Matériaux à changements de phase (MCP) pour le confort d'été

Farah Souayfane, Pascal Henry Biwole, Farouk Fardoun

Séminaire des doctorants GTE
21 Septembre 2017

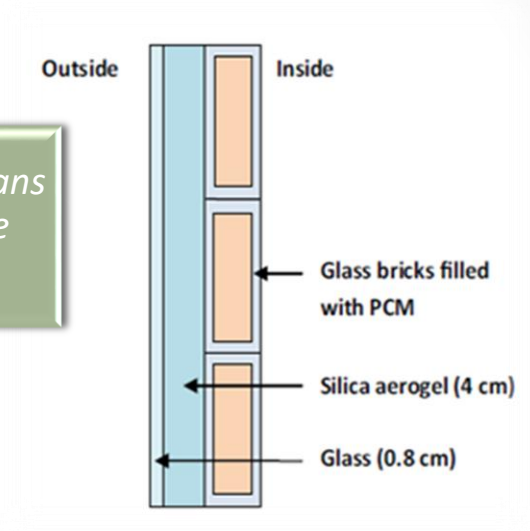
- Contexte
- Problématiques et Objectifs
- Méthodes et Résultats principaux
- Travaux futurs

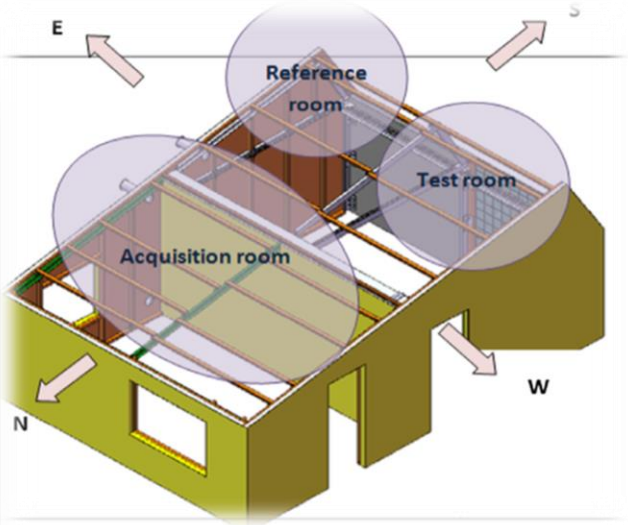
Contexte

Mur semi transparent

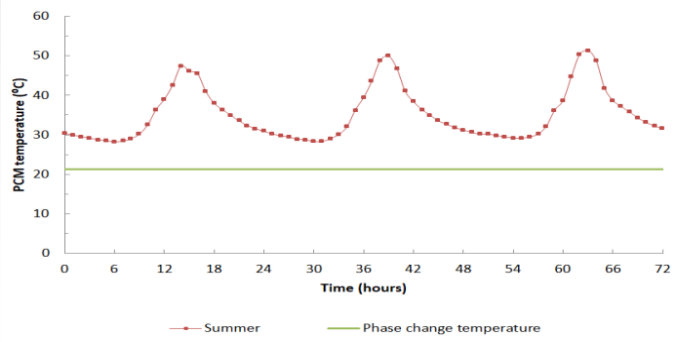
MCP Contenu dans des briques de verre

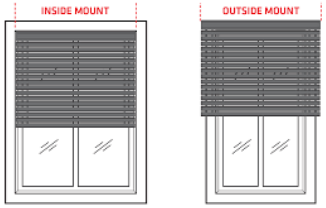
Cellule expérimentale à Sophia Antipolis (centre PERSEE)





Problématique et Objectifs





COMSOL MULTIPHYSICS®

MATLAB

- *MCP reste liquide: n'arrive plus à déstocker la chaleur emmagasinée*
- *Surchauffe estivale*

