

VERS L'OPTIMISATION DES PROPRIÉTÉS RADIATIVES ET GÉOMÉTRIQUES DES ABSORBEURS SOLAIRES VOLUMIQUES EN MOUSSE DE SiC

LABORATOIRE
PROCÉDÉS, MATERIAUX
et ENERGIE SOLAIRE
.UPR 8521 du CNRS,
conventionnée avec
l'université de Perpignan
PROCESSES, MATERIALS
and SOLAR ENERGY
LABORATORY

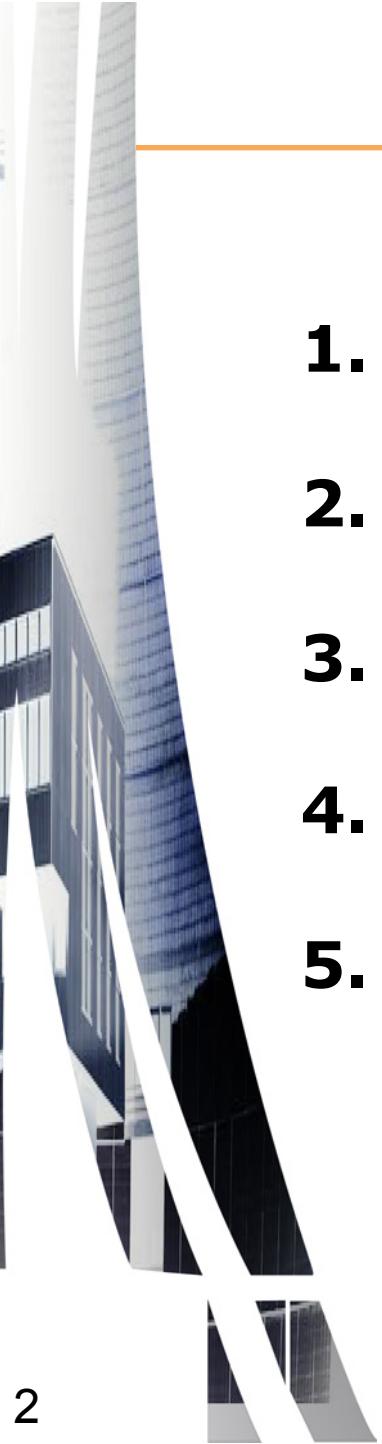


**SÉBASTIEN MEY
CYRIL CALIOT
GILLES FLAMANT**

**GDR – ACCORT
10 & 11 Oct. 12**

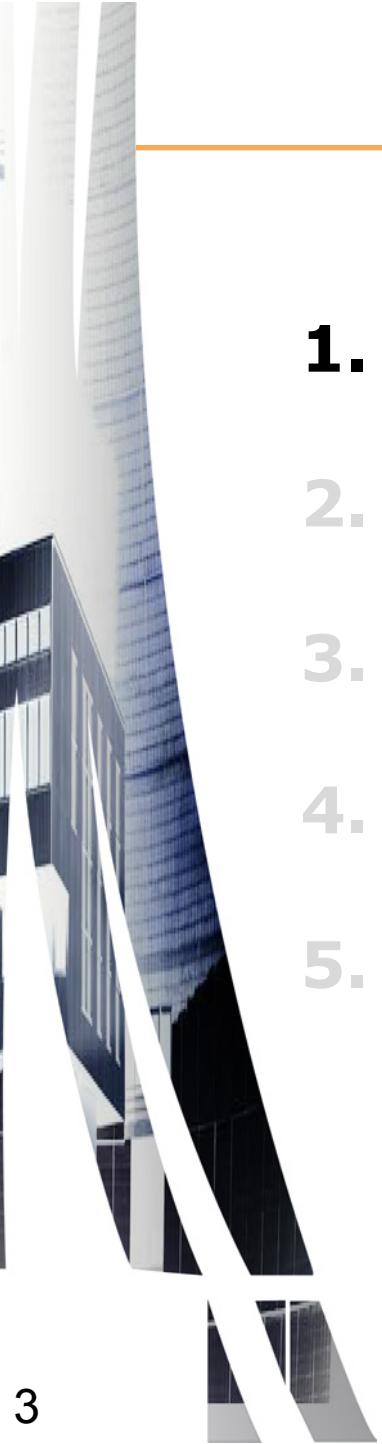


**ECOLE DES MINES D'ALBI
TFE – 2012**



PLAN

- 1. CONTEXTE & INTRODUCTION**
- 2. RÉCEPTEURS VOLUMIQUES – MODÈLE 1D**
- 3. ÉTUDES PARAMÉTRIQUES**
- 4. EXPÉRIENCE & VALIDATION DU MODÈLE**
- 5. CONCLUSION & PERSPECTIVES**



PLAN

- 1. CONTEXTE & INTRODUCTION**
- 2. RÉCEPTEURS VOLUMIQUES – MODÈLE 1D**
- 3. ÉTUDES PARAMÉTRIQUES**
- 4. EXPÉRIENCE & VALIDATION DU MODÈLE**
- 5. CONCLUSION & PERSPECTIVES**

CONTEXTE

Projet **OPTISOL (ANR-SEED)**

Coordinateur : **Cyril CALIOT** (PROMES)

Partenaires : CIRIMAT – LTN – **PROMES** – SICAT Sarl

Tâche **1** : Optimisation numérique des propriétés volumiques d'absorbeurs

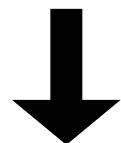
Tâche **5** : Tests de structures d'absorbeurs solaires à haute température

de **MARS** à **AOÛT 2012...**

Stage : > **Conception** d'un **homogénéisateur de flux** (*OPTISOL 5*)

> **Développement** d'un **modèle 1D de récepteur volumique** et **études paramétriques** (*OPTISOL 1*)

+ Préparation pour une thèse → **Étude bibliographique**



à partir de **JANVIER 2013...**

Thèse : **Optimisation** d'un **récepteur volumique multicouche**

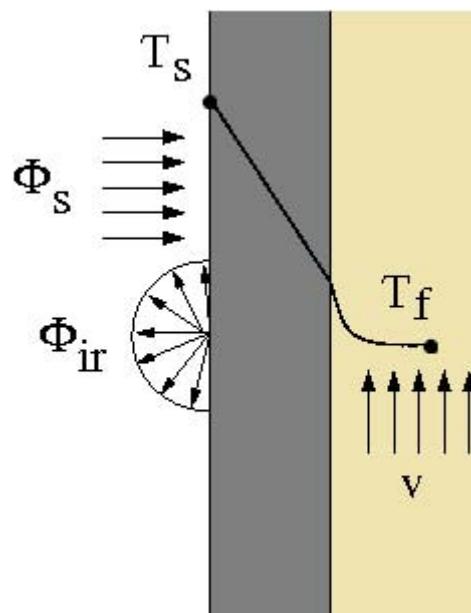
INTRODUCTION (1)

Rendement de CARNOT

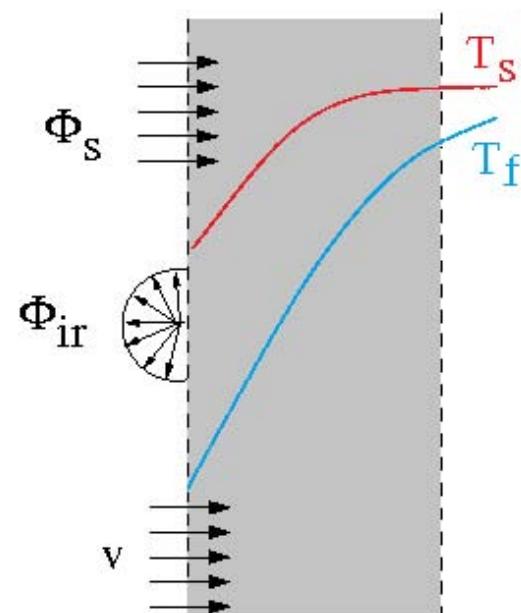
Plus la température du fluide de travail est élevée,
plus le rendement du cycle thermodynamique sera élevé.

