



Stockage inter saisonnier de l'énergie solaire par procédé thermochimique

Lingai LUO

Directeur de recherche CNRS

LTN-UMR CNRS 6607, Nantes

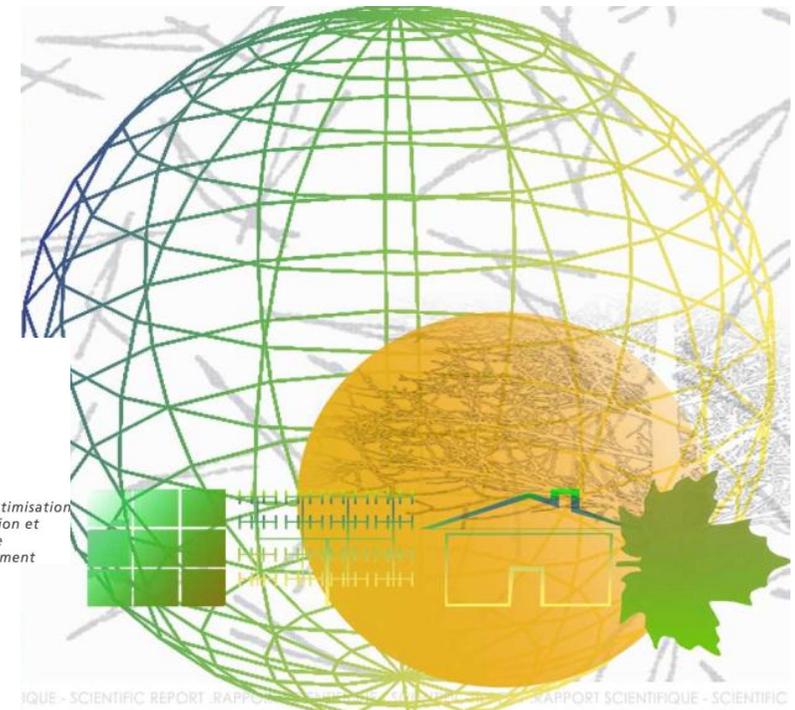
Nolwenn Le Pierres

LOCIE-Université de Savoie

Stockage de l'énergie

Quelles technologies? pour quelles applications ? pour quand ?

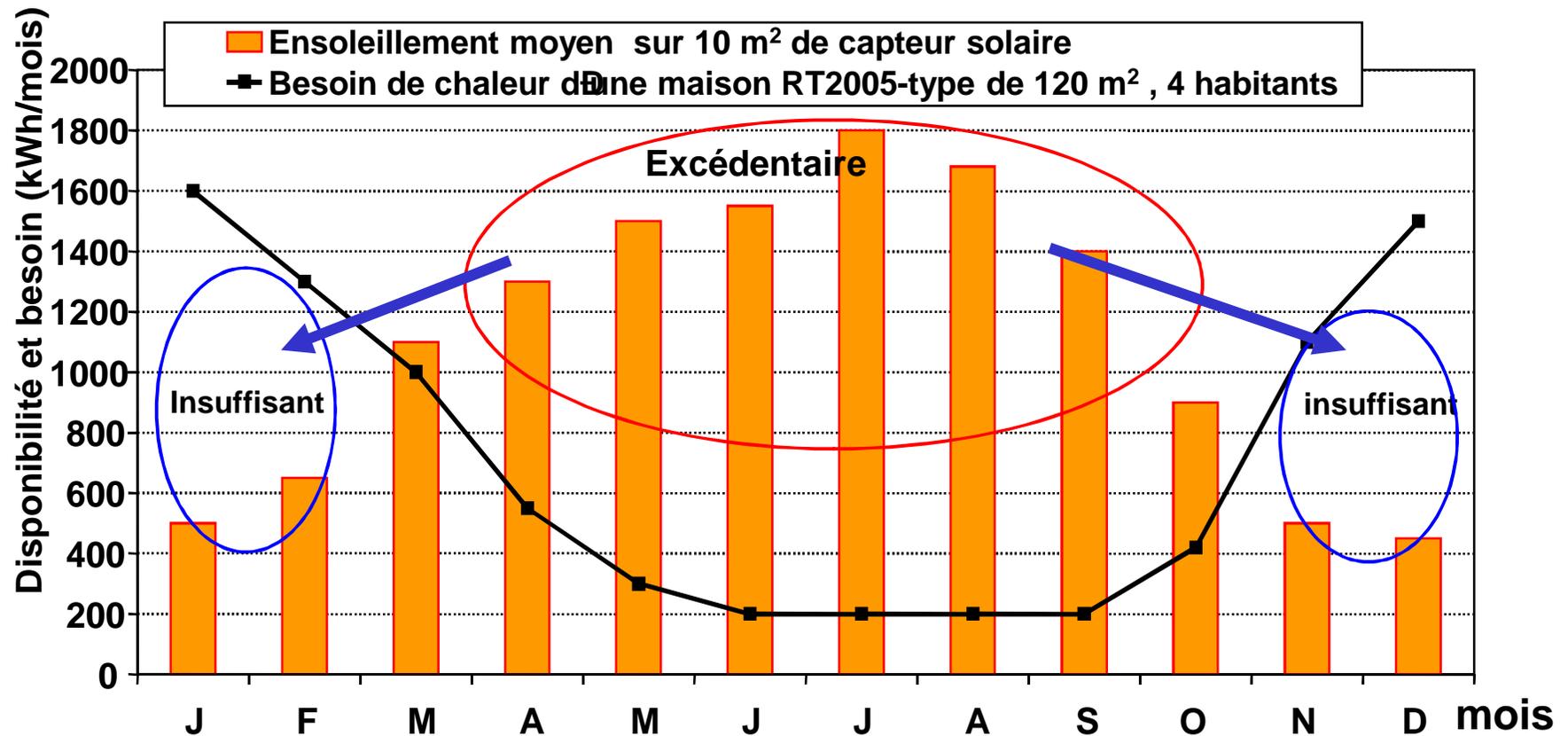
Mardi 3 et Mercredi 4 décembre 2013 , Paris



Stockage de l'énergie solaire inter saisonnier ?

Contexte: Bâtiment (46% de l'énergie en France)

paradoxe :



Stockage inter saisonnier

Objectifs et positionnement du projet



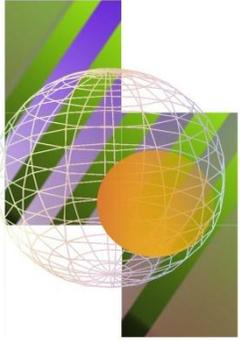
Développer un procédé innovant
pour le stockage inter saisonnier de l'énergie solaire
sous forme de potentiel chimique
par procédé absorption
pour couvrir les besoins de chauffage dans l'habitat

Projet ANR : **PRO**cédé pour le Stockage Solaire Inter Saisonnier

PROSSIS (2008-2012), PROSSIS2 (2012-2016)

(LOCIE, LEGI, LAGEP, CEA-Leth, CIAT, IRCELYON, LTN)

