

## Journée Scientifique CODGEPRA 2022

Développement d'un nouveau concept de refroidisseurs à absorption compact et à bas coût : application au cas du rafraichissement solaire pour des climats chauds

le **cnam**  
lafset

Thèse soutenue en 2021 par :  
Amín Altamirano

Dirigée par :

Prof. Benoît Stutz et Prof. Nolwenn Le Pierrès





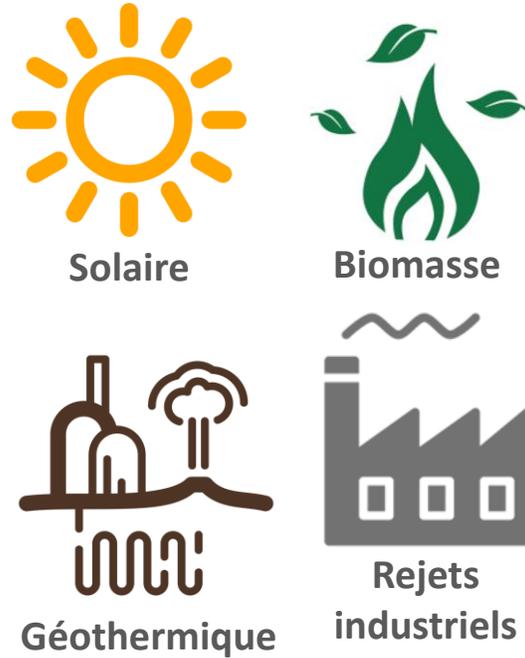
Accueil > Economie > Energie

Pénurie d'électricité : qu'on appelle les "coups de rouges" et comment éviter les coupures cet hiver

Pénurie de carbone : le gouvernement dans les stations



Mathieu Lehot-Couette  
France Télévisions



Source d'Énergie alternatives

... pour économiser le

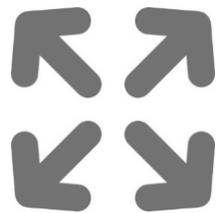
... énergie n'ont jamais été aussi précieux  
... vous permettront de maintenir votre  
... et de respecter l'environnement.

077 à 08h06

... s'adaptent pour passer l'hiver

... équivalente à celle de cinq millions de foyers. Avec la flambée des coûts de  
... et sont contraints de mettre en place des mesures pour réduire leur

