

Intensification des Transferts Thermiques avec les Matériaux à Changement de Phase

Projet ANR EUROPA

Journées Nationales de l'Energie Solaire 2021
Odeillo - 25 - 27 Août 2021

MAXIME THONON ^(A), YASSINE CHERIF ^(B), NICOLAS CELLIER ^(A), LAURENT ZALEWSKI ^(B), GILLES FRAISSE ^(A)

^(A) UNIV. SAVOIE MONT BLANC, CNRS, LOCIE, 73000 CHAMBÉRY, FRANCE

^(B) LABORATOIRE DE GÉNIE CIVIL ET GÉO-ENVIRONNEMENT, UNIVERSITÉ D'ARTOIS, ULR 4515 F-62400 BÉTHUNE, FRANCE



LOCIE



Laboratoire
Génie Civil
et géo-Environnement
Lille Nord de France

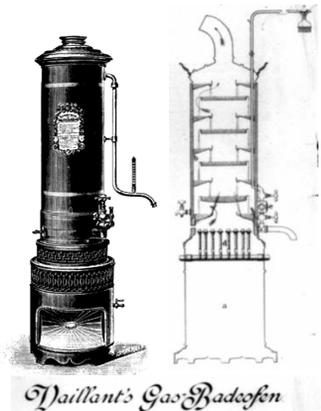


FédEsol
FÉDÉRATION DE RECHERCHE
SUR L'ÉNERGIE SOLAIRE

Contact : maxime.thonon@univ-smb.fr

L'Eau Chaude Sanitaire (ECS)

- Augmentation de l'énergie dédiée à la production d'ECS
 - Jusqu'à 35% dans les bâtiments récents
- Diminuer l'impact environnemental de la production d'ECS :
 - Energies renouvelables → Capteurs solaires thermiques
 - Efficacité énergétique du stockage → Stockage par chaleur latente



Premier « chauffe-bain » inventé par Johann Vaillant en 1894



Capteur autostockeur avec MCP
Bilardo et al, 2019

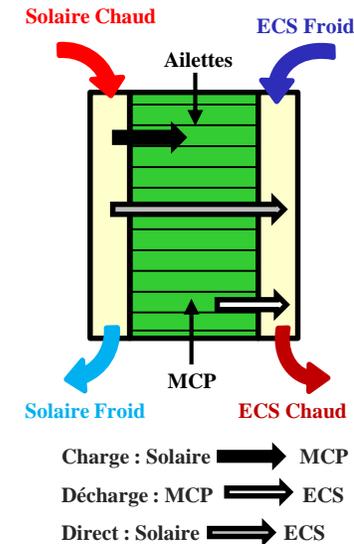


Schéma d'un module

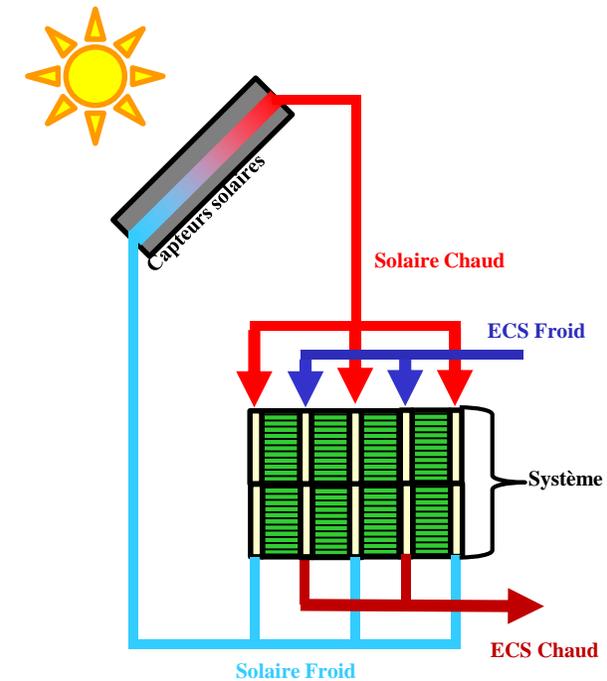
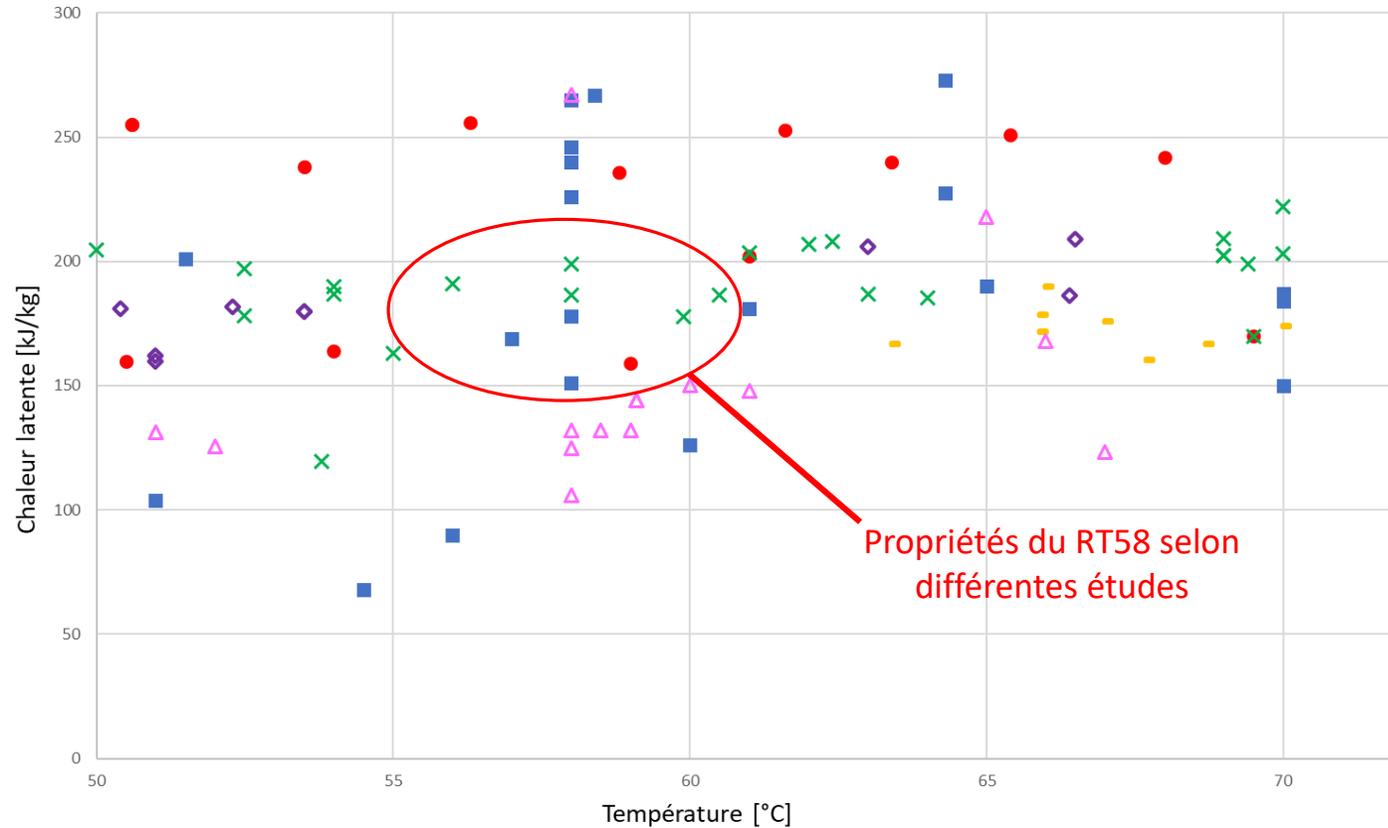


