

# 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 (CaCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>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).

- Simulation du bâtiment seul : 100 m<sup>2</sup> chauffés et un pan de toiture orienté au sud – ECS : évaluation simplifiée.
- Ajout d'un système solaire combiné (SSC) et des émetteurs de chaleur (planchers chauffants).
- Ajout d'un modèle de stockage thermochimique (en deux étapes):

- Modèle simplifié type « boîte noire » (déstockage non pris en compte):

→ influence de la température sur la quantité d'énergie stockée.

- Modèle détaillé purement thermodynamique type « boîte blanche »:

→ performances de couples présélectionnés: CaCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>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.

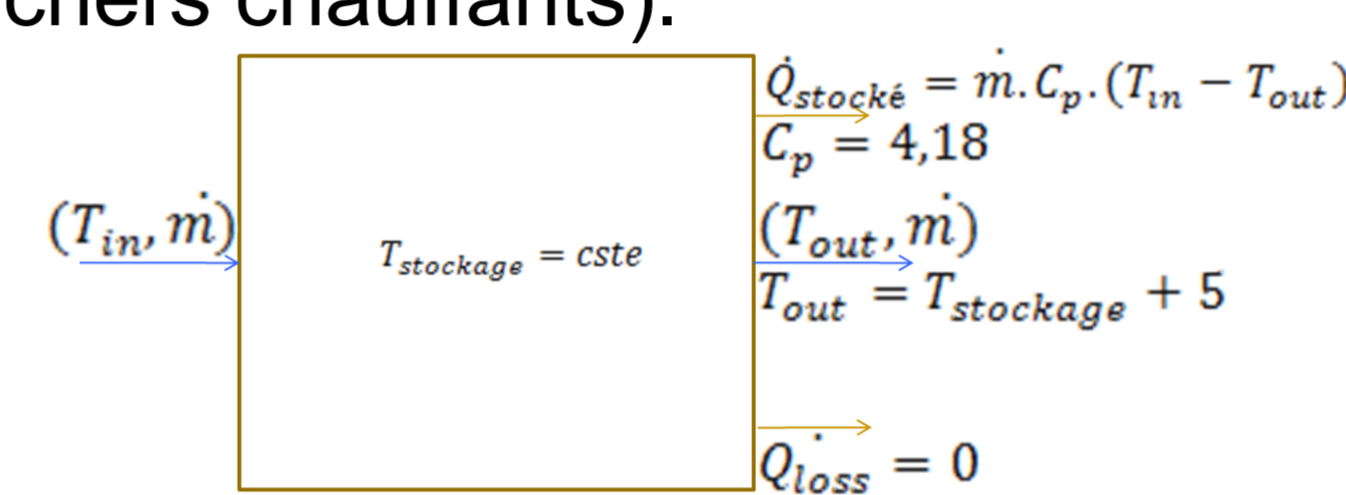


Fig. 1 - Modèle simplifié

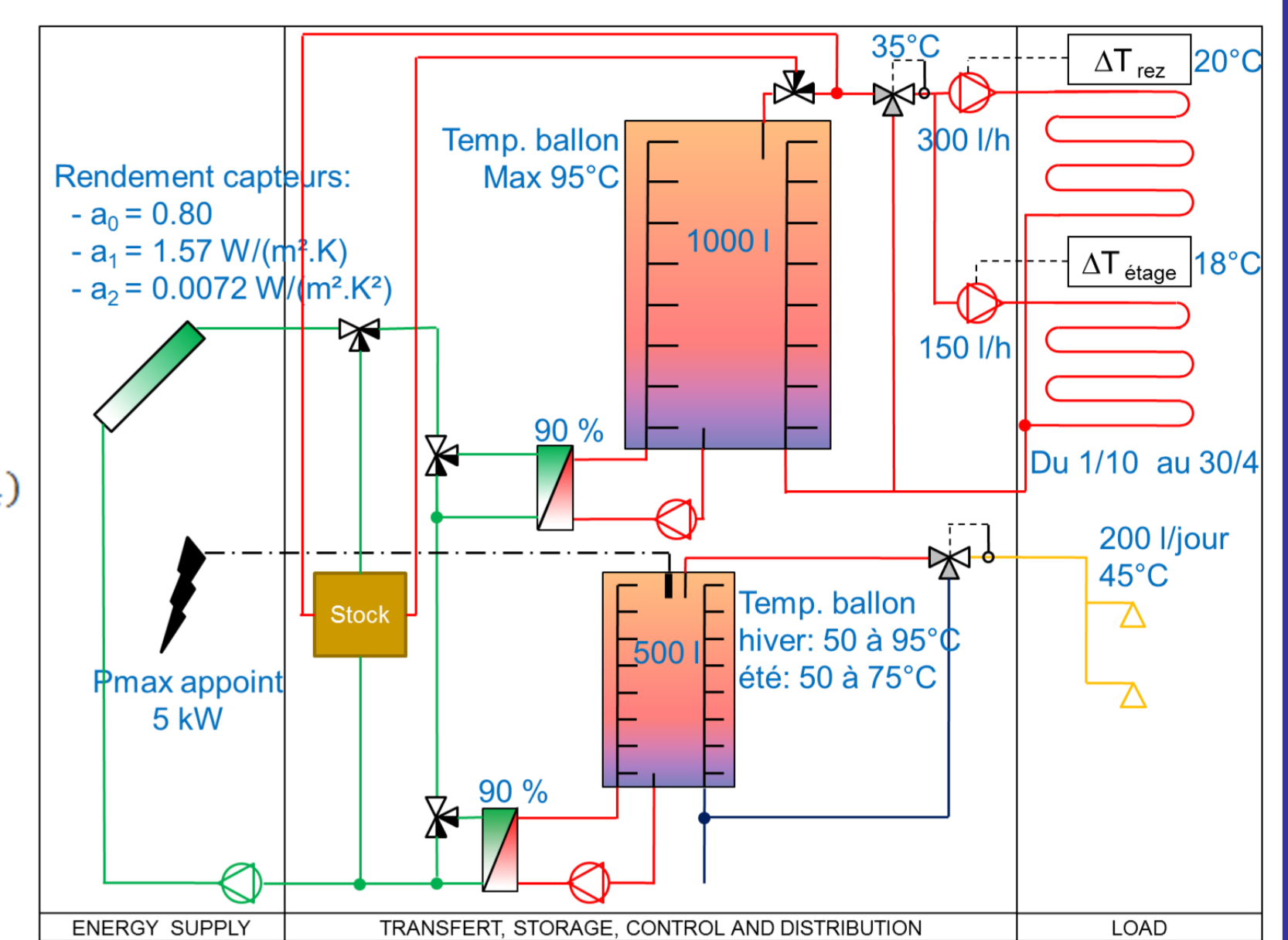


Fig. 2 - Intégration du stockage dans le SSC

Paramètre / Couple	Unités	CaCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> 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].