# Contexte



Encombrant

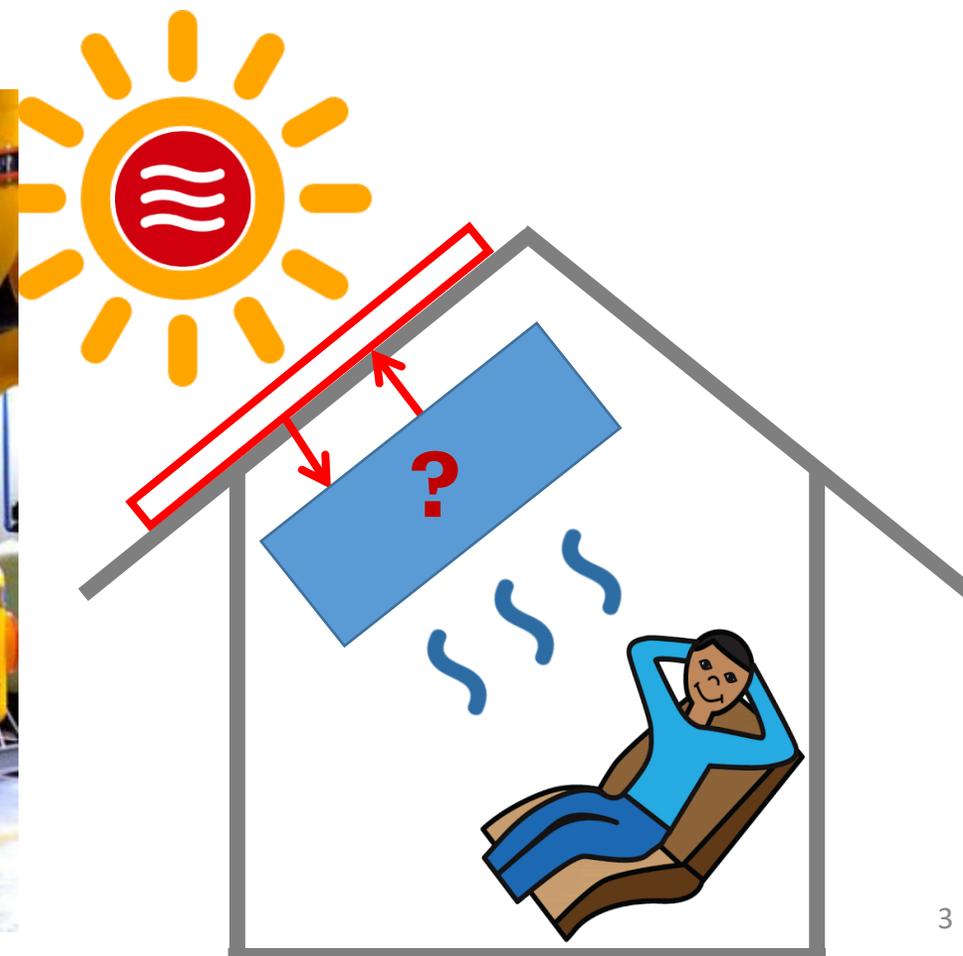


Cher



Fabrication de  
composants  
complexes à la  
demande

## Machine à absorption !



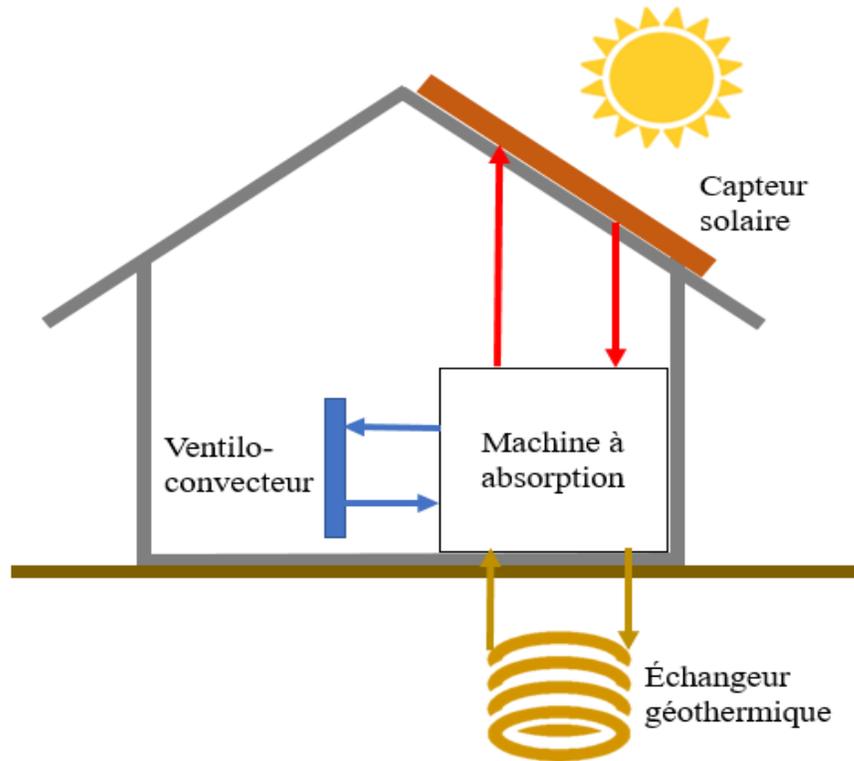
# Objectifs de recherche



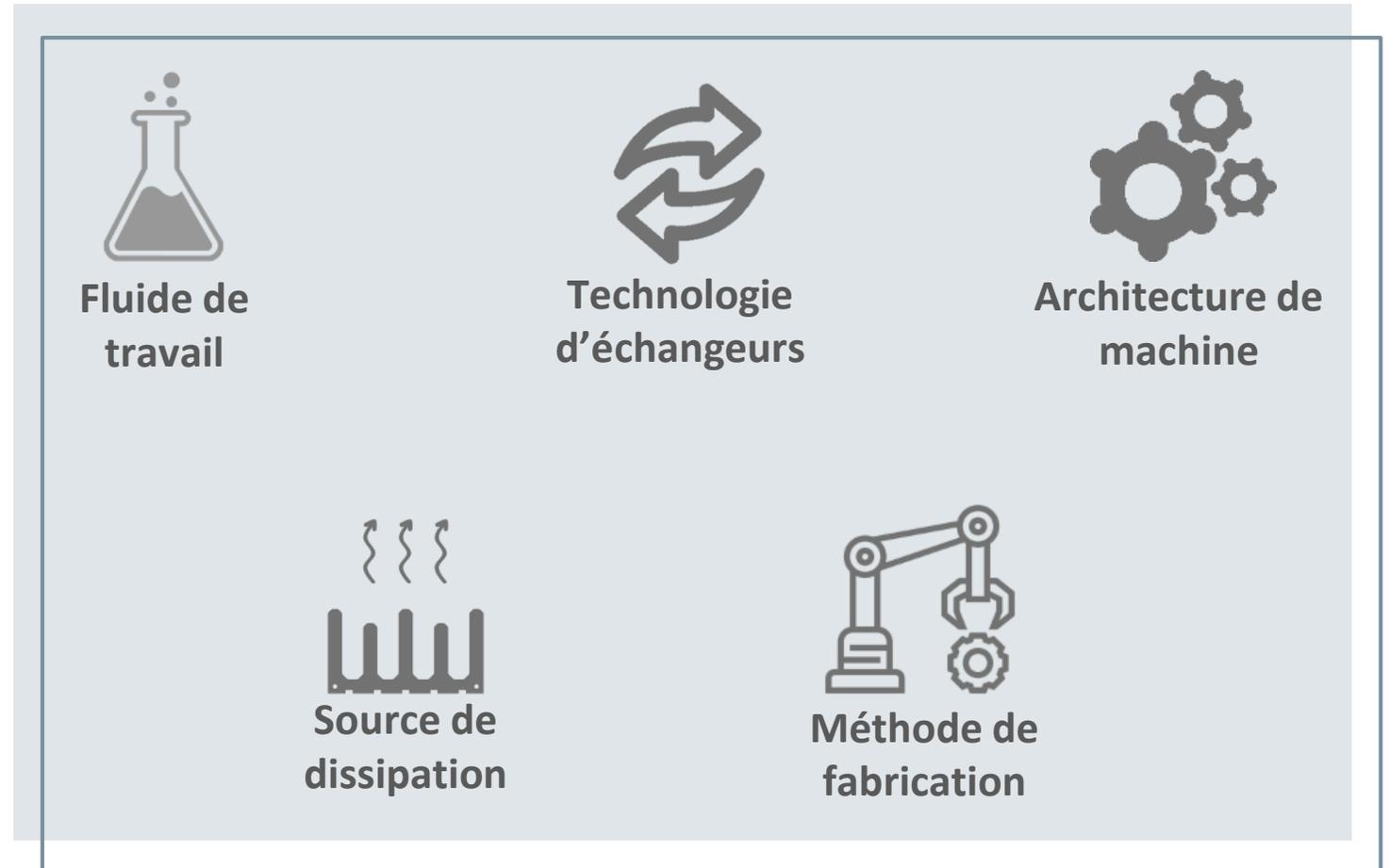
**SENER**  
SECRETARÍA DE ENERGÍA

le **cnam**  
lafset

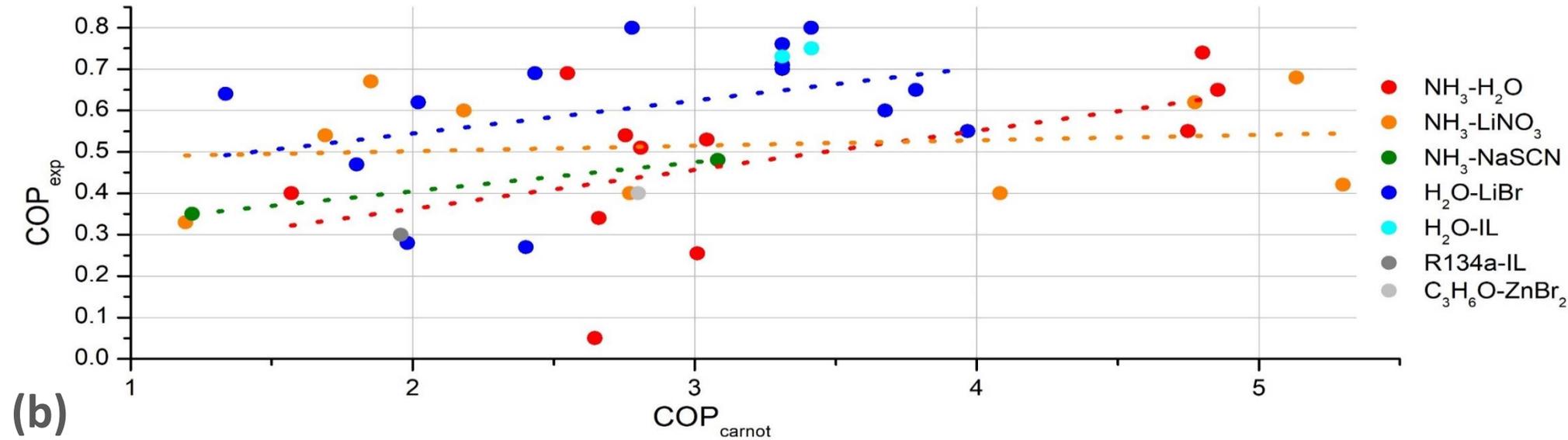
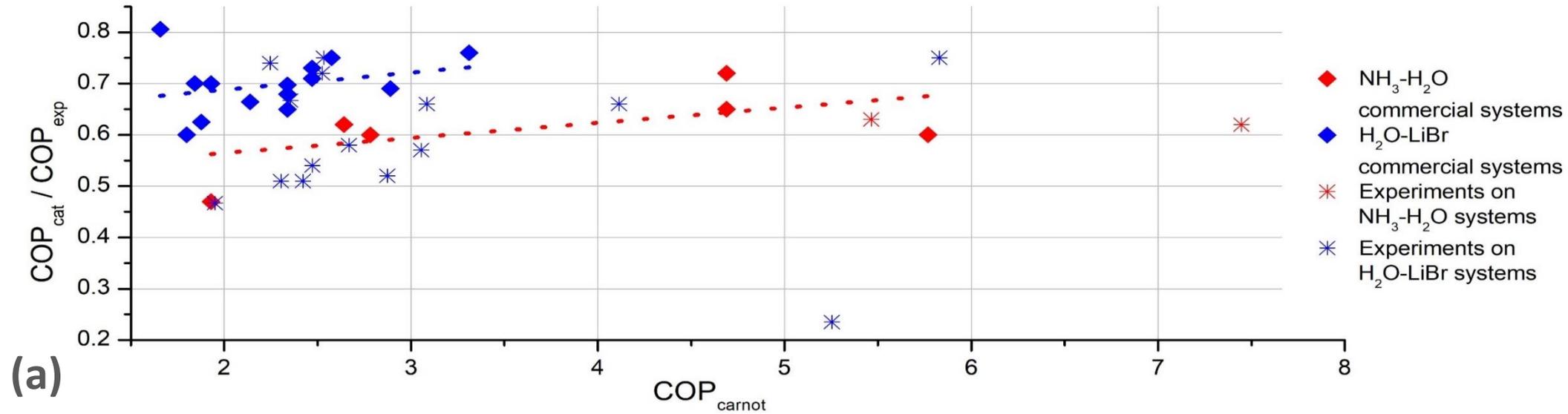
**Objectif :** Développement d'une nouvelle génération de refroidisseurs à absorption compacts et à bas coût.



