

# Pré-dimensionnement par simulations dynamiques d'un réacteur de stockage thermochimique assurant l'autonomie d'un système solaire combiné

Samuel HENNAUT<sup>1\*</sup>, Sébastien THOMAS<sup>1</sup>, Philippe ANDRE<sup>1</sup>, Emilie COURBON<sup>2</sup>, Tangi LE BERIGOT<sup>2</sup>, Marc FRERE<sup>2</sup> (\*auteur correspondant: shennaut@ulg.ac.be)

## Résumé

- Etude, par simulation dynamique (TRNSYS), du stockage de l'énergie solaire thermique sous forme thermochimique comme moyen d'assurer l'autonomie thermique d'une habitation basse énergie: de manière générale et pour des couples adsorbant/adsorbat particuliers ( $\text{CaCl}_2/\text{H}_2\text{O}$  et Charbon actif/Méthanol).

## Objectifs

- Evaluer les caractéristiques auxquelles doivent répondre un système solaire thermique et un réacteur de stockage thermochimique pour assurer l'autonomie solaire d'une habitation basse énergie.

## Démarche

- Etude réalisée en trois étapes grâce à TRNSYS: climat de Uccle (Belgique).

1. Simulation du bâtiment seul : 100 m<sup>2</sup> chauffés et un pan de toiture orienté au sud – ECS : évaluation simplifiée.

2. Ajout d'un système solaire combiné (SSC) et des émetteurs de chaleur (planchers chauffants).

3. Ajout d'un modèle de stockage thermochimique (en deux étapes):

a) Modèle simplifié type « boîte noire » (déstockage non pris en compte):  
→ influence de la température sur la quantité d'énergie stockée.

b) Modèle détaillé purement thermodynamique type « boîte blanche »:  
→ performances de couples présélectionnés:  $\text{CaCl}_2/\text{H}_2\text{O}$  et Charbon actif /Méthanol;  
→ plan d'expérience pour l'optimisation des paramètres repris au Tableau 1;  
→ 7 facteurs de réponse: le nombre de degré-heure de sous-chauffe sur trois ans au rez et à l'étage, la différence entre la chaleur stockée et déstockée pour chacune des trois années, l'écart-type de la différence entre la chaleur stockée et déstockée et finalement, la température maximale du réacteur.

$$\begin{aligned} T_{stockage} &= cste \\ Q_{stocké} &= m \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out}) \\ C_p &= 4,18 \\ T_{out} &\rightarrow T_{stockage} + 5 \\ Q_{loss} &= 0 \end{aligned}$$

