

# Mesure et modélisation des transferts hygrothermiques d'une enveloppe en béton de bois

---

**Dalel MEDJELEKH**

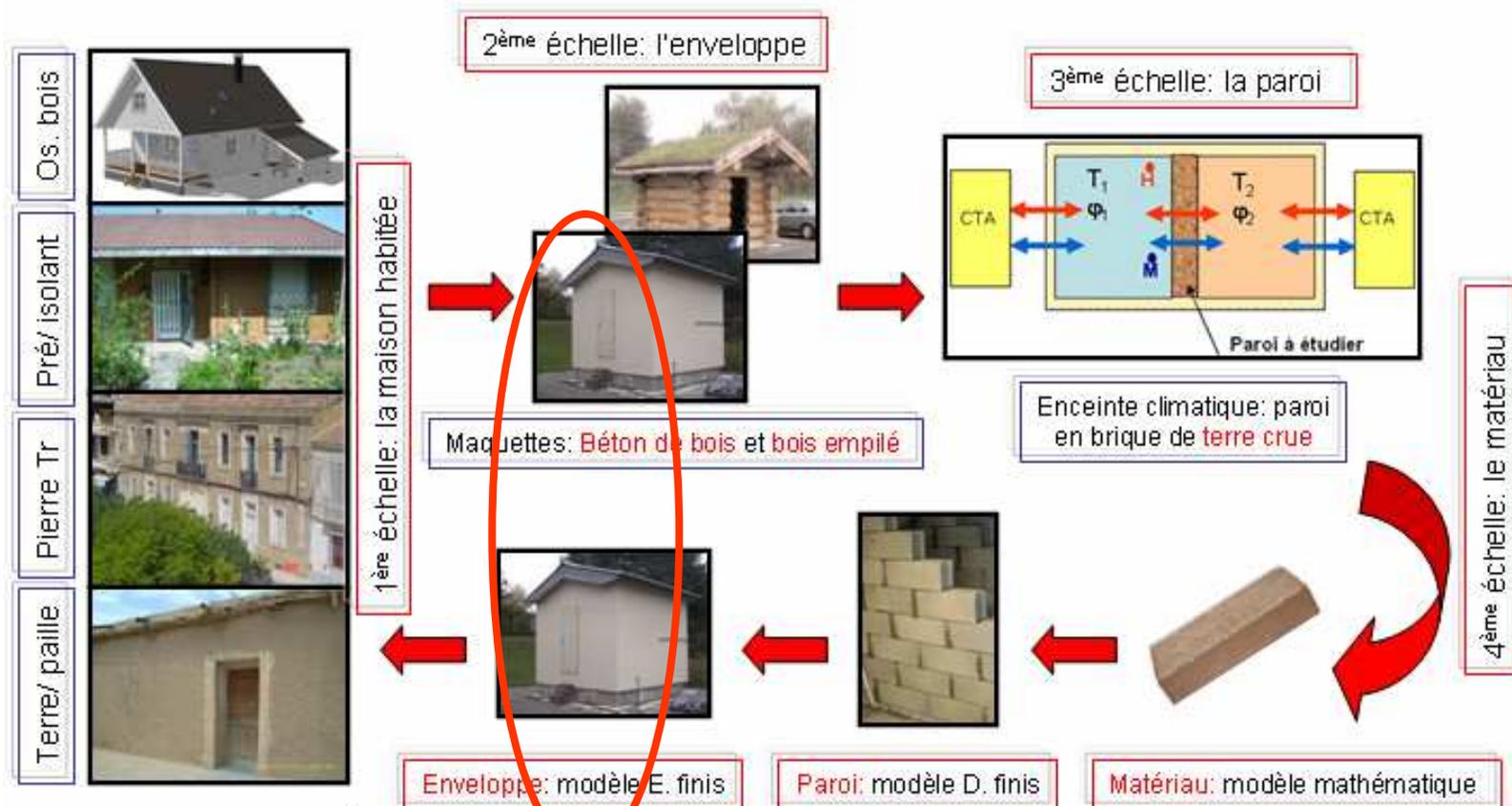
Dalel MEDJELEKH<sup>1-2\*</sup>, Laurent ULMET<sup>1</sup>, Frédéric DUBOIS<sup>1</sup>

