

Procédé thermochimique solide/gaz et stockage thermique : exemple du stockage intersaisonnier pour l'habitat



Nathalie MAZET
Benoît MICHEL
Gabriel BOULNOIS
Pierre NEVEU
Sylvain MAURAN
Driss STITOU

**CNRS - PROMES,
Perpignan**



SFT
Groupe
Thermodynamique
Paris,
7 février 2014

Procédés thermo-chimique & stockage thermique

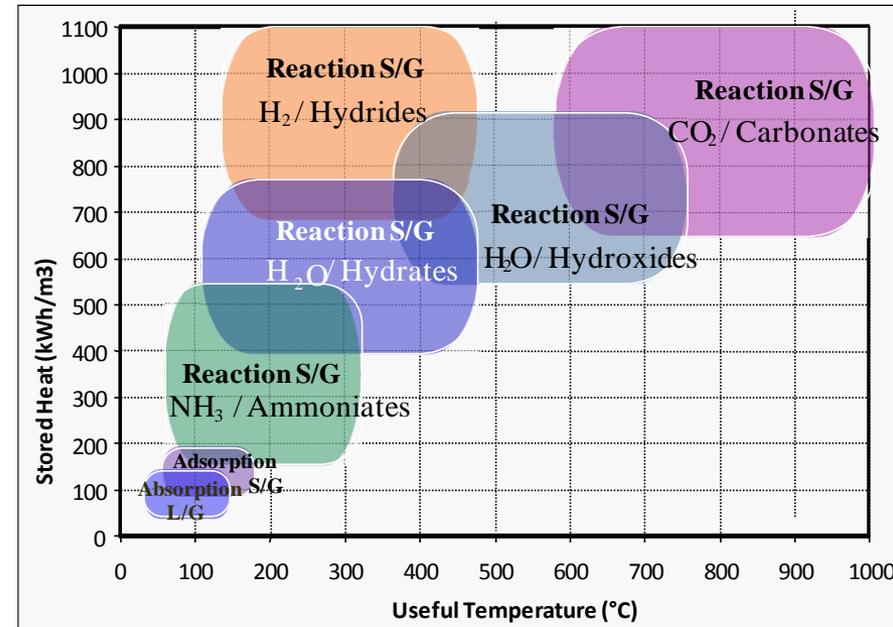


décomposition endothermique => stockage de chaleur



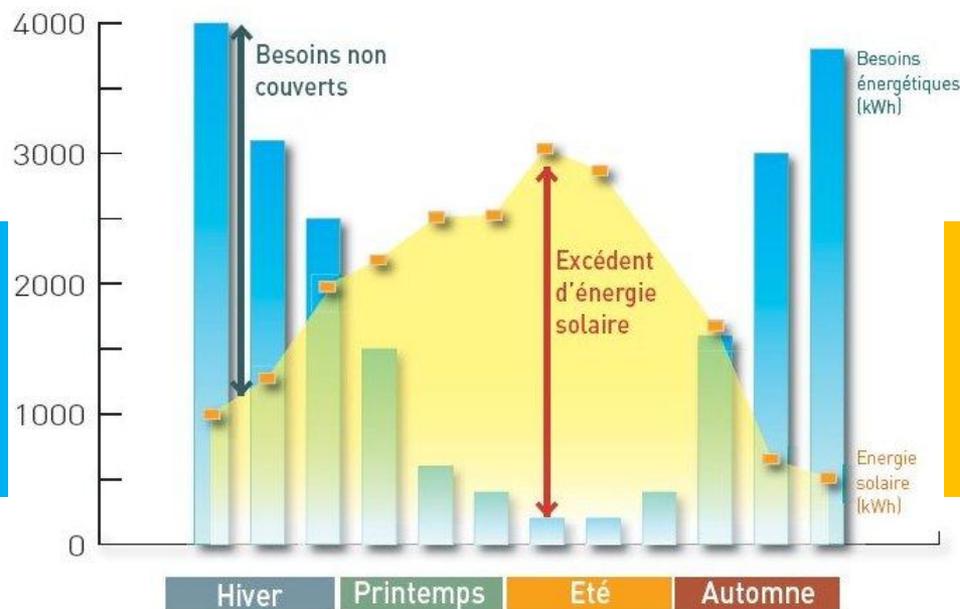
synthèse exothermique => restitution de chaleur