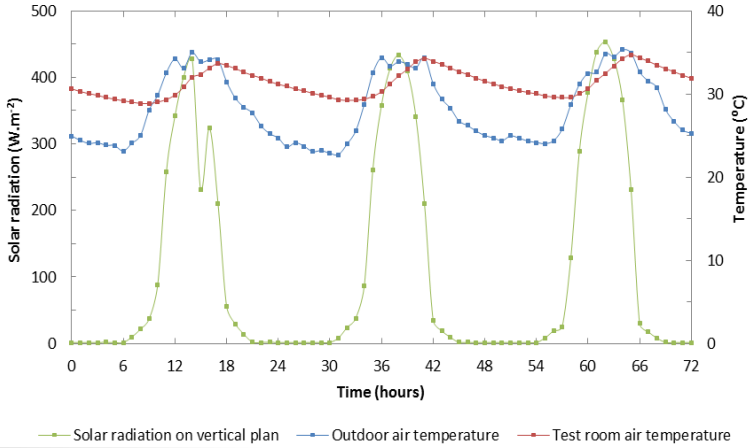
- Verrou technologique

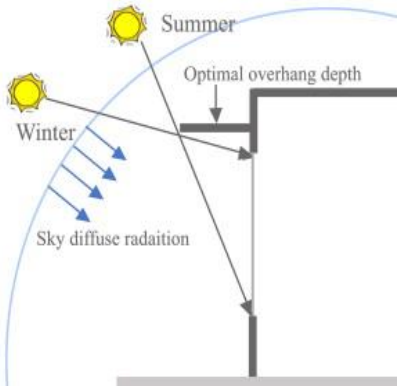
Chercher à obtenir le cyclage du MCP l'été

- Eviter la situation de surchauffe

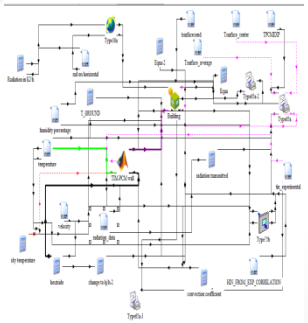
Verrou scientifique

Obtenir un modèle simplifié de fusion avec convection





TRNSYS 17



Méthodes et Résultats principaux

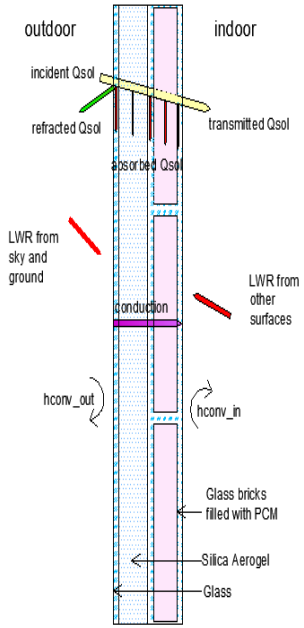
Phénomènes mis en jeu

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) - \rho L_H \frac{\partial f_l}{\partial t} + \emptyset_{sol}$$

$$\rho c_p \frac{\Delta x}{2} \frac{\partial T}{\partial t} = \emptyset_{cond}(t) + \emptyset_{LW,out}(t) + \emptyset_{conv}(t) + \emptyset_{sol}(t)$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \emptyset_{sol}$$

$$\rho c_p \frac{\Delta x}{2} \frac{\partial T}{\partial t} = \emptyset_{cond}(t) + \emptyset_{LW,in}(t) + \emptyset_{conv}(t) + \emptyset_{sol}(t)$$



Changement de phase	Convection naturelle	Rayonnement GLO	Rayonnement CLO
• Méthode « enthalpique »	• Surface extérieure • Surface intérieure • Au sein de MCP liquide	• Surface extérieure (ciel, environnement, terre) • Surface intérieure (surfaces de la zone)	• Rayonnement solaire : Absorption et Transmission