<sup>1-2\*</sup> Université de Limoges, GEMH-GC&D, Egletons, France

<sup>2</sup>. Université Mentouri Constantine, École d'architecture, Laboratoire « A.B.E » d'Architecture Bioclimatique et d'Environnement, Algérie:

\*[dalel.medjelekh@etu.unilim.fr](mailto:dalel.medjelekh@etu.unilim.fr)

# Expérimentation



# Modélisation

- Implantation des équations de transfert couplé en milieu hygroscopique sous CAS3EM;
- la polyvalence permet des applications multi-échelles allant du matériau au bâtiment.

### Résumé

- Contexte bâtiment/énergie
- Démontrer l'efficacité du béton de bois dans sa gestion hygrothermiques.
- Mettre l'accent sur l'effet de l'humidité et améliorer les moteurs de calcul.

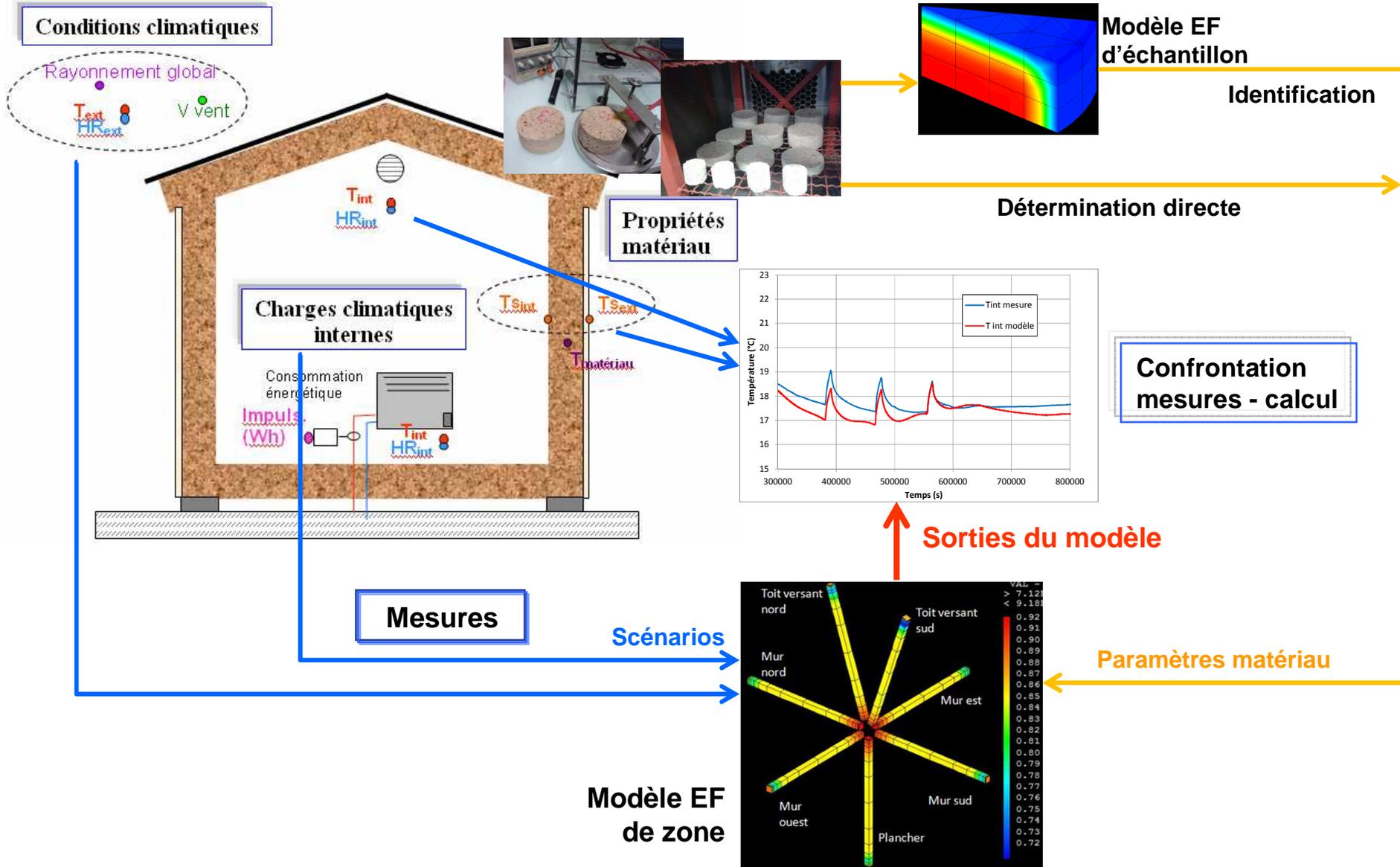
### Contexte - Objectifs

- évaluation de la robustesse du modèle;
- confrontation des températures et hygrométries internes mesurées et calculées;
- impact des chaleurs d'adsorption/désorption sur la réponse thermique.

### Résultats

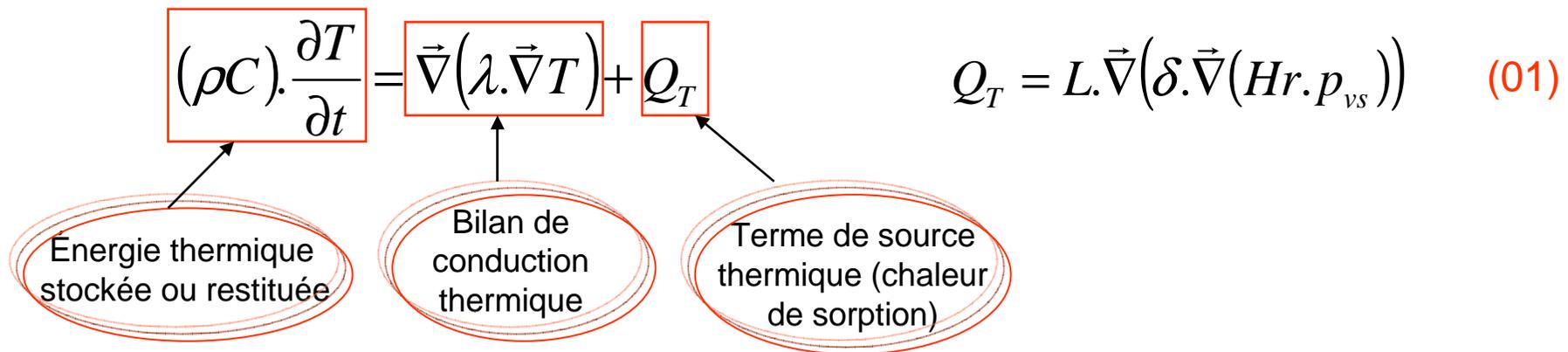
- Identification des paramètres du matériau par simulation de paliers de sorption
- Le modèle de zone est ensuite comparé aux mesure menées sur une cellule-test.