Schéma du système

Les Matériaux à Changement de Phase (MCP)



Organique : ● Paraffine × Acide Gras ◆ Mélange d'acides gras ■ PEG
 Inorganique : ■ Hydrates de sels ▲ Eutectique

Propriétés du RT58 selon différentes études

+

Densité énergétique

Température constante de stockage/destockage

—

Conductivité thermique

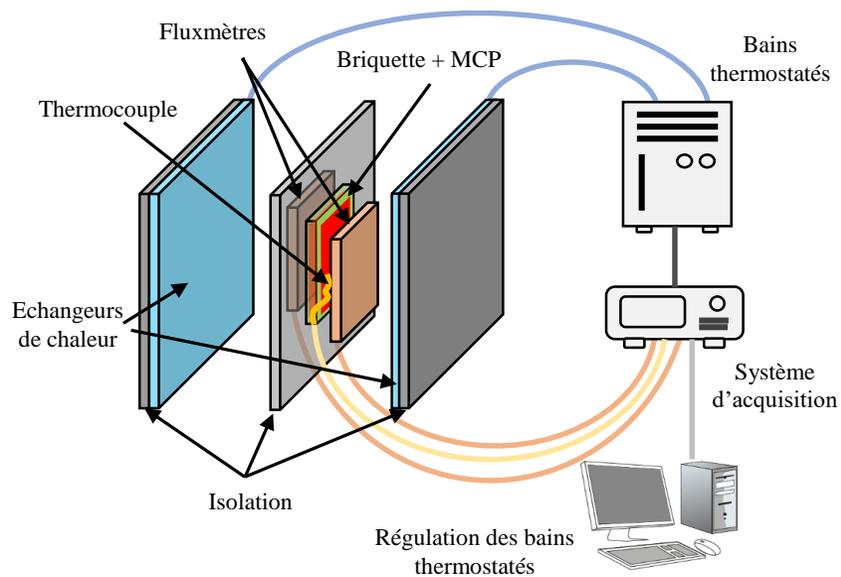
Coût Toxicité

Durabilité

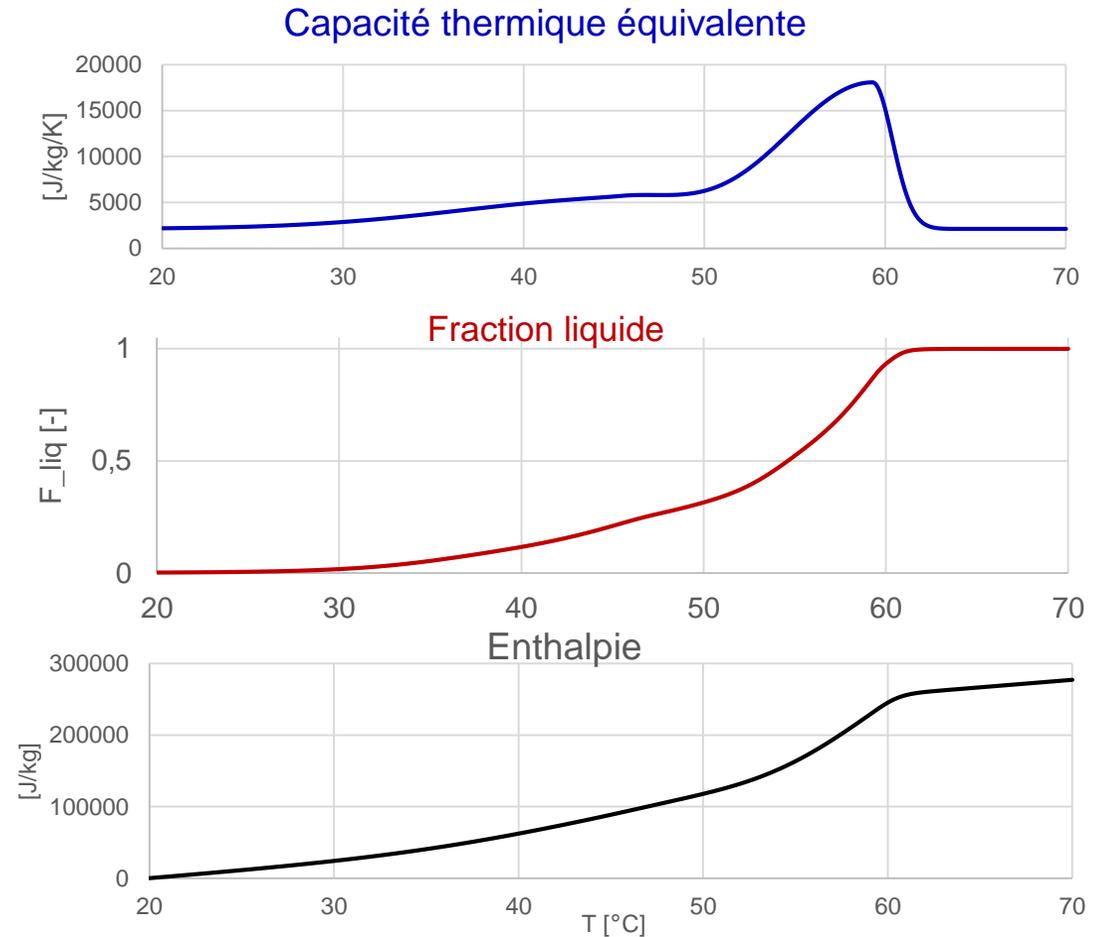
Dérivés pétrole Complexité

Caractérisation du RT58

- Caractérisation par fluxmétrie
 - Briquette remplie de RT58

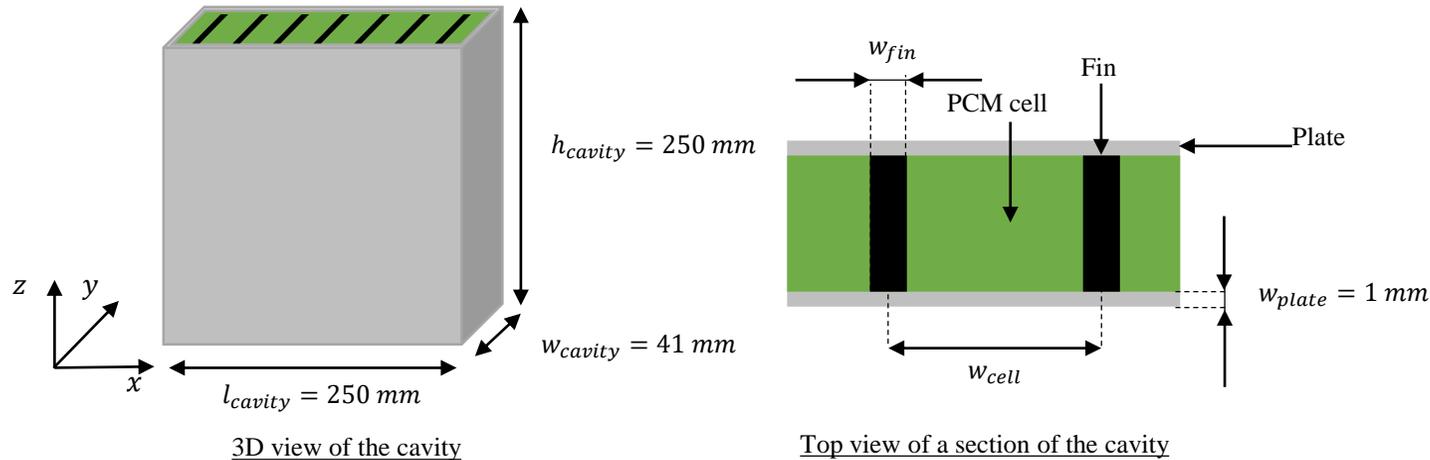


- Identification des propriétés du RT58
 - Expérimentale : Bilans d'énergies
 - Numérique : Méthodes inverses

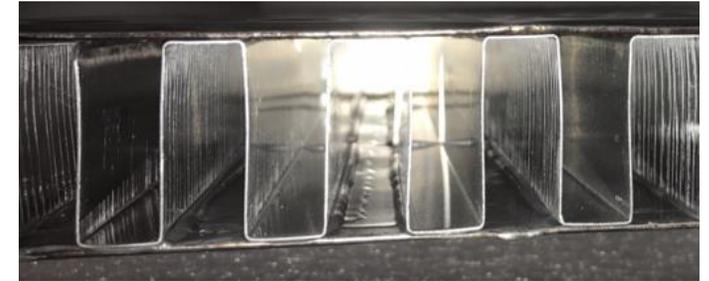


Intensification des Transferts Thermiques

- Cavités de stockage de MCP
- Intensification avec des ailettes verticales en aluminium