$$h_{out} = 5.7v + 11.4 \text{ (Windward)}$$

$$h_{out} = 5.7v \text{ (Leeward)}$$

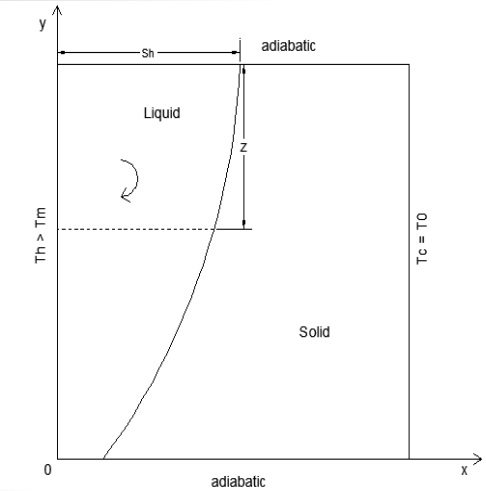
$$h_{in} = \left\{\left[1.5\left(\frac{|\Delta T|}{H}\right)^{1/4}\right]^6 + \left[1.23(|\Delta T|)^{1/3}\right]^6\right\}^{1/6}$$

$$\tau_s^{(n+k)} = \frac{\tau_s^{(n)}\tau_s^{(k)}}{1-\rho_{s2}^{(n)}\rho_{s1}^{(k)}}$$

$$\rho_{s1}^{(n+k)} = \rho_{s1}^{(n)} + \tau_s^{(n)^2}\frac{\rho_{s1}^{(k)}}{1-\rho_{s2}^{(n)}\rho_{s1}^{(k)}}$$

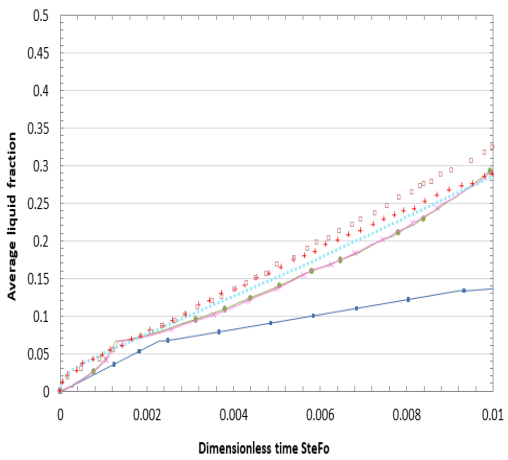
$$\rho_{s2}^{(n+k)} = \rho_{s2}^{(k)} + \tau_s^{(k)^2}\frac{\rho_{s2}^{(n)}}{1-\rho_{s1}^{(k)}\rho_{s2}^{(n)}}$$

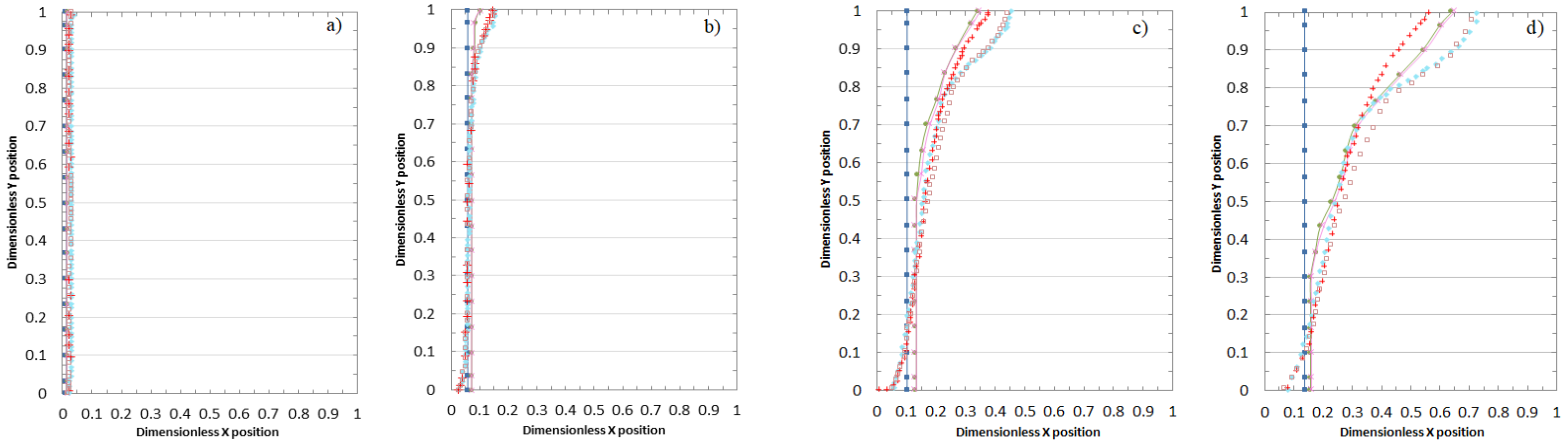
$$\emptyset_{sol} = \frac{Q_{sol-trans}\,\alpha_P}{N}$$