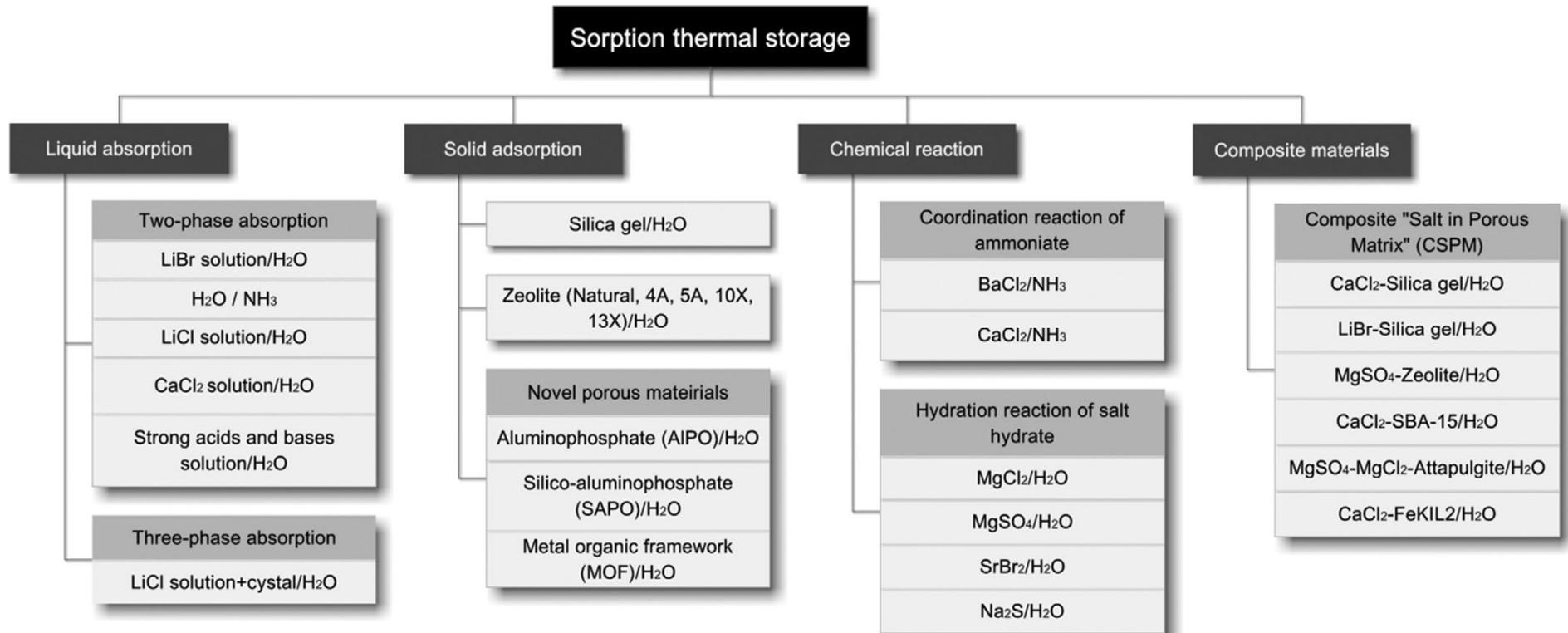




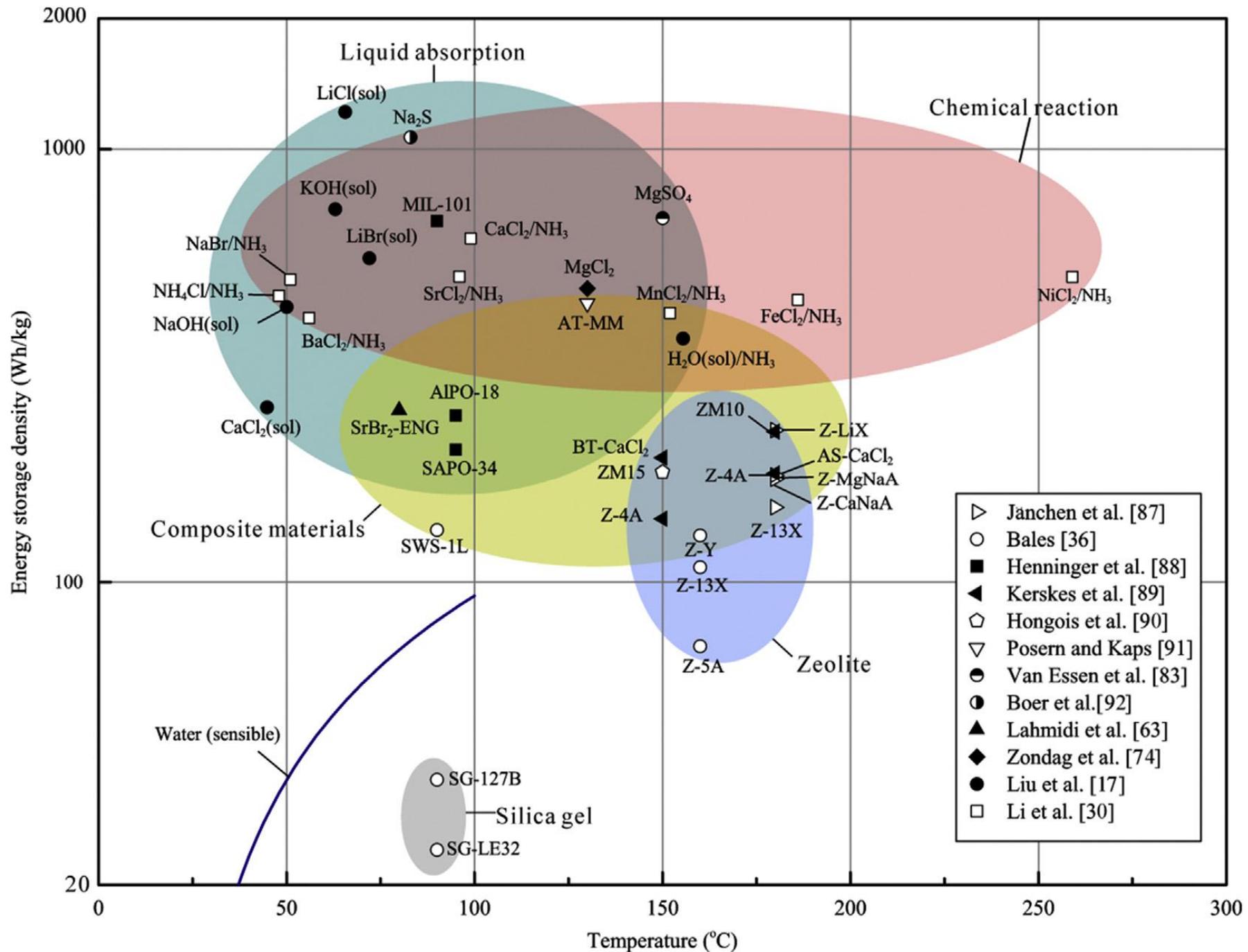
Choix de systèmes de stockage

- **Densité de stockage énergétique élevée (kWh/m^3) ;**
- **Stabilité thermique et mécanique des matériels ;**
- **Perte thermique faible ;**
- **Intégration facile dans le système du bâtiment ;**
- **Impact d'environnement faible ;**
- **Maintenance facile ;**
- **Système compact ;**
- **Coût faible**
- **... í**

Stockage de l'énergie thermique par procédés thermo-chimiques

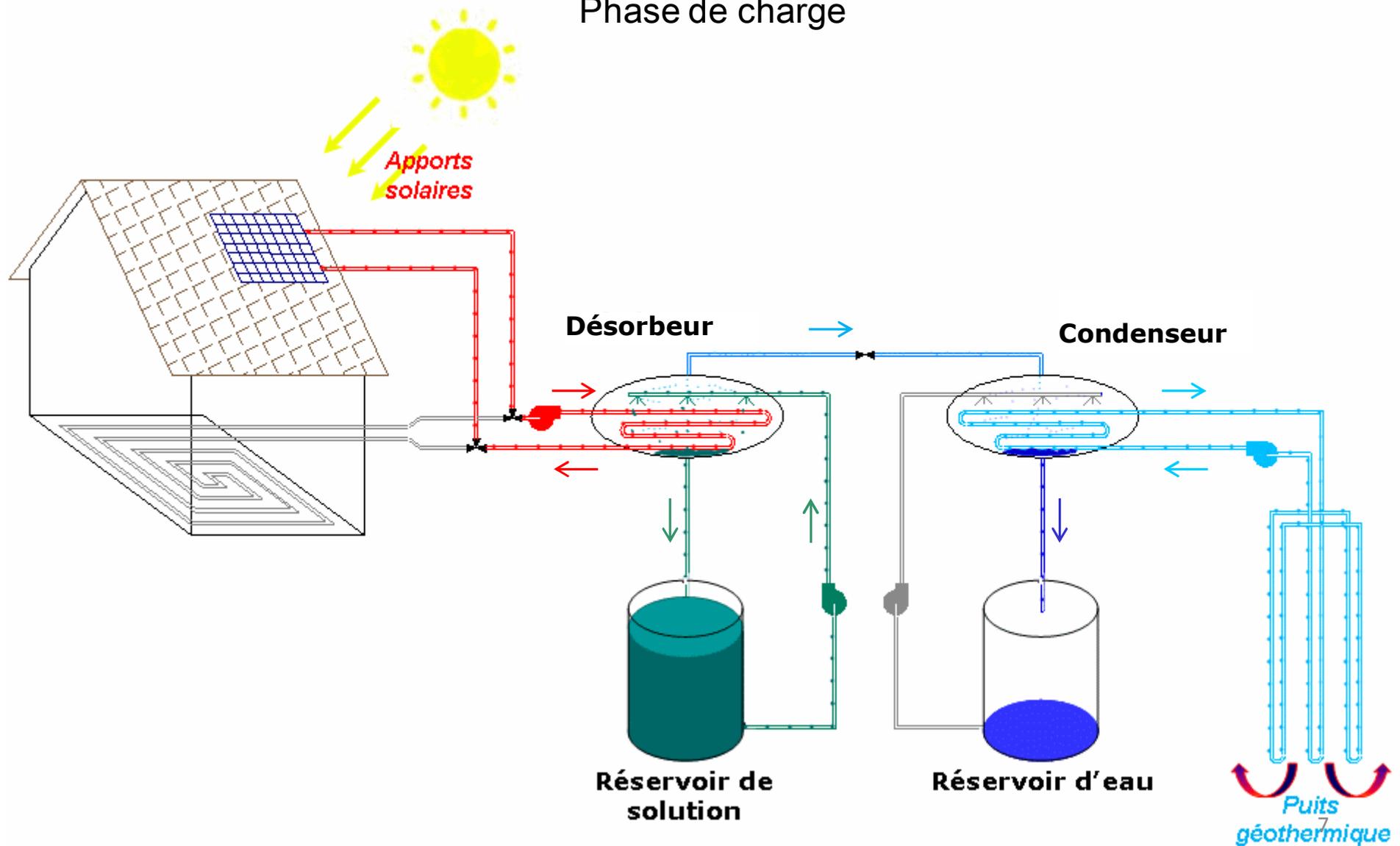


(Yu, Wang and Wang , Progress in Energy and Combustion Science)