Récepteurs SURFACIQUES –vs– Récepteurs VOLUMIQUES

Utilisation des récepteurs surfacciques
limitée en température
(tenue thermomécanique, émission IR)

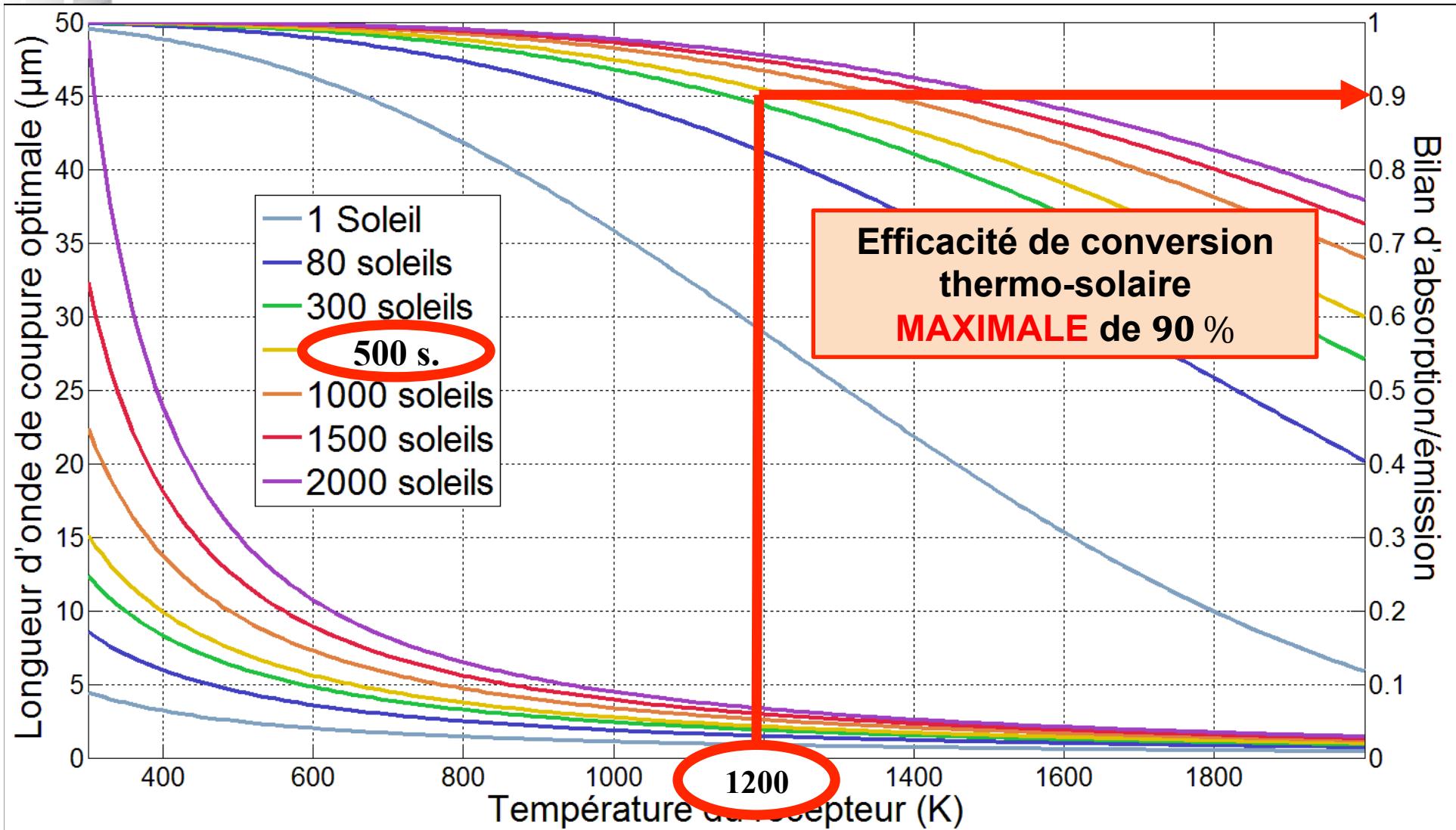


Intérêt double pour les
récepteurs volumiques
(meilleure résistance & effet volumique)



1.

INTRODUCTION (2)



6

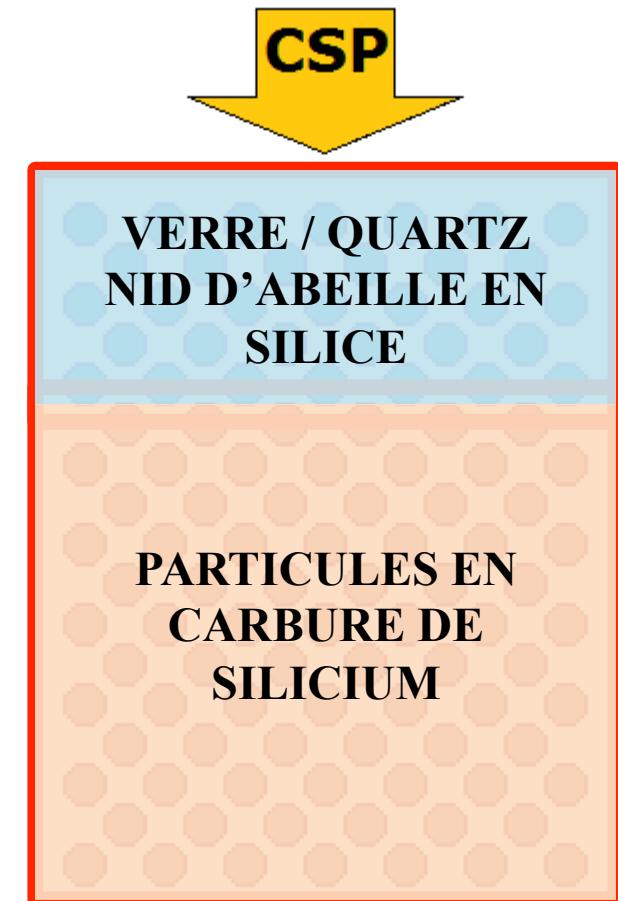
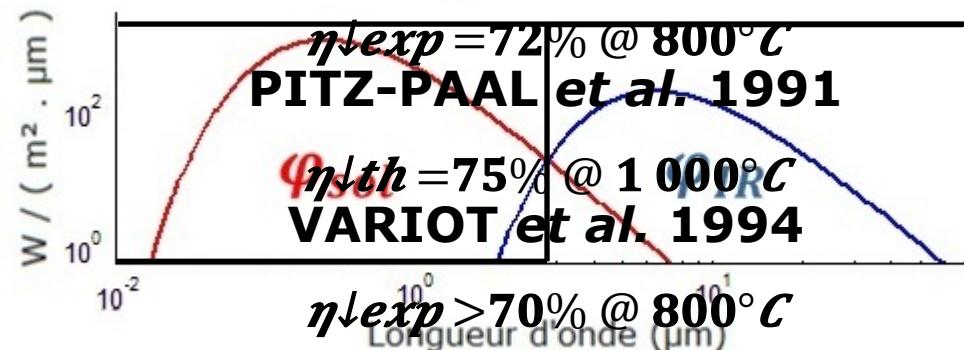
INTRODUCTION (3)