### Méthode

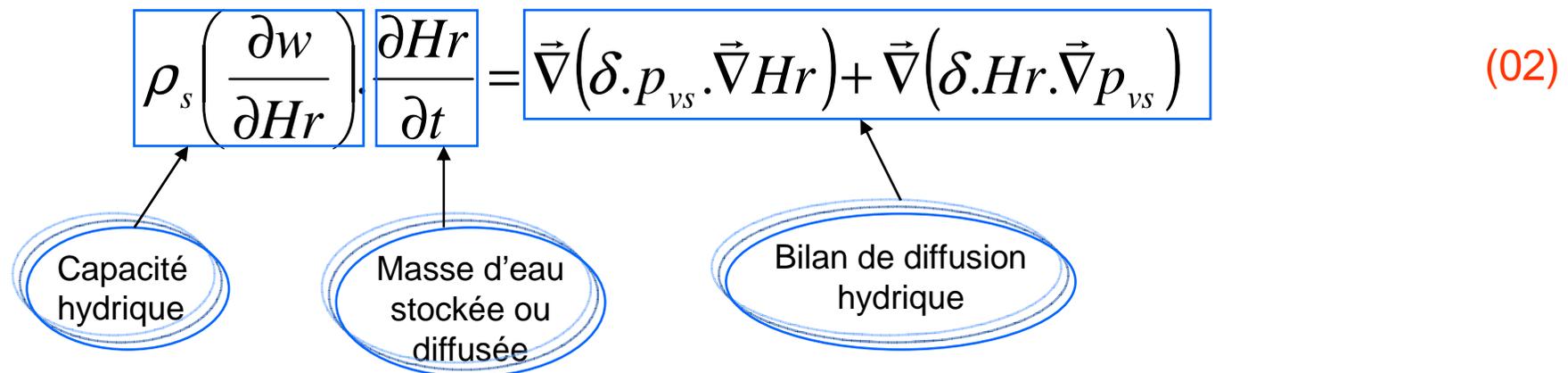


▪ Équations de bilan thermique et hydrique:

$$(\rho C) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \vec{\nabla}(\lambda \cdot \vec{\nabla} T) + Q_T \quad Q_T = L \cdot \vec{\nabla}(\delta \cdot \vec{\nabla}(Hr \cdot p_{vs})) \quad (01)$$



$$\rho_s \left( \frac{\partial w}{\partial Hr} \right) \cdot \frac{\partial Hr}{\partial t} = \vec{\nabla}(\delta \cdot p_{vs} \cdot \vec{\nabla} Hr) + \vec{\nabla}(\delta \cdot Hr \cdot \vec{\nabla} p_{vs}) \quad (02)$$



## 1.1. Implantation dans CAST3M

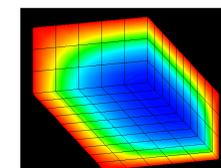
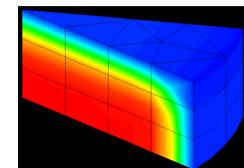
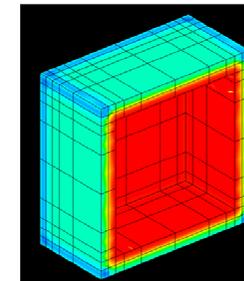
- Développements spécifiques dans l'environnement Eléments Finis Cast3M;
- Adaptation de la méthode implicite de thermique transitoire (Theta-méthode) aux deux modes de transferts, thermique et hydrique.

