



**HAL**  
open science

## Modélisation des performances thermiques d'un évaporateur solaire

Romain Fillet, Vincent Nicolas, Alain Celzard, Vanessa Fierro

► **To cite this version:**

Romain Fillet, Vincent Nicolas, Alain Celzard, Vanessa Fierro. Modélisation des performances thermiques d'un évaporateur solaire. Julien Pellé; Céline Morin; Damien Méresse. Congrès Annuel de la Société Française de Thermique 2022, May 2022, Valenciennes, France. Société Française de Thermique, pp.665-672, 2022. hal-04376125

**HAL Id: hal-04376125**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-04376125v1>**

Submitted on 6 Jan 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Modélisation des performances thermiques d'un évaporateur solaire



Romain FILLET, Vincent NICOLAS\*, Alain CELZARD, Vanessa FIERRO\*

## Évaporation solaire : Contexte et objectif

Un Français utilise environ 137 L d'eau par jour dont 10 L pour boire et faire la cuisine (Source : ADEME).

L'évaporation solaire passive :

- Est un phénomène **surfacique**
- Nécessitant une source de lumière **solaire**
- Nécessitant un matériau **poreux**
- Nécessitant une surface hautement **absorbante**
- Permettant la production d'eau **pure et dépolluée**

**Objectif : Modéliser** l'évaporation de l'eau sur une **mousse de tannin** déjà caractérisée pour mieux **comprendre** l'évaporation solaire et l'**optimiser**