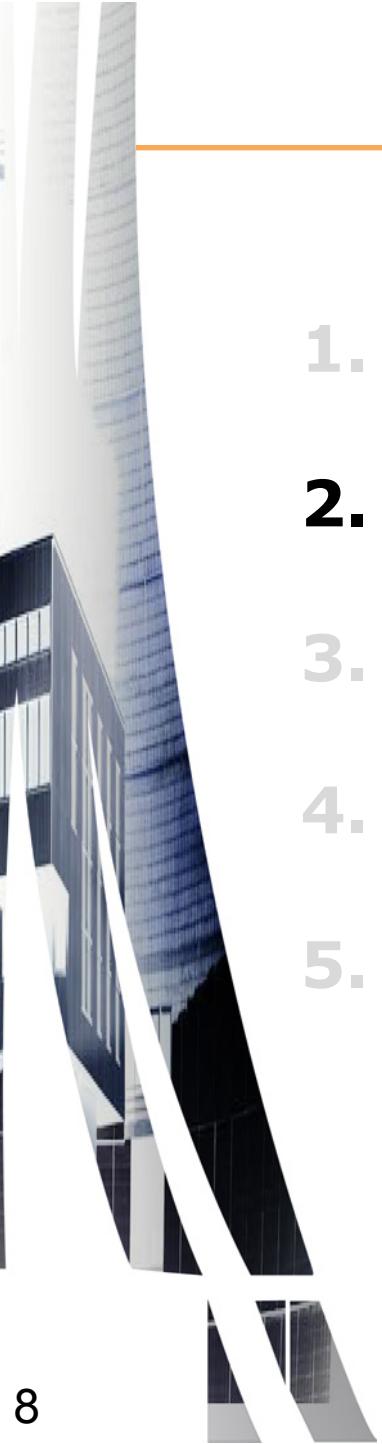
La SÉLECTIVITÉ VOLUMIQUE

Couche n°2

$$\alpha_{sol} = 0 \quad \alpha = 1 \quad \alpha_{IR} = 1$$

MENIGAULT et al. 1991





PLAN

- 1. CONTEXTE & INTRODUCTION**
- 2. RÉCEPTEURS VOLUMIQUES – MODÈLE 1D**
- 3. ÉTUDES PARAMÉTRIQUES**
- 4. EXPÉRIENCE & VALIDATION DU MODÈLE**
- 5. CONCLUSION & PERSPECTIVES**

LES RÉCEPTEURS VOLUMIQUES

Objectif futur

Optimisation d'un récepteur volumique

- Outils de **simulations**
- Sujet du **stage**

Propriétés des phases

Géométrie

Milieu effectif

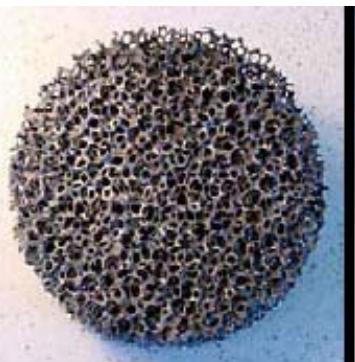
Modèle

- Propriétés **radiatives**
- Propriétés **volumiques**

Quel(s) modèle(s) de milieu effectif pour quel milieu poreux ?



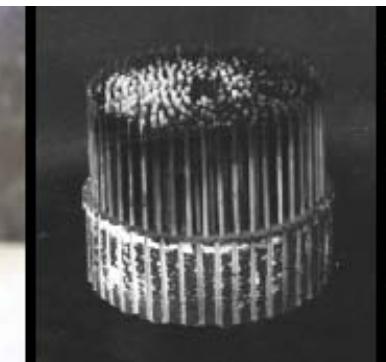
Les CANAUX



Les MOUSSES



Les FIBRES



Les TIGES



Les FILS

MODÈLE 1D (1)

HYPOTHÈSES

Fluide

- Fluide dilatable
- Gaz Parfait

Solide

- Optiquement gris

Équations

- Régime permanent établi
- Énergie cinétique négligée
- Effets visqueux négligés

Milieu poreux

- Mousse
- Homogène
- Optiquement épais

MODÈLE MATHÉMATIQUE

• Écoulement

$$\text{CM : } v \downarrow D = m / A \rho \downarrow f$$

$$\begin{aligned} \text{QdM : } -\nabla P &= m / A \phi \uparrow 2 \nabla v \downarrow D + \mu \downarrow f / K \downarrow 1 \\ v \downarrow D + \rho \downarrow f / K \downarrow 2 & v \downarrow D v \downarrow D \end{aligned}$$

• Transferts de chaleur

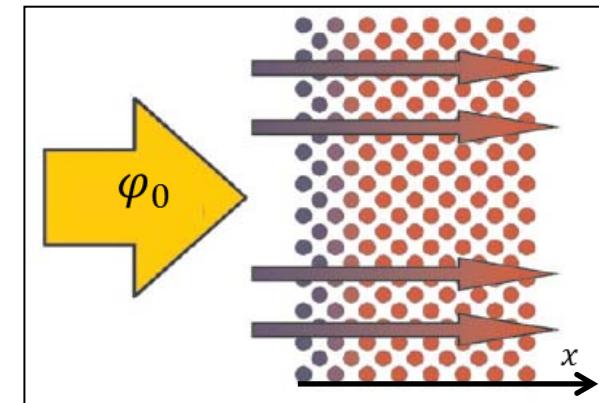
$$F: \nabla \cdot (\rho \downarrow f C \downarrow f T \downarrow f v \downarrow D) = \nabla (k \downarrow f \uparrow \nabla T \downarrow f) + h \downarrow v (T \downarrow s - T \downarrow f)$$

$$S: 0 = \nabla (k \downarrow s \uparrow * \nabla T \downarrow s) + h \downarrow v (T \downarrow f - T \downarrow s) - \nabla q \downarrow r$$

$$\begin{aligned} \text{• Rayonnement - Modèle P1} \\ -\nabla (1/3(\kappa + \sigma) \nabla G \downarrow s) &= \kappa (4\sigma \downarrow SB \\ T \downarrow s \uparrow 4 - G \downarrow s) + \sigma G \downarrow d \end{aligned}$$

$$\nabla q \downarrow r = \kappa (4\sigma \downarrow SB T \downarrow s \uparrow 4 - (G \downarrow s + G \downarrow d))$$

GÉOMÉTRIE – 1D



MODÈLE 1D (2)

MODÈLE DE PROPRIÉTÉS

- Conductivités thermiques effectives : $k_{f\uparrow}^*$ et $k_{s\uparrow}^*$
- Coefficient volumique d'échanges convectifs :
- h_{AV} Permeabilité visqueuse : $K_{\downarrow 1}$
- Permeabilité inertielle : $K_{\downarrow 2}$
- Coefficient d'absorption : $\kappa = 3/2 \alpha(1-\phi)/d$
- Coefficient de diffusion : $\sigma = 3/2 (1-\alpha)(1-\phi)/d$

WU et al. 2011
Coefficients valables pour certaines conditions d'utilisation.