- ✓ Impact environnemental positif
- ✓ Économiquement intéressant



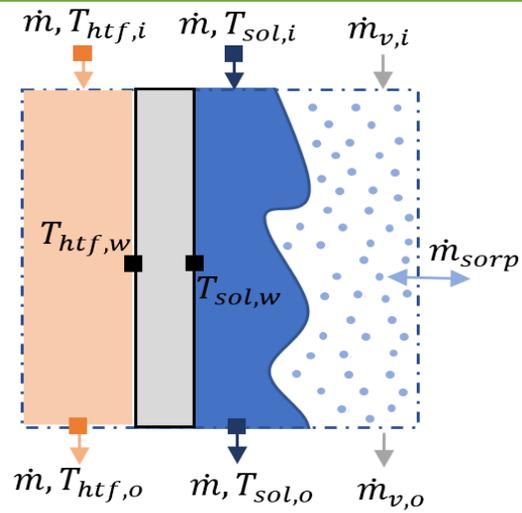
# Fluides de travail



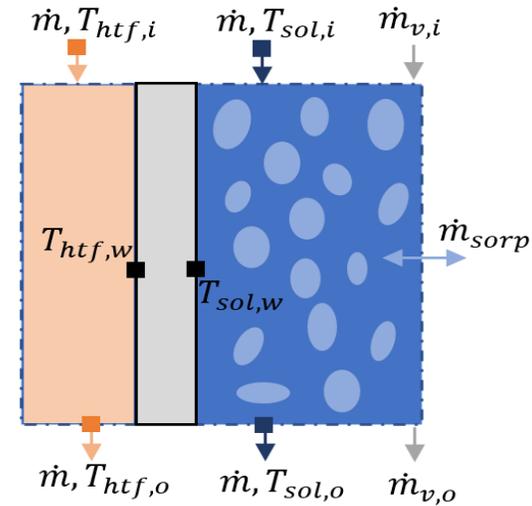
*Laboratory-developed prototypes*

# Echangeurs de chaleur et de masse

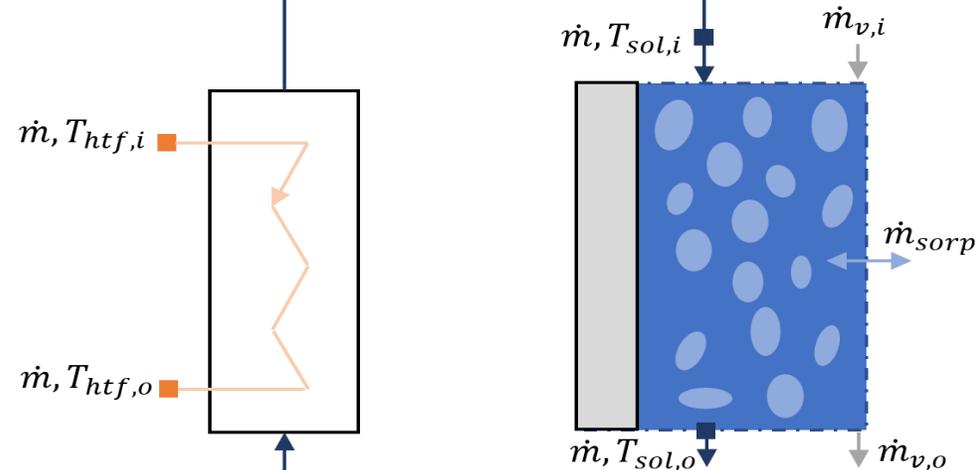
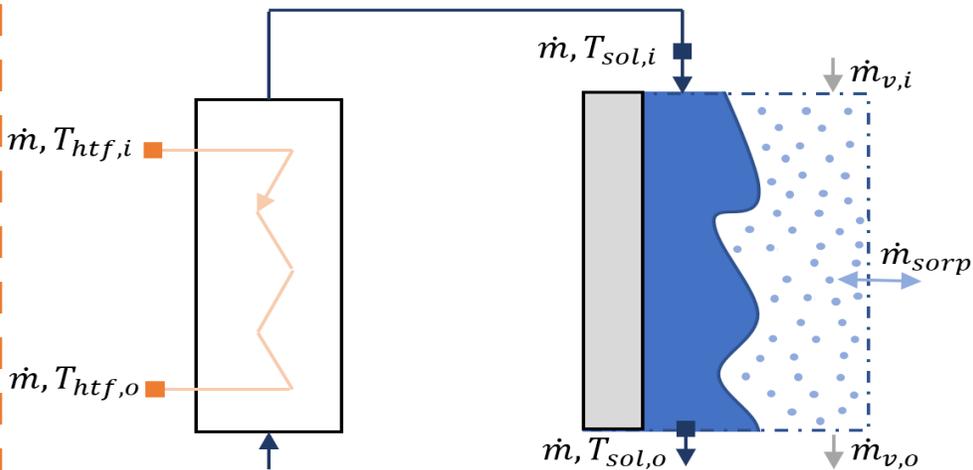
Falling film