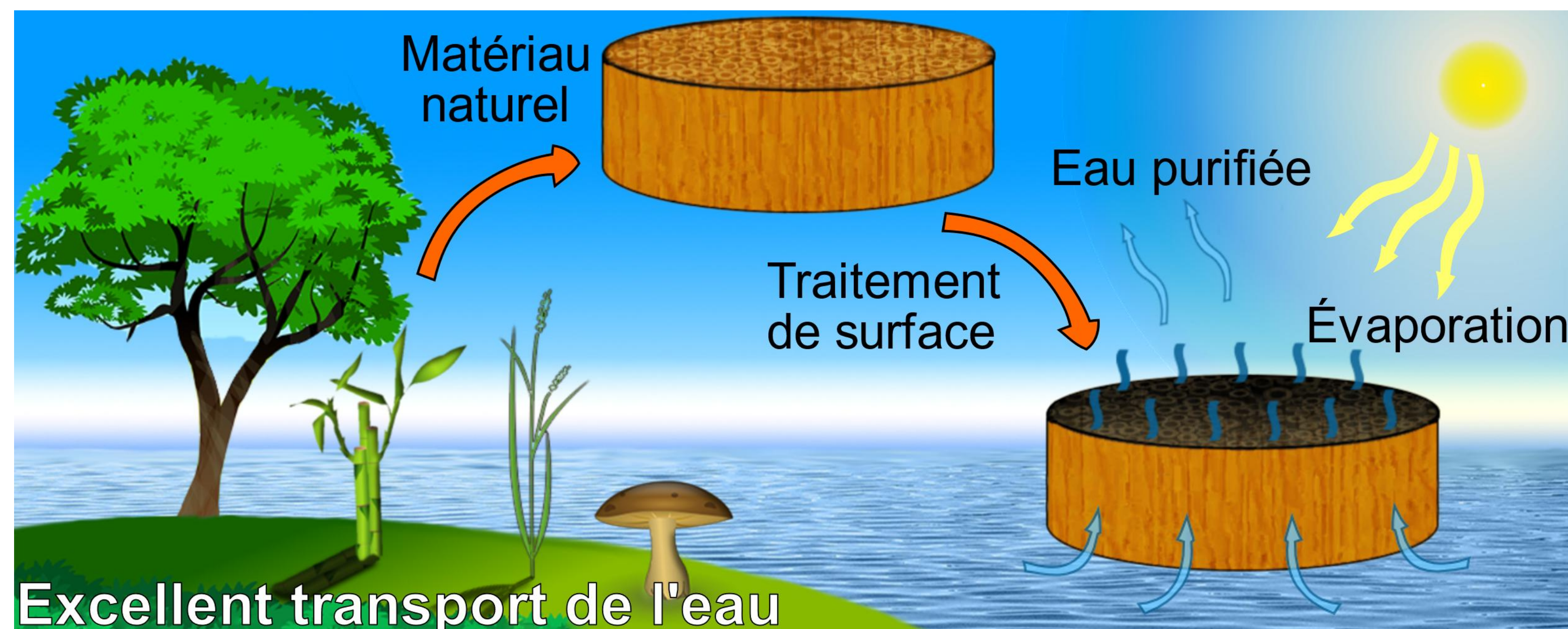


Figure 1 – Présentation de l'évaporation solaire : de la nature au système

## Etude expérimentale et développement d'un modèle numérique

### Expérience

Mousse de tannin placée à la surface de l'eau.

Mesure de la **masse** du béccher rempli d'eau et des **températures** de l'eau (thermocouple) et de la **surface de la mousse** (caméra thermique).