CONDITIONS FRONTIÈRES

- Écoulement : $(P \downarrow r) \downarrow \text{out} = 0$
- Température fluide : $(T \downarrow f) \downarrow \text{in} = T \downarrow \text{amb}$ & $(\nabla T \downarrow f) \downarrow \text{out} = 0$
- Température solide : $(\nabla T \downarrow s) \downarrow \text{in} = (\nabla T \downarrow s) \downarrow \text{out} = 0$
- Modèle P1 (Marshak) : $D \nabla G \downarrow s \cdot n = -G \downarrow s / 2$

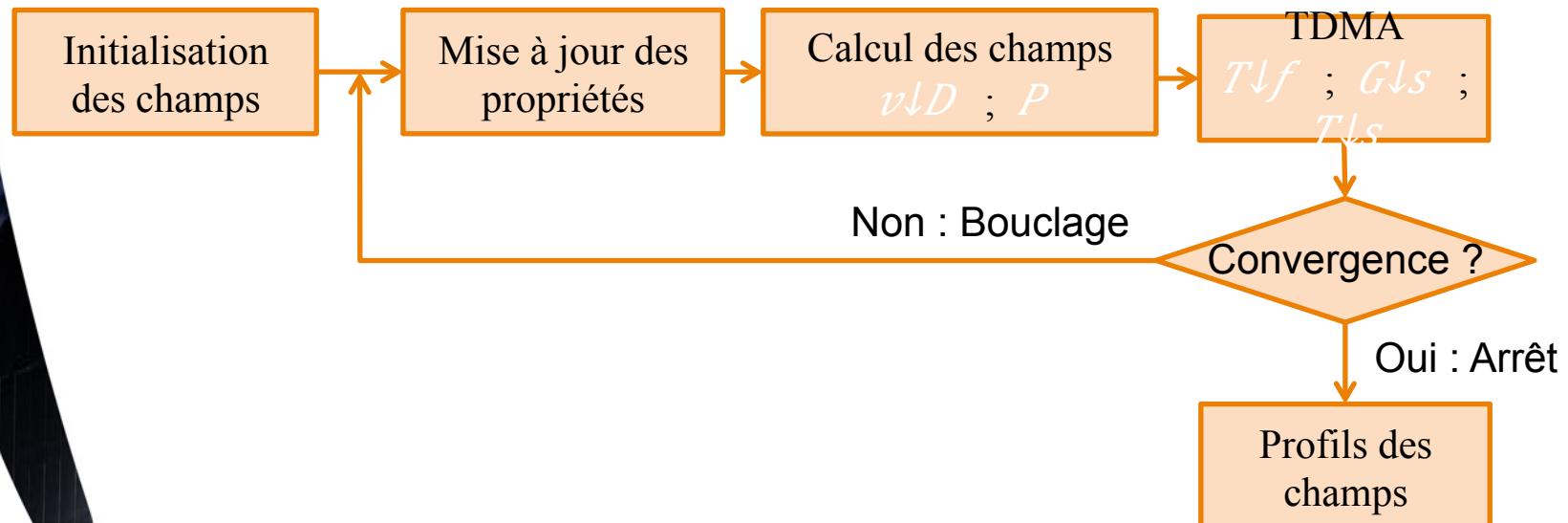
* WU, CALIOT, FLAMANT, and WANG 2011, Coupled radiation and flow modeling in ceramic foam volumetric solar air receivers, Solar Energy 85 (2011), p. 2374-2385.

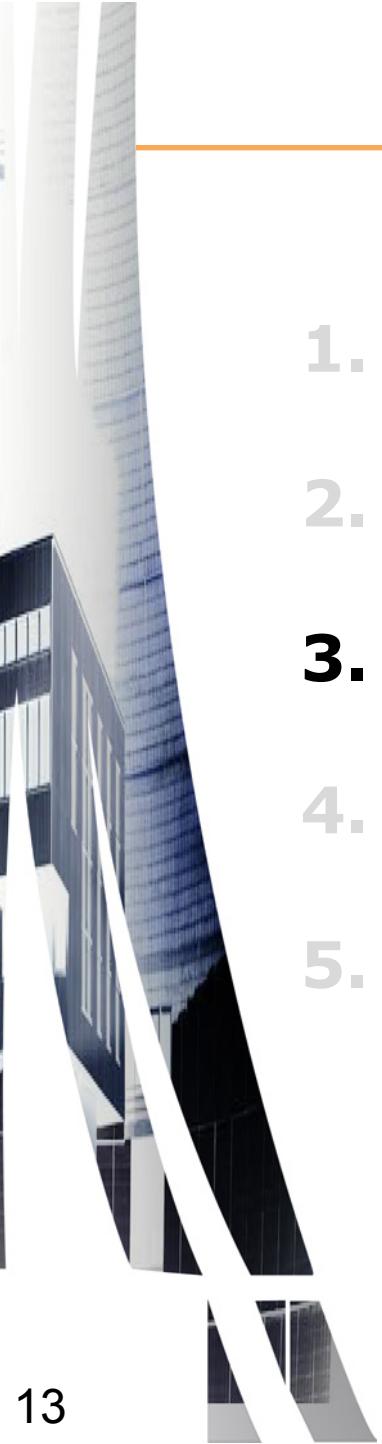
MODÈLE 1D (3)

DISCRÉTISATION DES ÉQUATIONS

- Méthodes des **Volumes Finis** et des **Différences Finies**
- **Schéma amont** (*Upwind*) pour les termes d'advection
- **Schéma centré** pour les termes de diffusion
1^{er} Ordre → Algorithme de **THOMAS** (TDMA)

ORGANIGRAMME DE RÉSOLUTION





PLAN

- 1. CONTEXTE & INTRODUCTION**
- 2. RÉCEPTEURS VOLUMIQUES – MODÈLE 1D**
- 3. ÉTUDES PARAMÉTRIQUES**
- 4. EXPÉRIENCE & VALIDATION DU MODÈLE**
- 5. CONCLUSION & PERSPECTIVES**

ÉTUDES PARAMÉTRIQUES (1)

INFLUENCES OBSERVÉES SUR...

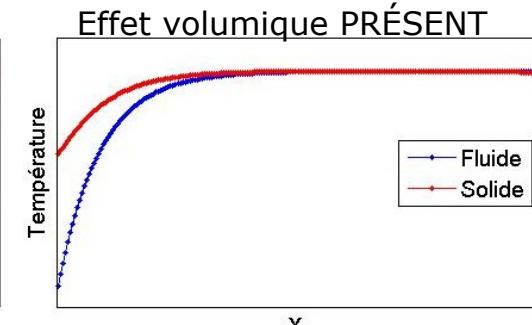
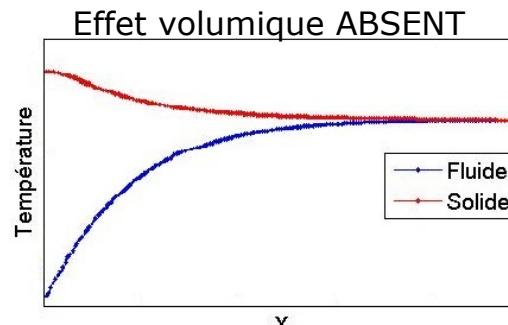
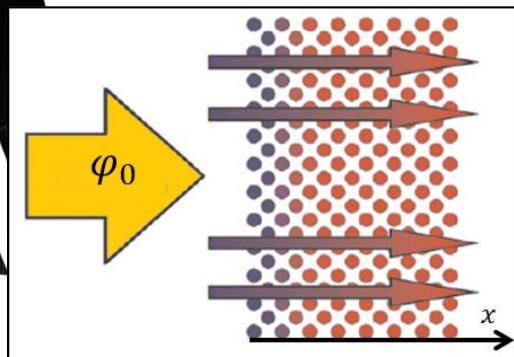
- L'efficacité de conversion thermo-solaire $\eta_{CTS} = \Delta H_f / A \cdot \phi$
- La température de **sortie d'air** $T_{f,out}$

... DE QUATRE PARAMÈTRES

- Le **débit massique d'air** ($m \in]0;10]$ g/s)
- La **porosité** ($0,70 \leq \phi \leq 0,90$)
- La **conductivité thermique du solide massif** ($k_s \in \{1;10;100\}$ W/m/K)
- Le **diamètre de pores** ($1 \leq d \leq 2$ mm)