- Densité énergétique élevée :
100-1000 kWh /m³
PCM : 50-100 kWh/m³
chaleur sensible: 20-50 kWh/m³
- Peu de pertes thermiques dans le temps
stockage sous forme de
potentiel chimique
- Couples réactifs dans une large gamme
de température



Stockage intersaisonnier d'énergie solaire pour le chauffage de l'habitat

En hiver :
déficit solaire =
49 % des besoins
thermiques



En été :
excédent solaire =
60 % des besoins
thermiques d'hiver

Cas : 100 m² de plancher, 20 m² de capteurs solaires, climat de Strasbourg

→ Possibilité d'augmenter de la part solaire dans la couverture des besoins de l'habitat

ANR-Stock-E ESSI

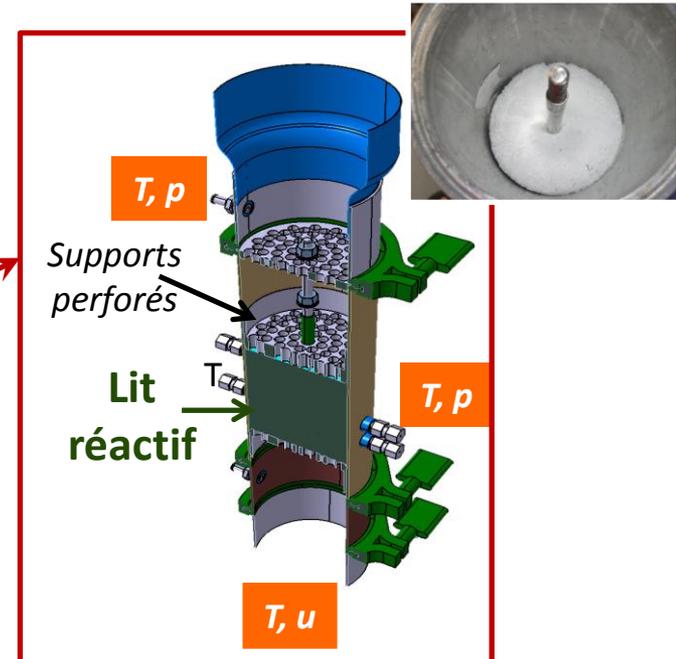
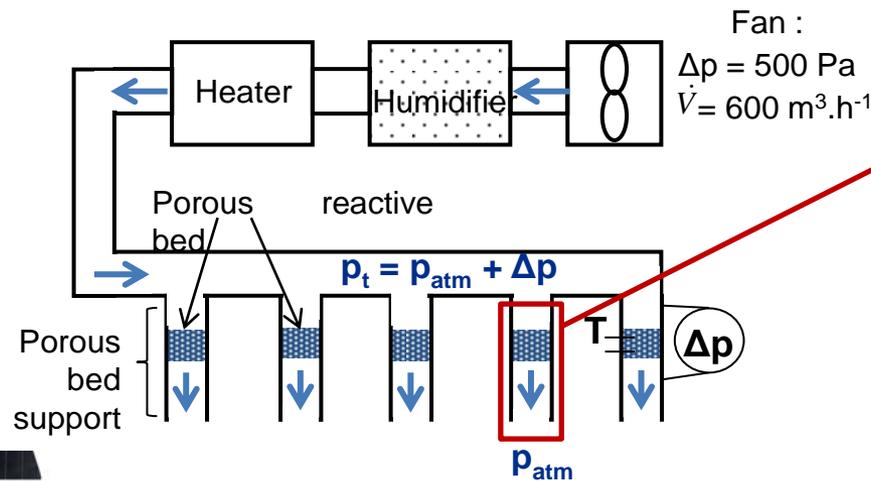
- Maximiser la densité énergétique du procédé
 - Milieu réactif de forte densité -> faible porosité
- Sous conditions opératoires défavorables
 - Hydrate/vapeur $\langle \text{SrBr}_2, 1\text{H}_2\text{O} \rangle + 5\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \langle \text{SrBr}_2, 6\text{H}_2\text{O} \rangle + 5\Delta H_r$
 - Faible pression opératoire (30-80°C)
 - Système fermé (vapeur pure) ou système ouvert (air humide) ?
- Sous contrainte de puissance restituée fixée par l'utilisateur (habitat)