Fig. 1 – Modèle simplifié

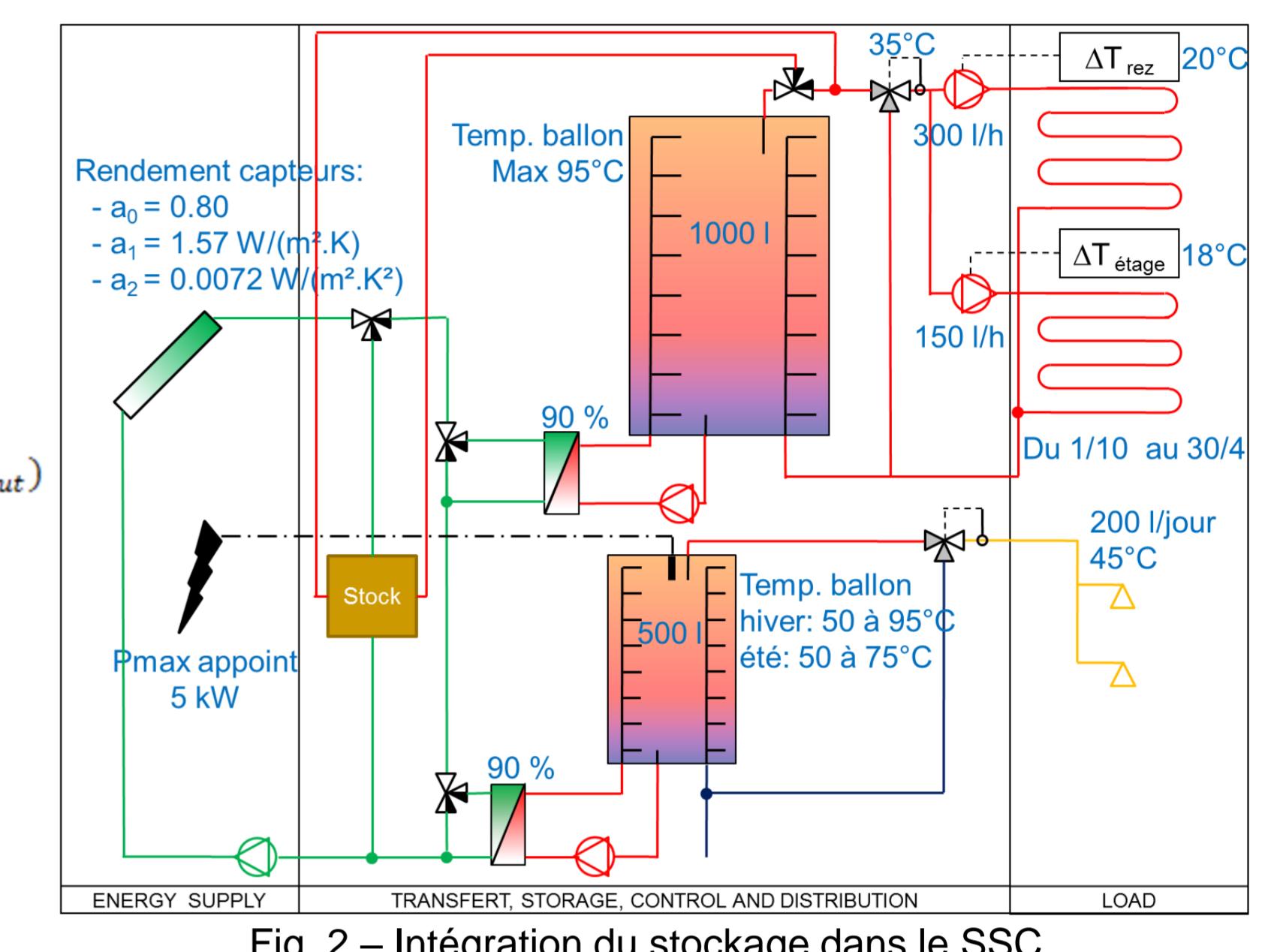


Fig. 2 – Intégration du stockage dans le SSC

Paramètre / Couple	Unités	$\text{CaCl}_2/\text{H}_2\text{O}$	CA/Méthanol
Masse de sel anhydre	[kg]	15 000 – 30 000	10 000 -25 000
Efficacité échangeur	[-]	0.3 -0.9	
Fraction volumique du sel	[-]	0.1-0.9	
Débit boucle solaire	[kg/(h.m <sup>2</sup> )]	15 - 25	
Surface capteurs	[m <sup>2</sup> ]	12 -25.52	12 - 30

Tableau 1 – Plage de variation des paramètres à optimiser

## Résultats

### 1. Le bâtiment seul

- Demande pour le chauffage: 3431 kWh/an.
- Demande pour l'ECS: 3390 kWh/an.
- Rayonnement solaire sur la toiture sud: 1110 kWh/(m<sup>2</sup>.an).
- Indicateur utilisé: indice FSC [IEA-SHC Task 26].