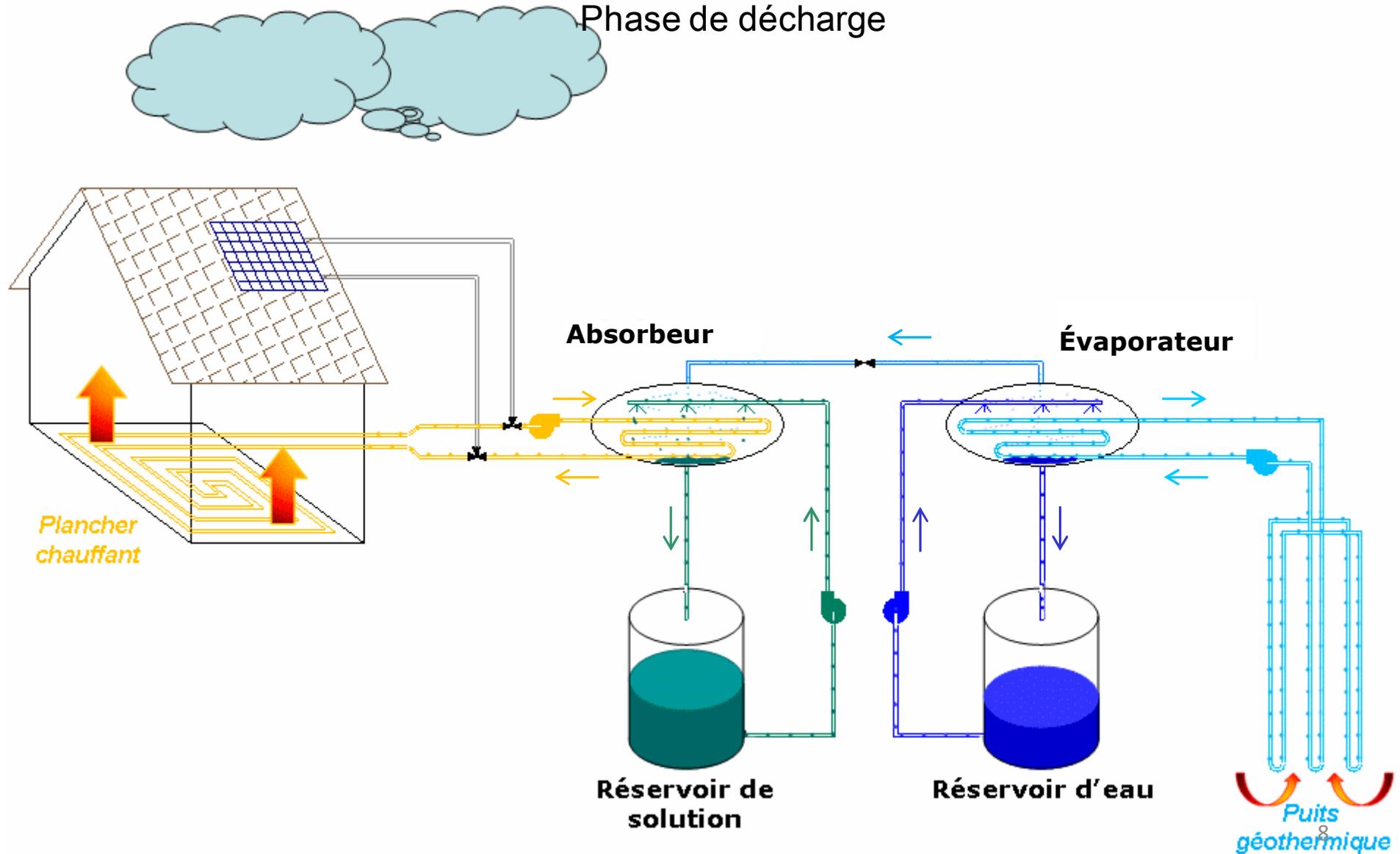
PRINCIPE DU STOCKAGE PAR ABSORPTION

Phase de charge

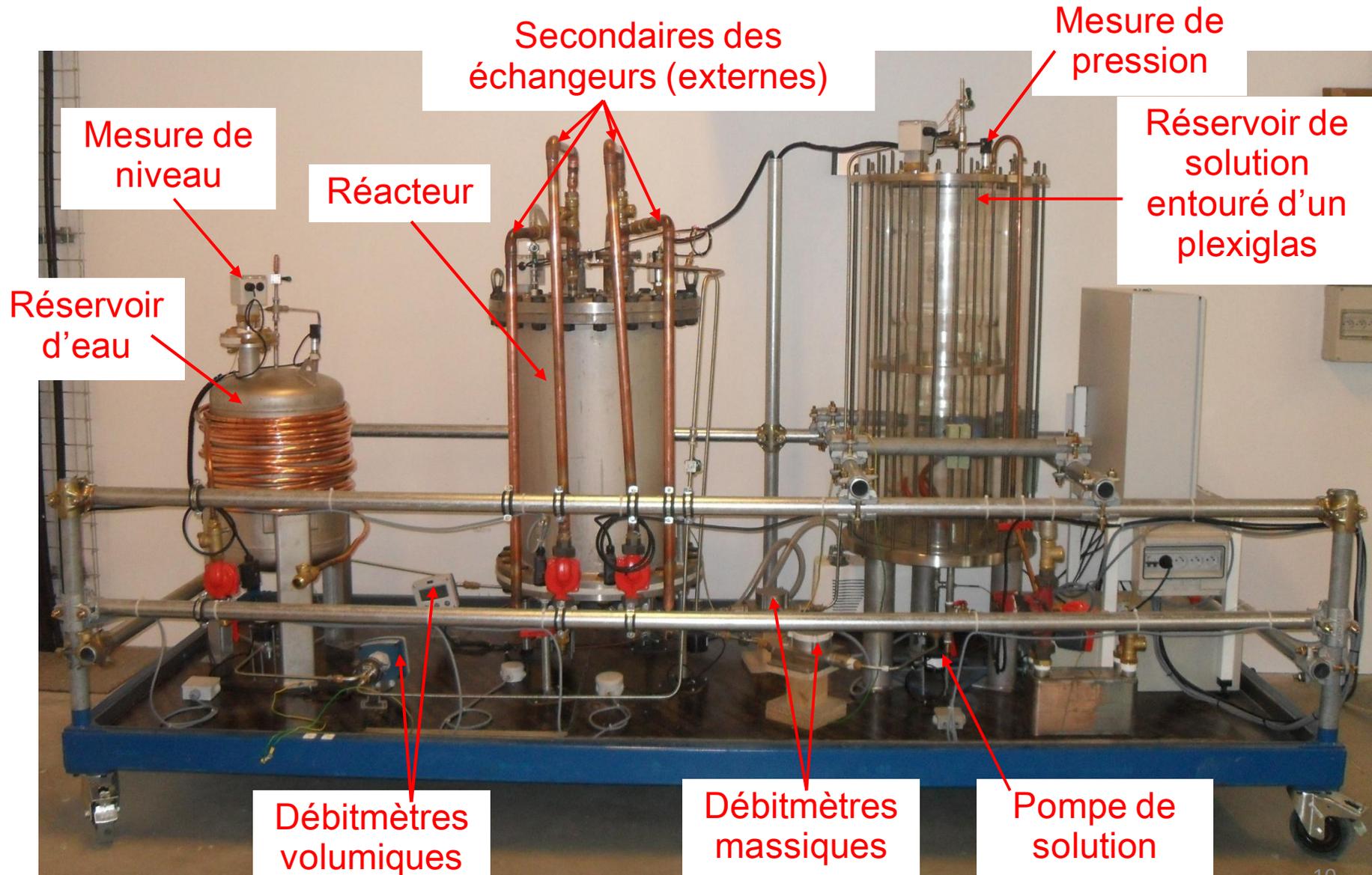


PRINCIPE DU STOCKAGE PAR ABSORPTION

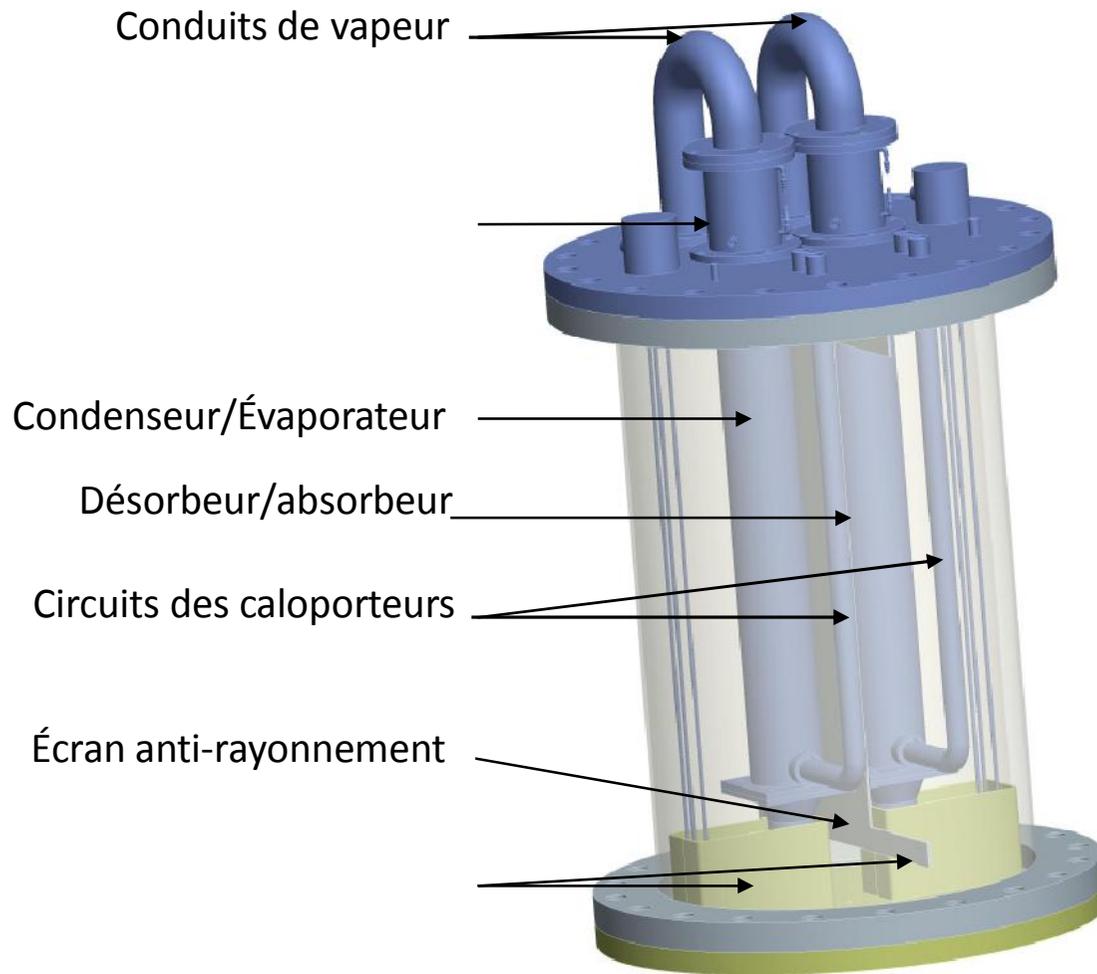
Phase de décharge



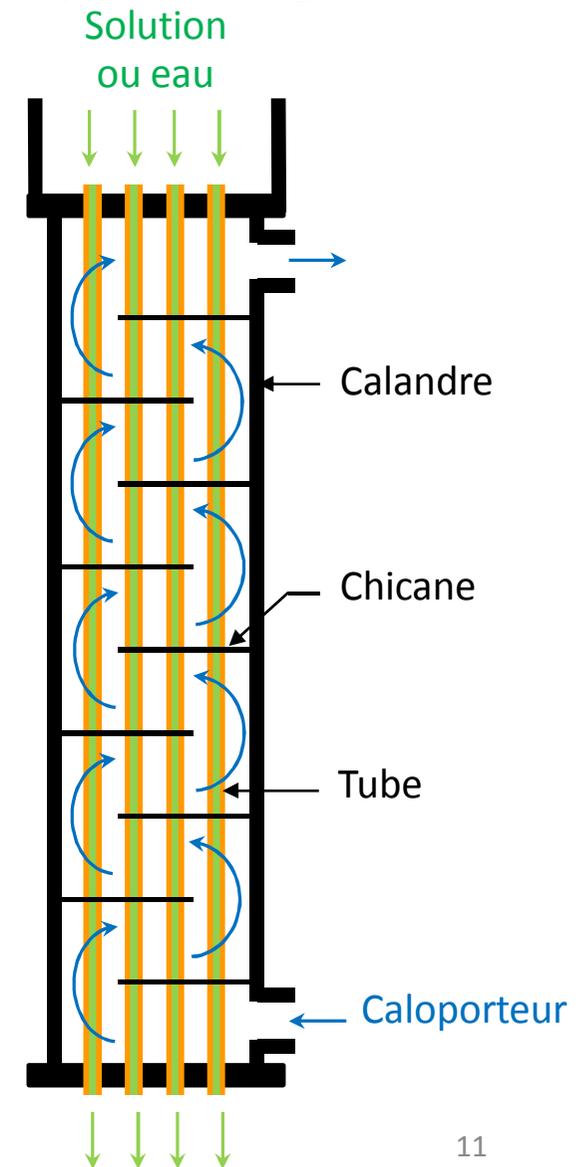
PROTOTYPE CONSTRUIT (conception compacte)



LE RÉACTEUR (désorbeur-condenseur, absorbeur-évaporateur)



Principe de l'échangeur



CHOISIR LE COUPLE DE SORPTION:

un casse tête chinois...



CHOIX DU MATÉRIAU DE STOCKAGE

➡ Étude de 7 couples d'absorption possibles

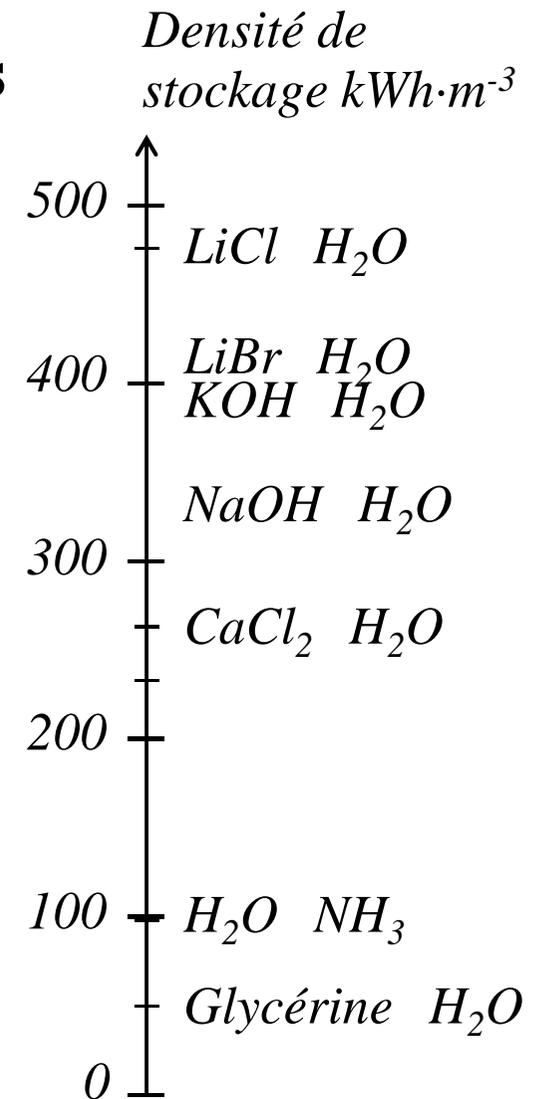
➡ Couple retenu: LiBr H₂O

*Bien connu dans les procédés à absorption:
bien documenté*

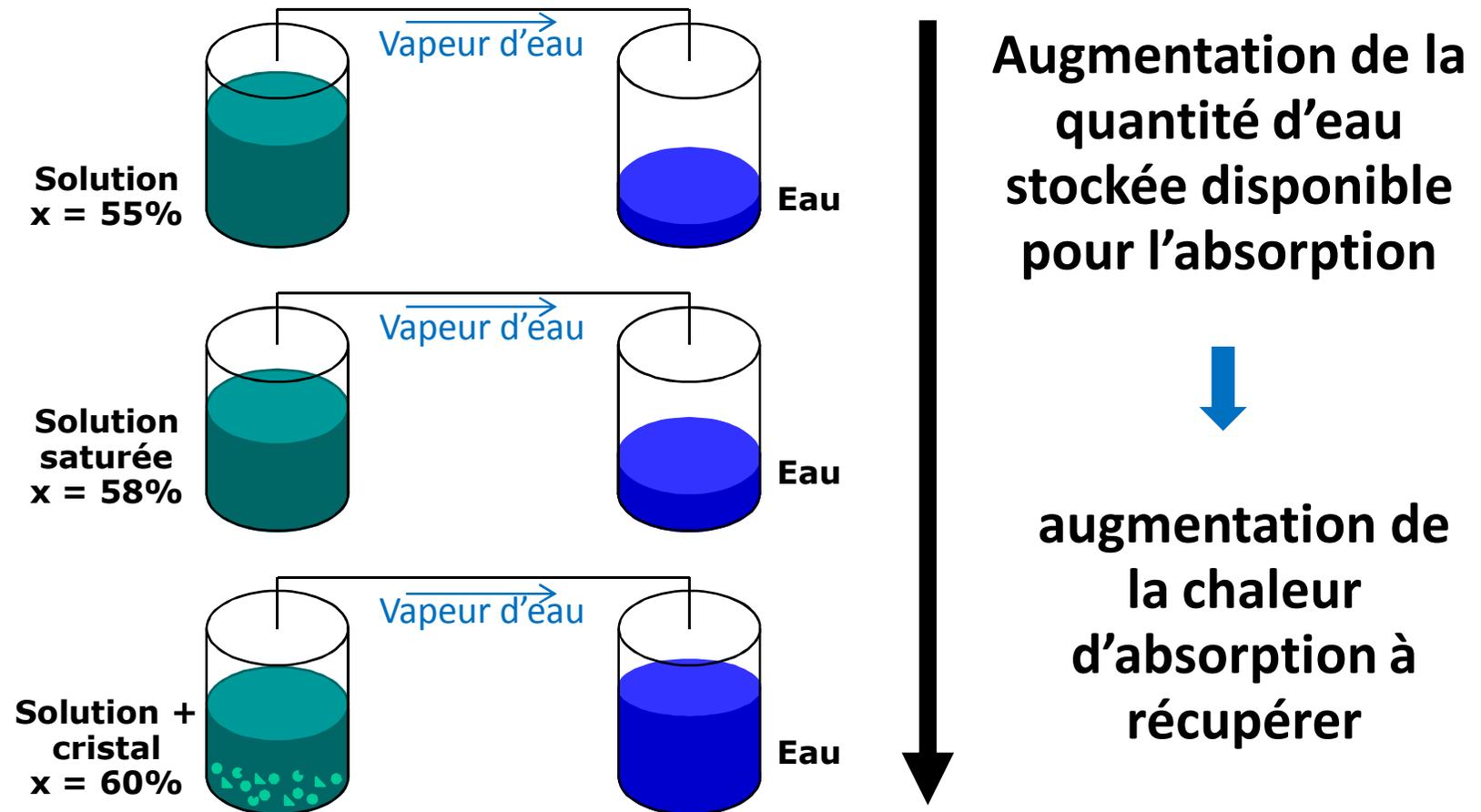
Températures de fonctionnement adaptées

Mais ... coût élevé

Pour cette étude préliminaire de démonstration de la faisabilité du stockage, ce couple devrait permettre d'obtenir des résultats représentatifs.