Convection naturelle dans le MCP liquide

- *Modèle simplifié*
- *L'approche de la conductivité efficace + la théorie d'échelle*
- *Matlab (2D FVM Patankar)*
- *Validé à l'aide d'un modèle CFD (COMSOL) + résultats numériques des benchmarks*
- *Octadecane*



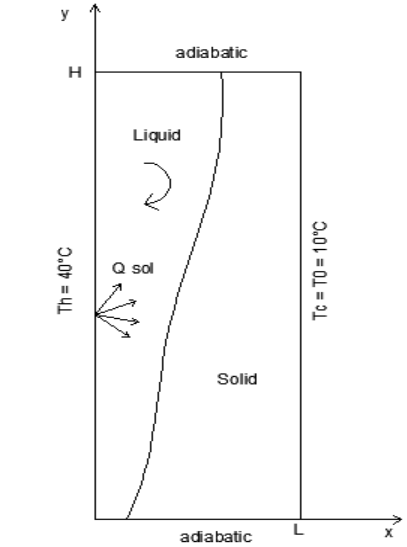


très bon accord

Fraction de liquide améliorée 40%

Position du front de fusion améliorée 55% a l'instant steFo 0.01

Temps de calcul relativement court

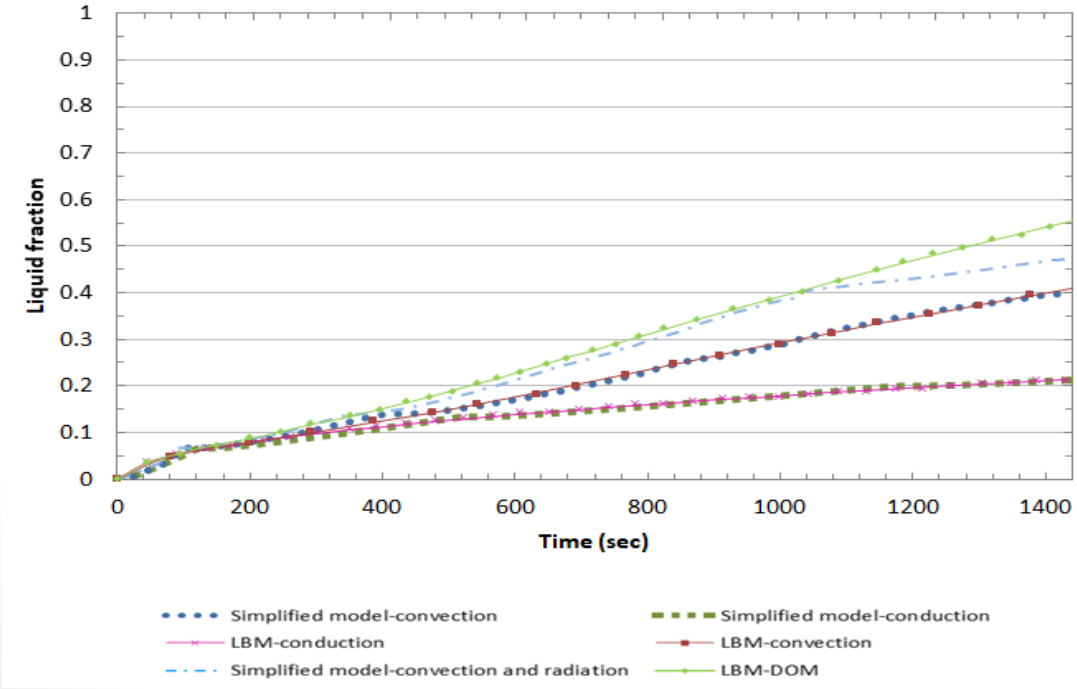


Rayonnement courte longueur d'onde

- *Modèle simplifié*
- *Evaluation nodale des propriétés optiques de MCP en fonction de la fraction de liquide*
- *rayonnement solaire absorbé divisé également entre les nœuds*
- *Validé à l'aide d'un modèle LBM-DOM*
- *Acide gras*

$$\rho \frac{\partial H}{\partial t} = div(k grad\, T) + \emptyset_{sol}$$

$$\emptyset_{sol} = \frac{Q_{sol}\, \alpha_{PCM}}{N}$$

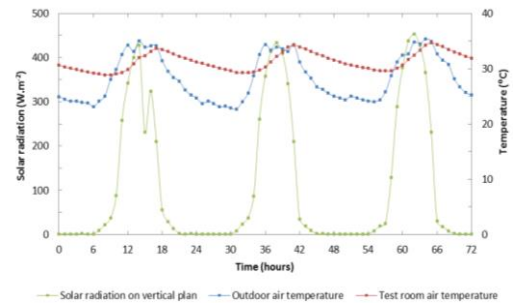


Très bon accord

Fraction de liquide amélioré 40%

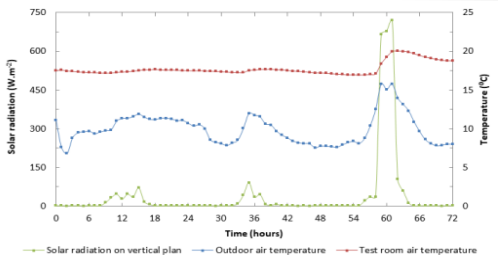
Fraction de liquide amélioré 40% en comparant avec modèle convection