EFFET VOLUMIQUE : $T_{s,in} < T_{f,out}$

GÉOMÉTRIE - 1D



ÉTUDES PARAMÉTRIQUES (2)

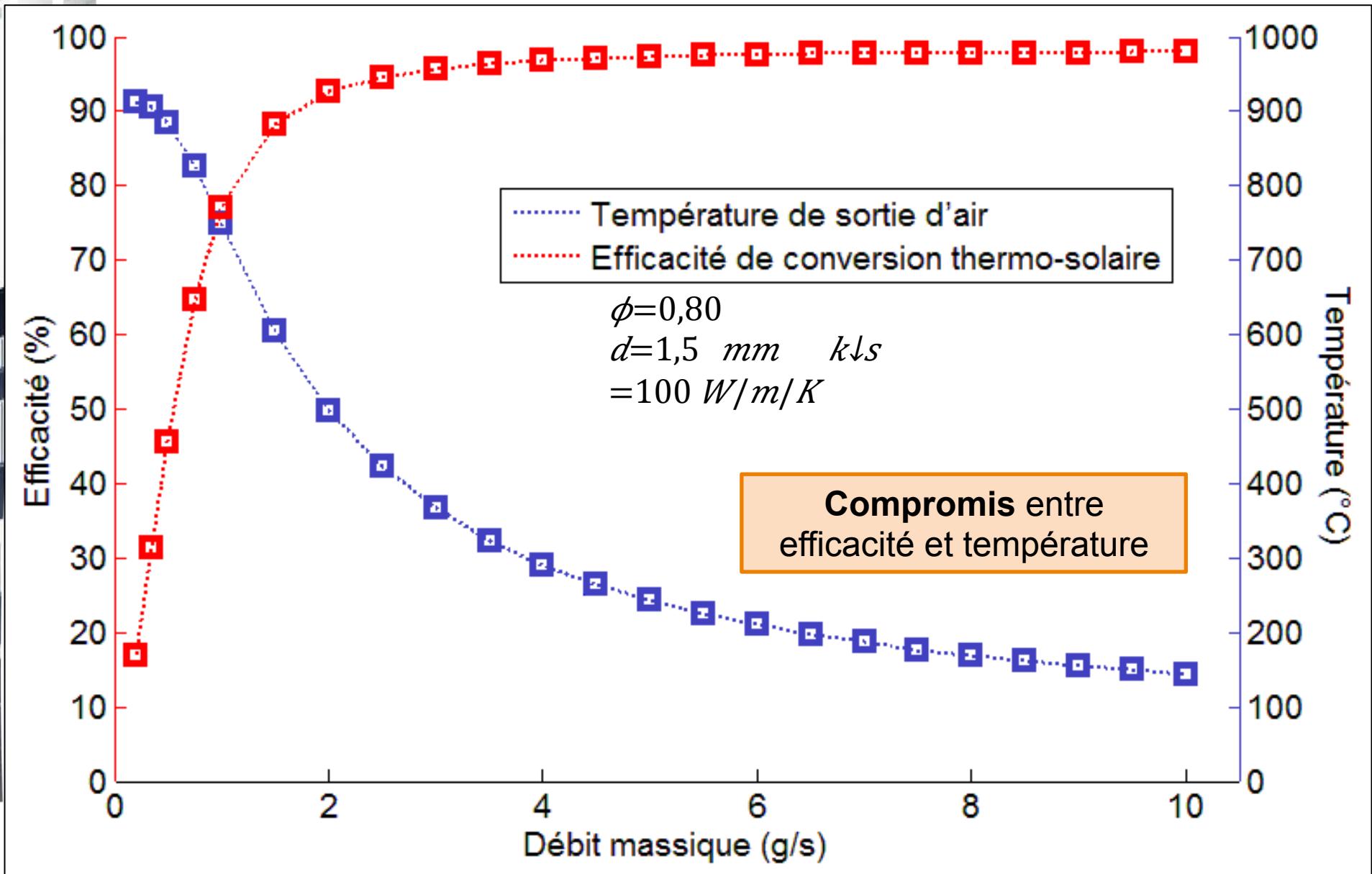
GRANDEURS PHYSIQUES

- Densité de flux incidente uniforme : $\phi_{\downarrow 0} = 600 \text{ kW/m}^2$;
- Température ambiante (référence) : $T_{\downarrow amb} = 300 \text{ K}$;
- Pression atmosphérique (référence) : $P_{\downarrow atm} = 101\,325 \text{ Pa}$;
- Diamètre et longueur du récepteur : $L=D=5 \text{ cm}$;
- Absorptivité du matériau solide massif : $\alpha=0,95$.

PARAMÈTRES PAR DÉFAUT

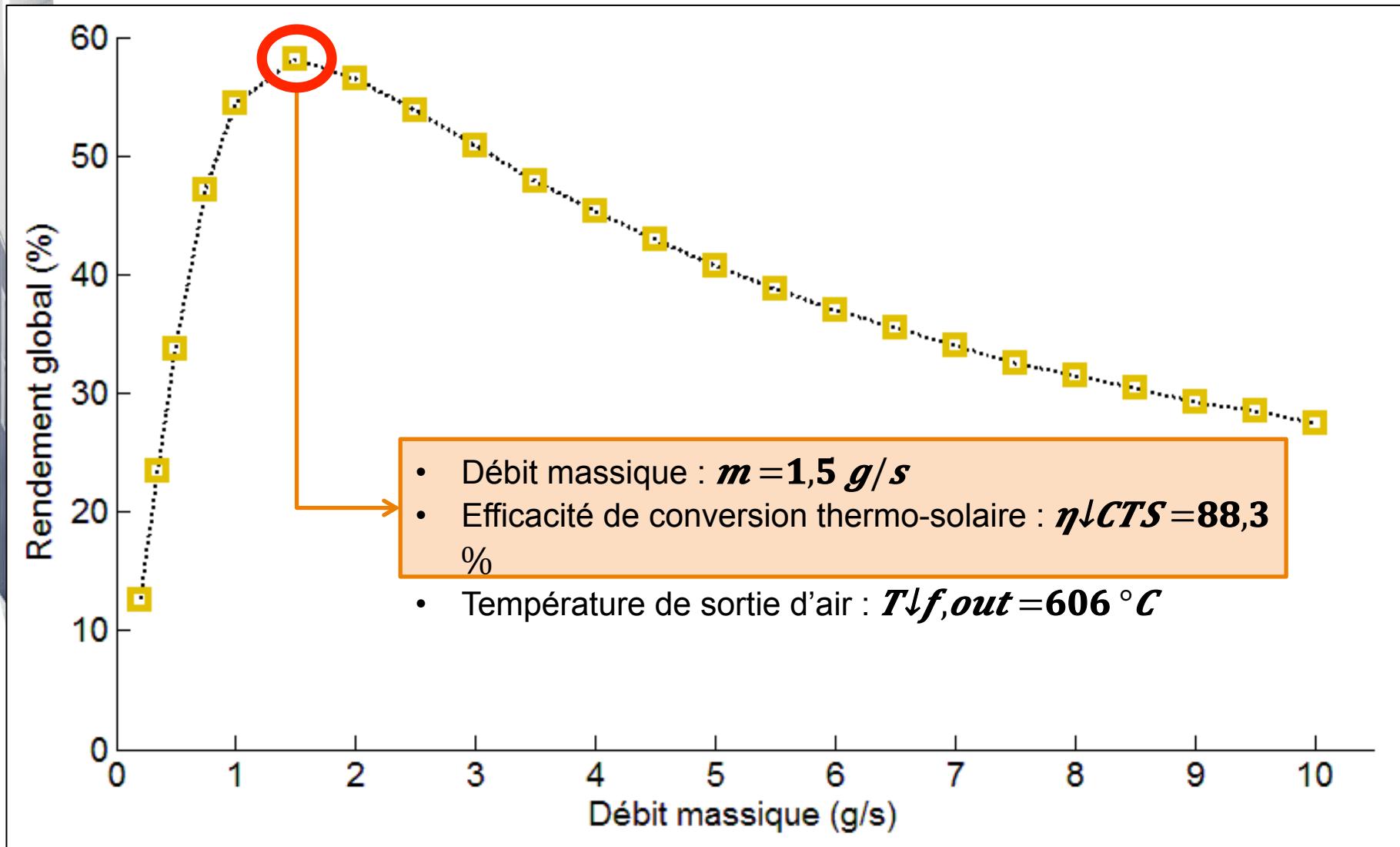
- Porosité : $\phi=0,80$;
- Diamètre de pores : $d=1,5 \text{ mm}$;
- Conductivité thermique du matériau solide massif : $k_{\downarrow s} = 100 \text{ W/m/K}$;
- Débit massique de fluide : $m=1,5 \text{ g/s}$.