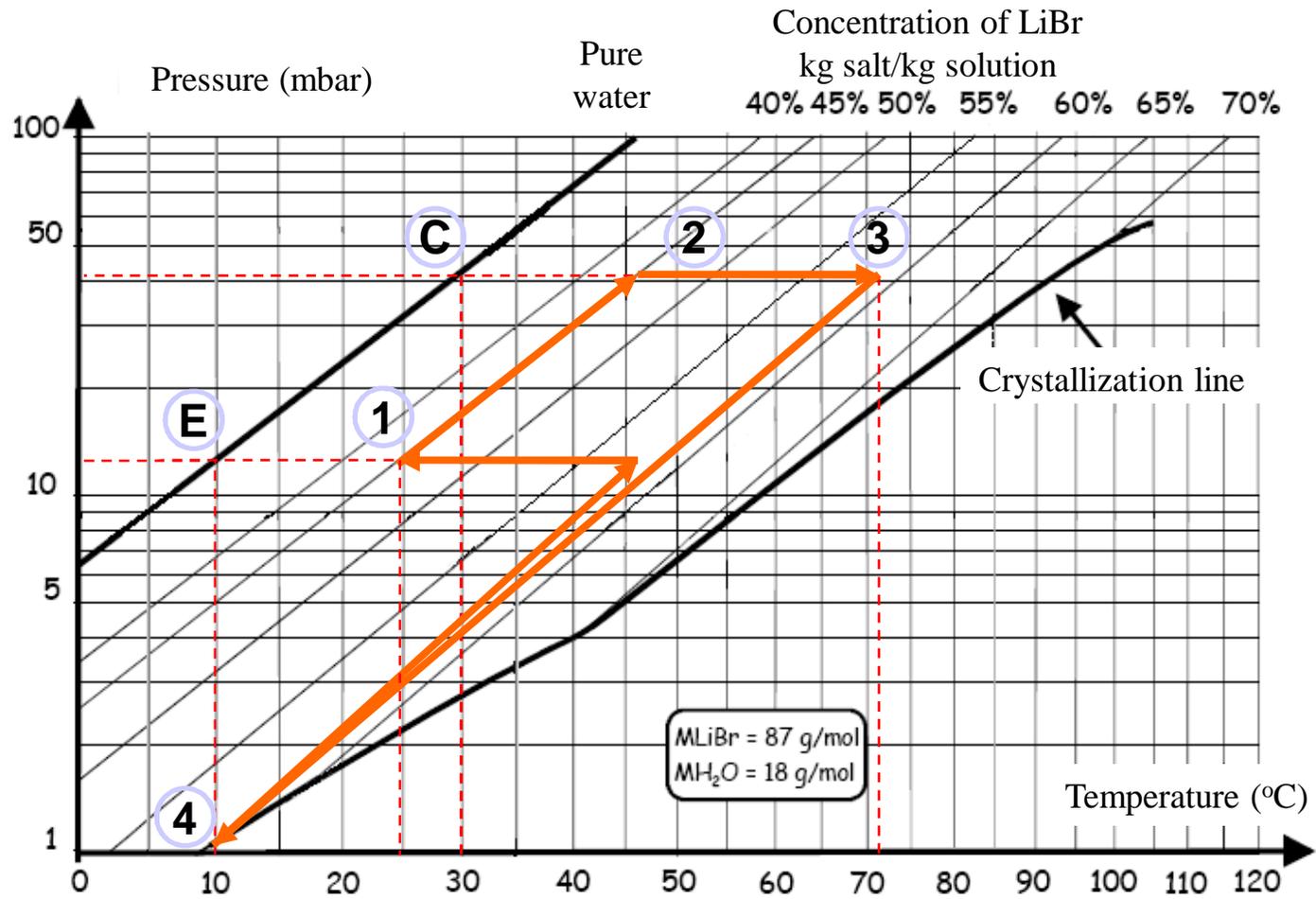
INTÉRÊT DE LA CRISTALLISATION



Cristallisation → augmentation de la densité de stockage mais ajoute une complexité: comment assurer la circulation de la solution?