Two-phase

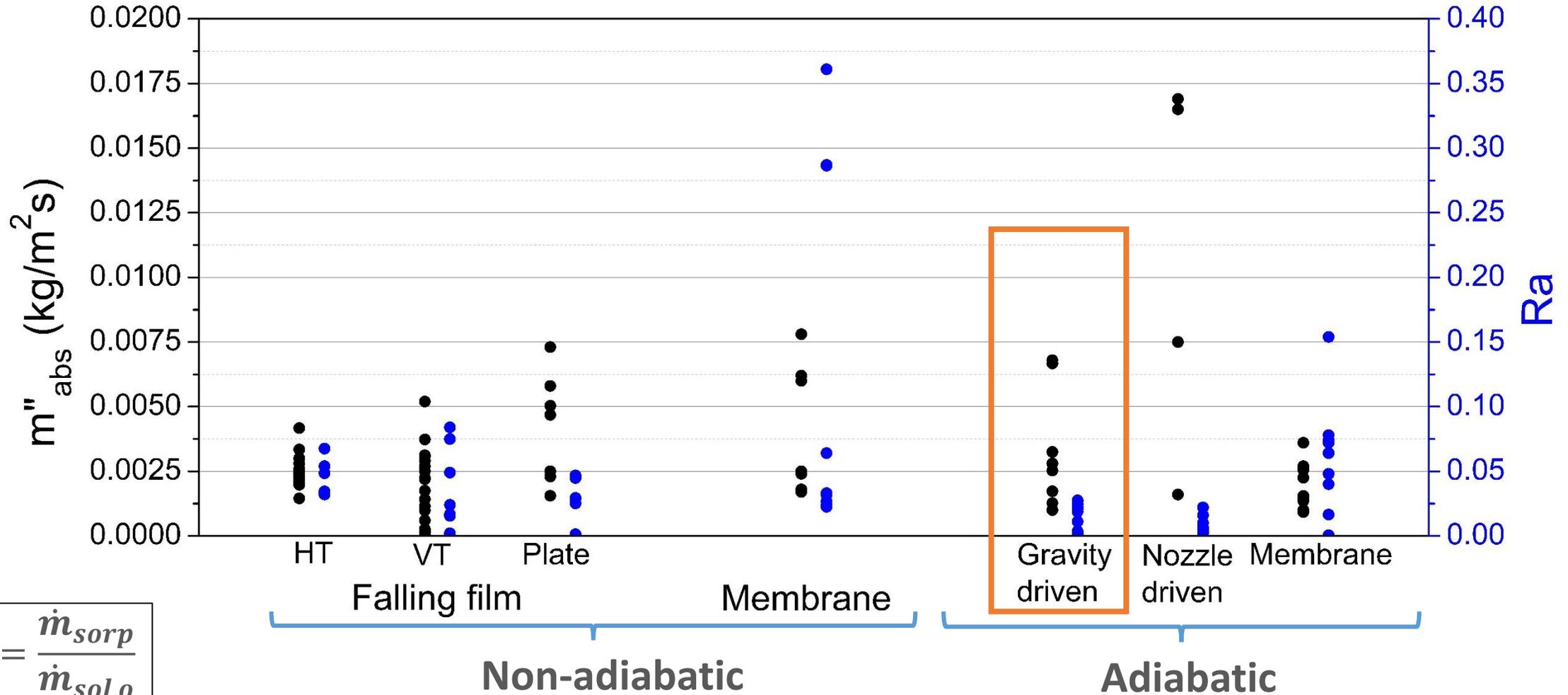


Non-adiabatic



Adiabatic

# Echangeurs de chaleur et de masse



$$Ra = \frac{\dot{m}_{sorp}}{\dot{m}_{sol,o}}$$

# Étude technico-économique

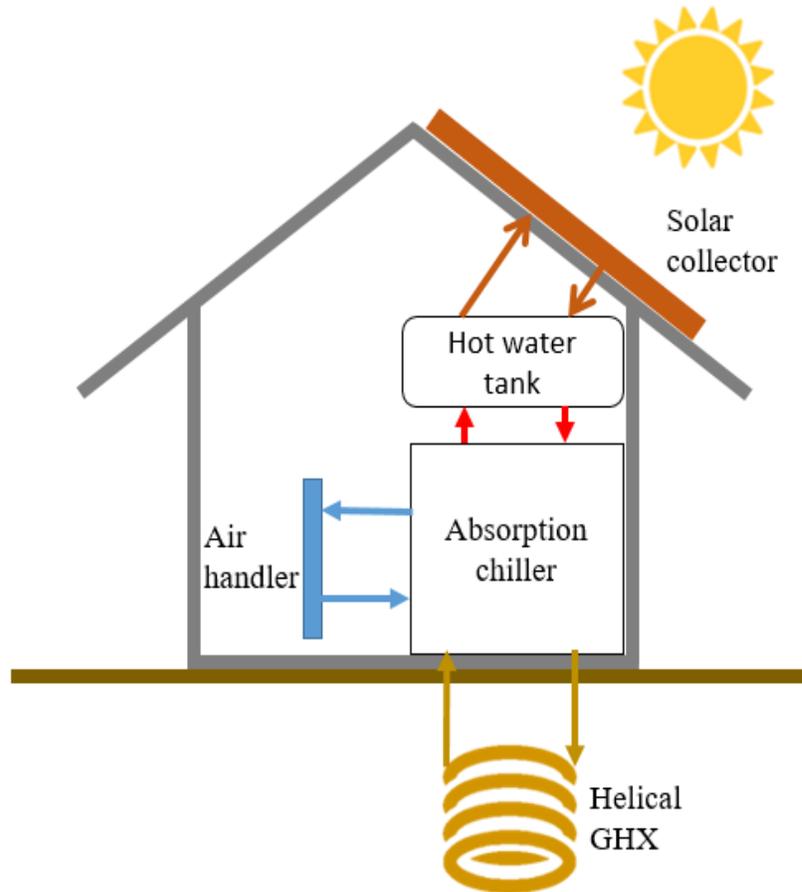
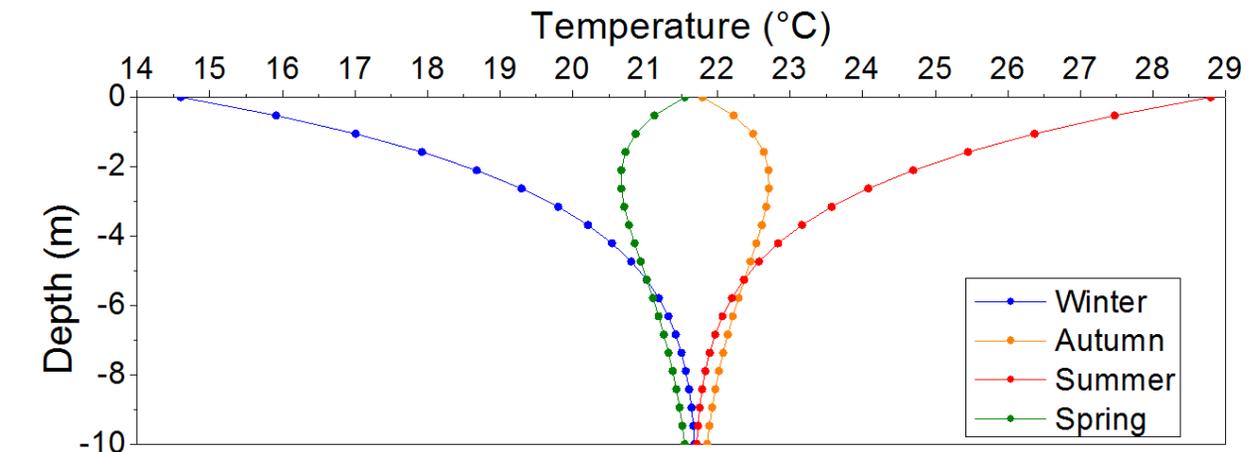
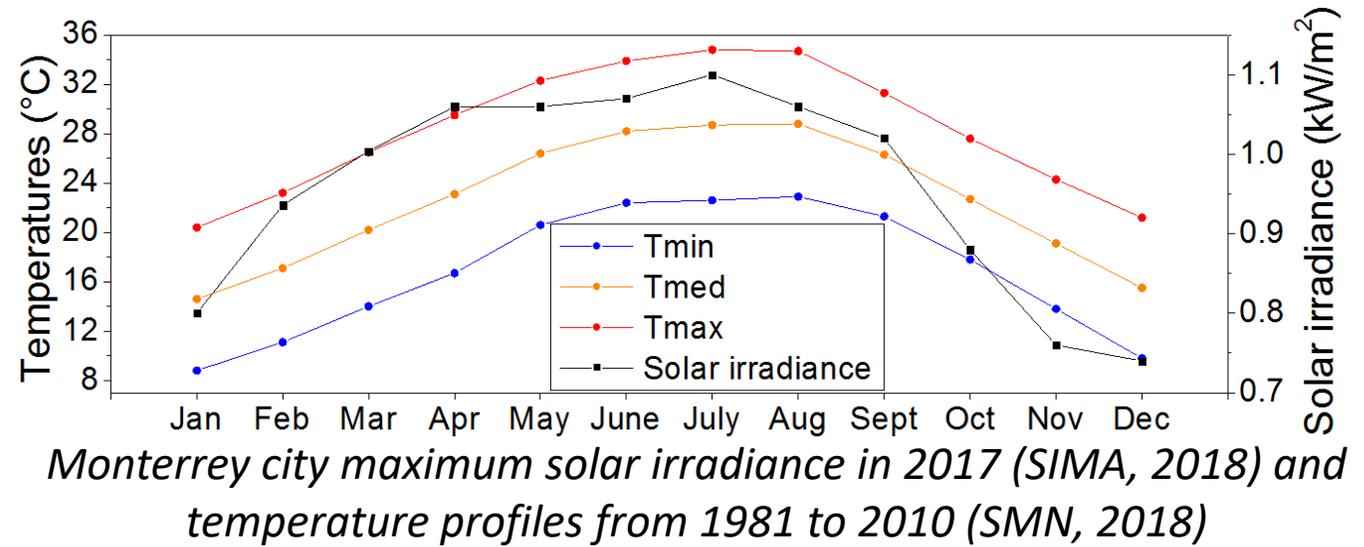
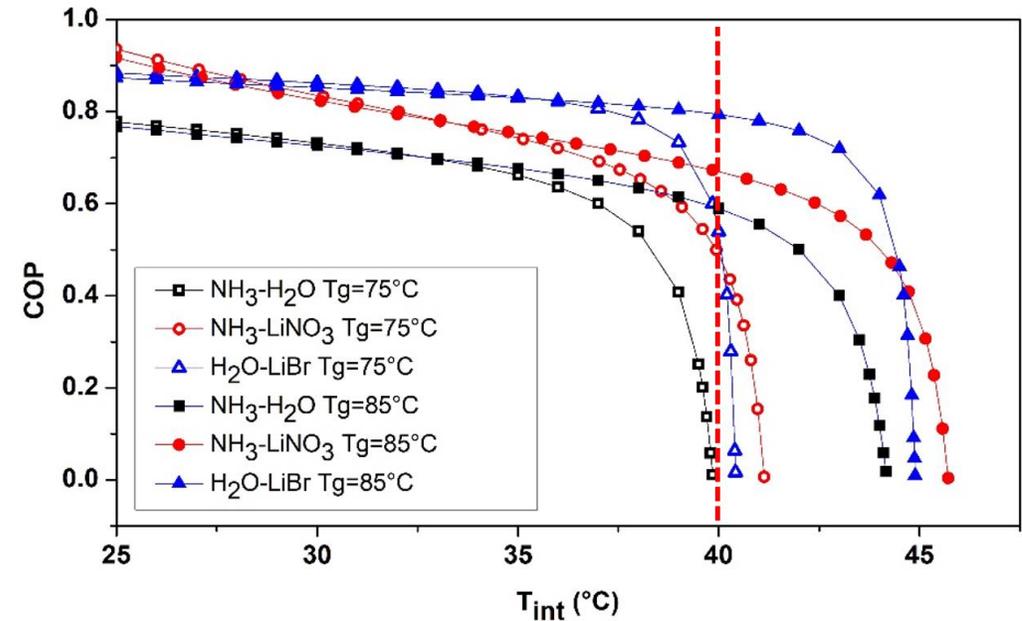
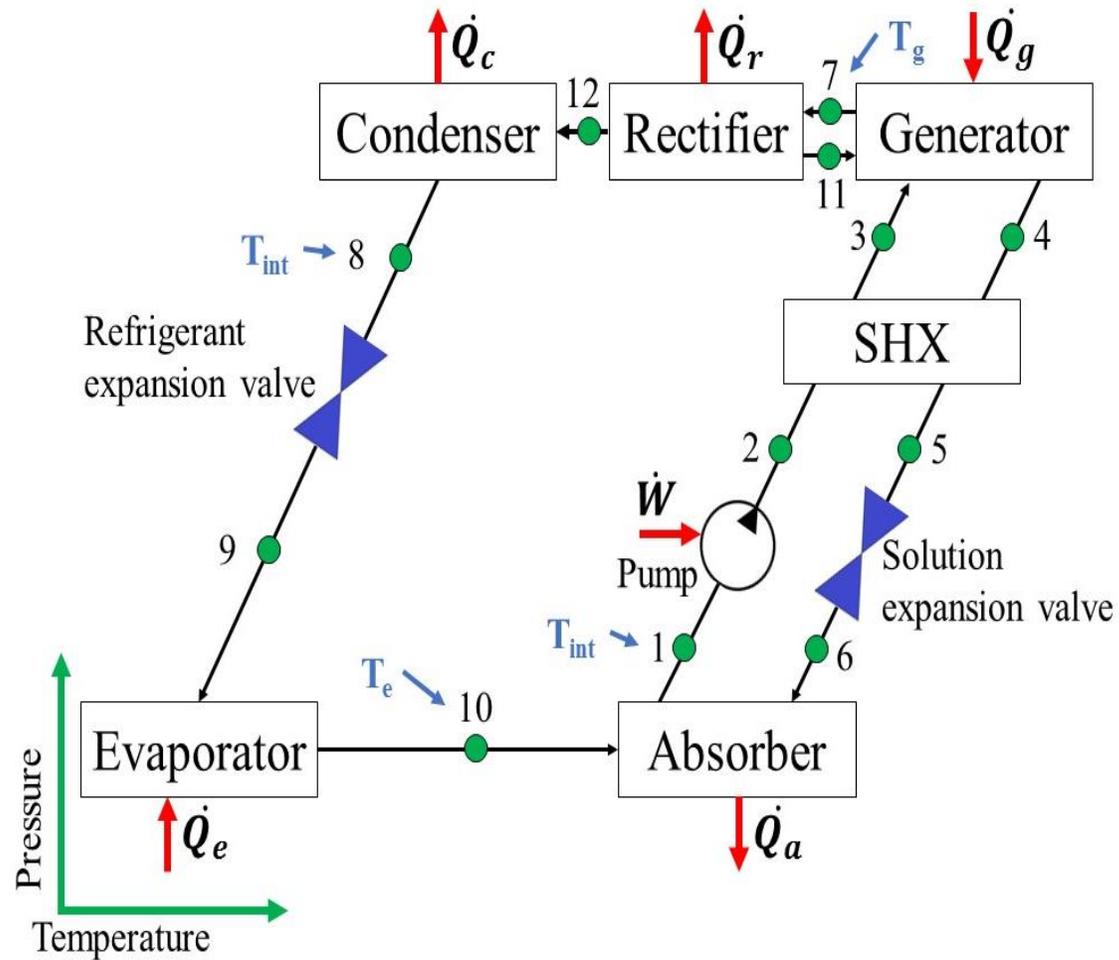