→ **Caractériser et maîtriser la limitation massique au niveau milieu poreux, protocole, réacteur .**

MILIEU POREUX : perméabilité

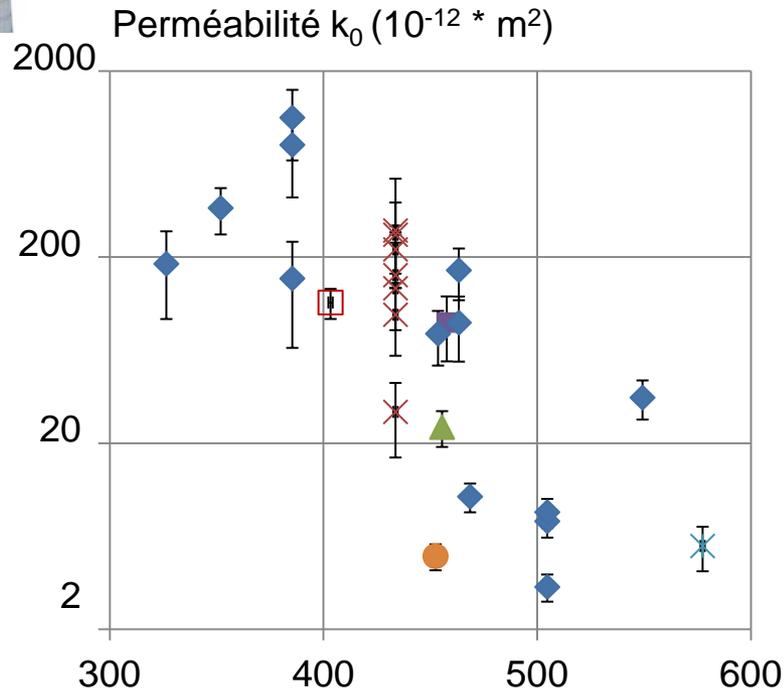
Perméabilité selon Darcy
$$\mathbf{u} = -\frac{k_s}{\mu} \nabla p$$

- dans une gamme de mise en œuvre : Dec= 300 à 600 kWh/m³
- aux 2 bornes de la réaction : k_0 et k_1
 $\text{SrBr}_2, \text{H}_2\text{O}$ et $\text{SrBr}_2, 6\text{H}_2\text{O}$