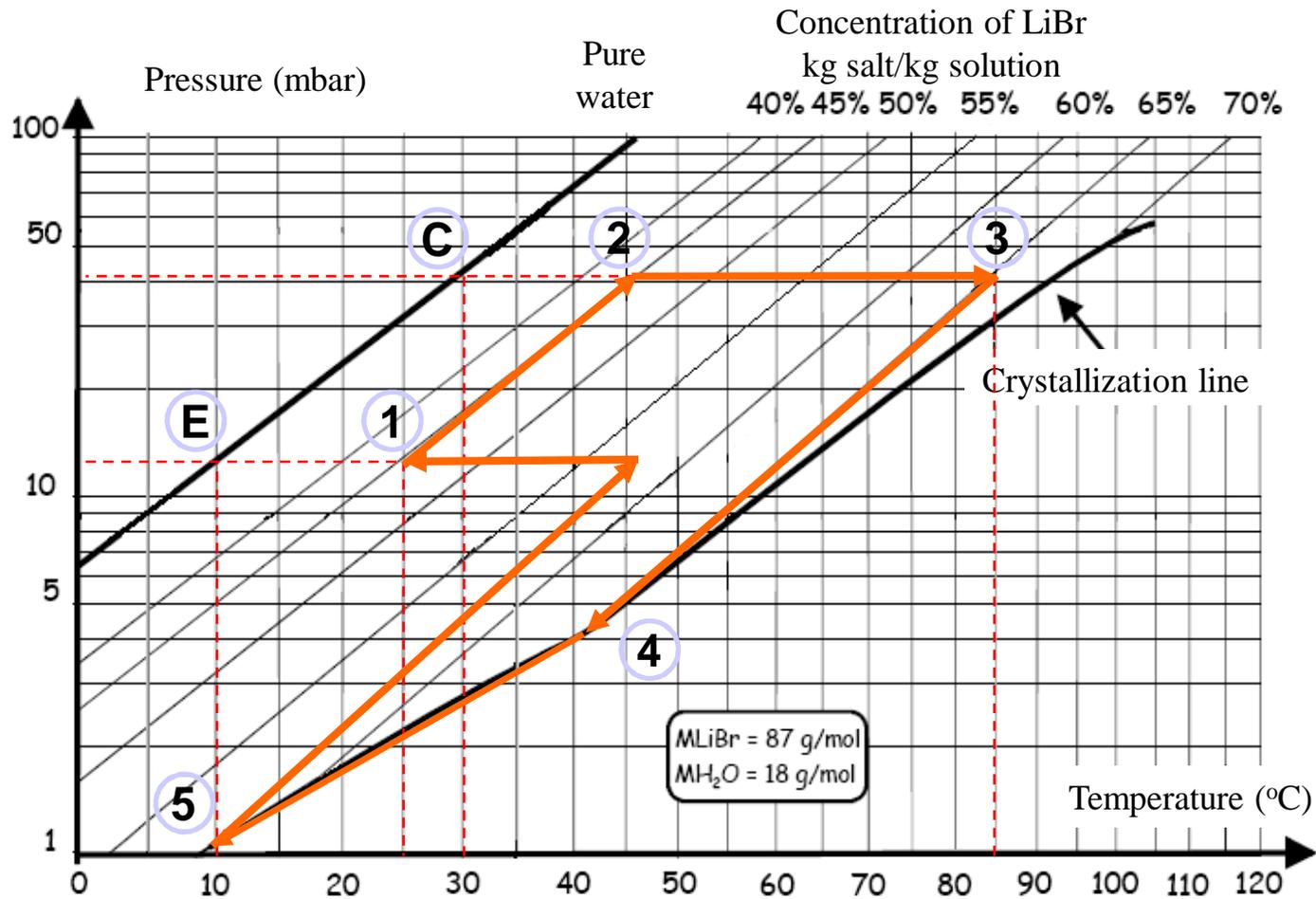
LiBr/H₂O Conditions opératoires

” Sans cristallisation

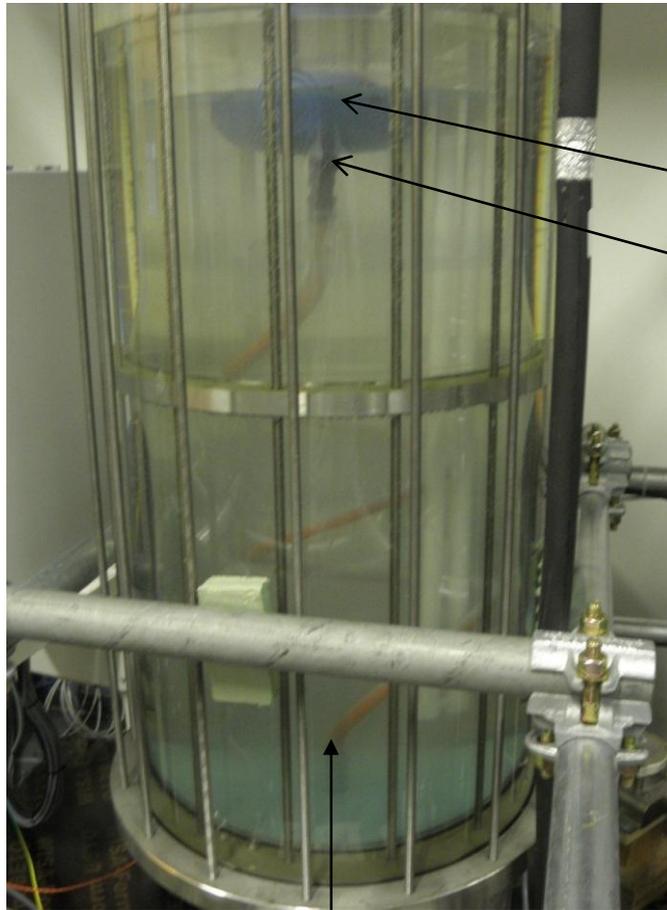


LiBr/H₂O Condition opératoire

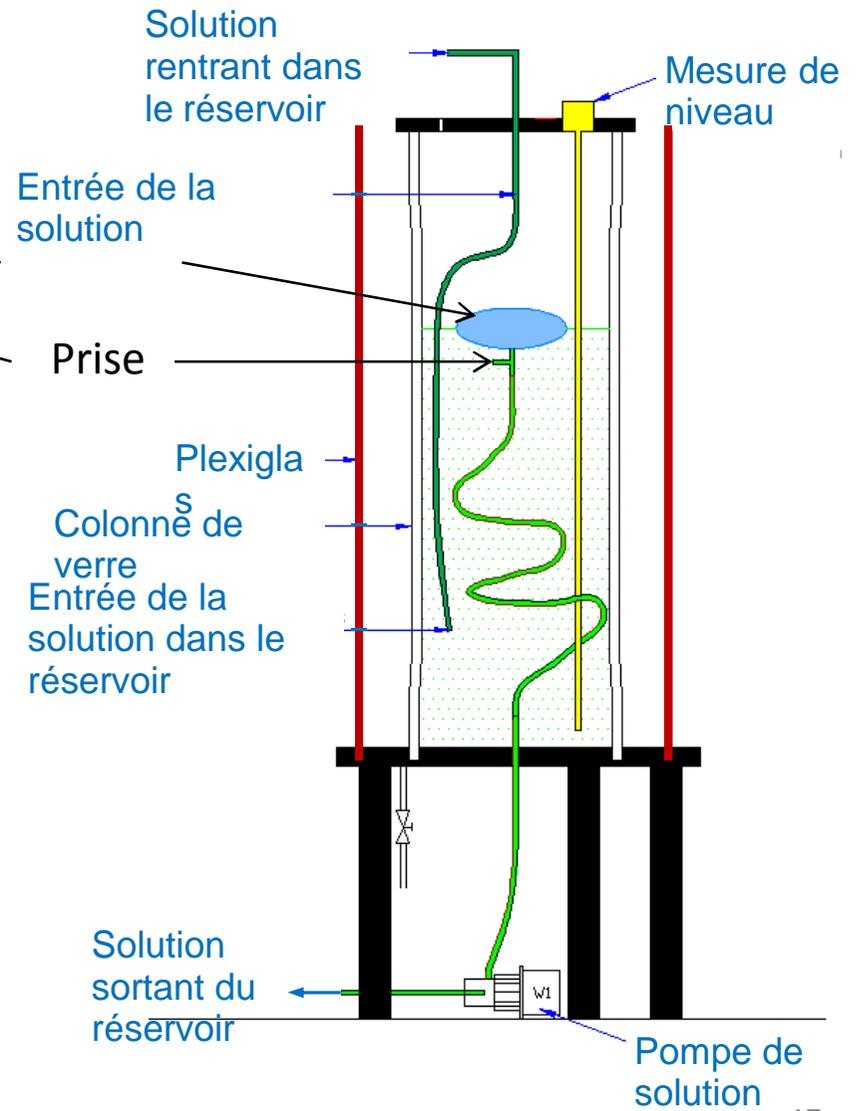
Avec apparition de cristaux dans le réservoir pendant la transition de l'été à l'hiver



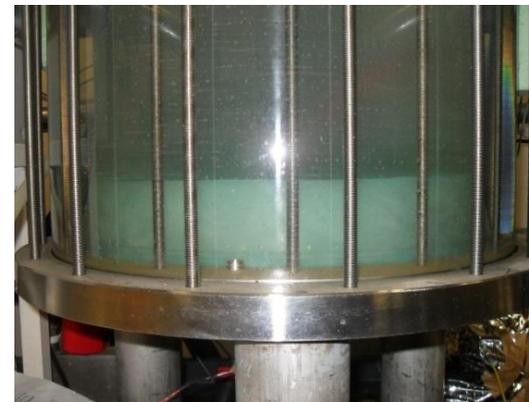
LE RÉSERVOIR DE SOLUTION



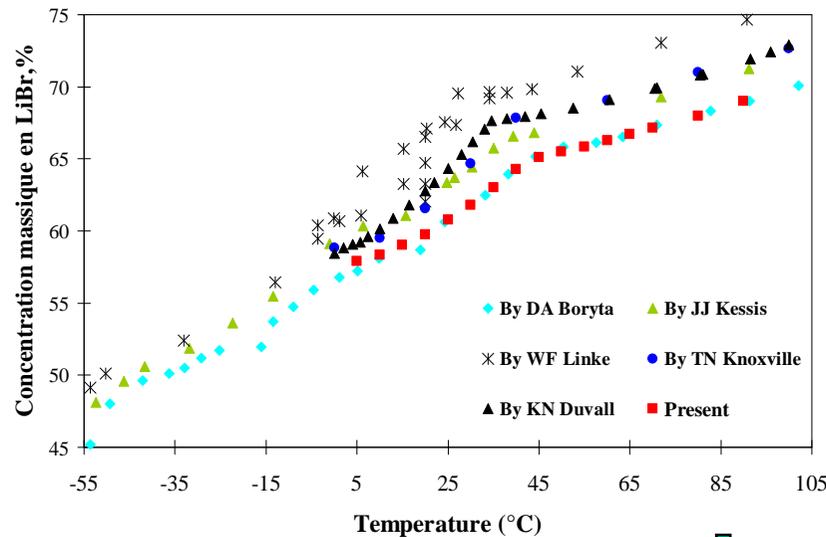
Tuyau de prélèvement



Cristallisation

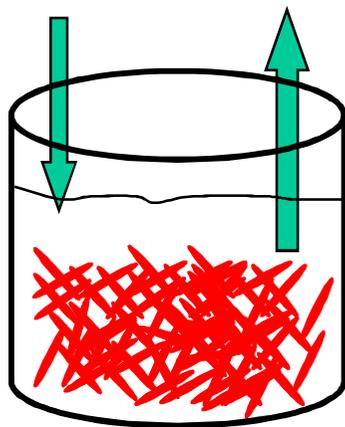


Maîtrise de la cristallisation du LiBr dans la cuve de stockage

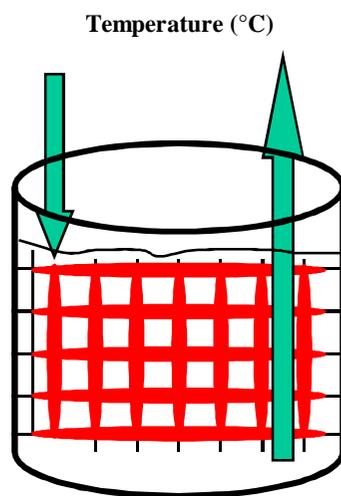


Solubilité du LiBr en fonction de la température

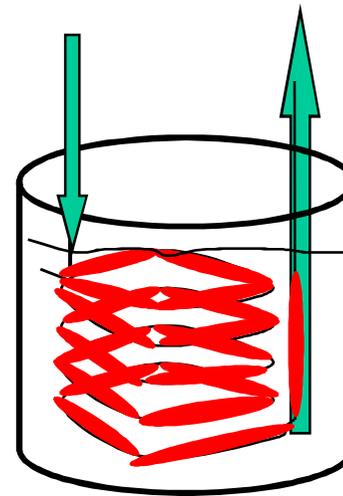
→ Impact sur les bilans



Dépôt du solide en fond de cuve



Nucléation hétérogène sur support favorable



Nucléation hétérogène sur paroi froide

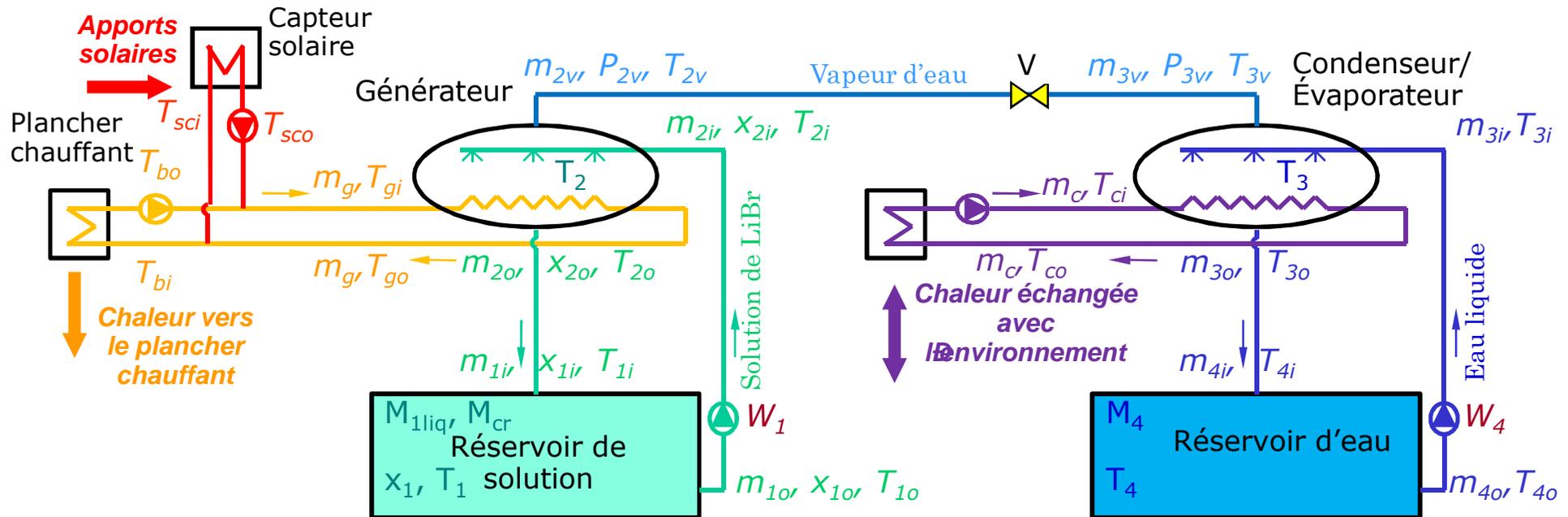
➤ Nucléation peu affectée par la présence d'un support

↳ Dépôt du solide au fond de la cuve

↳ Maîtrise des conditions de découlement dans la cuve

MODÉLISATION DYNAMIQUE DU PROCÉDÉ

Besoin de chauffage et Données météorologiques à Chambéry



$$\frac{dm(t)}{dt} = \sum \frac{dm_i(t)}{dt}$$

(bilan global de masse)

$$\frac{dm(t)}{dt} x(t) = \sum \frac{dm_i(t)}{dt} x_i(t)$$

(bilan du sel LiBr)

$$\frac{dU(t)}{dt} = \sum \frac{dm_i(t)}{dt} h_i(t) + \sum \frac{dQ_i(t)}{dt} + \sum \frac{dW_i(t)}{dt}$$

(bilan d'énergie)