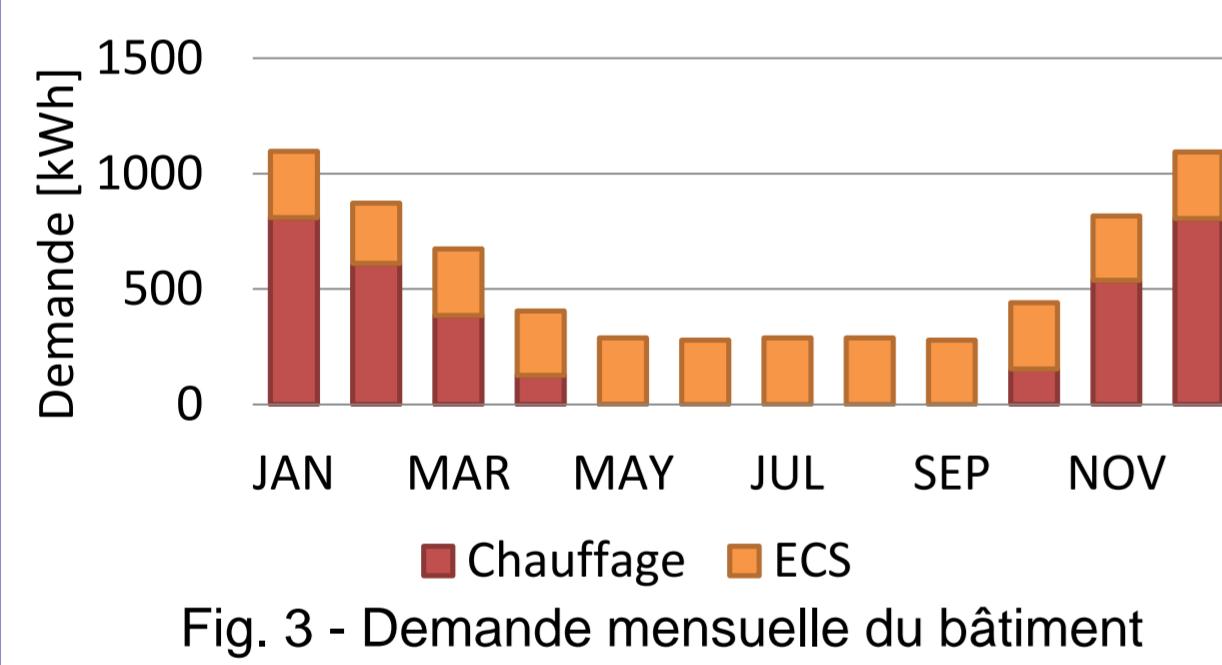


Fig. 3 - Demande mensuelle du bâtiment

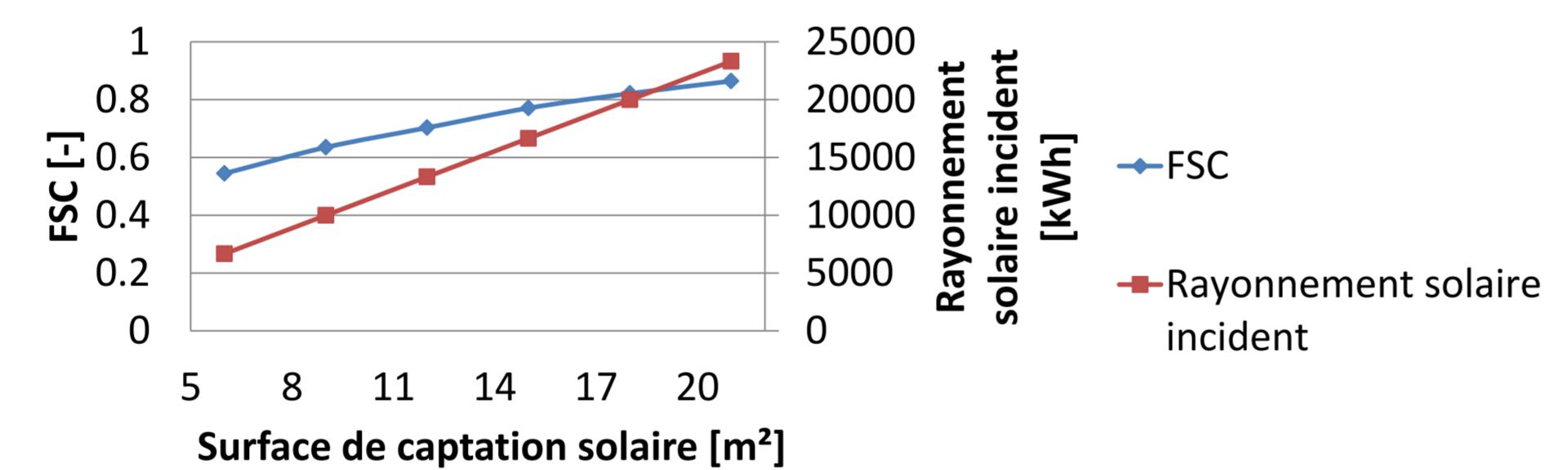


Fig. 4 – Indice FSC et rayonnement solaire en fonction de la surface de captation

### 2. Ajout du SSC

- Grâce aux simulations, on obtient:
  - $E_{direct}$  = Energie solaire apportée directement au SSC;
  - $E_{appoint}$  = Energie d'appoint des ballons =  $E_{besoins stock}$ ;
  - $R_s$  exédentaire = Rayonnement solaire excédentaire entre le 1/5 et le 30/9.
- Indicateur utilisé pour « mesurer » l'autarcie solaire:

$$\eta_{fictif\ minimum} = \frac{E_{besoins\ stock}}{E_{stockable}} = \frac{E_{appoint}}{45\% * R_s\ exédentaire}$$

- Apports solaires insuffisants pour assurer l'autarcie  
 $\text{si } \eta_{fictif\ min} > 1$
- Minimum 16 m<sup>2</sup> de capteurs et 3000 kWh stockés avec un rendement 100 % pour assurer l'autarcie solaire.