Perméabilités aux bornes de la réaction

Lit de sel deshydraté, k_0



PROTOCOLE OPÉRATOIRE : ouvert ou fermé

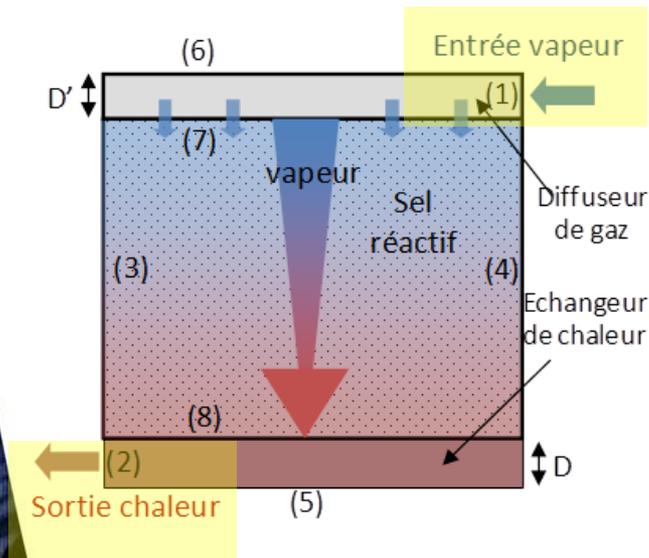
**Systeme fermé,
sous vapeur pure**

**Systeme ouvert,
sous flux d'air humide**

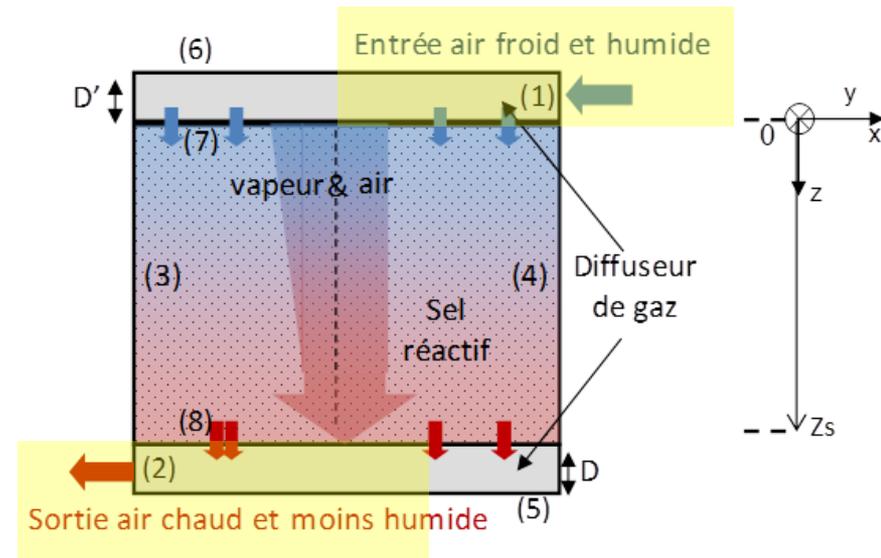
-	Fiabilité à long terme Pression opératoire	Débits importants