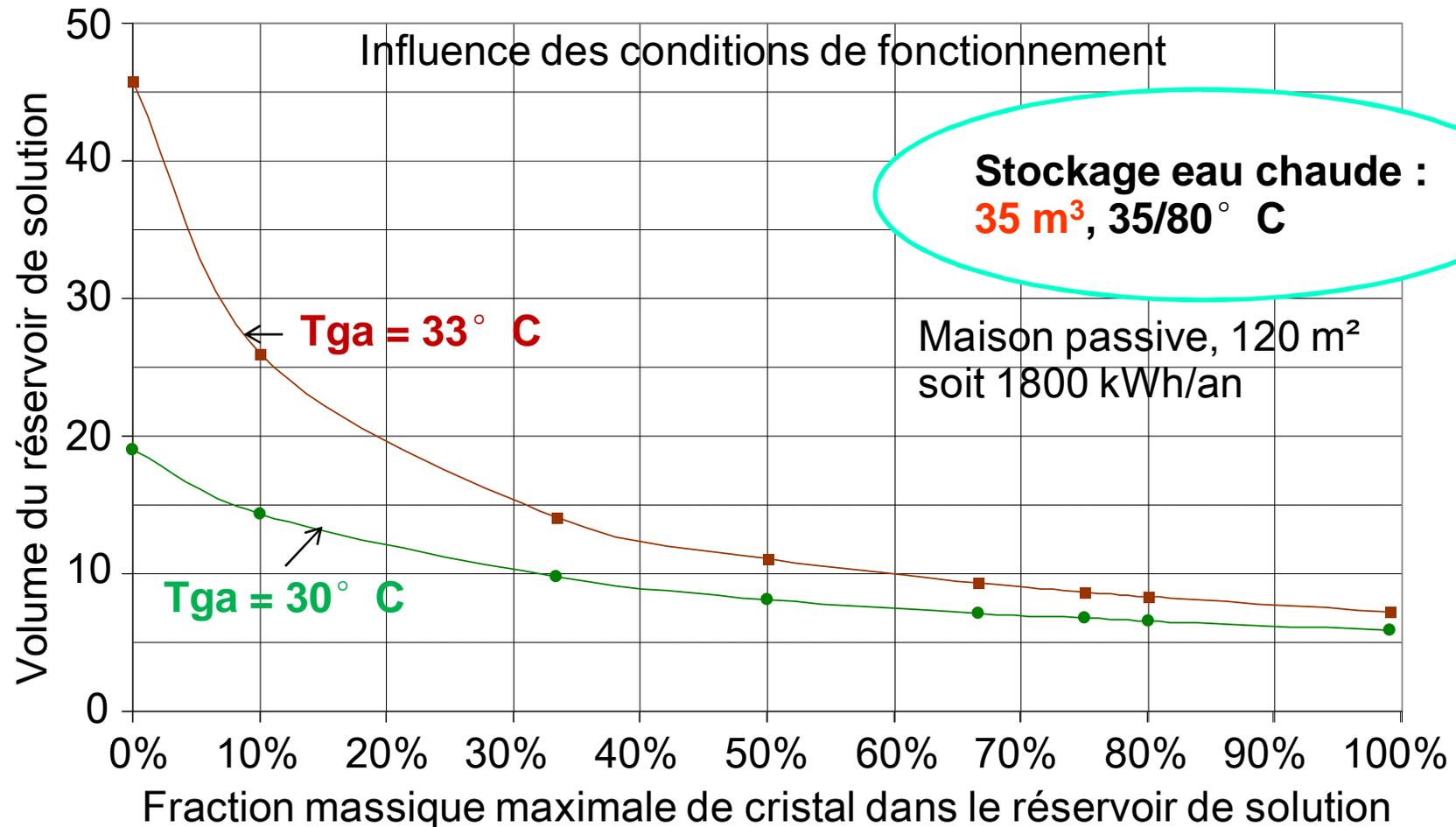
Résultats de simulations dynamiques

Pour une maison passive, 120 m² , 1800 kWh, avec LiBr/eau

Features	Unit	No cristal	With cristal
Surface of flat solar collectors	m ²	13	15
Total mass of anhydrous LiBr salt in the storage	t	18.4	6.9
Useful volume of the solution of LiBr storage tank	m ³	22.3	9.0
Useful volume of the water storage tank	m ³	3.8	3.8
Maximum mass fraction of LiBr in the store	wt%	58.1	68.2
Mean supply temperature of the heat transfer water to the building	° C	33	34
Yield	%	32	32

Water: 188 kJ/kg (35 m³, 35/80 ° C)
Without cristal: 350 kJ/kg LiBr (22.3 m³)
With cristal: 930 kJ/kg LiBr (9 m³) + 4 m³

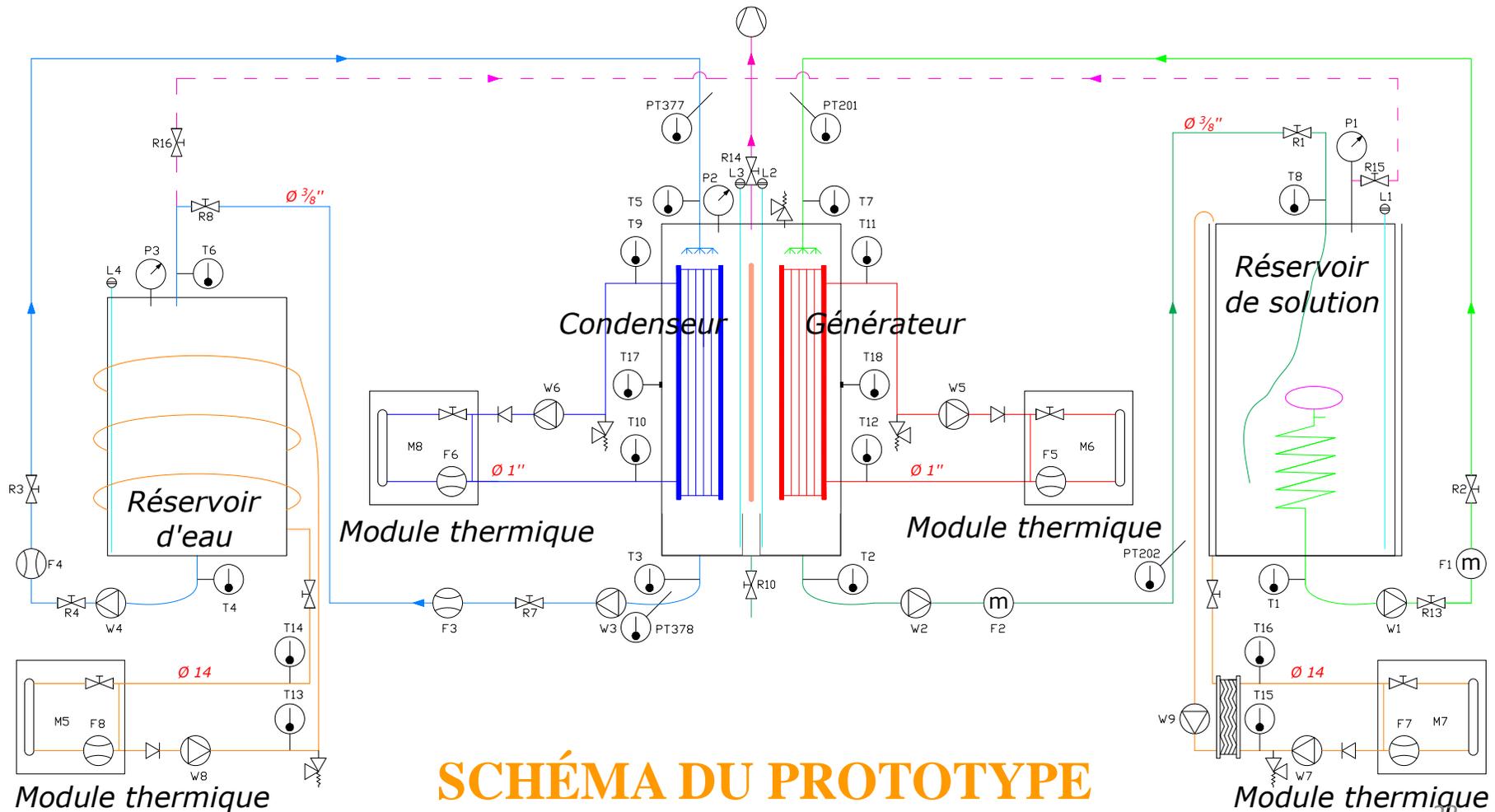
SIMULATIONS PARAMÉTRIQUES



- ➡ La cristallisation permet d'augmenter significativement la densité énergétique de stockage
- ➡ La température de restitution (chauffage) a une grande influence sur la densité de stockage

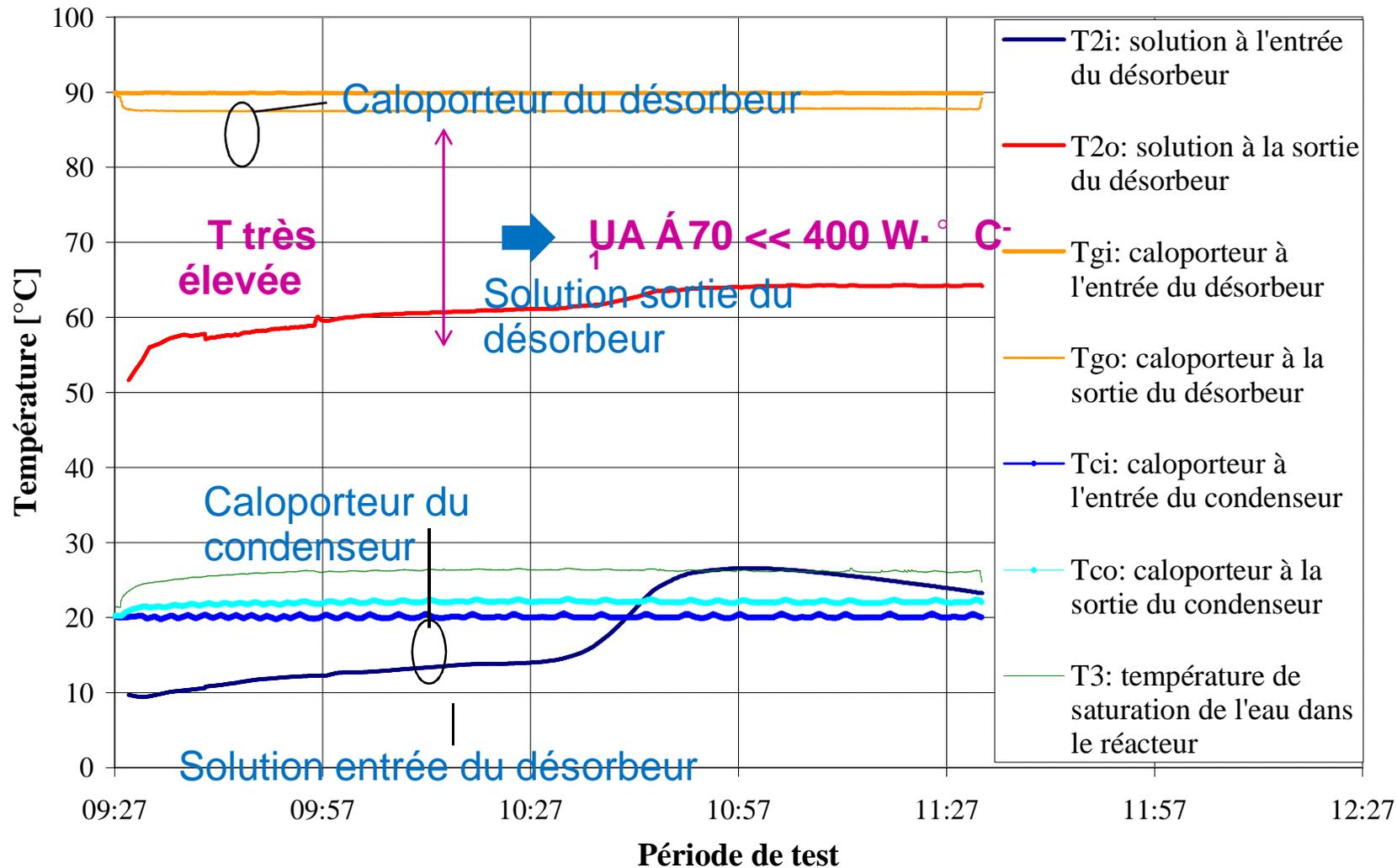
Caractérisation d'un prototype fortement instrumenté

- | | | | | | |
|---|-----------------------|---|------------------|---|------------------------|
|  | Sonde de température |  | Mesure de niveau |  | Flotteur |
|  | Sonde de pression |  | Circulateur |  | Clapet anti-retour |
|  | Débit-mètre volumique |  | Pompe à vide |  | Ecran anti-rayonnement |
|  | Débit-mètre massique |  | Vanne manuelle |  | Soupape de sécurité |