Diagram of the proposed solar-geothermal absorption cooling system.



Underground temperature profile of Monterrey city for different seasons.

# Étude technico-économique



COP profile against intermediate temperature for  $T_g = 85^\circ\text{C}$ .



H<sub>2</sub>O-LiBr with better performances.



Not economically viable under the current conditions.





# Conditions nominales de fonctionnement

- Operating conditions

$$\dot{Q}_e = 5 \text{ kW}$$

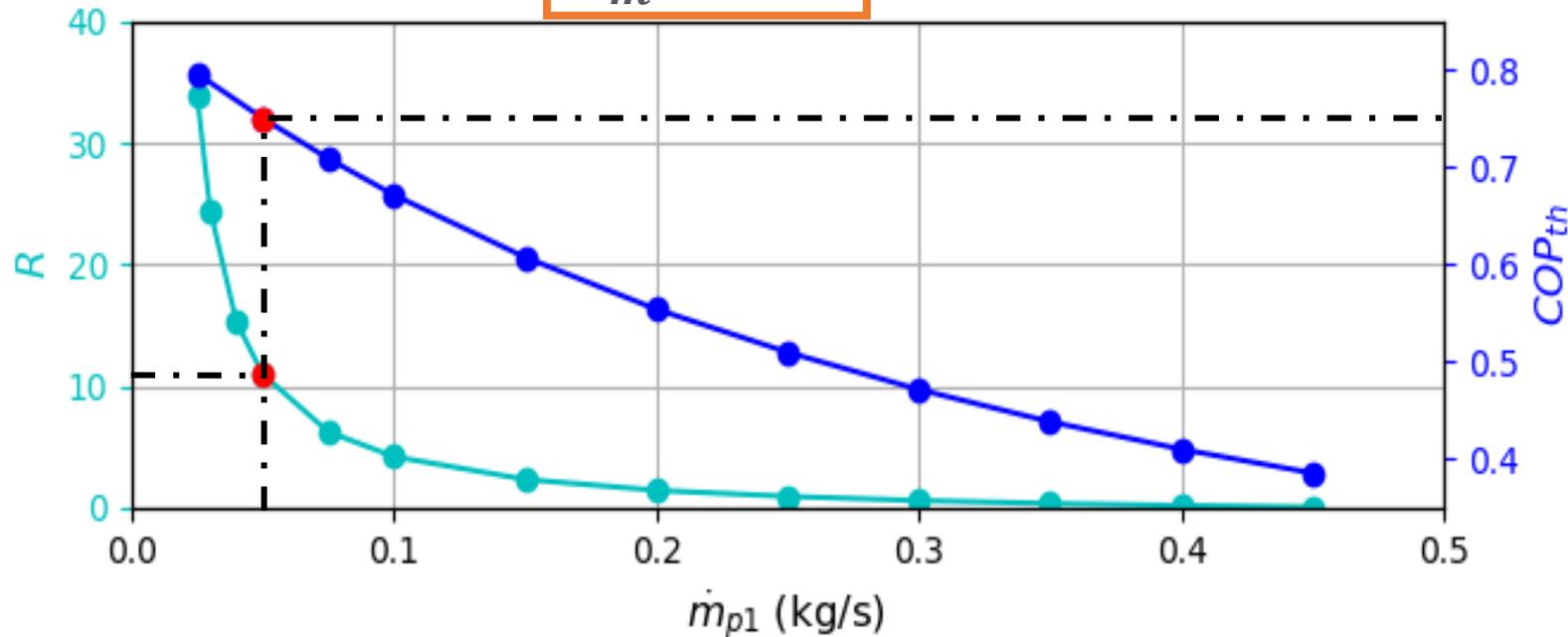
$$T_{htf,e}^i = 15^\circ\text{C}$$

$$T_{htf,int}^i = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{htf,g}^i = 90^\circ\text{C}$$

- The recirculation rate ( $R$ ) to achieve the desired cooling capacity is determined for each solution flow rate ( $\dot{m}_{p1}$ ).
- The nominal solution flow rate ( $\dot{m}_{p1}$ ) corresponds to a  $\text{COP}_{th} = 0.75$ .