Utilisation de 3 périodes d'ensoleillement différentes : **0.7, 1 et 1.3 sun**

Durée d'une période : **3300 secondes**

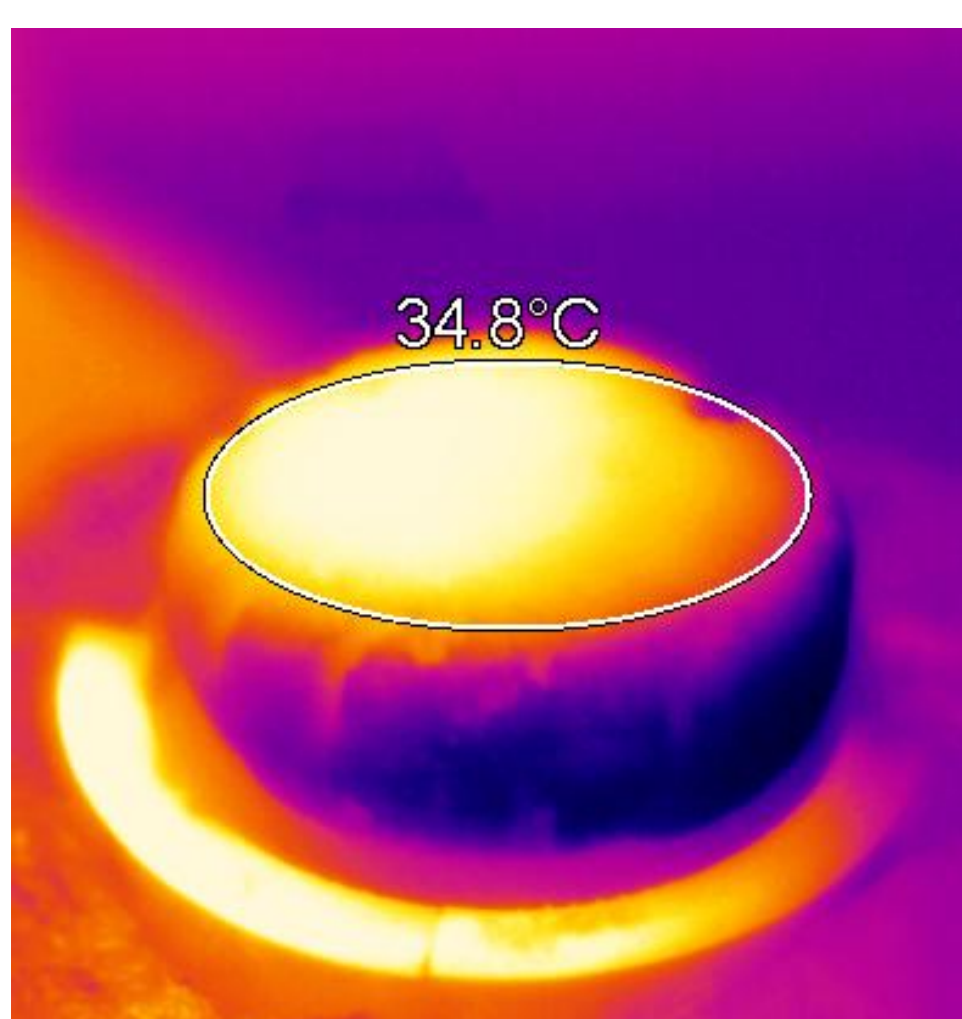


Figure 2 – Image de caméra thermique durant l'évaporation à 1 sun

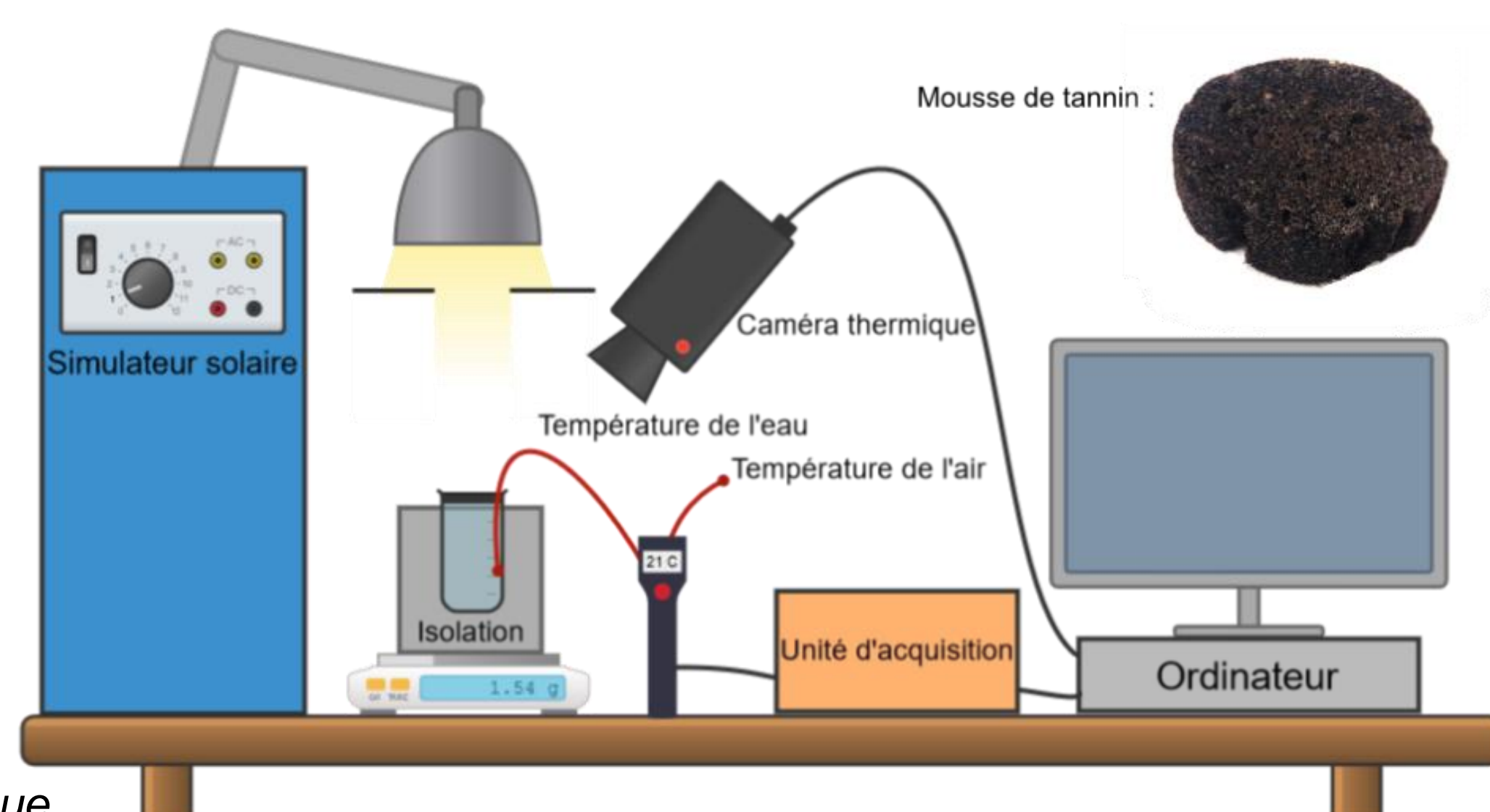


Figure 3 – Montage expérimental

### Modèle 2D axisymétrique

Transfert de l'eau et de la vapeur (conservation de la masse) :

$$\rho_w \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{m}_w) = 0 \quad \text{avec} \quad \vec{m}_w = -\rho_w D_w \vec{\nabla} \varepsilon_1$$