DÉBIT MASSIQUE D'AIR (1)



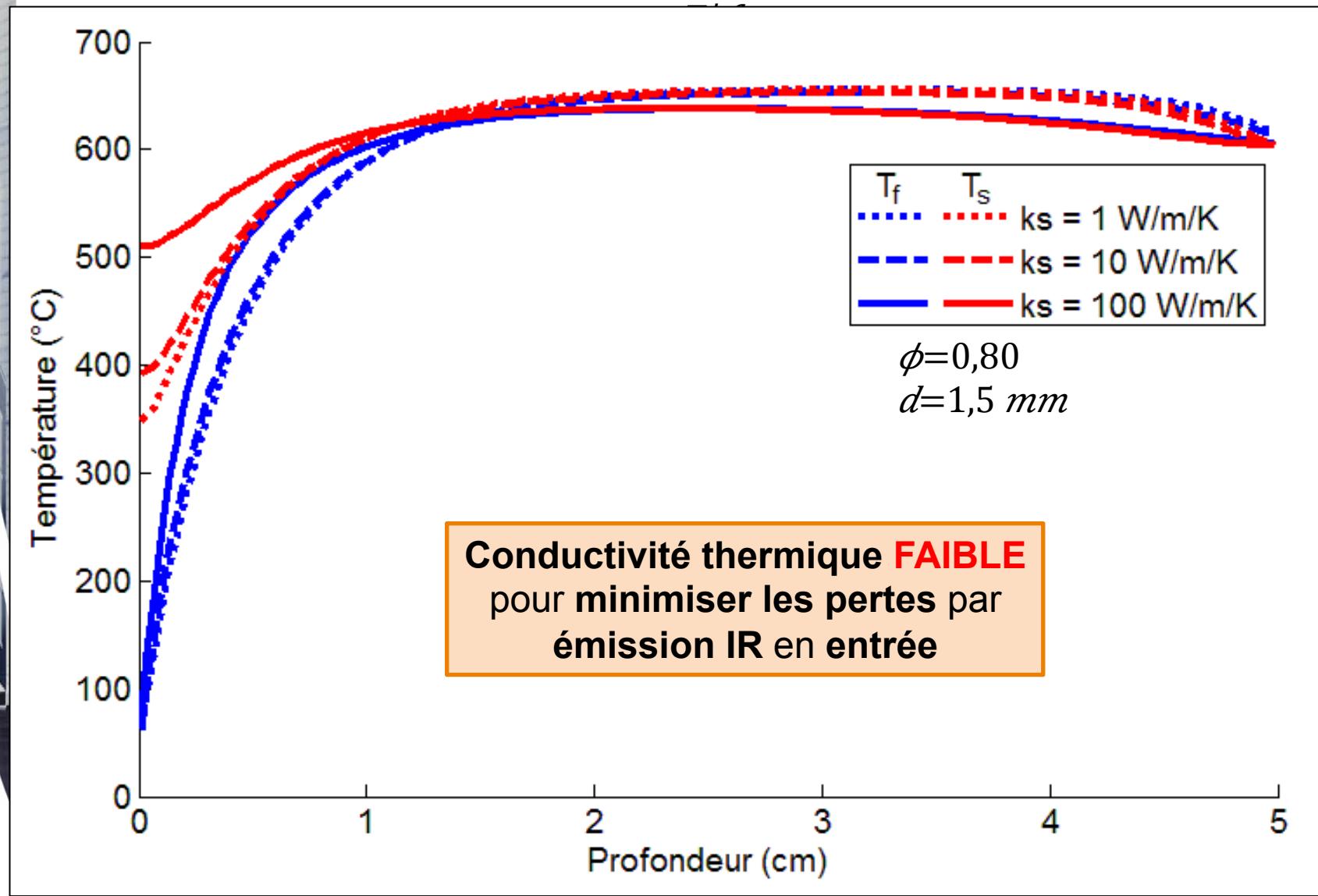
DÉBIT MASSIQUE D'AIR (2)

Rendement global : $(\Delta H_{f,f} / A \cdot \varphi_{f,0}) \cdot (1 - T_{f,0} / T_{f,out})$



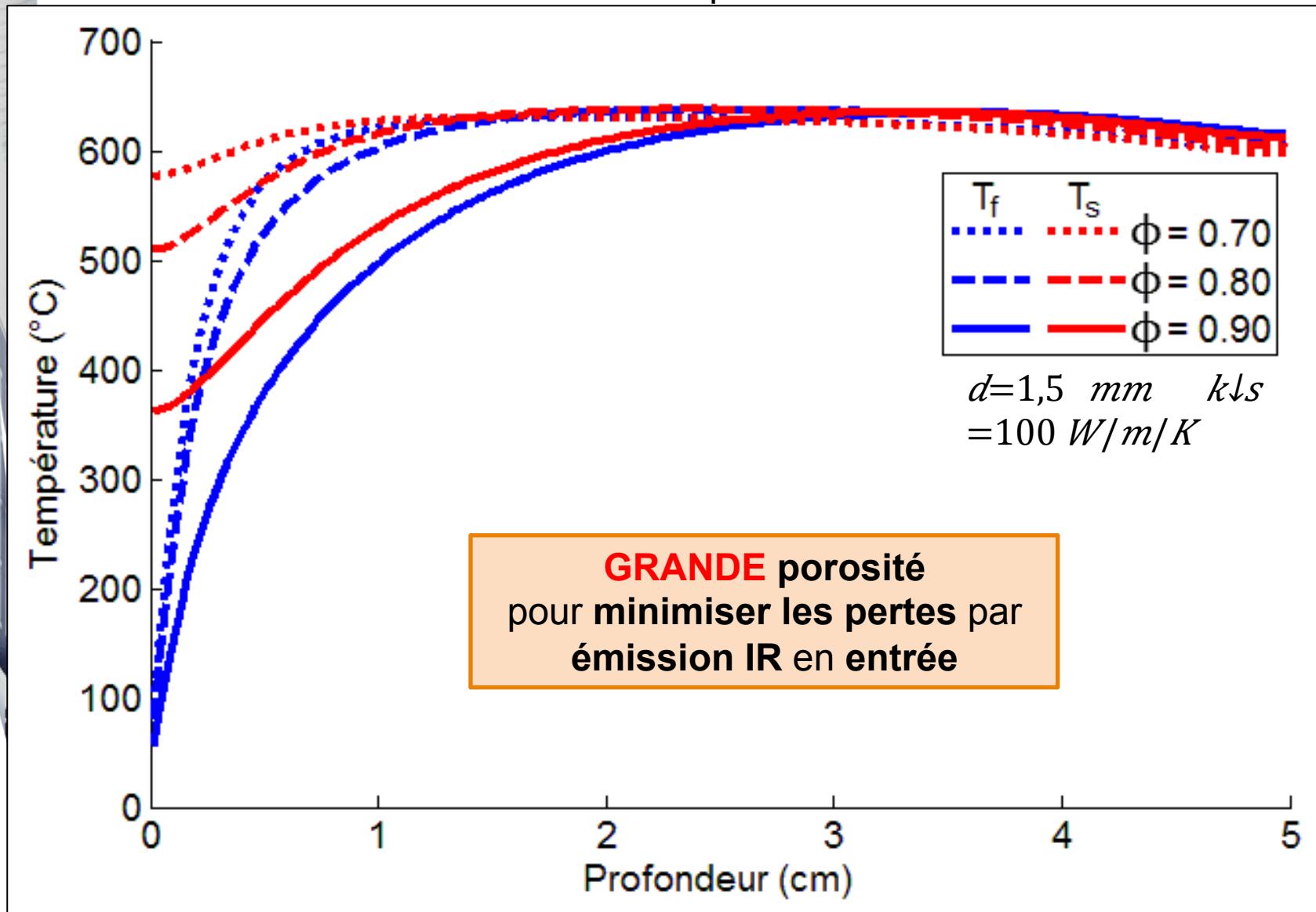
CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DU SOLIDE MASSIF