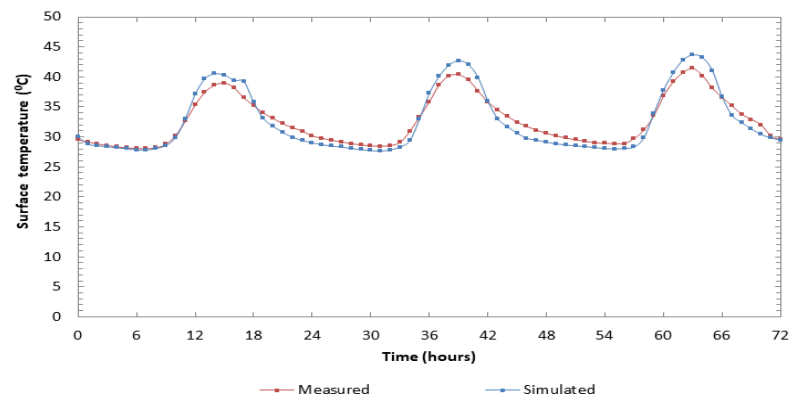
temps de calcul relativement court

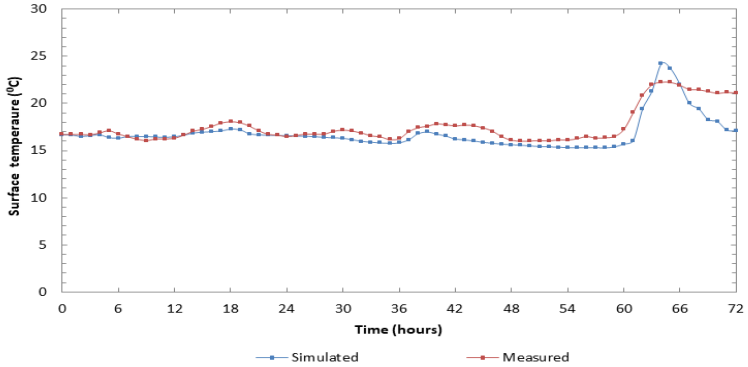


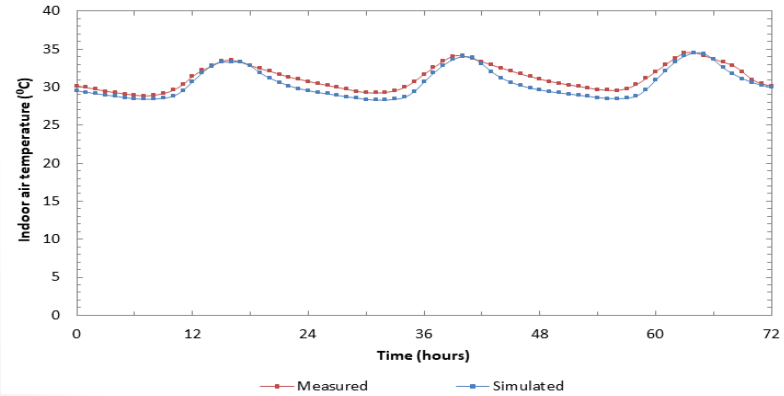
Validation de modèle

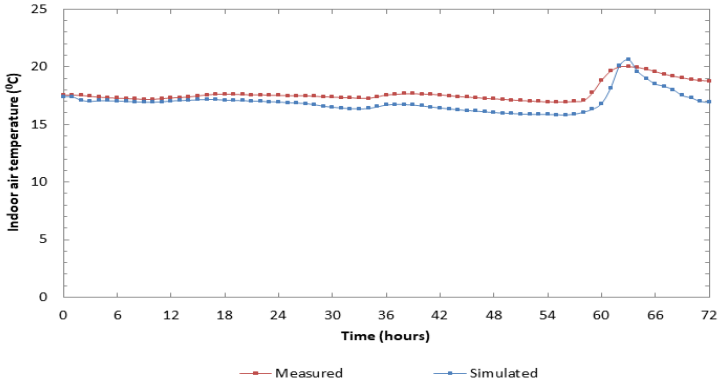