Transfert de la chaleur (conservation de l'énergie) :

$$\rho_m c_{p,m} \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (-\lambda_m \vec{\nabla} T + \vec{m}_w c_{p,w} (T - T_{ref})) = 0$$

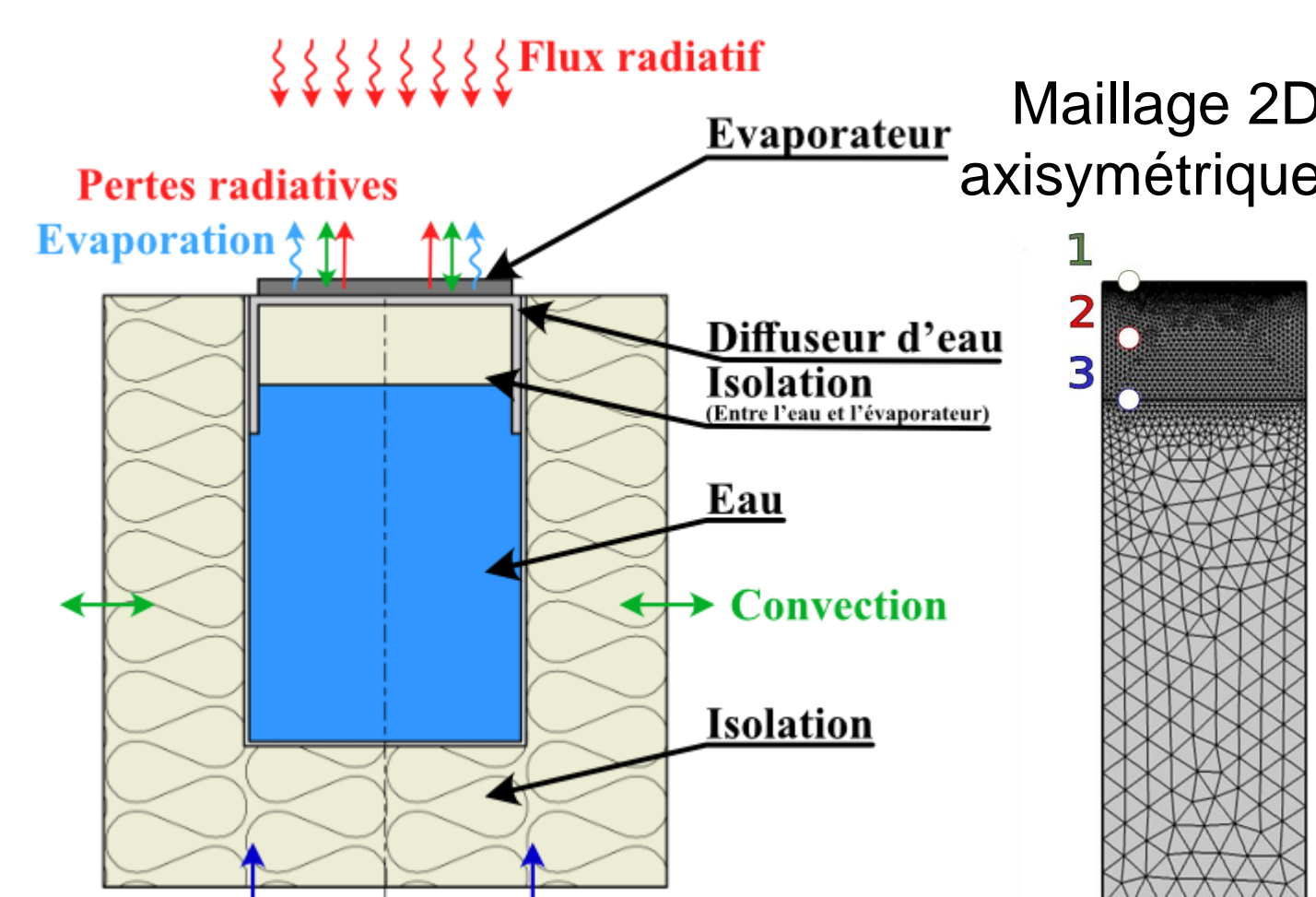


Figure 4 – Système, phénomènes physiques et maillage

Le flux **d'évaporation** à la surface est issu de la différence de concentration en vapeur entre la surface et l'air :

$$F_m = -k_m \frac{M}{R} \left( \frac{p_w^{v,sat}}{T} a_w - H_R \frac{p_a^{v,sat}}{T_a} \right)$$