$$\varepsilon_m = 0.6$$



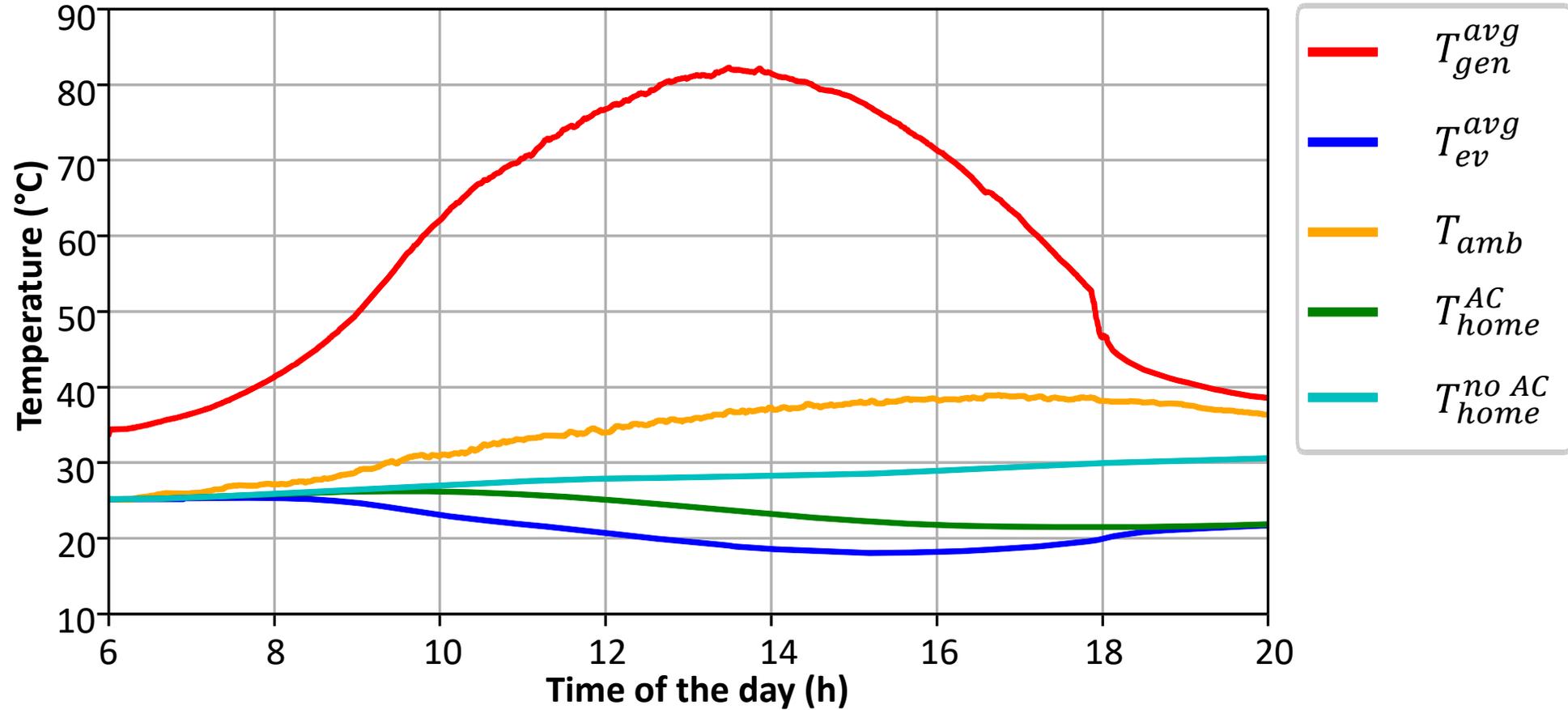
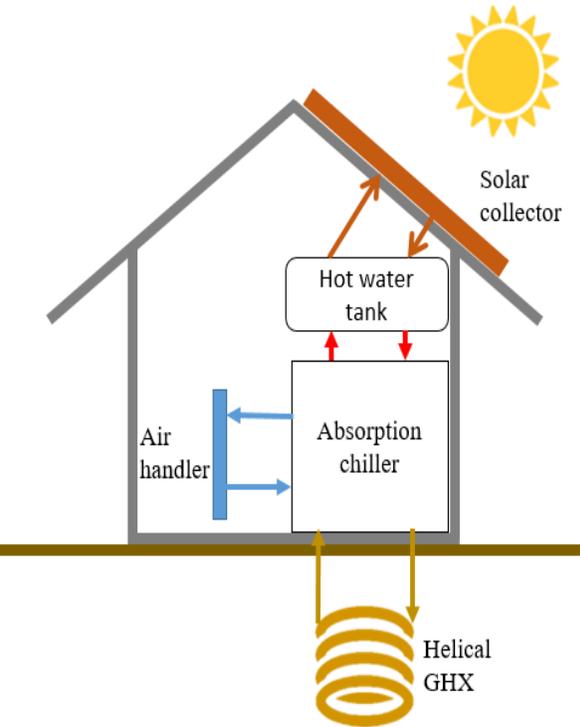
$$\text{COP}_{th} = 0.75$$

$$\text{COP}_{elect} > 30$$

$$\dot{m}_{p1} = 0.05 \text{ kg/s}$$

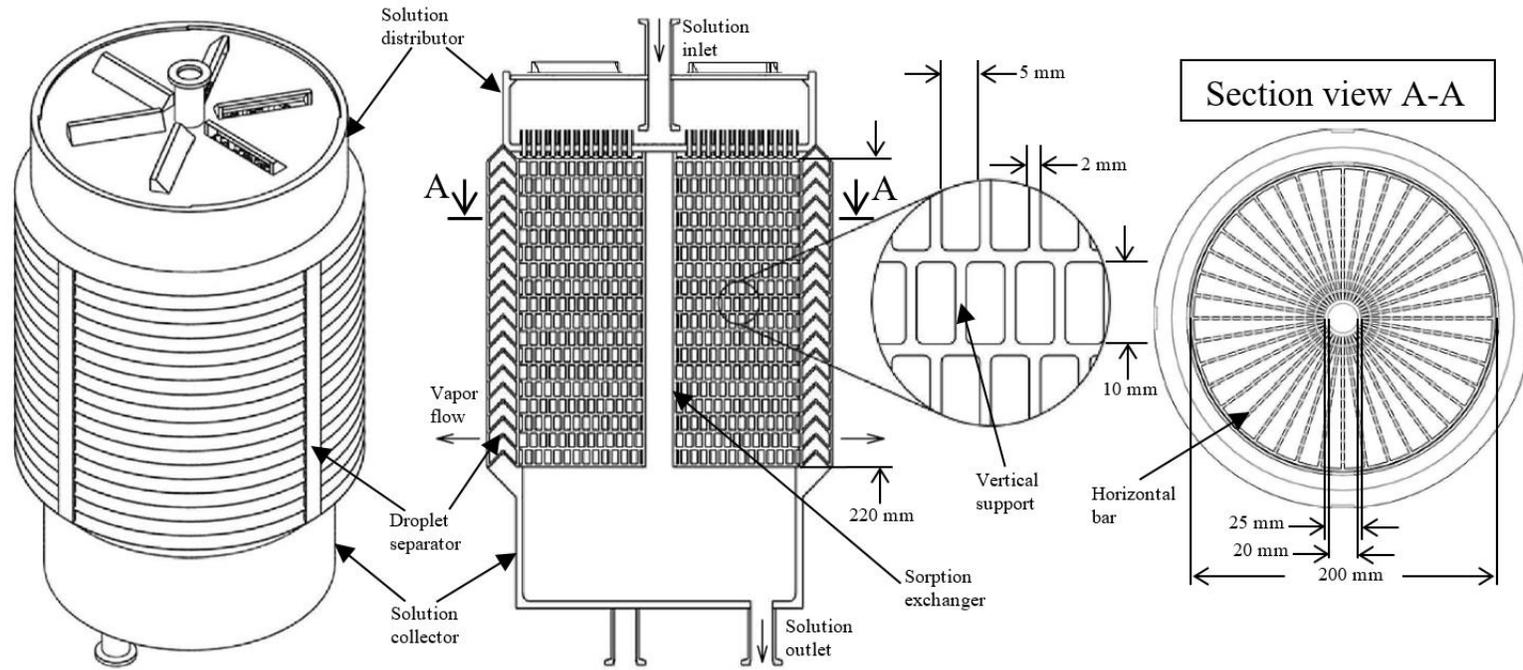
$$R = 11.$$

# Modélisation d'une journée typique d'été



Evolution of the absorption chiller's average external temperatures, the ambient temperature, and home temperature with and without the cooling power.