Profils de température : $T \downarrow s$ et



POROSITÉ

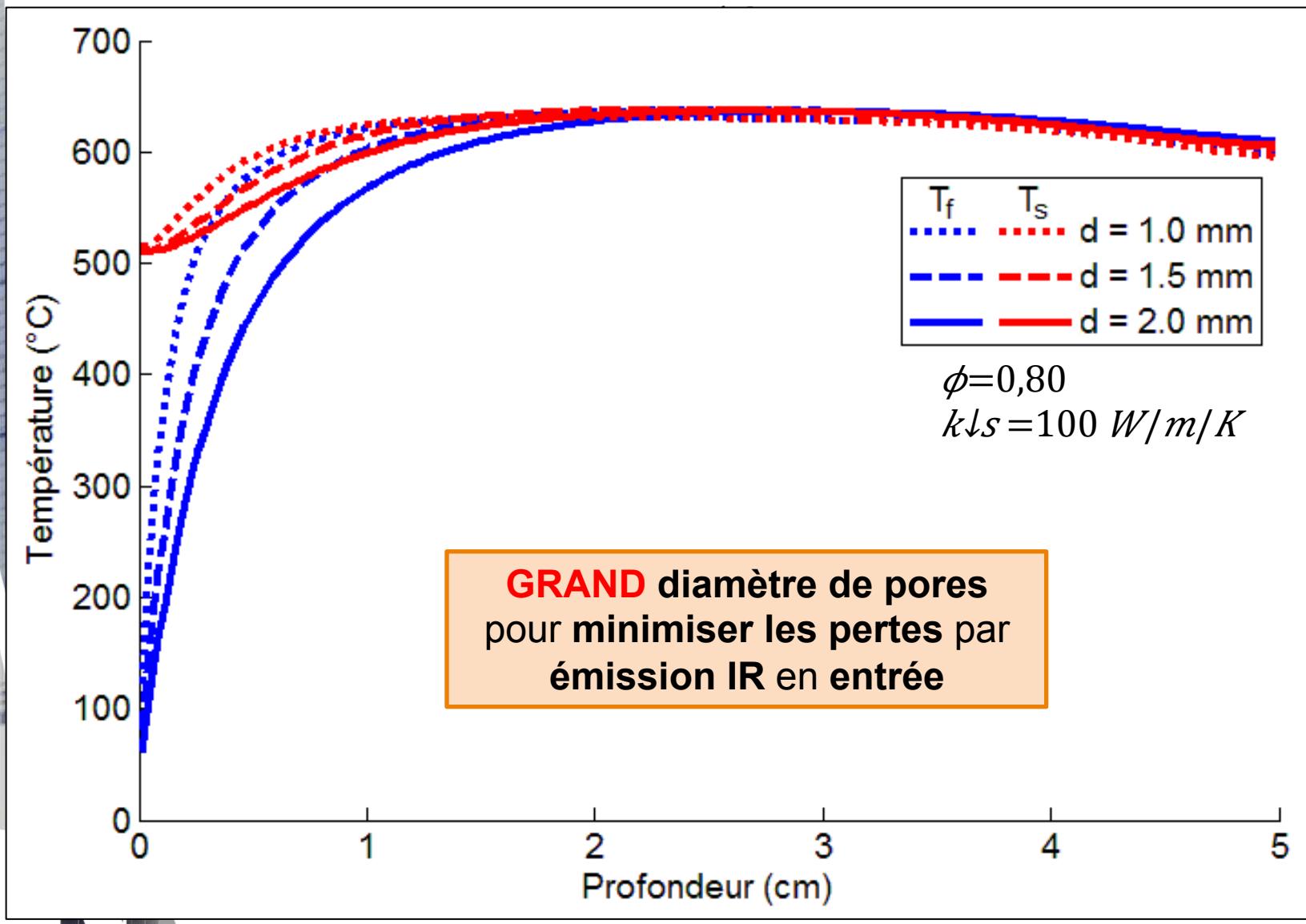
Profils de température : $T \downarrow s$ et



5.

DIAMÈTRE DE PORES

Profils de température : $T \downarrow s$ et



SYNTHÈSE

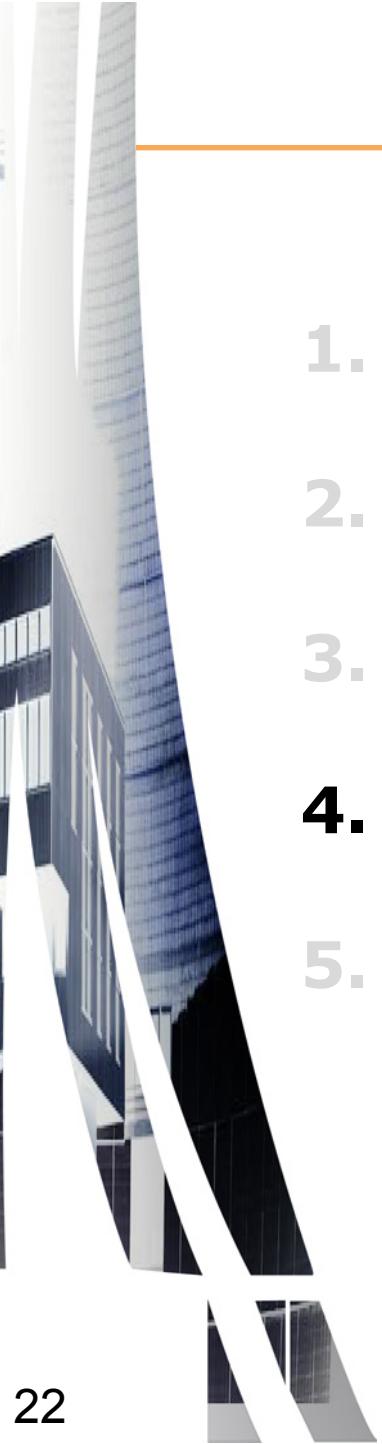
Pour une augmentation des paramètres, voici les effets observés :

Paramètre	$\eta \downarrow CTS$	$T \downarrow f_{out}$	$\tau = \beta \cdot L$
m	↗	↘	10
$k \downarrow s$	↘	↘	10
ϕ	↗	↗	5 à 15
d	↗	↗	7,5 à 15

MILIEU POREUX « IDÉAL »