Calcul de l'**efficacité** :

$$\eta = \frac{\dot{m} [h_v + c_{p,v} (T - T_{ref})]}{P_{sun}}$$

## Résultats et discussion

### Validation du modèle numérique

Les variations **mesurées** de masse d'eau et de température sont en **accord** avec la **simulation**.

La **dynamique** du phénomène est **conservée** dans la simulation.

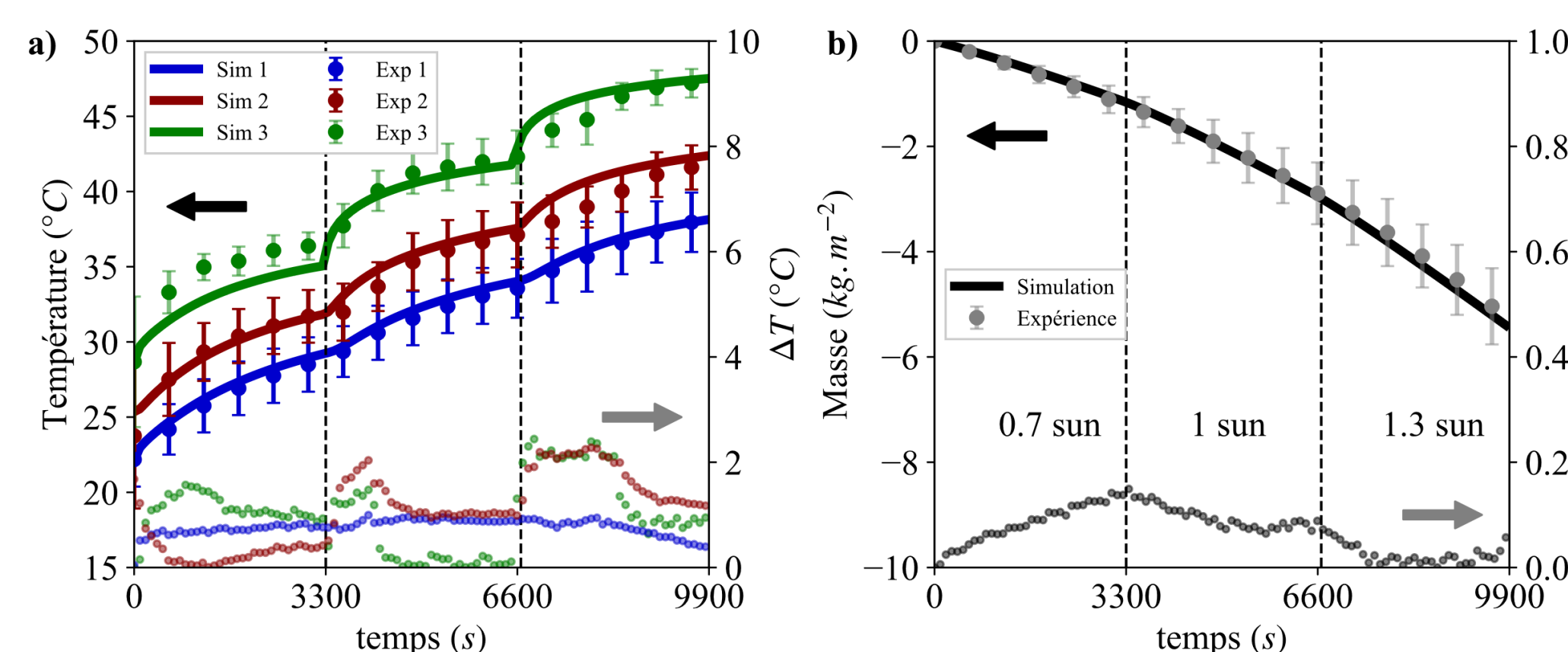


Figure 5 – Températures et masse d'eau expérimentales et simulées sur les trois périodes de validation (0.7, 1 et 1,3 sun)