Cavité A : 17 ailettes de 1mm



Thermocouples cellules : $3_M, 5_M, 8_B, 8_M, 8_H, 13_M$

Cavité B : 34 ailettes de 0,5mm

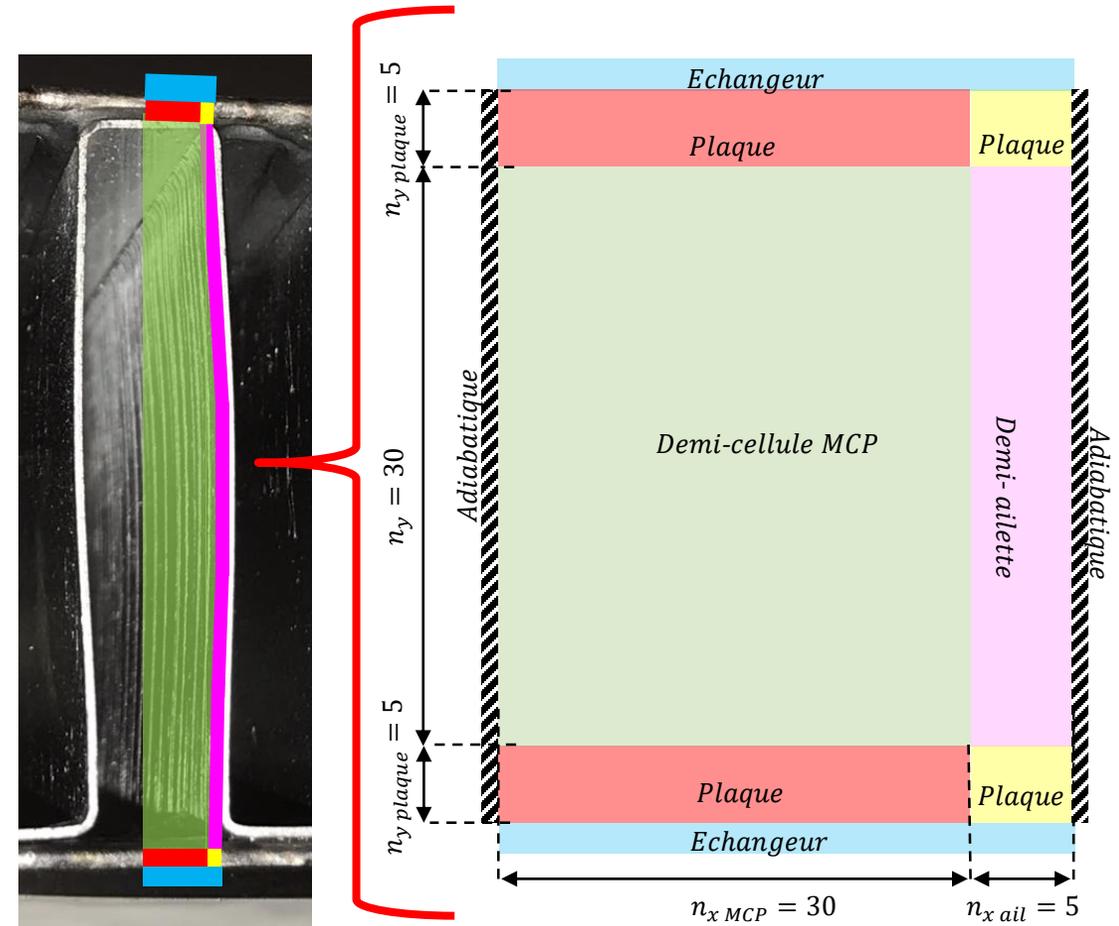


Thermocouples cellule : $5_M, 10_M, 17_B, 17_M, 17_H, 30_M$

- Deux configurations d'ailettes testées
 - Cavité A : 17 ailettes de 1mm
 - Cavité B : 34 ailettes de 0,5mm
- } Volume d'ailettes équivalent