# Nouveau échangeur de sorption adiabatique



Patented under  
FR N°20/09477

Nominal  
conditions

$$\left. \begin{aligned} \dot{Q}_e &= 2 \text{ kW} \\ \varepsilon_m &= 0.64 \\ P_d &= 6.31 \text{ kPa} \\ \Delta T_{s,i}^{eq} &= 10.37^\circ\text{C} \\ \dot{m}_{s,i} &= 0.24 \text{ kg s}^{-1} \\ x_{s,i} &= 0.579 \end{aligned} \right\}$$

- ✓ Compact
- ✓ 3D printing
- ✓ Low-cost
- ✓ High performance

Doehlert  
design of  
experiments

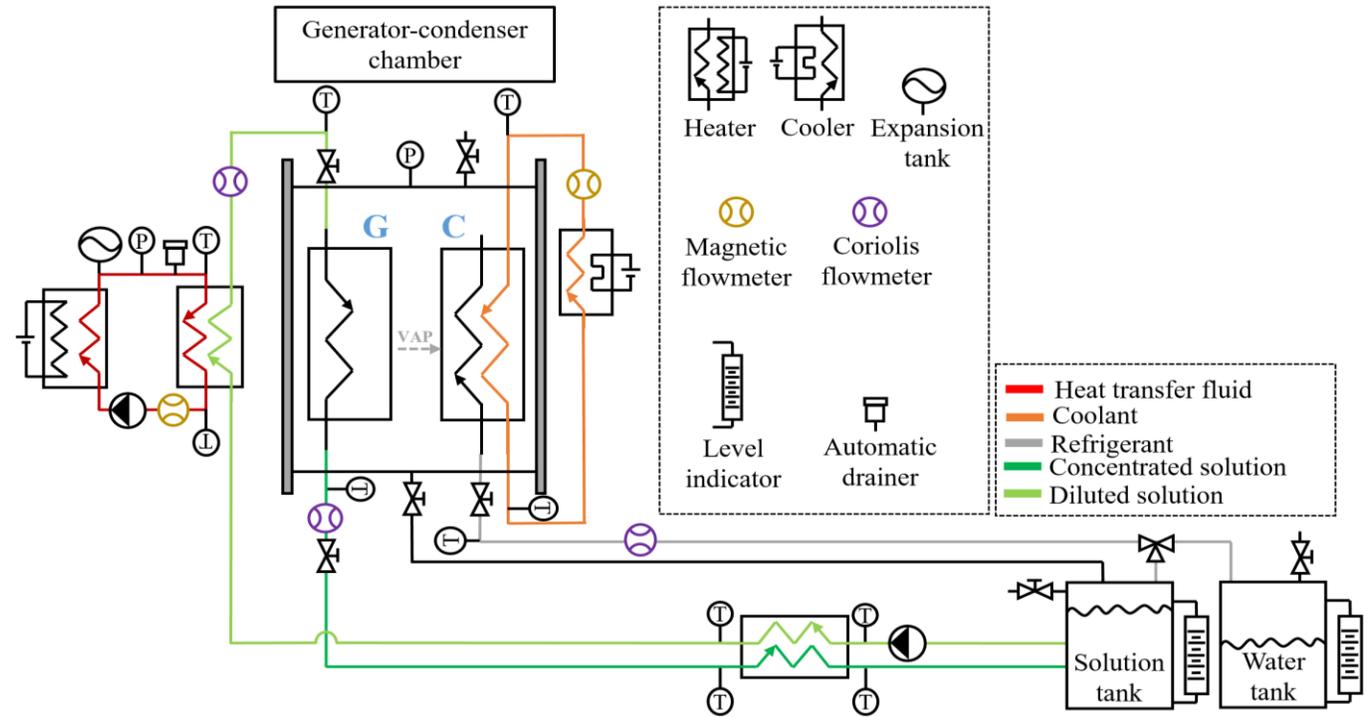
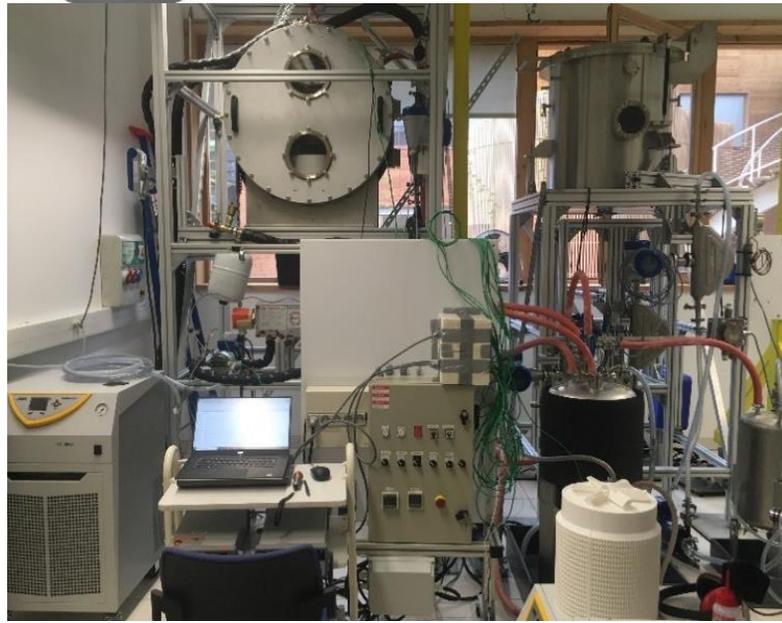
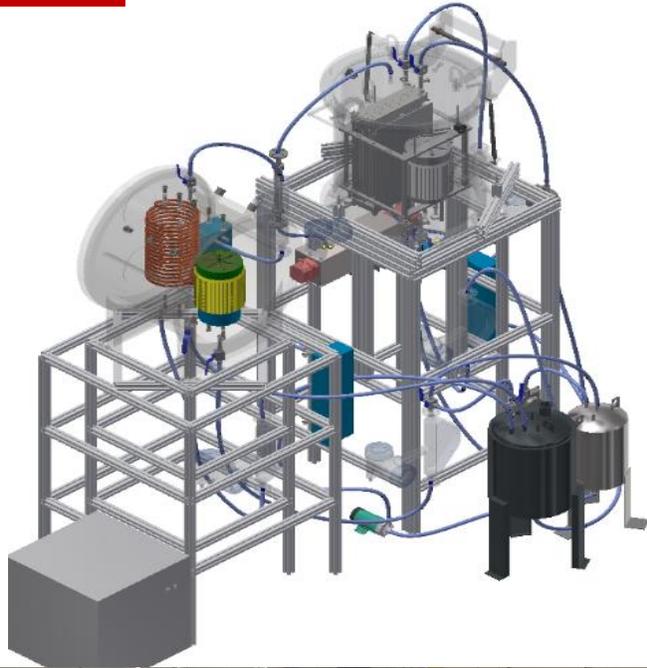
$$\varepsilon_m(P_{des}, \Delta T_{s,i}^{eq}, \dot{m}_{s,i}, x_{s,i}) = \beta_0 + \beta_1 P_{des}^{cv} + \beta_2 \Delta T_{s,i}^{eq,cv} + \beta_3 \dot{m}_{s,i}^{cv} + \beta_4 x_{s,i}^{cv} + \beta_{12} P_{des}^{cv} \Delta T_{s,i}^{eq,cv} + \beta_{13} P_{des}^{cv} \dot{m}_{s,i}^{cv} + \beta_{14} P_{des}^{cv} x_{s,i}^{cv} + \beta_{23} \Delta T_{s,i}^{eq,cv} \dot{m}_{s,i}^{cv} + \beta_{24} \Delta T_{s,i}^{eq,cv} x_{s,i}^{cv} + \beta_{34} \dot{m}_{s,i}^{cv} x_{s,i}^{cv} + \beta_{11} P_{des}^{cv^2} + \beta_{22} \Delta T_{s,i}^{eq,cv^2} + \beta_{33} \dot{m}_{s,i}^{cv^2} + \beta_{44} x_{s,i}^{cv^2}$$



Complete characterization with an optimized number of tests.