Évaporation moyenne de **0.75 kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>** d'eau dépolluée

Efficacité moyenne de **49%**

### Potentiel d'évaporation

Calcul du potentiel d'évaporation pour le 21 Juin 2021 à Paris (48° N de Latitude). Les paramètres pris en compte sont :

- Le rayonnement solaire qui change en fonction de l'heure
- L'humidité de l'air
- La température de l'air

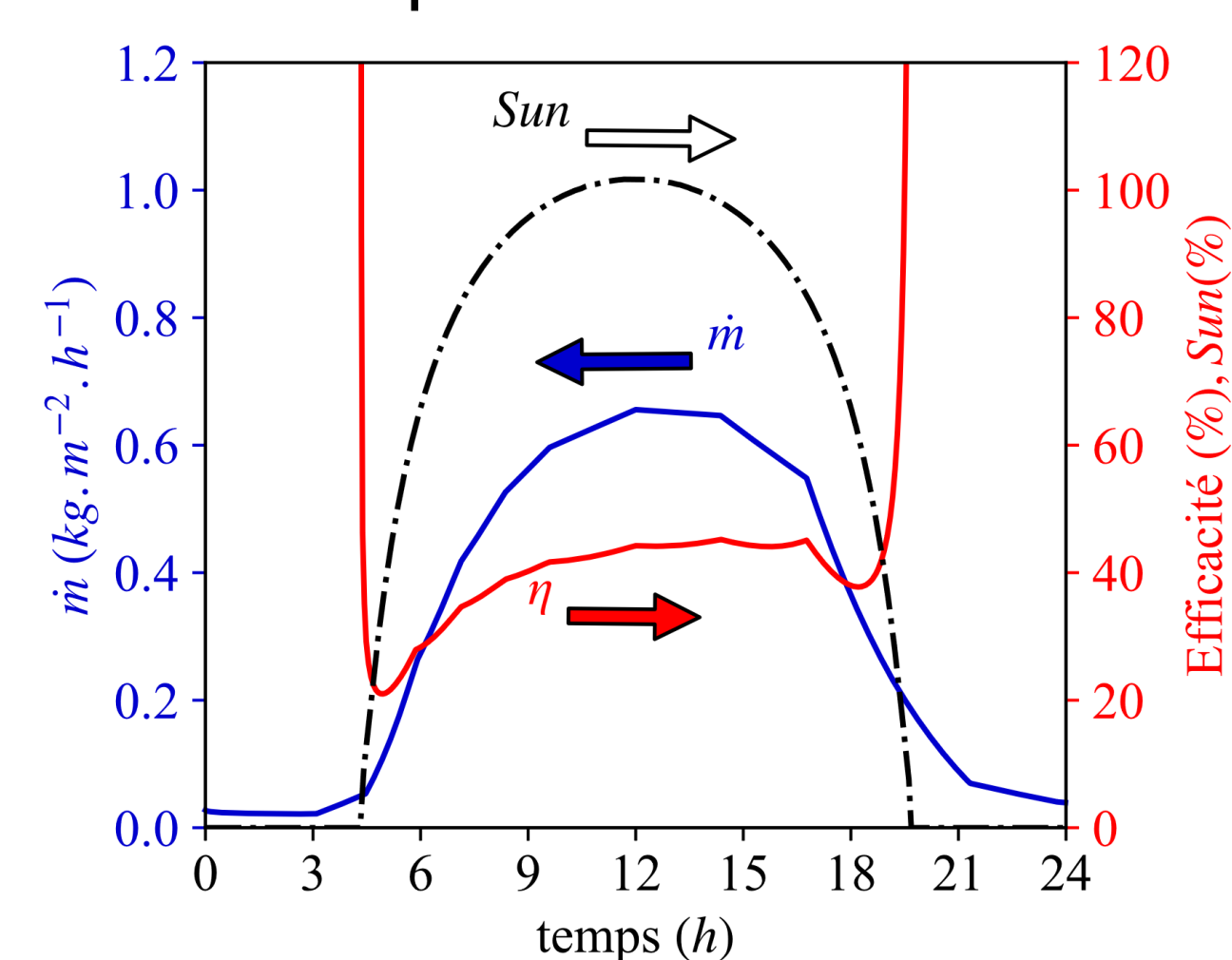


Figure 7 – Flux d'évaporation, efficacité et ensoleillement pour le 21 juin 2021 à Paris