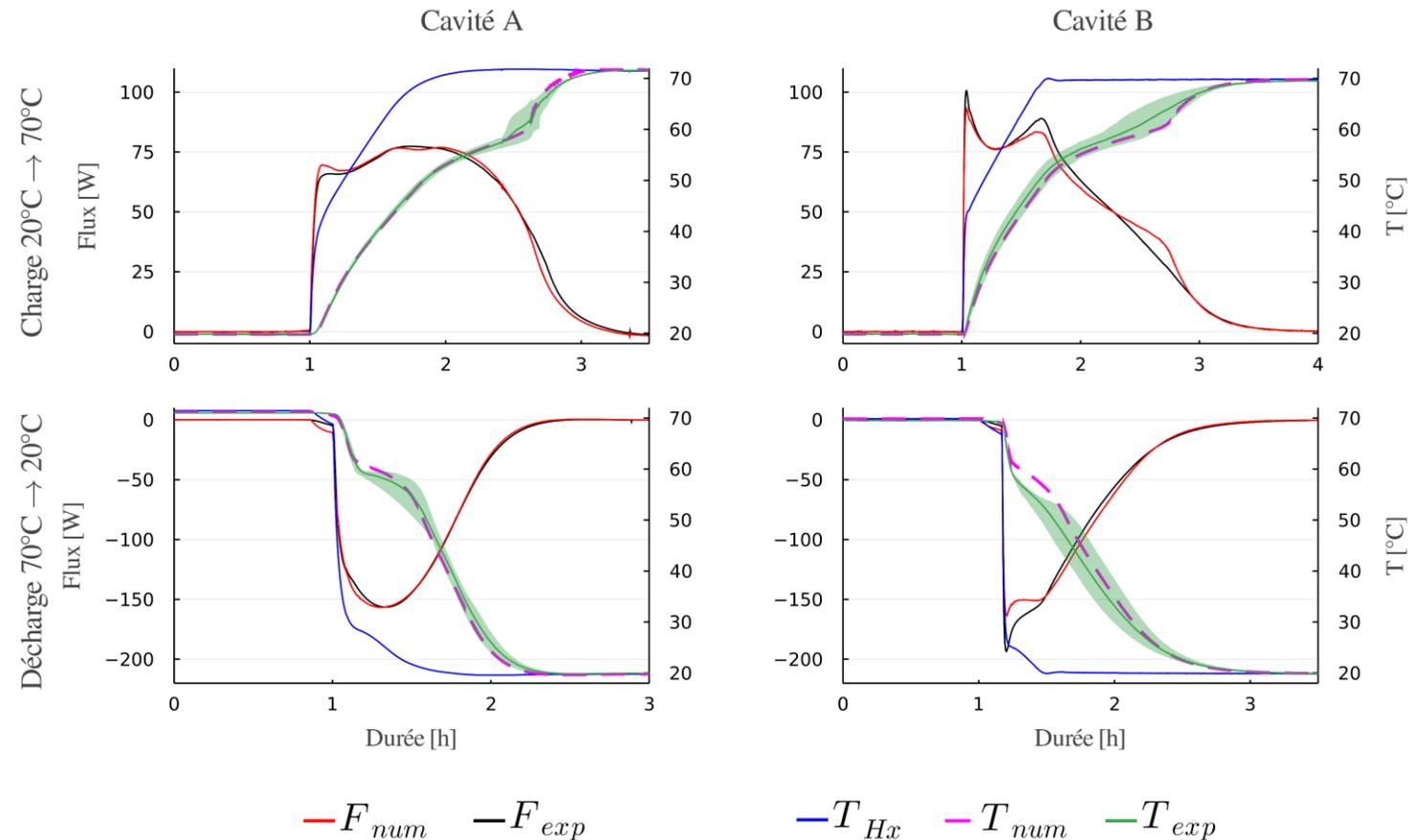
Modélisation Numérique des Cavités

- Modélisation 2D d'une demi-ailette et d'une demi-cellule de la cavité
 - Résolution numérique en différences finies
 - Symétrie thermique avec les demi-cellules voisines
- Conditions limites
 - Axe x : Température des échangeurs de chaleur
 - Axe y : Adiabatiques



Echelons de Charge et Décharge

- Expériences entre 20°C et 70°C
 - Echelons de charge (Apports solaires)
