur dans le bâtiment, même à long terme
- Il y a peu de systèmes commerciaux
- Des recherches sont nécessaires pour améliorer les solutions et développer les idées





Merci pour votre attention