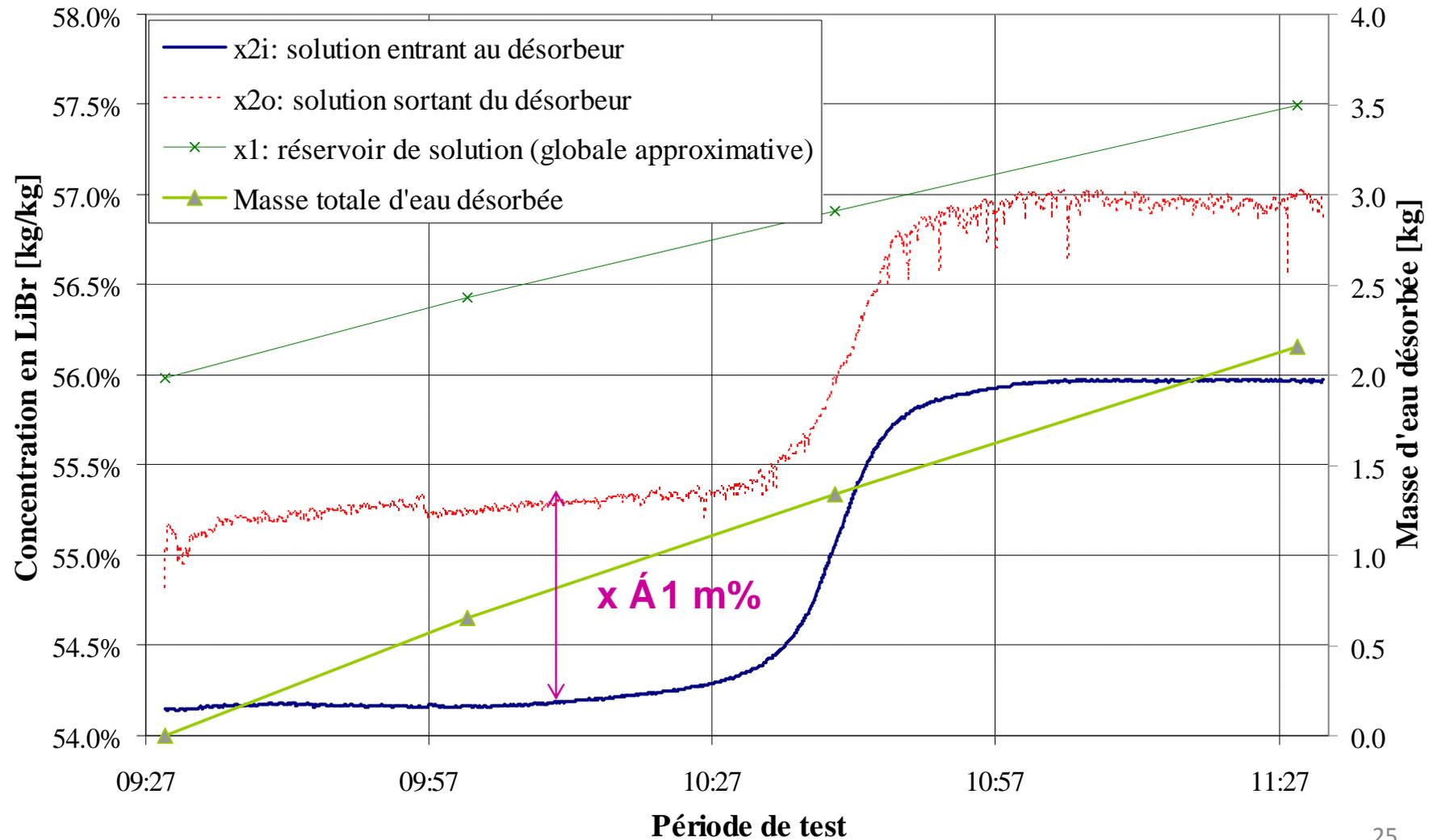
RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX EN PHASE DE CHARGE

Évolution des températures

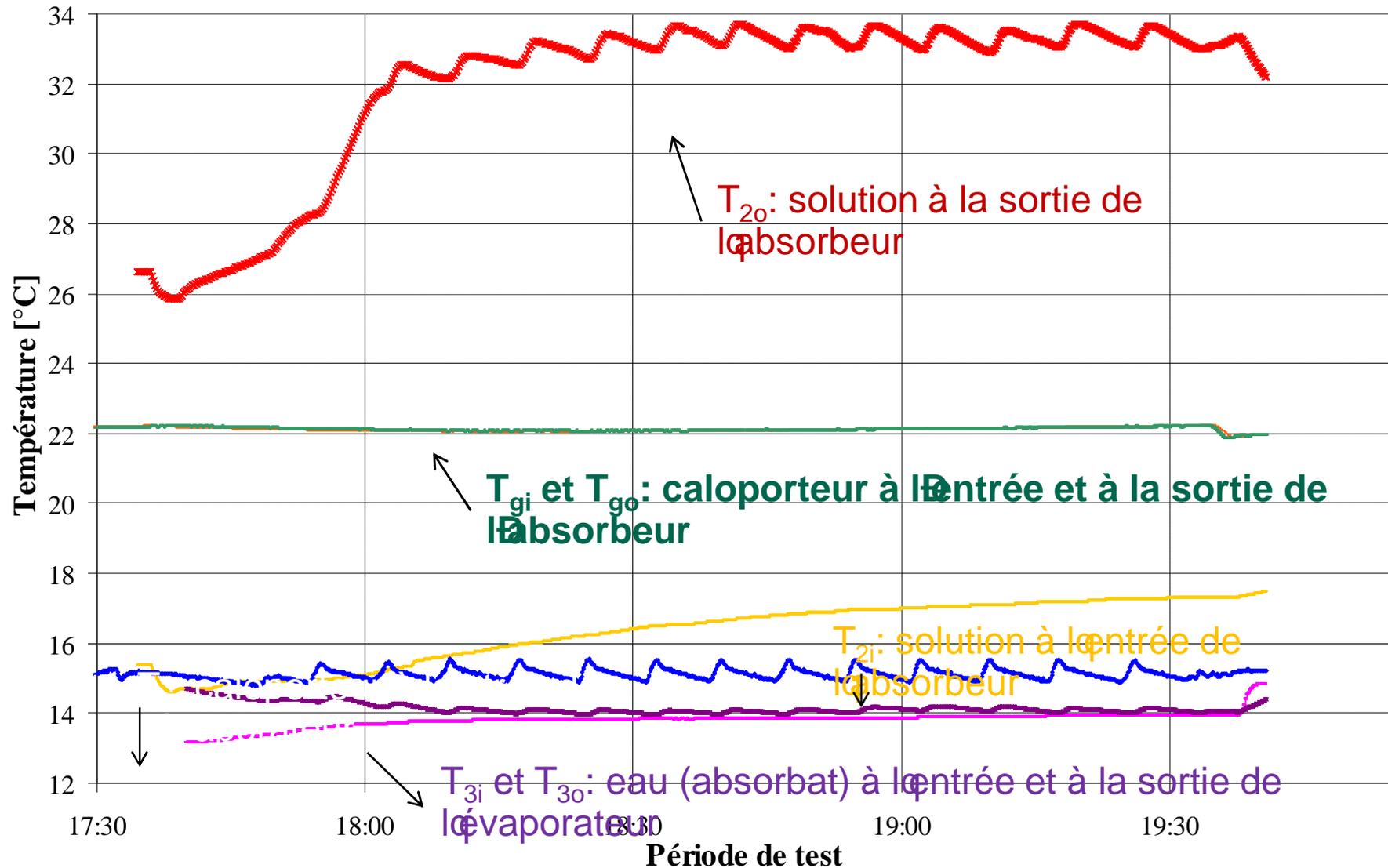


RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX EN PHASE DE CHARGE

Évolution des concentrations et masse d'eau désorbée

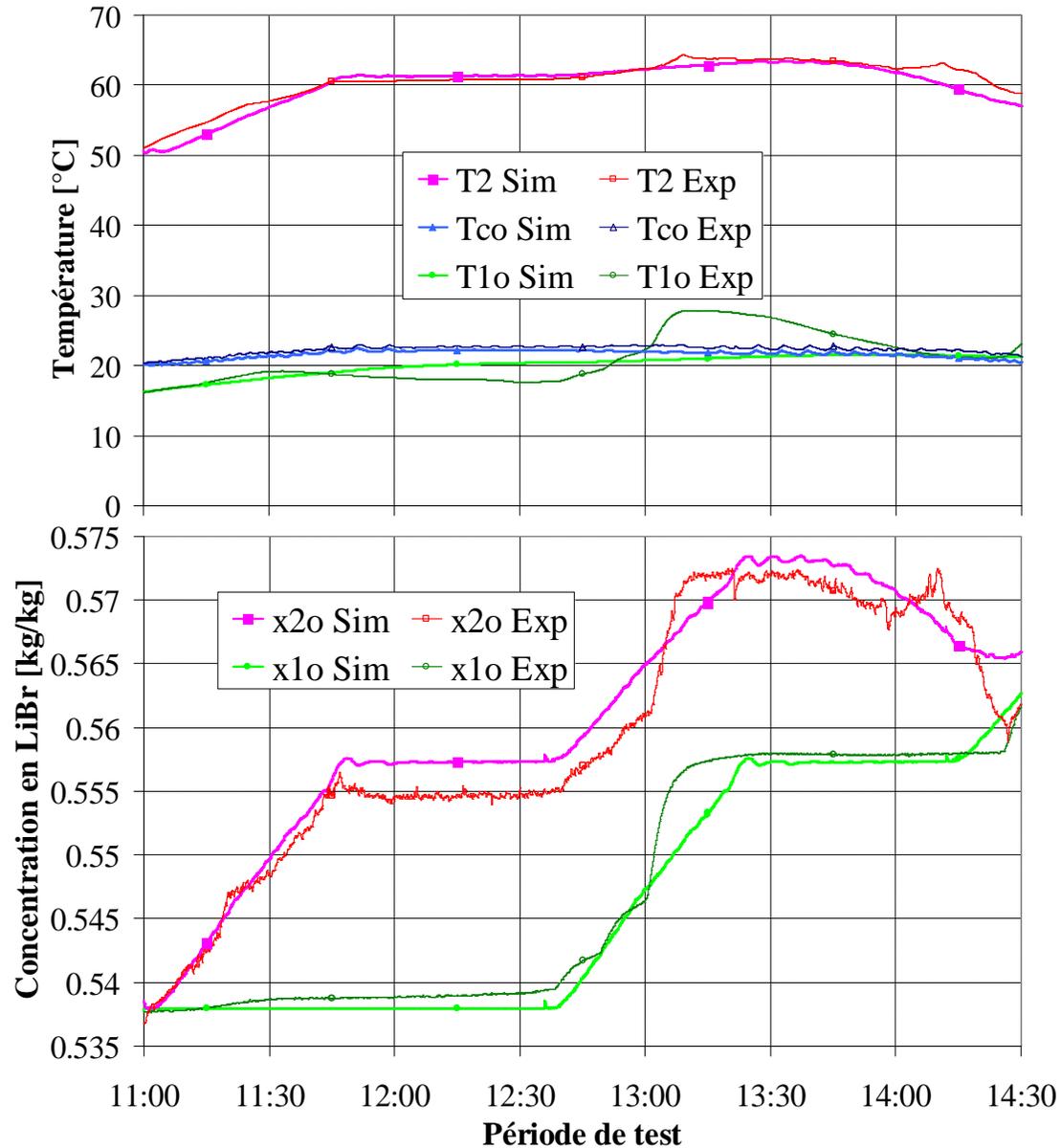


RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX EN PHASE DE DÉCHARGE



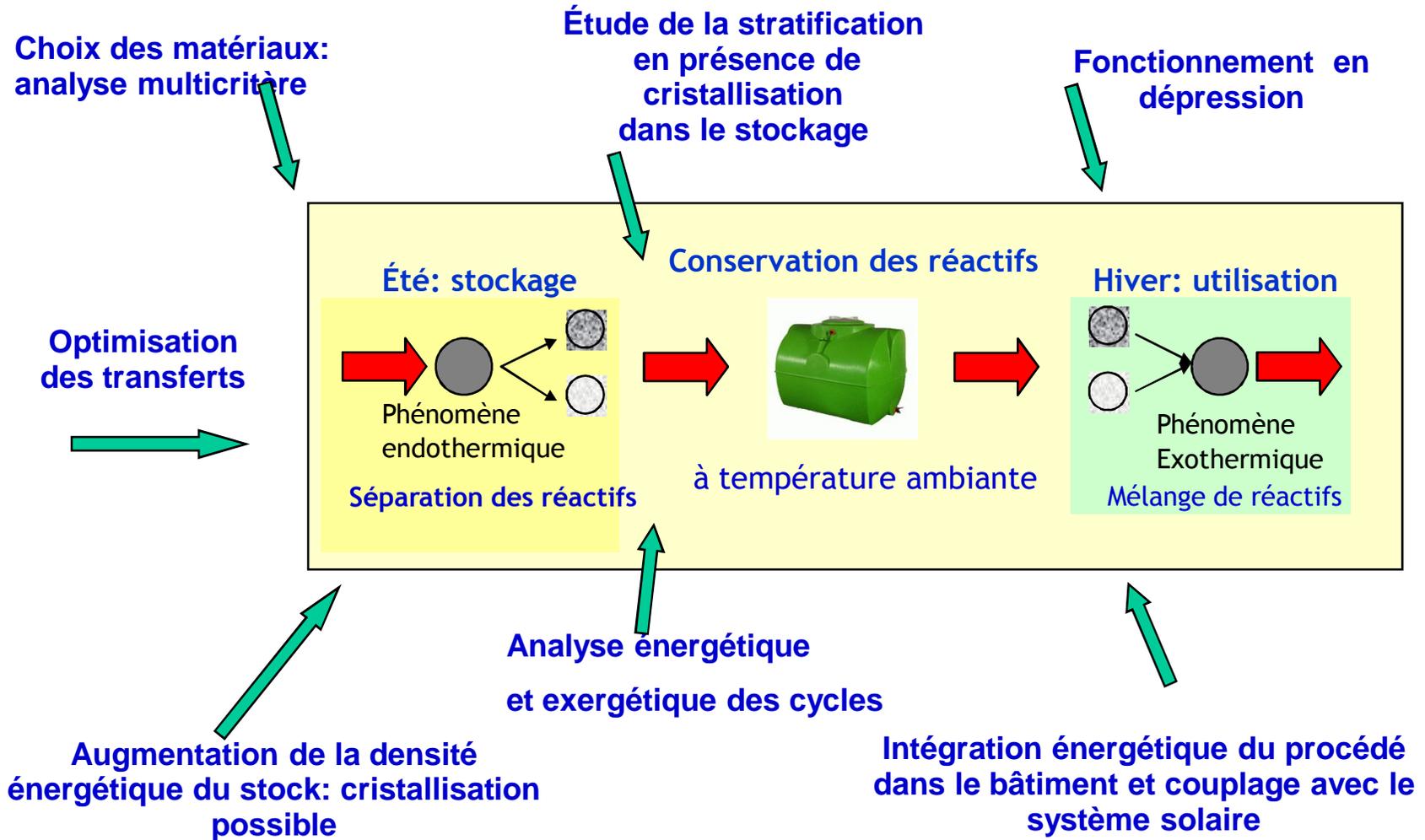
Conception d'absorbeur inadaptée !