+	Contrôle	Fiabilité , coût Air humide disponible dans habitat

Modélisations selon le protocole

Systeme fermé, sous vapeur pure



Systeme ouvert, sous flux d'air humide

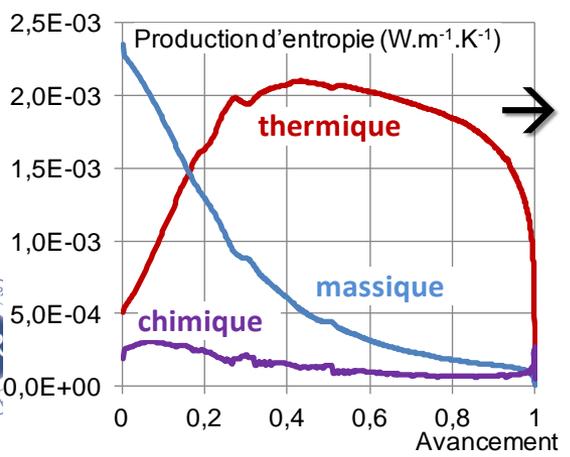
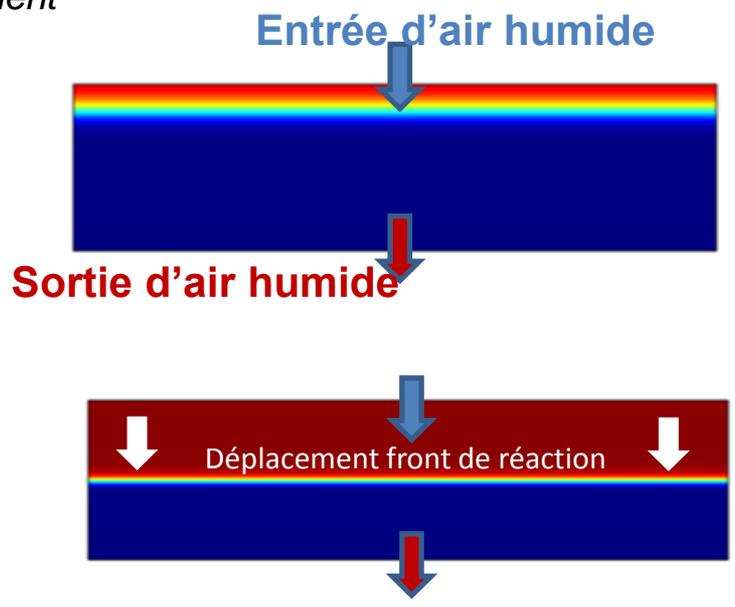
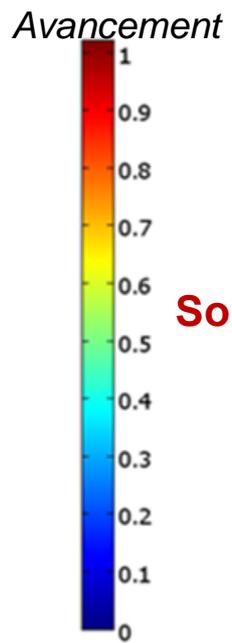
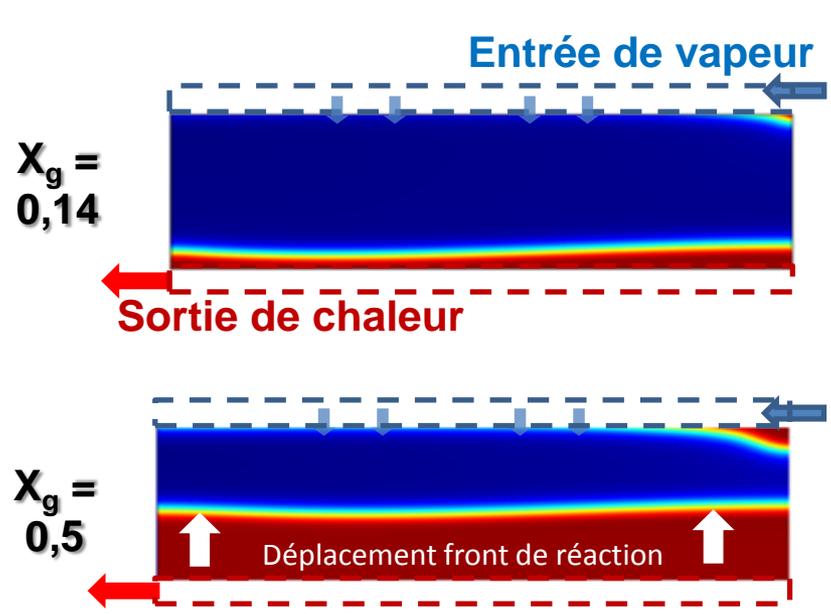