- *3 Jours consécutifs en été (3, 4, 5 Aout 2017)*
- *3 Jours consécutifs en hiver (27, 28, 29 Janvier 2017)*











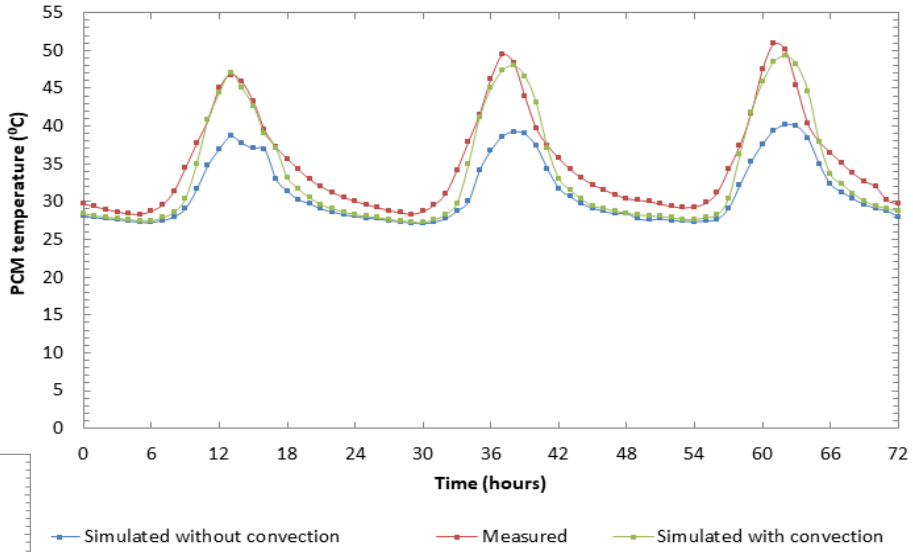
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(s_i - e_i)^2}$$