 - Echelons de décharge (Soutirage d'ECS)
- Validation du modèle numérique
 - Modélisation précise du flux de chaleur échangé par les cavités
 - Modélisation correcte de la température du MCP
 - Possible légère surfusion du RT58 lors d'un refroidissement brutal
- Modèle numérique validé pour deux configurations d'ailettes



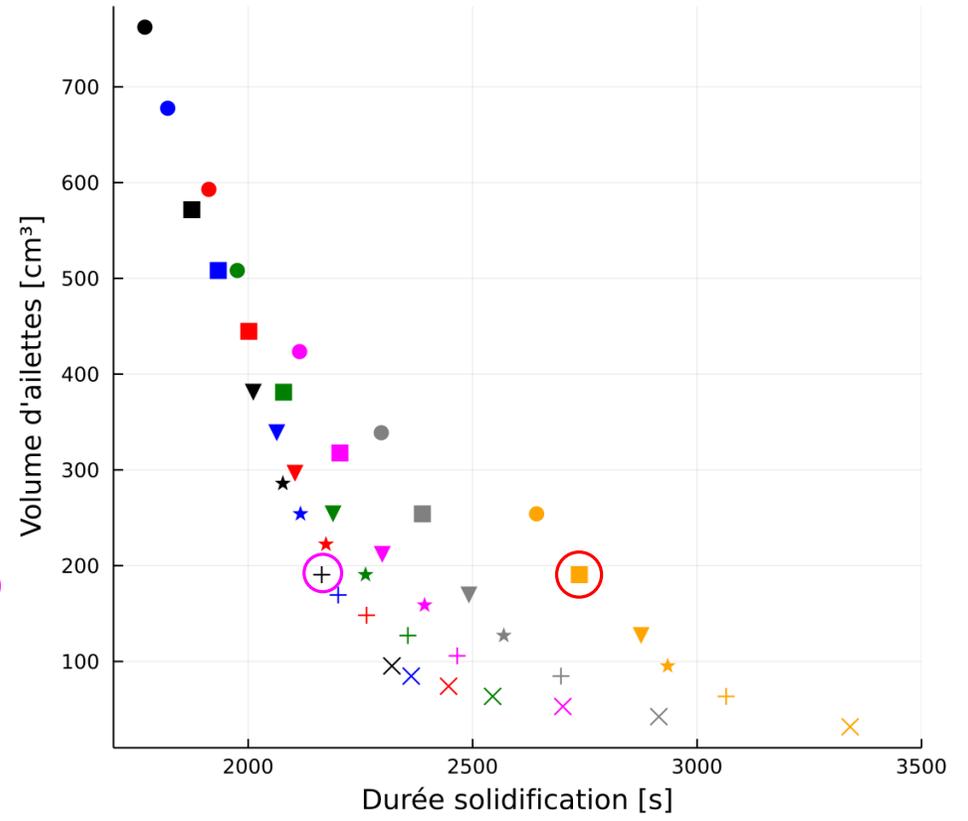
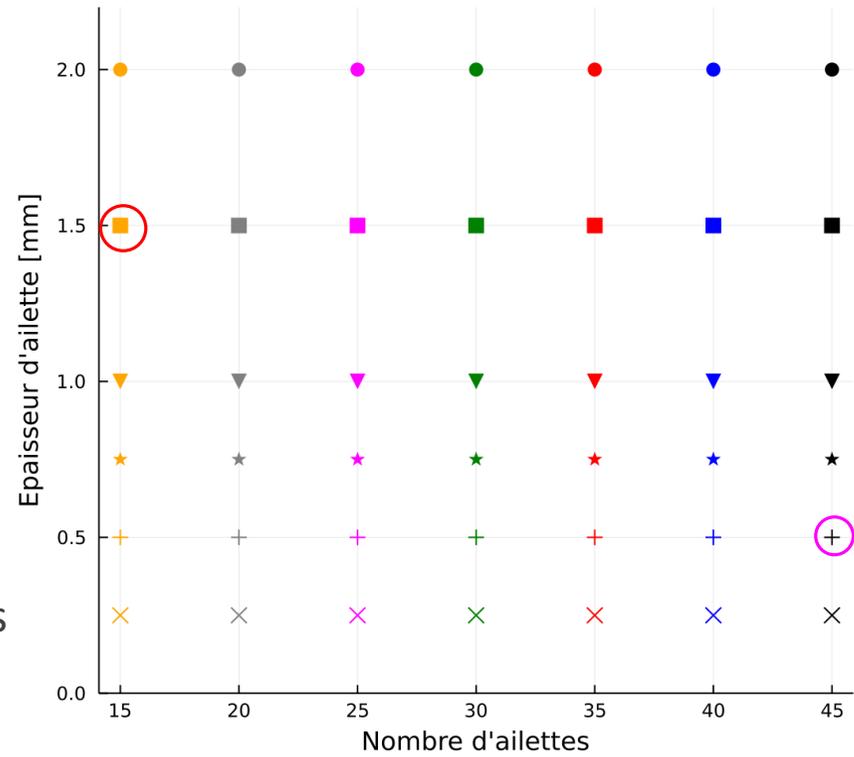
Etude Paramétrique de la Géométrie