- Modèles 2D, pseudo-homogènes
- Couplage transferts thermique, massique, et cinétique chimique
- Coefficients de transferts et cinétiques identiques
- Modèles de diffuseur/échangeur, CL et CI adaptés à chaque cas

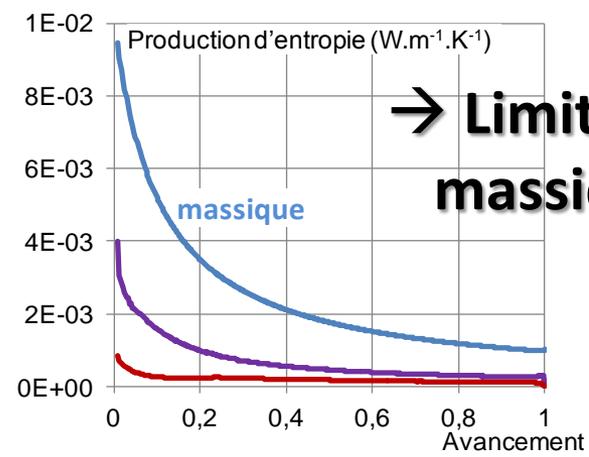
Limitation principale : avancements locaux, production d'entropie

Système fermé, sous vapeur pure

Système ouvert, flux d'air humide



→ **Limitation thermique**

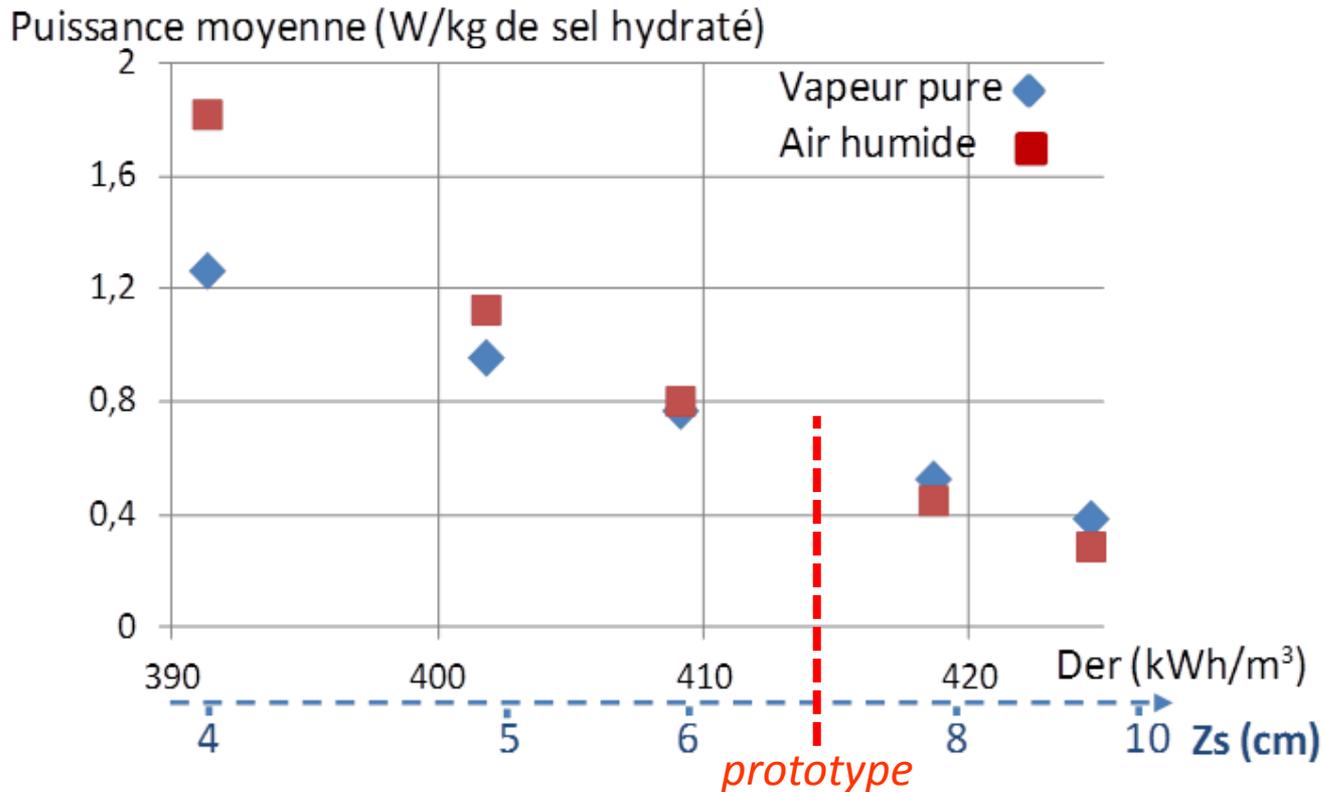


→ **Limitation massique**

4) Performances simulées selon le protocole

- à volume réactif total constant
- DE réactif = 450 kWh/m^3

- épaisseur de réactif $Z_s = 4$ à 10 cm



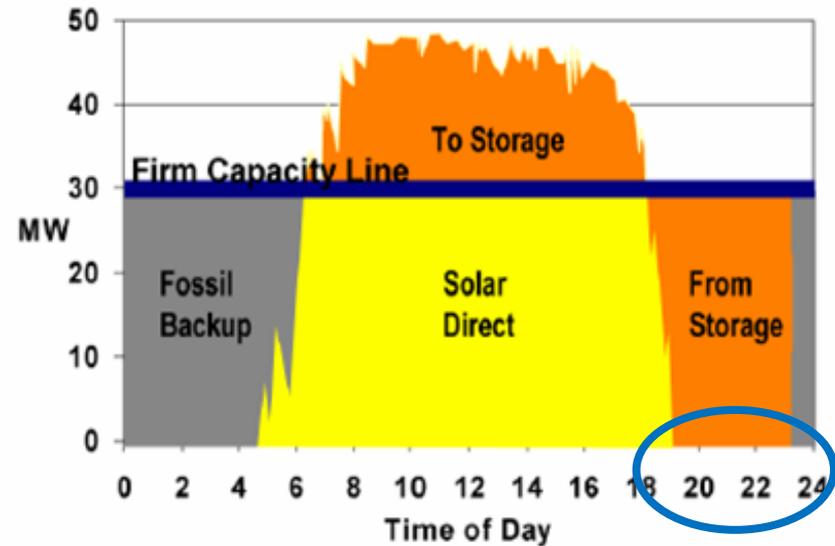
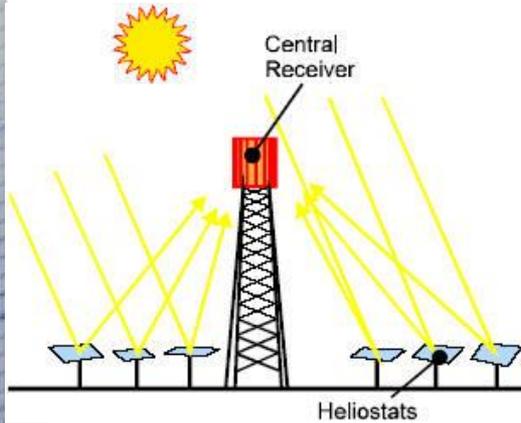
- performances globales comparables
- mode 'air humide' plus simple