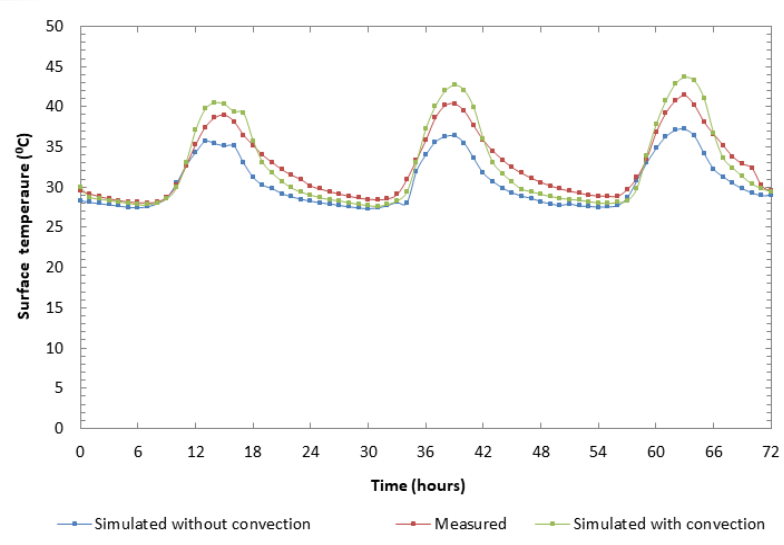
Saison	Quantité physique	RMSE	PRMSE
été	*Température de surface intérieure*	*1.37°C*	*3.93%*
	Temperature de l'air intérieur	*0.90°C*	*2.94%*
Hiver	*Température de surface intérieure*	*1.22°C*	*6.28%*
	Temperature de l'air intérieur	*0.93°C*	*5.21%*

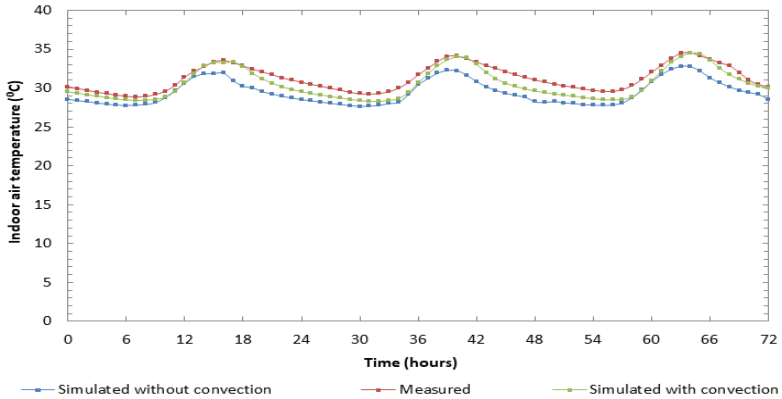
$$PRMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{s_i - e_i}{e_i}\right)^2}$$

Effet de la convection naturelle

- *3 Jours consécutives en été (3, 4, 5 Aout 2017)*
- *Température de couche MCP, température de surface intérieure, Température de l'air intérieur*







$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(s_i - e_i)^2}$$

Température	Modèle	RMSE	PRMSE
Température de l'air intérieur	Modèle avec convection	0.90 ºC	2.94 %
	Modèle sans convection	1.89 ºC	6.03 %
Température de surface intérieure	Modèle avec convection	1.37 ºC	3.93 %
	Modèle sans convection	2.50 ºC	7.15 %
Température de couche MCP	Modèle avec convection	2.09 ºC	6.13 %
	Modèle sans convection	4.70 ºC	11.57 %

$$PRMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{s_i - e_i}{e_i}\right)^2}$$

Travaux futurs

- *Appliquer l'utilisation de surplombe ou des stores, en premier temps, comme une solution passive.*

- *Tester autres PCM avec différentes températures de changement de phase…*