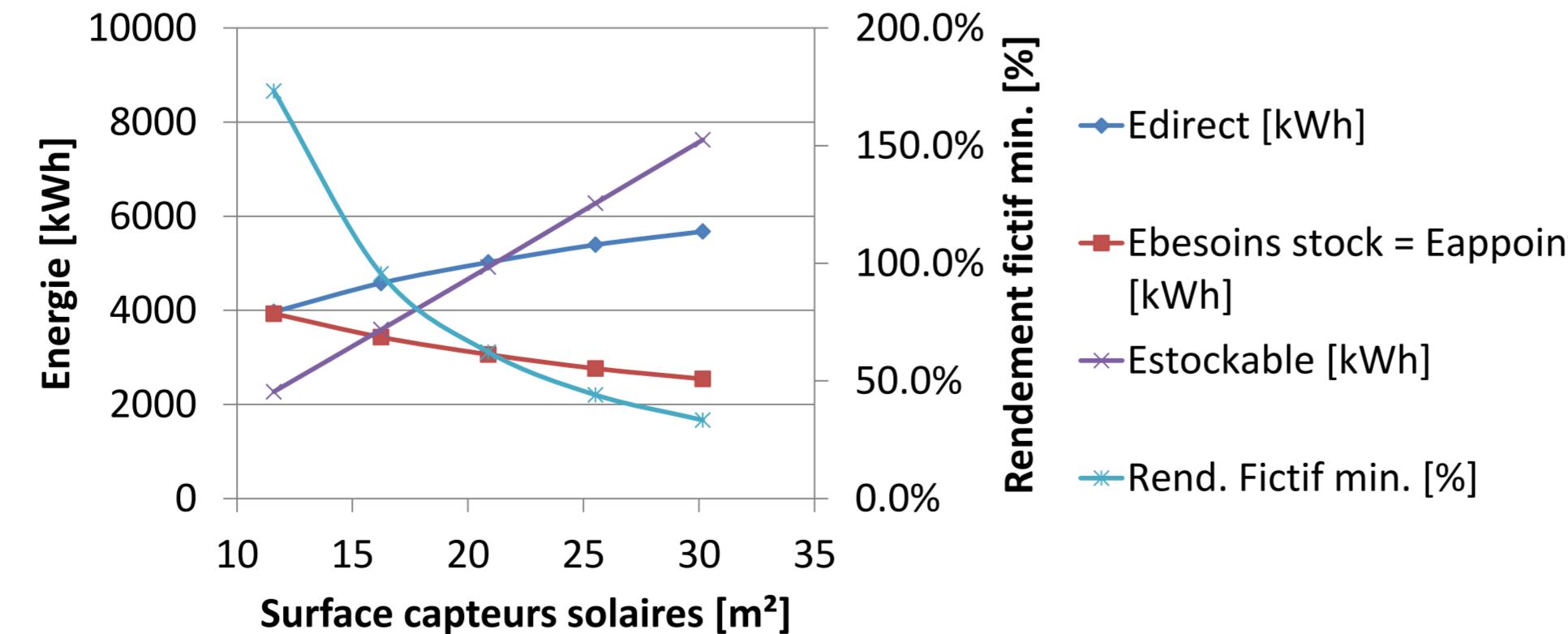


Fig. 5 – Consommation annuelle du SSC et capacité de stockage

### 3a. Ajout du modèle de stockage simplifié

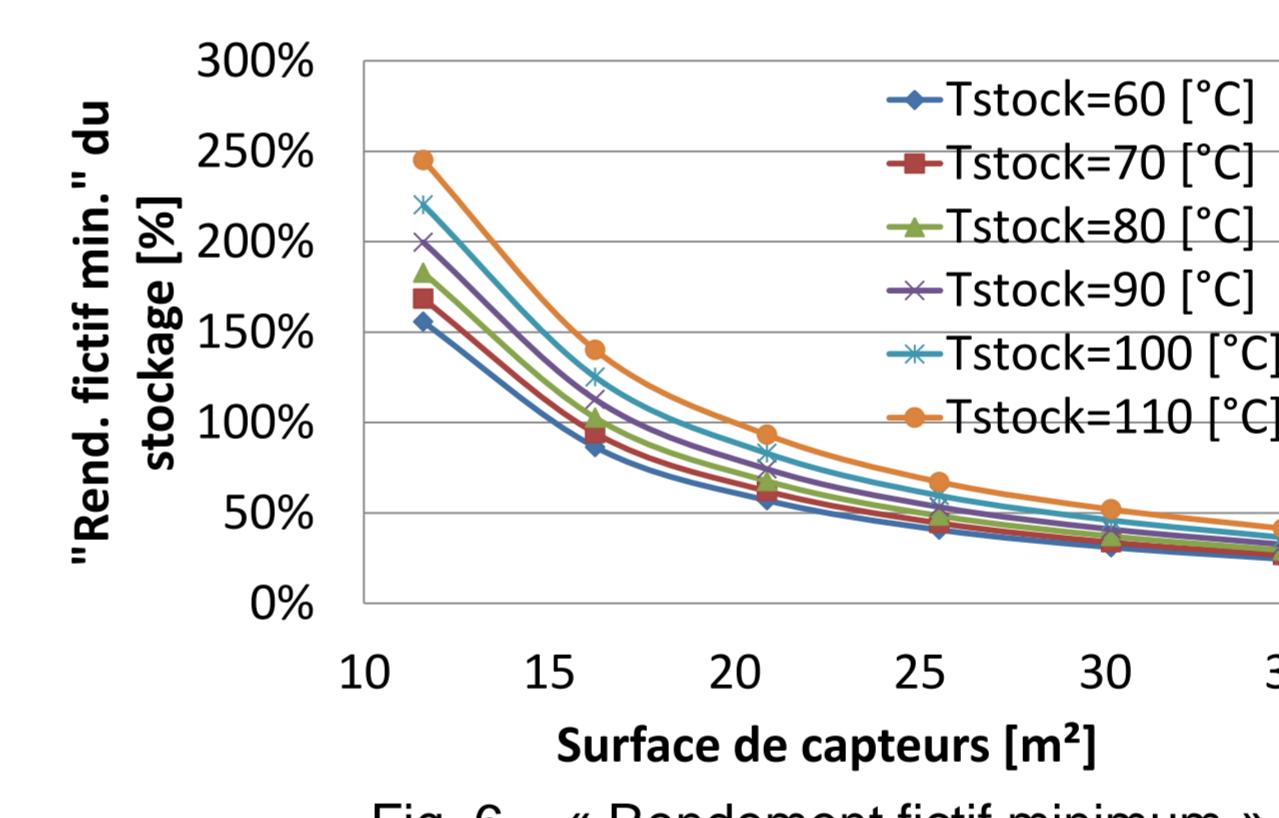


Fig. 6 – < Rendement fictif minimum >

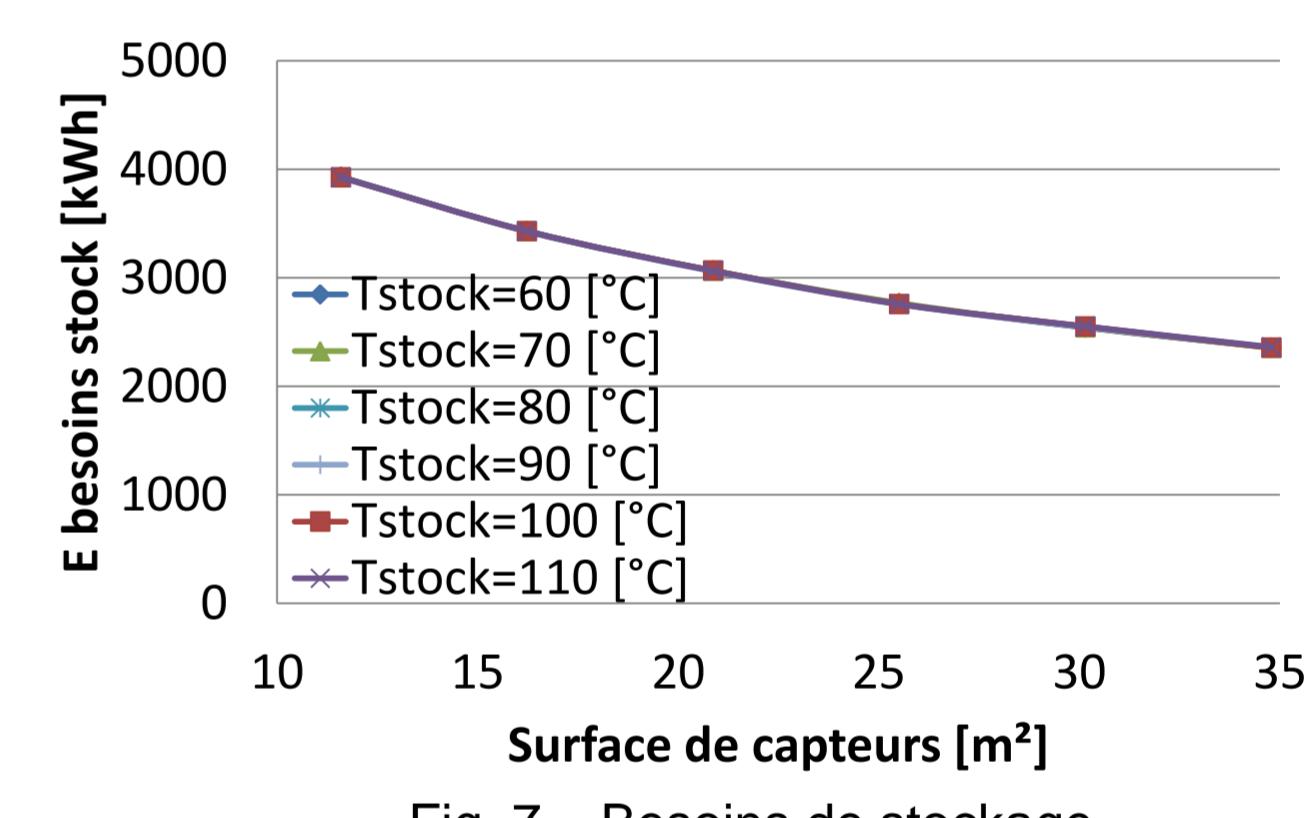


Fig. 7 – Besoins de stockage

- En fonction de la température de stockage: minimum entre 15 et 20 m<sup>2</sup> de capteurs pour assurer l'autonomie solaire.
- Capacité de stockage inter-saisonnier correspondante: entre 3550 et 3150 kWh stockés avec un rendement de 100 %.