Conclusions stockage thermochimique basse T

- **Stockage thermochimique d'énergie thermique**
 - **Forte évolution de la perméabilité, selon Dec et X**, point clé pour la définition d'un réacteur
 - Lit fixe réactif **390 kWh/m³**, prototype : **190 kWh/m³** (hors isolation).
 - Prototype : puissances contrôlable par l'écart à l'équilibre ou le débit d'air humide (procédé ouvert)
- **Perspectives :**
 - **Optimisation de la densité énergétique** du réacteur (mise en œuvre du réactif, réseau de diffusion de gaz)
 - Comparaison avec les procédés concurrents (Q sensible, PCM, absorption) -> en cours
 - **Stockage thermochimique à haute température (500°C)** pour une centrale solaire à concentration.

Stockage thermique haute température

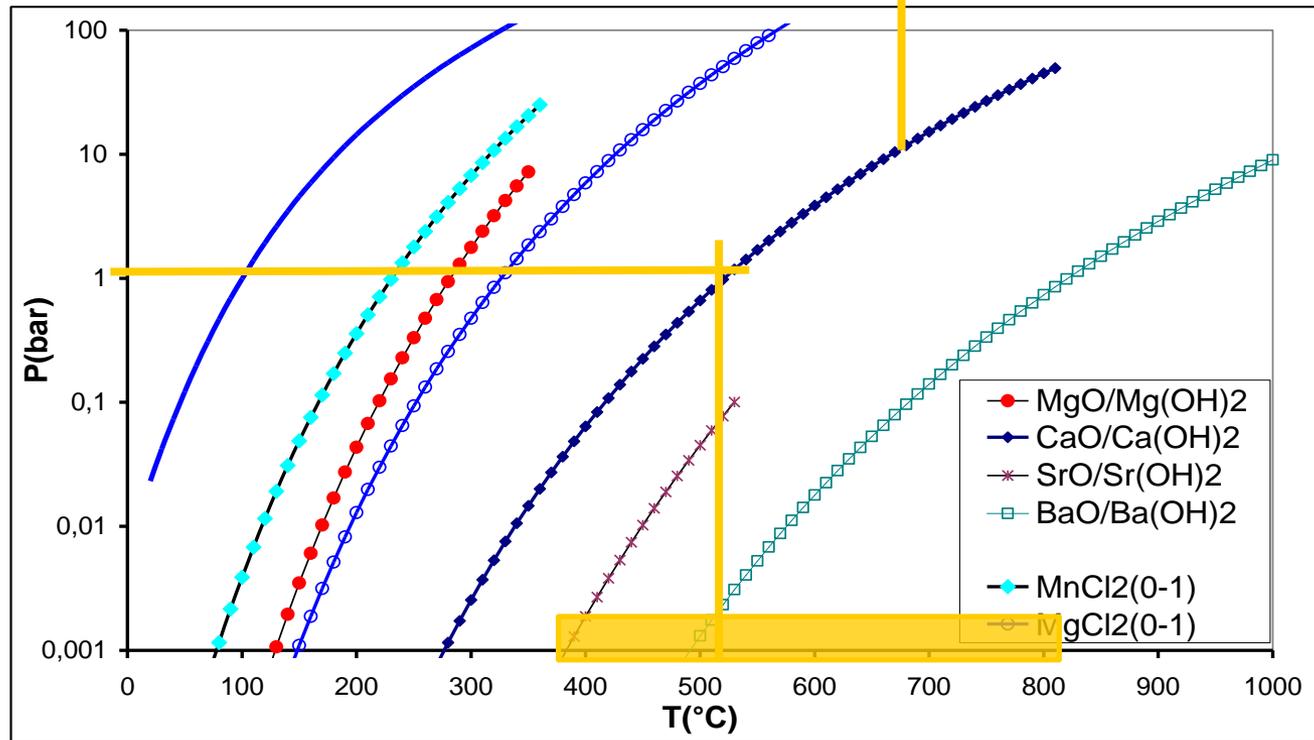
Exemple : centrale solaire thermodynamique