- **FAIBLE** conductivité thermique
→ matériau thermiquement isolant
- **GRANDE** porosité
→ brins de solide fins
- **GRAND** diamètre de pores
→ brins de solide espacés

Dans les limites de nos hypothèses
 $\tau \downarrow min = 3,75$



PLAN

- 1. CONTEXTE & INTRODUCTION**
- 2. RÉCEPTEURS VOLUMIQUES – MODÈLE 1D**
- 3. ÉTUDES PARAMÉTRIQUES**
- 4. EXPÉRIENCE & VALIDATION DU MODÈLE**
- 5. CONCLUSION & PERSPECTIVES**

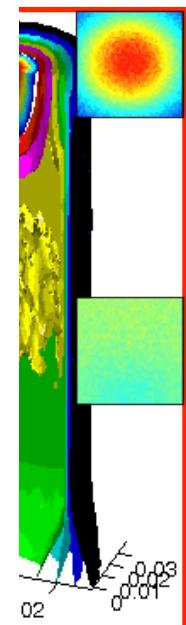
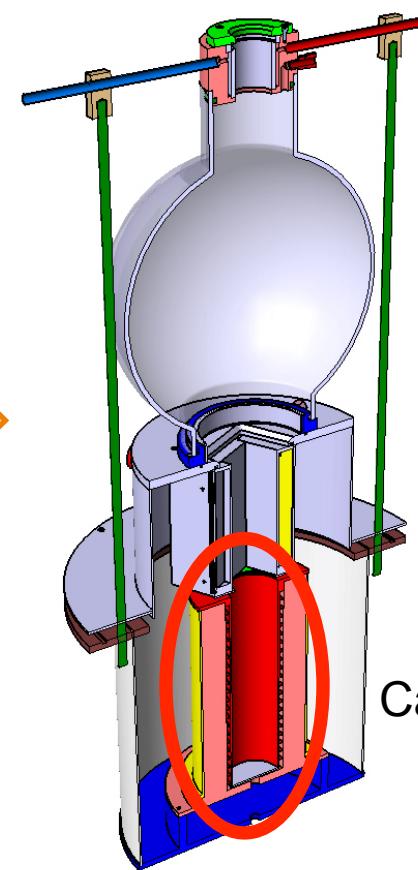
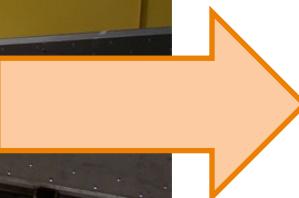
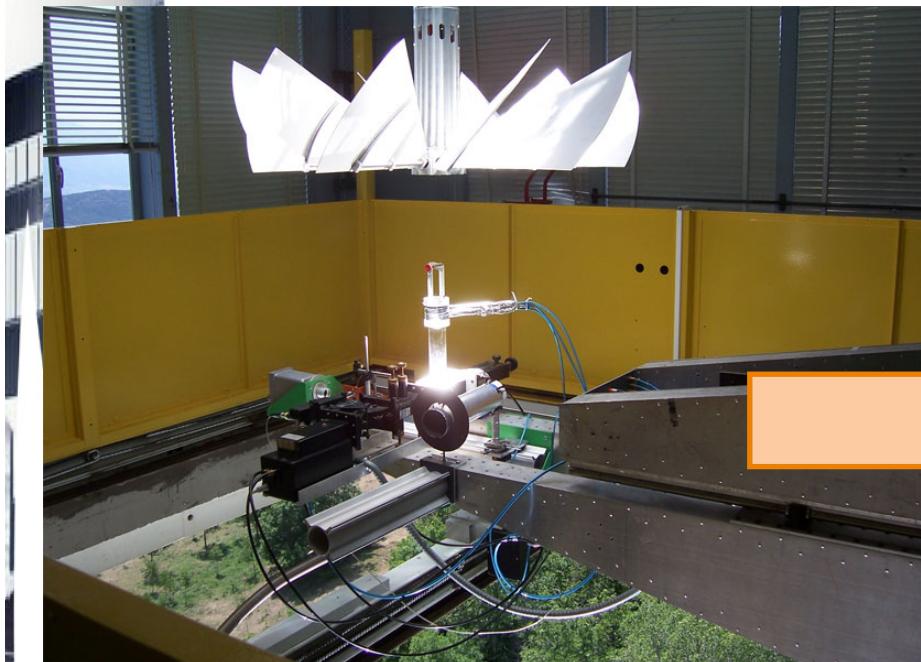
3.

VALIDATION EXPÉRIMENTALE (1)

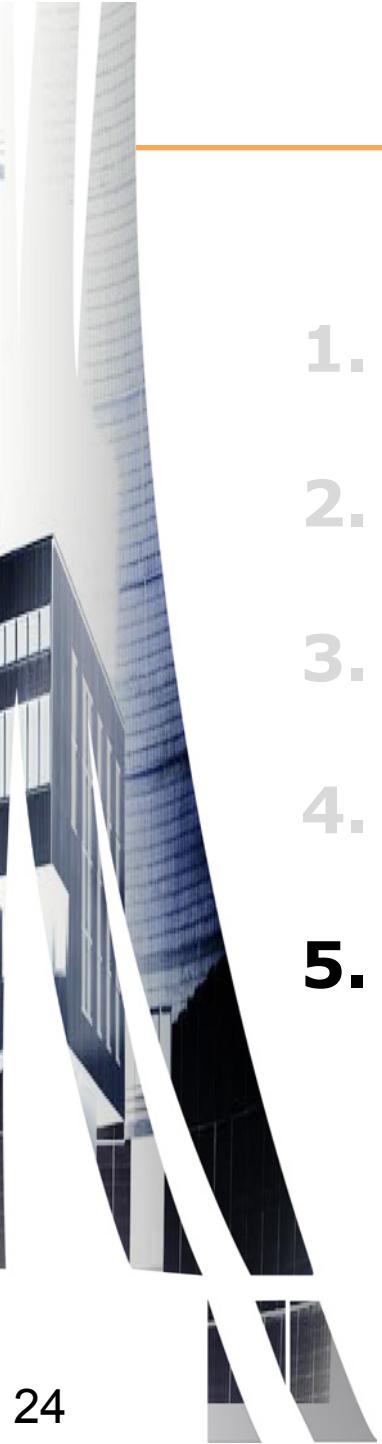
Conception : 3 parties escamotables

Four vertical « 6 kW »
d'Odeillo

→ Porte de l'chaétifén



→ Simulations
SOLFAST-4D



PLAN

- 1. CONTEXTE & INTRODUCTION**
- 2. RÉCEPTEURS VOLUMIQUES – MODÈLE 1D**
- 3. ÉTUDES PARAMÉTRIQUES**
- 4. EXPÉRIENCE & VALIDATION DU MODÈLE**
- 5. CONCLUSION & PERSPECTIVES**

CONCLUSION & PERSPECTIVES

→ CONCLUSION : STAGE (ÉTÉ 2012)

- **Étude bibliographique**
- **Dimensionnement d'un homogénéisateur de flux**
 - En cours de fabrication
- **Développement d'un modèle 1D de récepteur volumique**
 - **Milieu poreux idéal :** Thermiquement **isolant**
Brins solide fins et espacés

→ PERSPECTIVES : THÈSE (JAN. 2013)

- **Etude bibliographique : Transferts en milieux poreux**
Modèles de **milieux effectifs**
- **Modèle 1D : Validation du modèle sur l'expérience**
Modèles radiatifs → Ordonnées discrètes / MMC
 - Compromis ($\eta \downarrow CTS ; T \downarrow f_{out}$) : Récepteurs **multicouches**
Sélectivité volumique
 - **Optimisation numérique** des propriétés

MERCI DE VOTRE ATTENTION