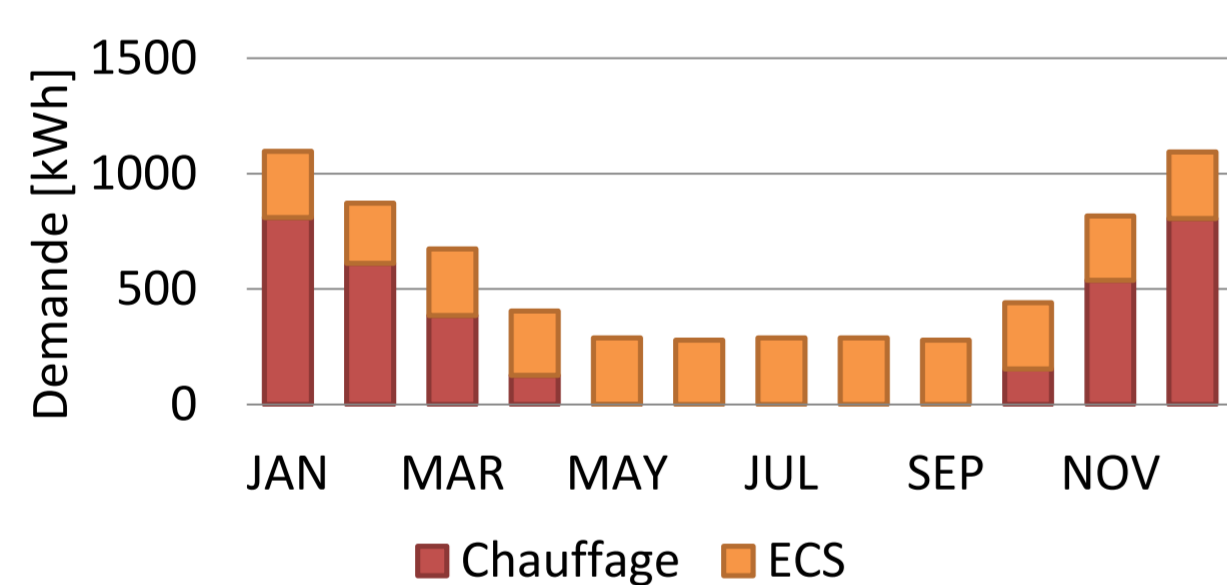


Fig. 3 - Demande mensuelle du bâtiment

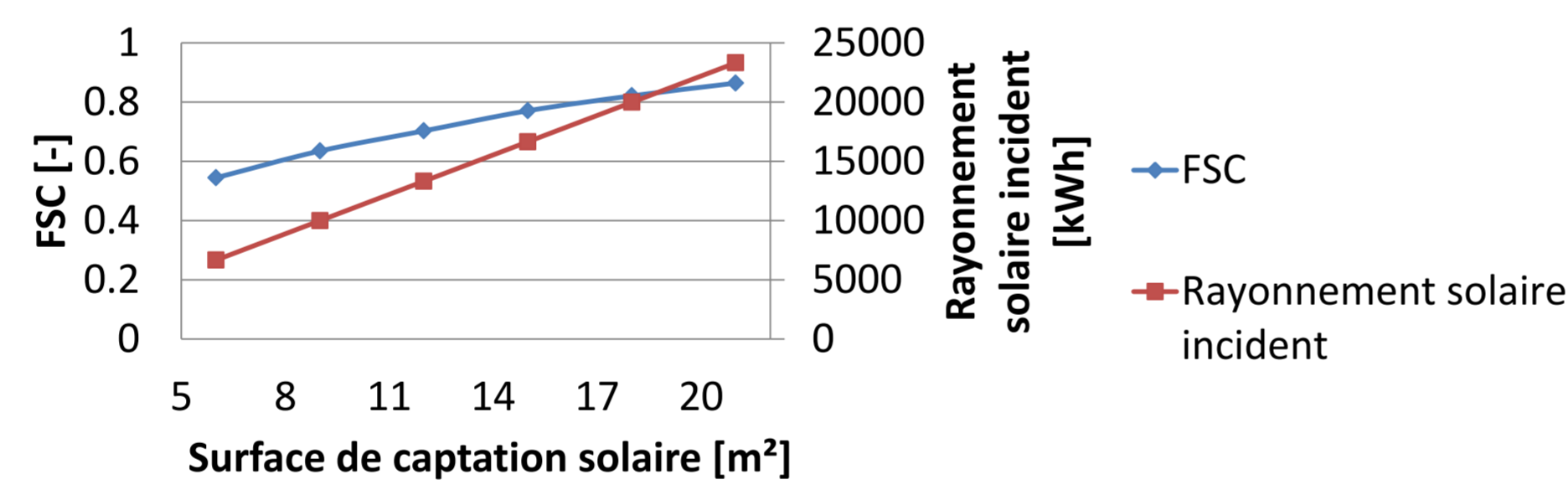


Fig. 4 - Indice FSC et rayonnement solaire en fonction de la surface de captation