$$\dot{m}_{s,i} \quad x_{s,i} \quad \Delta T_{s,i}^{eq} \quad P_d$$

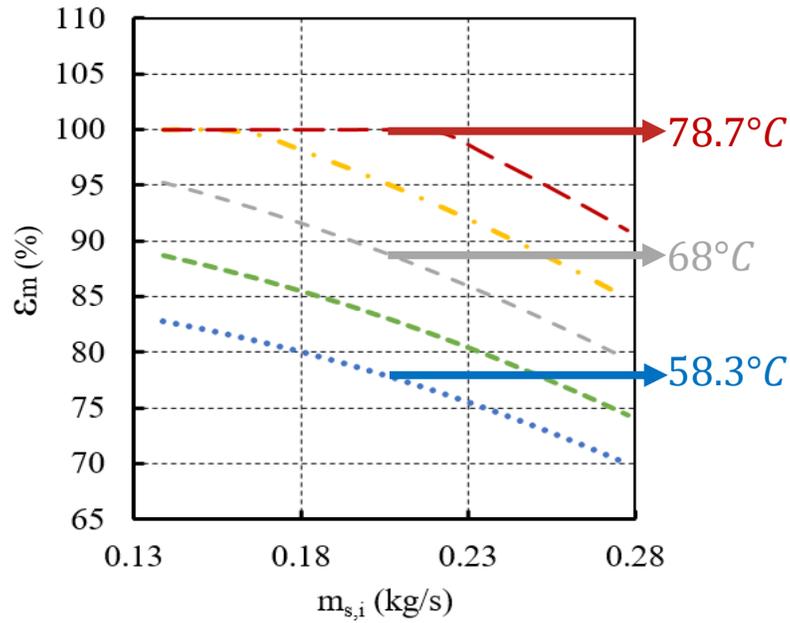
# Banc d'essais



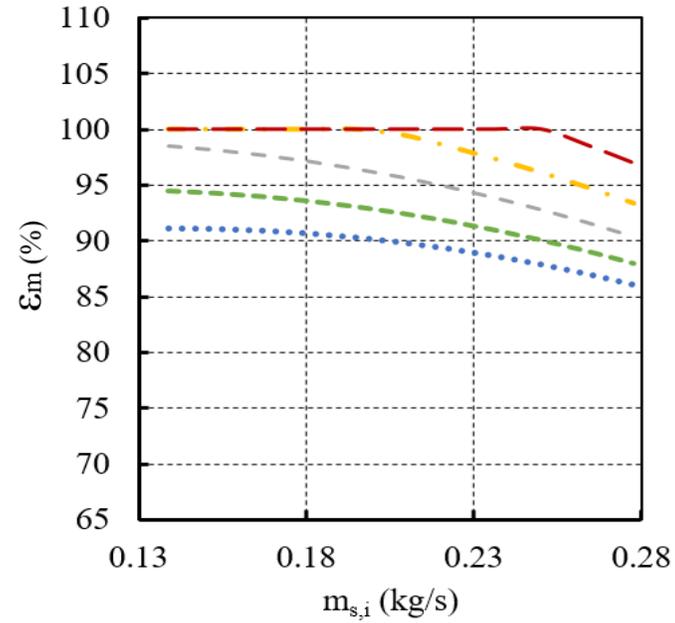
Schematic diagram of experimental facility

$P = 4.75 \text{ kPa}$

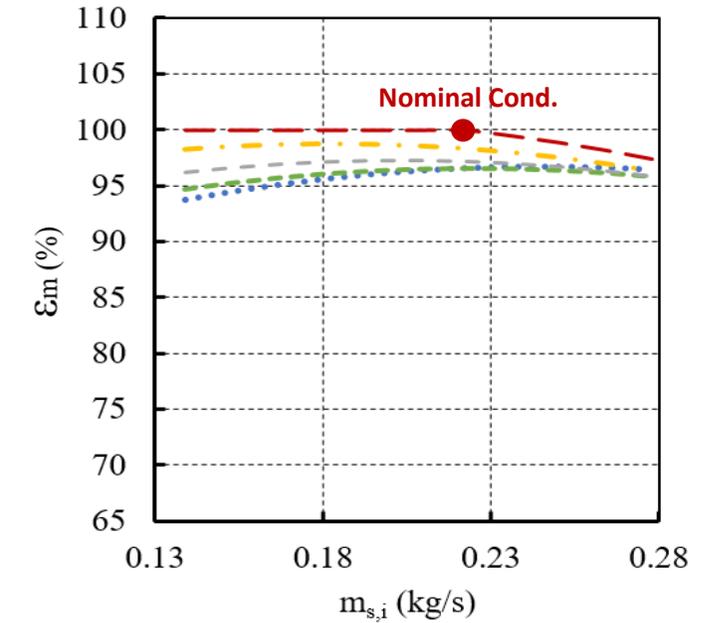
$\Delta T_{eq} = 2^\circ\text{C}$



$\Delta T_{eq} = 6^\circ\text{C}$



$\Delta T_{eq} = 10^\circ\text{C}$



Operation at  $\epsilon \sim 100\%$  at the nominal design conditions.

# Principales conclusions

## Etat de l'art



H<sub>2</sub>O-LiBr reste le **leader** pour les applications de **froid positif**.



NH<sub>3</sub>-LiNO<sub>3</sub> semble être une bonne **option pour remplacer l'NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O** pour des applications de **froid négatif**.



Le potentiel des **échangeurs de sorption adiabatiques à circulation par gravité** a été identifié.

## Paramètres d'évaluation de la performance



**Pas de paramètre de caractérisation standard** pour les échangeurs de sorption.



Utilisation des **efficacités massique et thermique** :

- ✓ **Identification des composants limitants** dans le système.
- ✓ Étude des **conditions hors-équilibre** de la solution.
- ✓ Identification d'opportunités du **COP<sub>el</sub>** de la machine.

## Etude de viabilité



Si bien qu'il est **techniquement viable**, un refroidisseur à absorption **solaire-géothermique résidentiel ne semble pas être économiquement viable** dans les conditions actuelles (besoin de réduire le **coût de fabrication** des machines à absorption).

## Proposition innovante



Un **refroidisseur à absorption innovant bi-adiabatique** a été proposé.

- ✓ **Transfert de chaleur** effectué dans des échangeurs compacts et pas chers du commerce.
- ✓ **L'amélioration du transfert de masse** est traitée séparément.



La **géométrie proposée** semblerait pouvoir fournir des conditions de **température confortables** d'après le modèle dynamique développé.



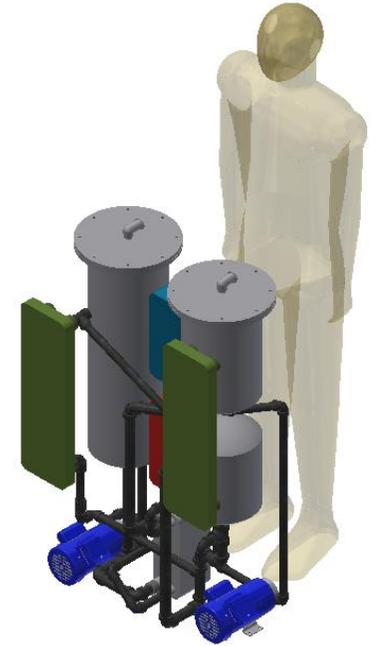
**Echangeur de sorption à film tombant adiabatique breveté.**

- ✓ **Contourner** la production en masse par l'impression **3D**.
- ✓ Fabrication à **faible coût**.
- ✓ **Efficacité massique très élevée** (proche de un pour les **conditions nominales**).
- ✓ **Structure compacte et robuste**.
- ✓ **Pas de pertes de charge**.

# Valorisation

## PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- 1 brevet (inventeur principal)
- 4 articles de journaux internationaux de rang A (premier auteur)
- 3 conférences internationales avec publication des actes (premier auteur)
- 3 conférences nationales et séminaires (premier auteur)

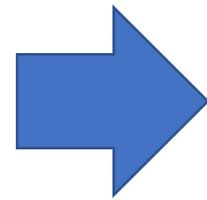


## TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

Link*Si*um

2017-2021 : Thèse

En cours : Étape d'incubation



1 étude de marché

1 brevet



1 étude de marché approfondi

1 validation de concept

# Ouverture à l'international



## InnoEnergy PhD School

Formation



Mobilité à l'international



## École Internationale d'Été sur les Énergies Renouvelables

2018



## Projet Interreg PACs-CAD



Interreg  
France - Suisse



## Tâche 65 de l'AIE



# Remerciements



**Amín ALTAMIRANO**

 **+33 (0)1 40 27 24 54**

 **[amin.altamirano-cundapi@lecnam.net](mailto:amin.altamirano-cundapi@lecnam.net)**

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

***Journée Scientifique CODGEPRA 2022***

**24 novembre 2022**