- Production de **7.9 L par m<sup>2</sup>** de mousse
- L'**efficacité** sur une journée **augmente**, à cause de l'augmentation de la **température** de surface. Par l'équation du flux d'évaporation, une température plus haute implique une pression de vapeur saturante plus haute, ce qui permet au système d'évaporer davantage
- L'évaporation est déphasée du rayonnement solaire à cause de l'inertie thermique du système

### Etudes paramétriques

Les conditions ambiantes ont un impact sur les résultats :

- **10 °C** de plus augmentent l'évaporation de **10%**
- **40% d'humidité relative** de moins augmente l'évaporation de **9%**
- Utiliser un isolant autour du béccher permet de gagner en performance (+16% d'évaporation pour 3 cm) et de limiter l'influence des conditions ambiantes.

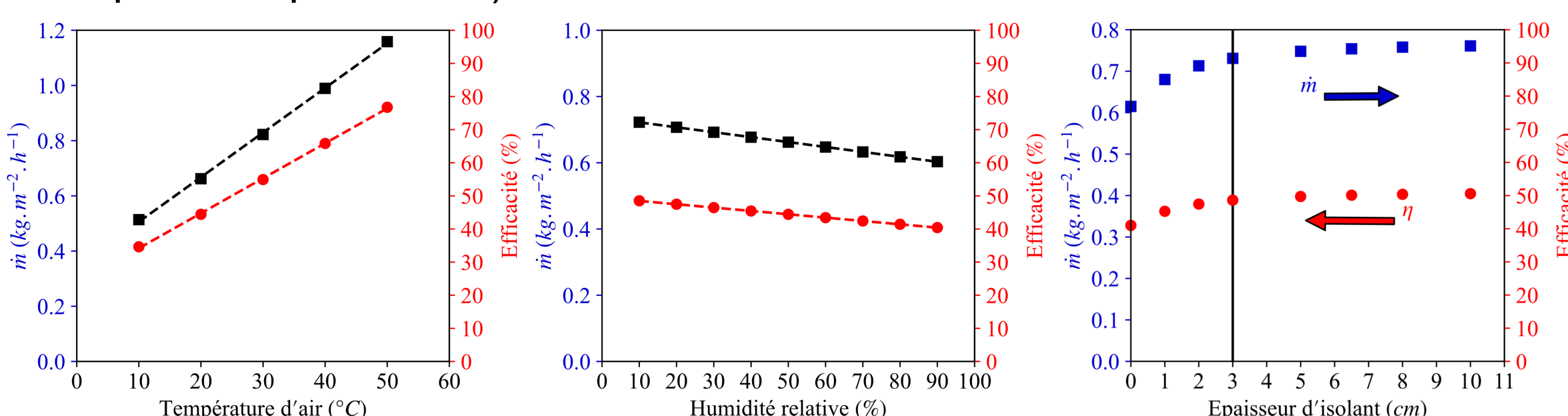


Figure 6 – Flux d'évaporation et efficacité en fonction de la température de l'air, de l'humidité de l'air et de l'épaisseur d'isolant autour du béccher

### Conclusion et perspectives

- **Développement** et **validation** d'un modèle d'évaporation solaire passive à base de mousse de tannin
- Meilleures performances d'évaporation avec:
  - une **température** de l'air plus élevée
  - une plus basse **humidité relative** de l'air (mais effet moindre)
  - une **isolation thermique** du système pour limiter les échanges avec l'extérieur autrement que par la surface d'évaporation
- Une journée ensoleillée en France a un potentiel de production de **7.9 L** d'eau pure par mètre carré de mousse de tannin