- Simulations sur des échelons de décharge
 - Fortes puissances appelées pour satisfaire les besoins d'ECS
- Paramètres étudiés :
 - Nombre d'ailettes : 15 – 20 – 25 – 30 – 35 – 40 – 45
 - Epaisseur de chaque ailette : 0,25mm – 0,5mm – 0,75mm – 1mm – 1,5mm – 2mm
- Objectifs :
 - Minimiser la durée de solidification
 - Equivalent à maximiser les transferts de chaleur et donc la puissance de décharge
 - Minimiser le volume d'ailettes
 - Equivalent à maximiser le volume de MCP et donc la densité énergétique

Les deux objectifs sont opposés : l'amélioration de l'un des objectifs entraîne une diminution de performance sur le second objectif.

Etude Paramétrique de la Géométrie

- Configurations optimales
 - Marqueurs X
 - Marqueurs noirs
- Comparaison entre + et ■
 - Même volume
 - Durée de solidification 21% plus courte pour +
- Conclusion
 - Sélectionner les ailettes les plus fines possible
 - Adapter le nombre d'ailettes à la puissance d'ECS demandée



Merci de votre attention



LOCIE

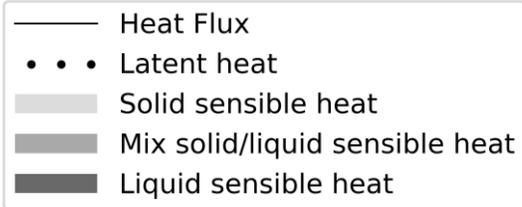
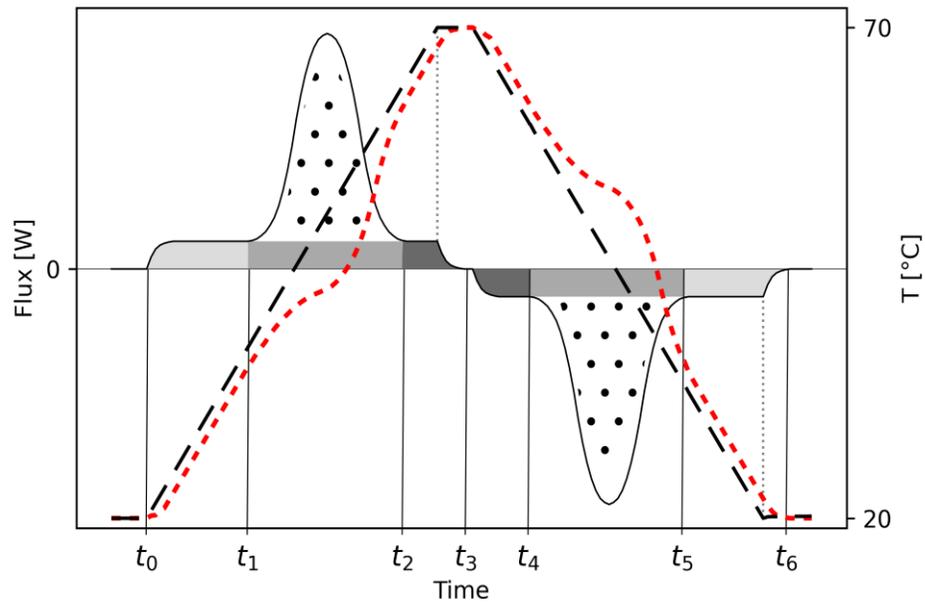


Laboratoire
Génie Civil
et géo-Environnement
Lille Nord de France



FédEsol
FÉDÉRATION DE RECHERCHE
SUR L'ÉNERGIE SOLAIRE

Contact : maxime.thonon@univ-smb.fr



Propriétés du MCP:
 - Etape III : λ_S, λ_L
 - Etape IV : Modèle analytique de changement de phase