### 3b. Ajout du modèle de stockage détaillé

Paramètre / Couple	Unités	$\text{CaCl}_2/\text{H}_2\text{O}$	CA/Méthanol
Masse de sel anhydre	[kg]	22 470	16 497
Efficacité échangeur	[-]	0.87	0.3
Fraction volumique du sel	[-]	0.85	0.9
Débit boucle solaire	[kg/(h.m <sup>2</sup> )]	16.8	15
Surface capteurs	[m <sup>2</sup> ]	14.4	12.8

Tableau 2 – Paramètres obtenus après optimisation

- Couple  $\text{CaCl}_2/\text{H}_2\text{O}$ :  
→ Volume de réacteur nécessaire: 12,35 m<sup>3</sup>;  
→ Densité de stockage 200 kWh/m<sup>3</sup>.
- Couple Charbon actif /Méthanol:  
→ Optimum local: autonomie du système de chauffage légèrement inférieure à 100%;  
→ Volume de réacteur nécessaire: 40 m<sup>3</sup>;  
→ Densité de stockage: 60 kWh/m<sup>3</sup>.

## Conclusions

- Influence importante de la température de la réaction de stockage sur le dimensionnement du système.
- Autarcie solaire du système de chauffage assurée pour une dimension relativement raisonnable du SSC dans le cas du couple  $\text{CaCl}_2/\text{H}_2\text{O}$  : 12,35 m<sup>3</sup> de  $\text{CaCl}_2$  nécessaires pour une densité de stockage de 200 kWh/m<sup>3</sup>.
- Le couple Charbon actif /Méthanol présente des résultats plus mitigés: 40 m<sup>3</sup> de stockage pour 60kWh/m<sup>3</sup>.