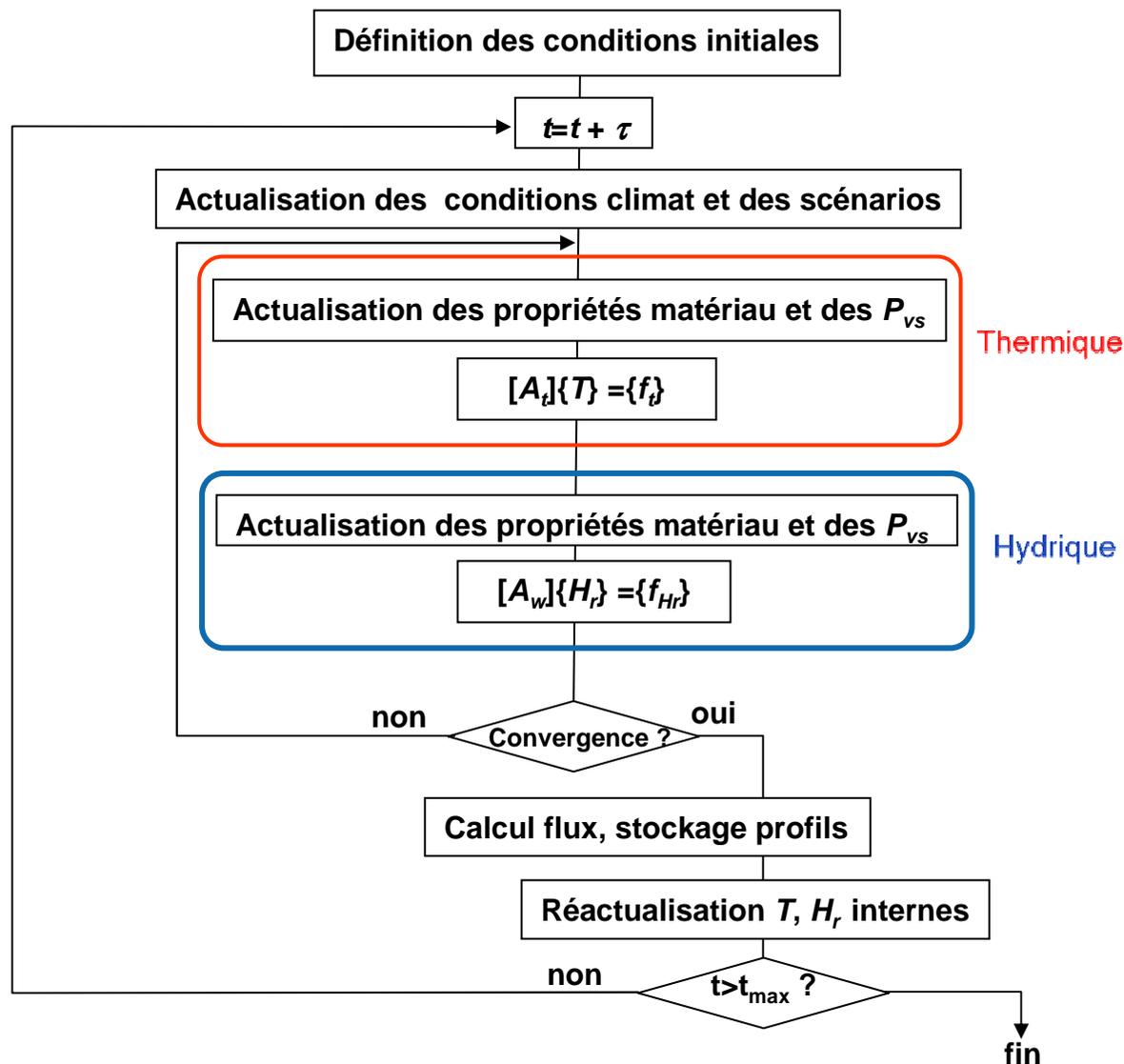
**Modèle éléments finies 3D : STHD\_EF**

Applicable aux zones

Applicable aux parois

Applicable à des échantillons de matériau





*Organigramme de l'algorithme de couplage, appliqué à une paroi*

## 2. Caractérisation des propriétés du matériau

4 petits ( $\Phi \times h=42 \times 38$  mm),  
 4 moyens ( $\Phi \times h=91 \times 18$  mm),  
 5 gros ( $\Phi \times h=91 \times 42$  mm)

Suivi dans l'enceinte  
 climatique à  
 succession de paliers  
 de HR et à 20°C