Condition initiale ($T_{ini}, \Delta t$) + Conditions limites (β)

Modèle numérique:
 - Propriétés du MCP
 - formulation analytique de la dynamique de changement de phase

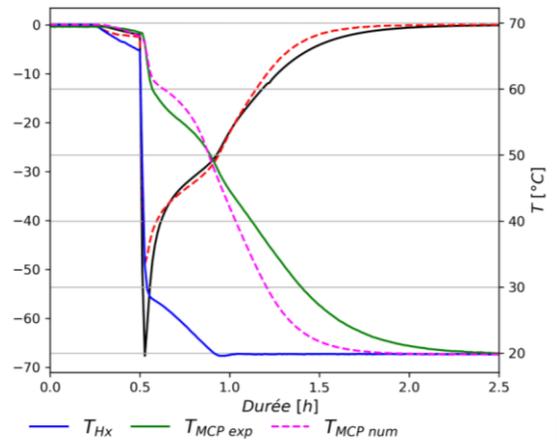
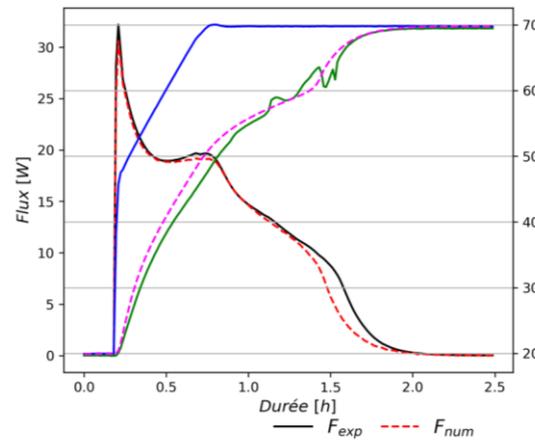
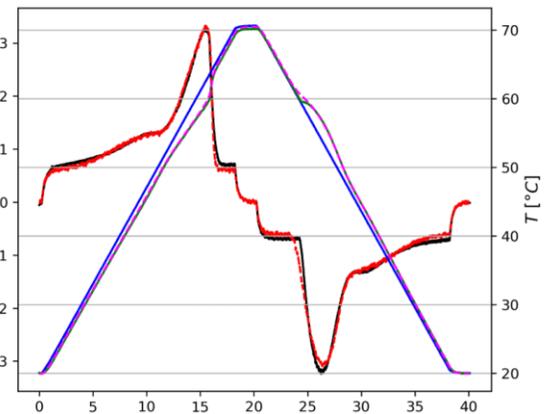
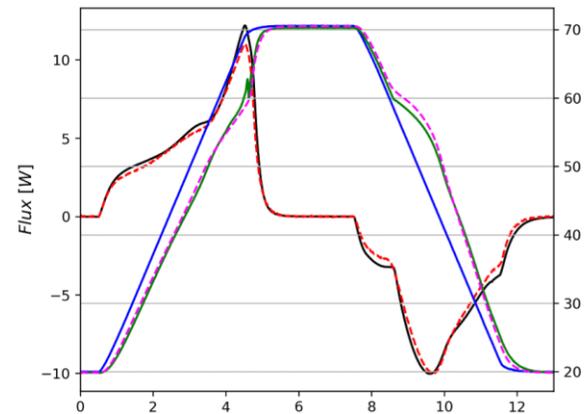
Expériences

Flux numérique
 $\phi_{Num}(t)$

Flux expérimental
 $\phi_{Exp}(t)$

Méthode inverse

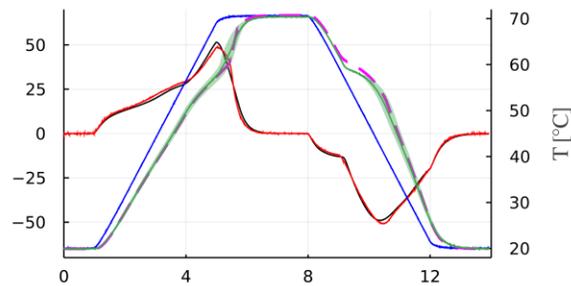
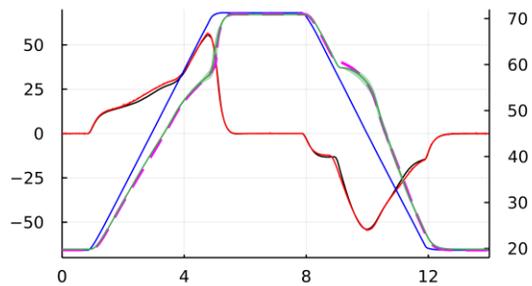
$$\sum_0^{t_{exp}} (\phi_{Num}(t) - \phi_{Exp}(t))^2 \rightarrow 0$$
 (Approche des moindres carrés résoud avec l'aglorithme PSO)



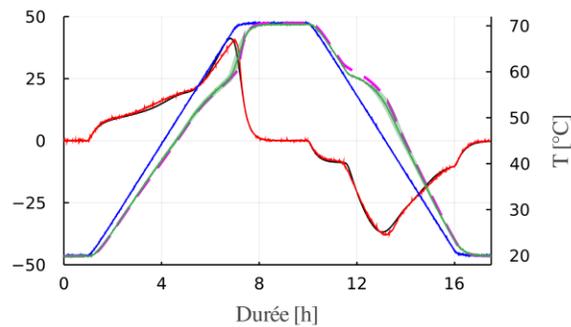
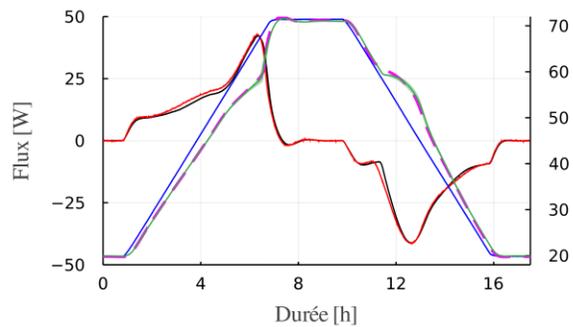
Cavité A