VALIDATION DE LA MODÉLISATION



➡ **Comparaison: résultats relativement acceptables**

Défis scientifiques et technologiques

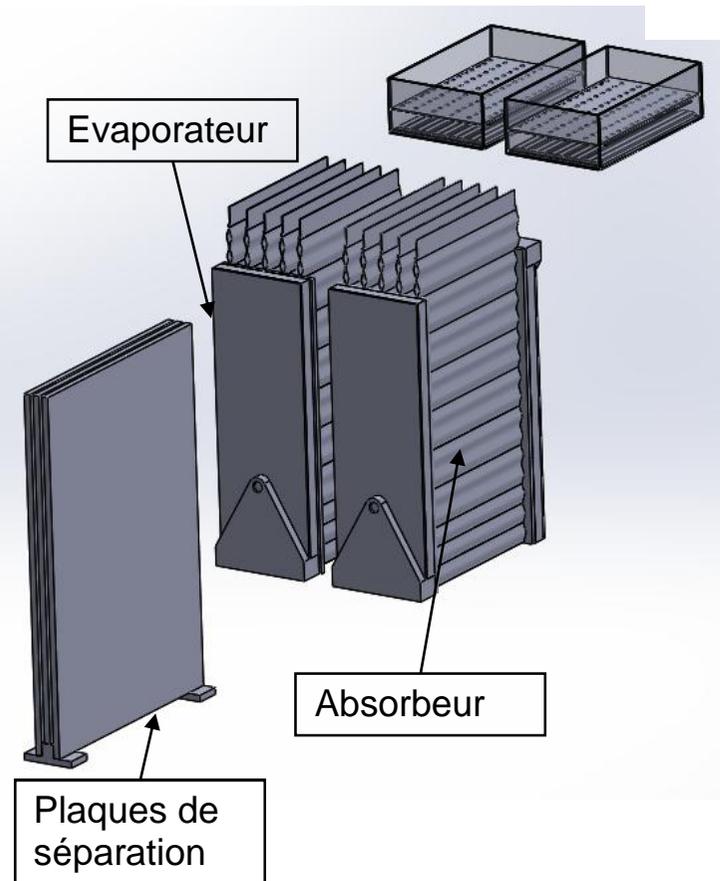
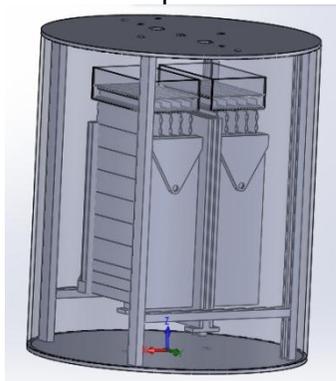
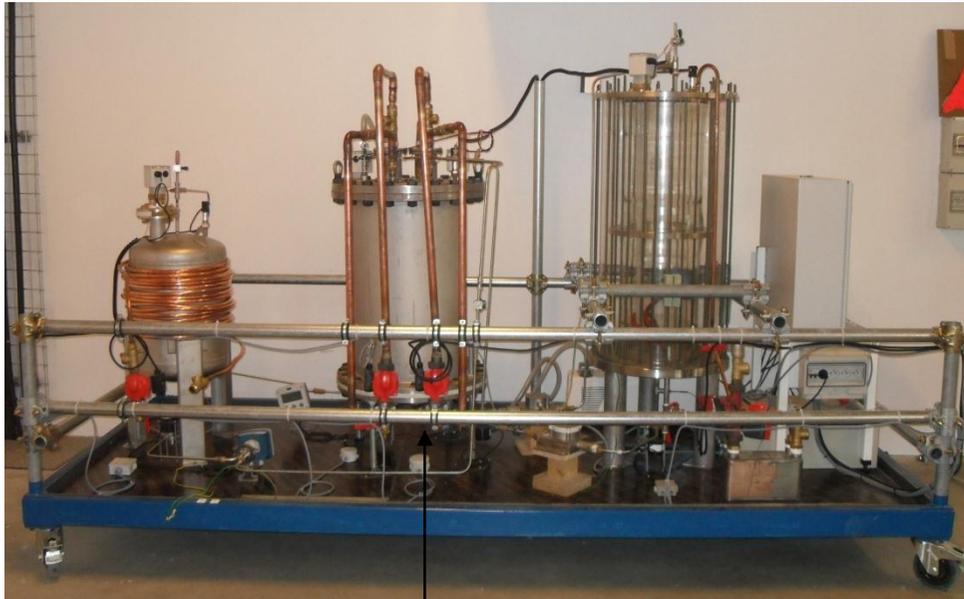


Marché potentiel?

PRINCIPALES CONCLUSIONS PROSSIS

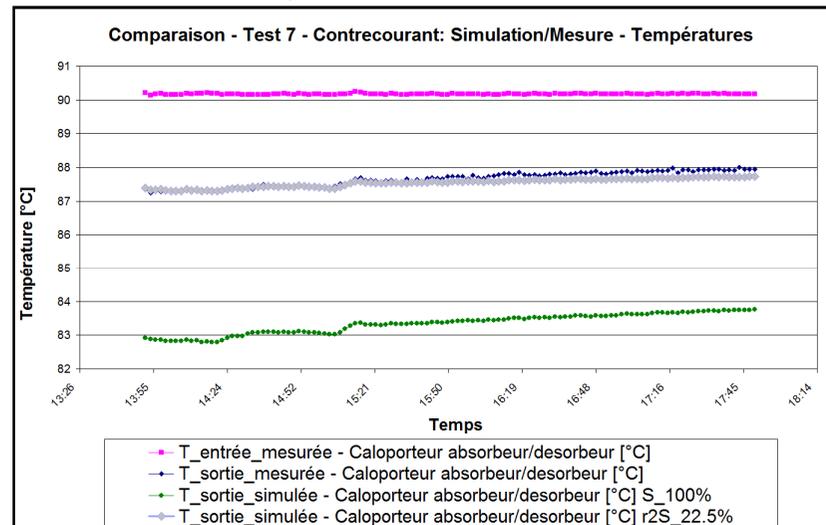
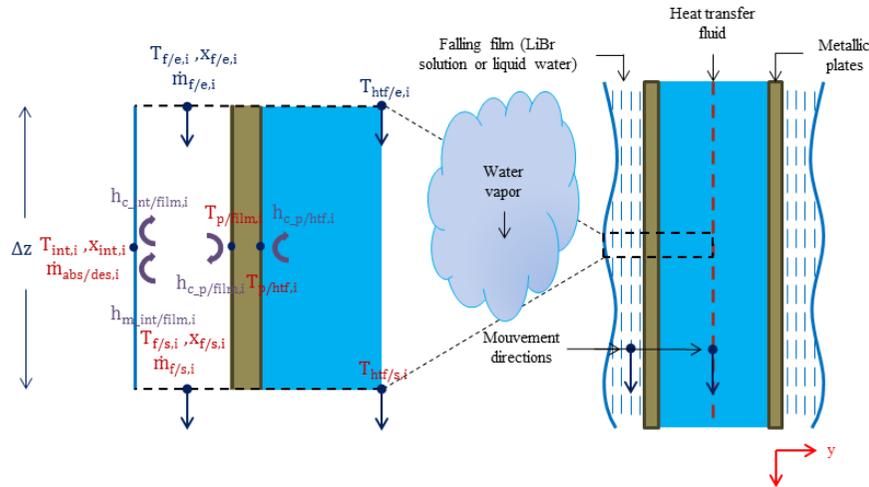
- **Le stockage d'énergie solaire à long terme par procédé d'absorption est possible et la cristallisation s'avère prometteuse (300 kWh·m⁻³ d'après les simulations dynamiques avec le LiBr)**
- **7 m³ de réservoir de solution pour une Maison Passive de 120 m² (1800 kWh annuels)**
- **Un prototype a été testé dans des conditions compatibles avec une installation solaire domestique: le stockage thermique a été prouvé**
- **Charge : puissance de 2-5 kW et 13 kWh de chaleur stockée
Décharge: température d'absorption satisfaisante mais
conception de l'absorbeur à modifier**

PROSSIS2 : Conception des échangeurs et intégration dans le prototype global : 2 à 3 kW, stockage 15 kWh



Échangeurs de chaleur et de masse à films tombants

PROSSIS 2 : Modélisation des échangeurs par approche nodale et couplage des échangeurs

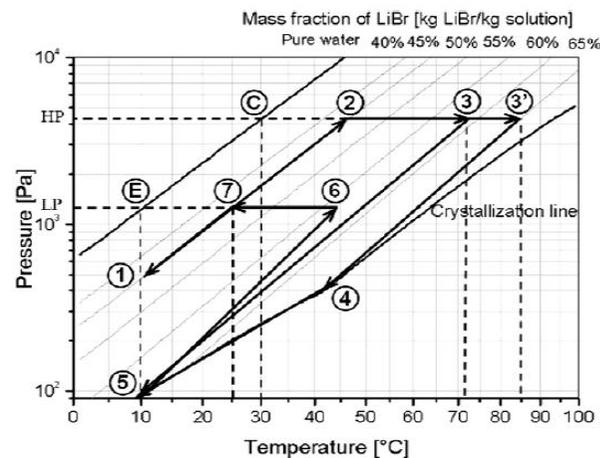
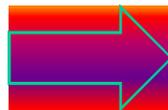


Interface de modélisation: MATLAB



PROSSIS2 :

- 147 sels possibles, classés en fonction de leur coût, solubilité, toxicité
- 12 sels présélectionnés
- 7 sels sélectionnés pour mesurer des pressions de vapeur pour élaboration des diagrammes de Dühring



PROSSIS 2 : Spécifications et marchés:

- Verrous « Résidentiel Individuel » identifiés (Coût investissement, Encombrement, Acceptabilité, Maintenance, Réglementation RT2012)



- Cible « Résidentiel Collectif »: puissance de l'ordre de 30 kW pour répondre à la plupart des besoins + appoint pour les pics de puissance par grand froid.



- Cible « Tertiaire (Bureaux) »: Besoins important de refroidissement, Besoins ECS : Faible, Besoins Chauffage : faibles, => autres cibles possible Tertiaire Hôtellerie, EHPAD...

s



- Cible « Industrielle »: à étudier en fonction du couple choisi



Résultats majeurs attendus de PROSSIS 2:

- Couple innovant de sorption utilisable identifié et caractérisé
- Échangeurs de chaleur et de masse à films tombants optimisés et testés en sorption et changement de phase basse pression
- Cristallisation caractérisée et maîtrisée
- Prototype global amélioré et testé avec nouveaux échangeurs et nouveau couple
- Modèle détaillé du procédé validé (échangeurs, couple, cristallisation)
- Insertion sur le marché définie

Merci de votre attention