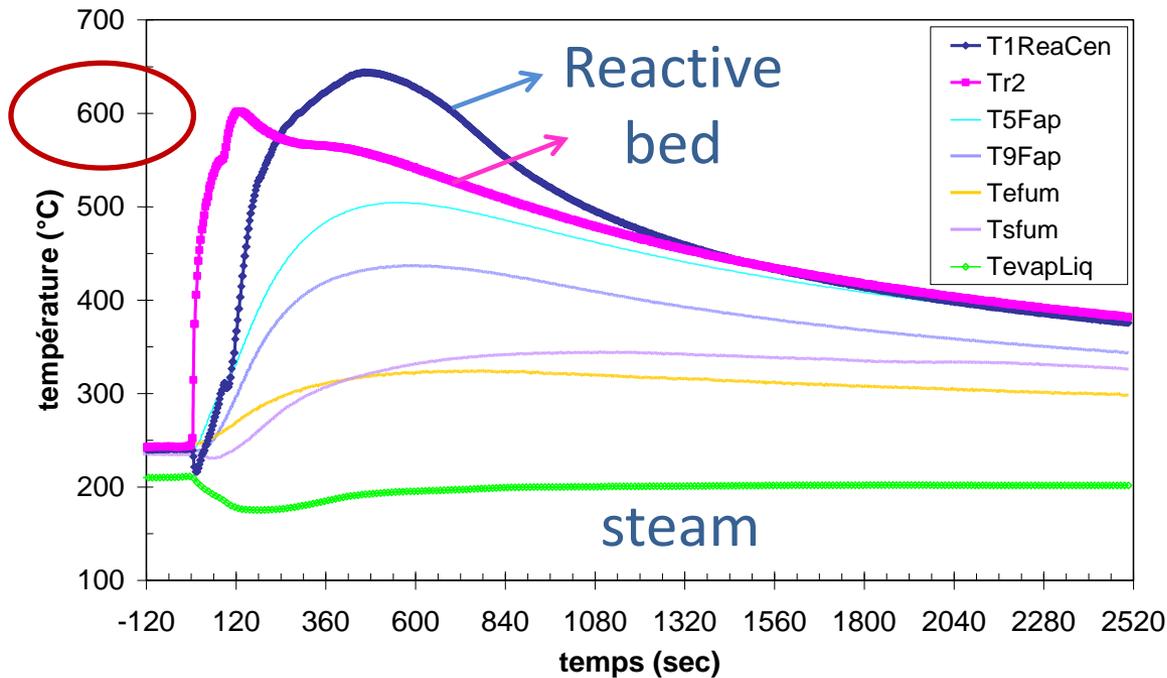
- Décaler la production vers les pics de demande
- Accroître la disponibilité de la centrale
- Garantir la production d'électricité

→ **Gestion de la production selon critères économique et/ou environnemental**

Couples réactifs à haute température



1^{er} tests CaO / Ca(OH)₂



→ Perspectives : ANR-SEED In-STORES

- Caractérisations des transferts , cyclage
- Mise en œuvre du réactif / configurations de réacteur HT
- Prototype
- Impact pour la filière solaire thermodynamique concentrée

Merci !

Aux supports :

- ANR-08-STOCK-E-04 projet ESSI
- MAEE & Région Languedoc-Roussillon : projet "Arcus Région LR/ Shanghai"

Aux partenaires des projets :
INES, LATEP, LOCIE, Dominguez Enr

Aux participants Promes :
Benoit Michel, Jing Xu,
Jean-Marie Mancaux, Roger Garcia, Gilles
Hernandez.



mazet@univ-perp.fr