### 2. Ajout du SSC

- Grâce aux simulations, on obtient:

a)  $E_{direct}$  = Energie solaire apportée directement au SSC;

b)  $E_{appoint}$  = Energie d'appoint des ballons =  $E_{besoins\ stock}$ ;

c)  $R_{s\ excédentaire}$  = Rayonnement solaire excédentaire entre le 1/5 et le 30/9.

- Indicateur utilisé pour « mesurer » l'autarcie solaire:

$$\eta_{fictif\ minimum} = \frac{E_{besoins\ stock}}{E_{stockable}} = \frac{E_{appoint}}{45\% * R_{s\ excédentaire}}$$

- Apports solaires insuffisants pour assurer l'autarcie

$$si\ \eta_{fictif\ min} > 1$$

- Minimum 16 m<sup>2</sup> de capteurs et 3000 kWh stockés avec un rendement 100 % pour assurer l'autarcie solaire.

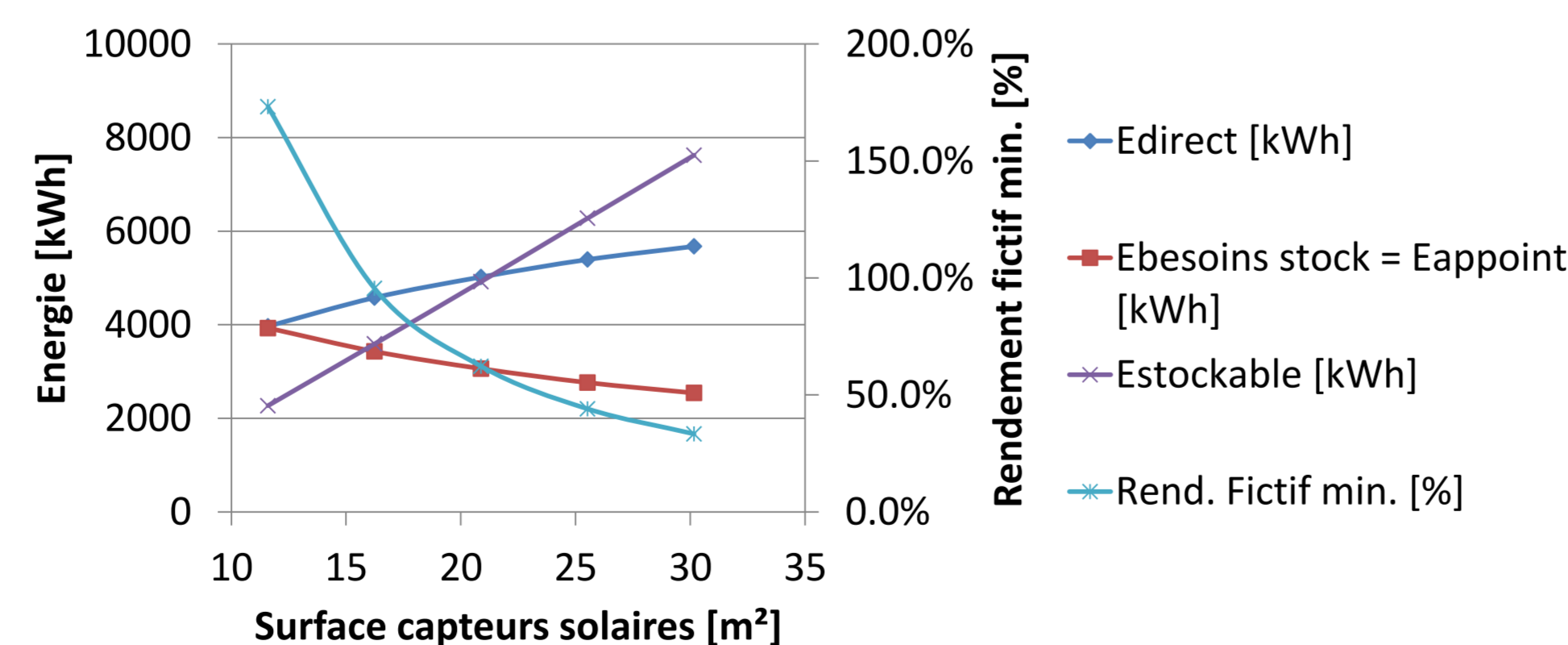


Fig. 5 - Consommation annuelle du SSC et capacité de stockage

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

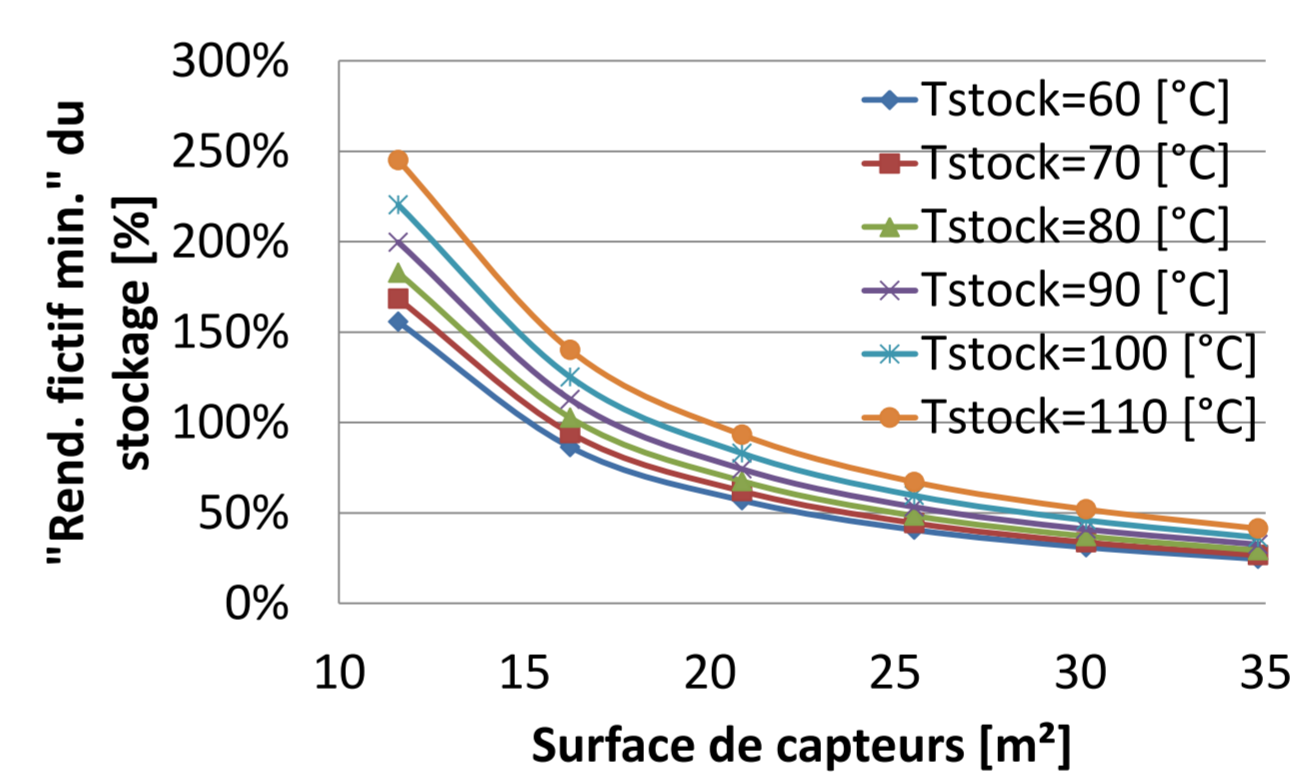


Fig. 6 - « Rendement fictif minimum »