Cavité B

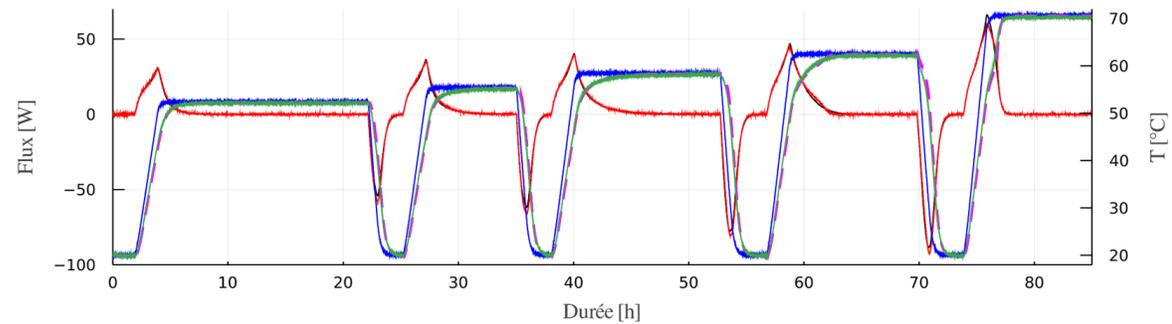
Rampe 4h



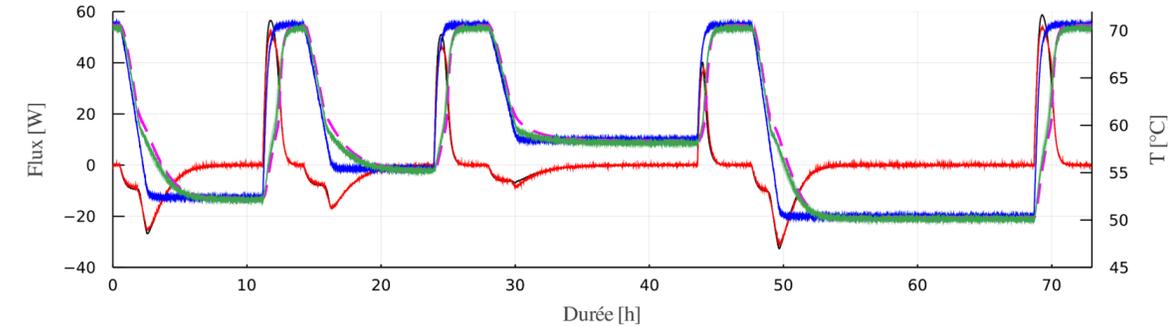
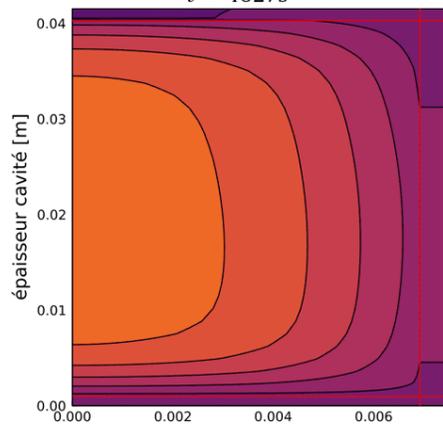
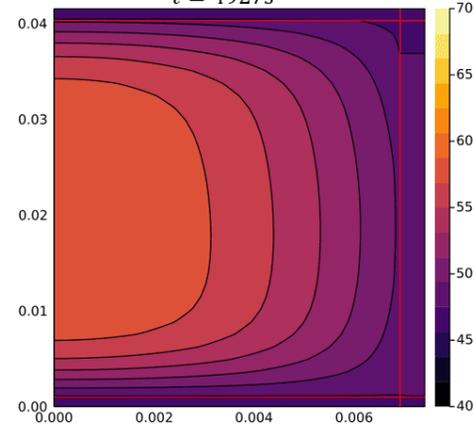
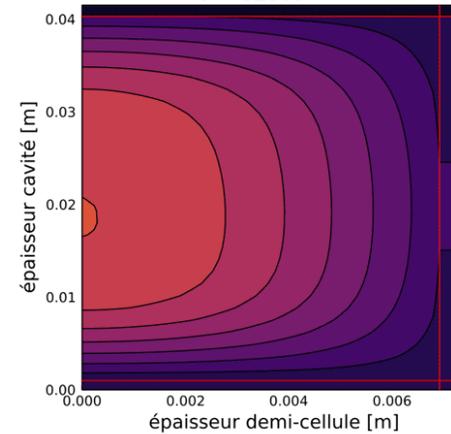
Rampe 6h


 $-F_{num}$ $-F_{exp}$
 $-T_{Hx}$ $-T_{num}$ $-T_{exp}$

Fusions partielles



Solidifications partielles


 $-F_{num}$ $-F_{exp}$ $-T_{Hx}$ $-T_{num}$ $-T_{exp}$
 $t = 4627s$  $t = 4927s$  $t = 5209s$  $t = 5490s$ 