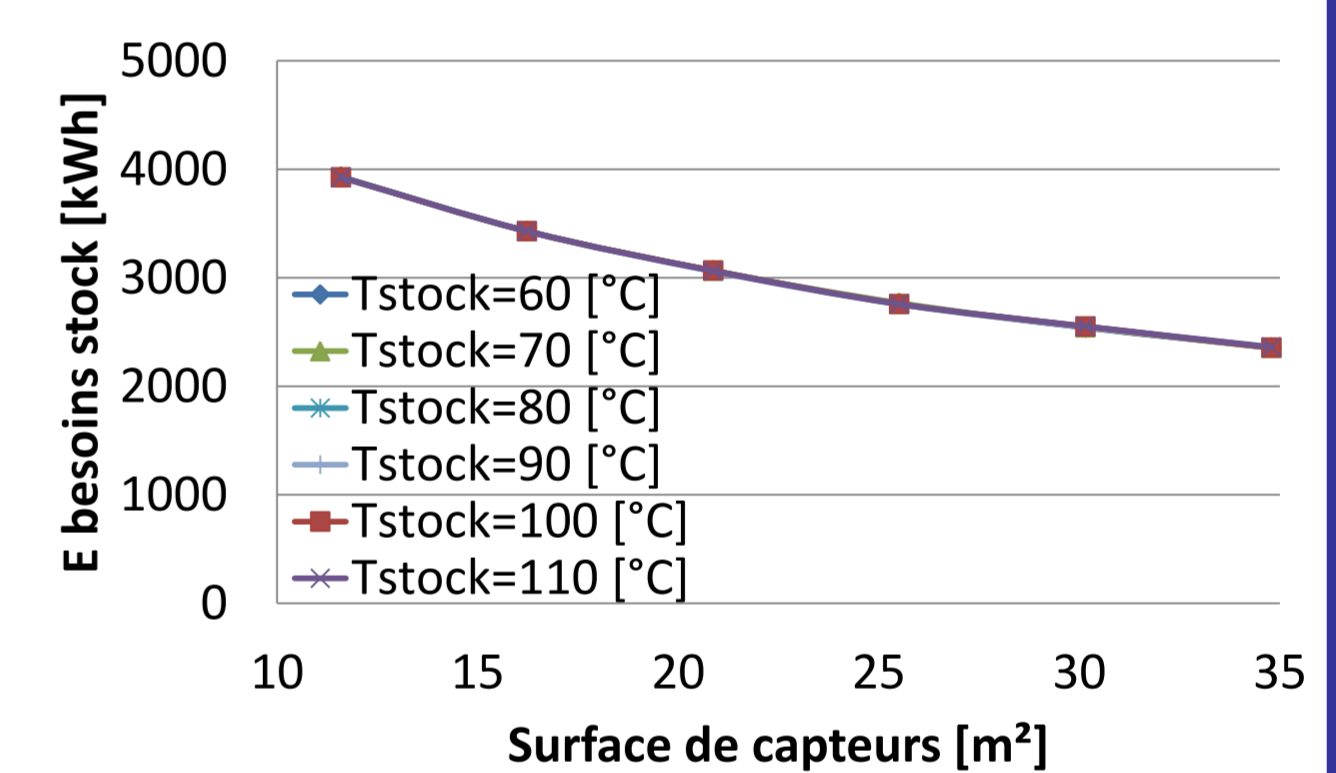


Fig. 7 - Besoins de stockage

- 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	CaCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> 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 CaCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>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 CaCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O : 12,35 m<sup>3</sup> de CaCl<sub>2</sub> 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>.