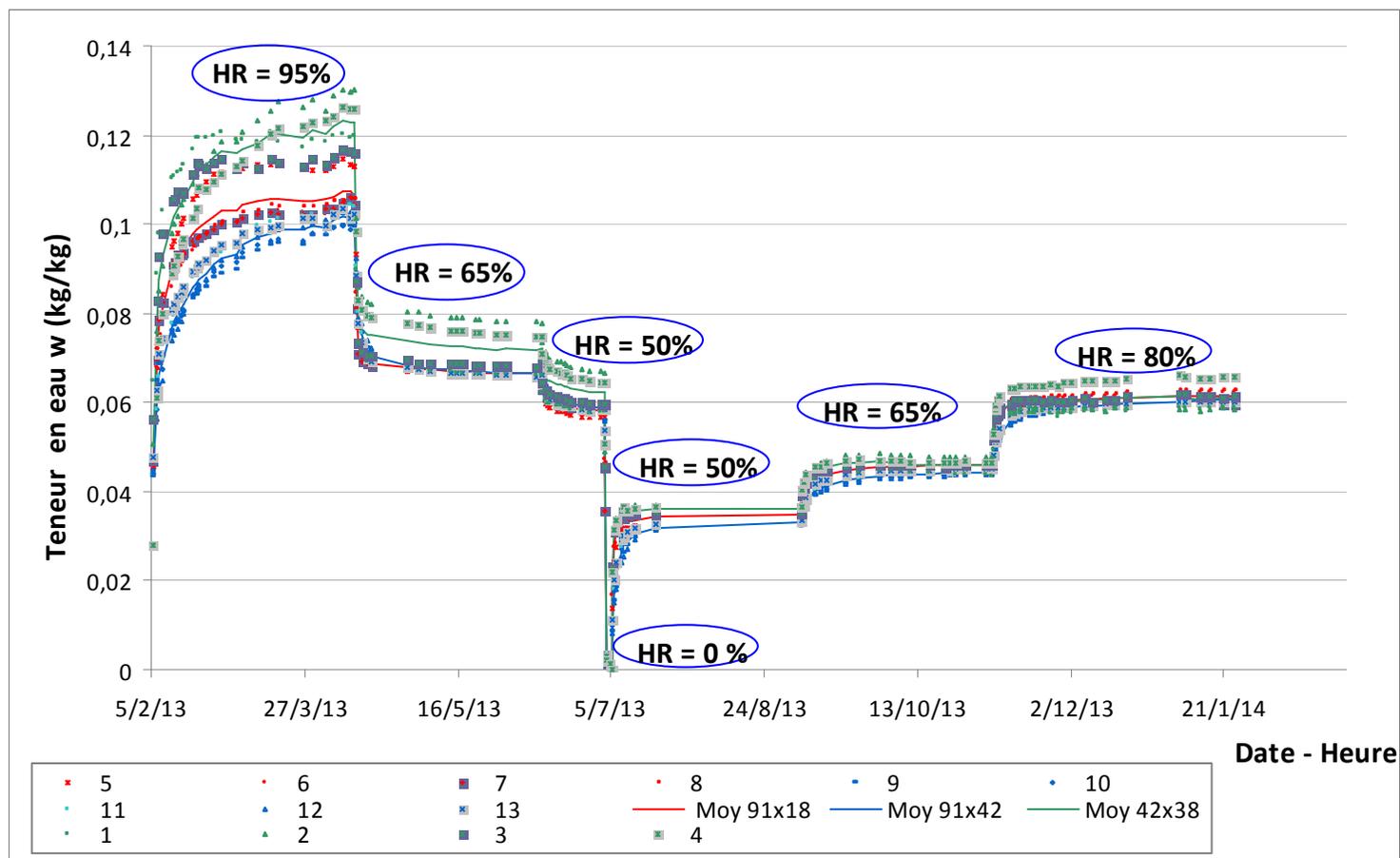
Pesées  
 régulières des  
 échantillons

Mesures de  $\lambda$  par la  
 méthode de disque chaud  
 à chaque stabilisation de  
 palier de HR.



Types d'échantillons de béton de bois, pesée et mesure de conductivité thermique

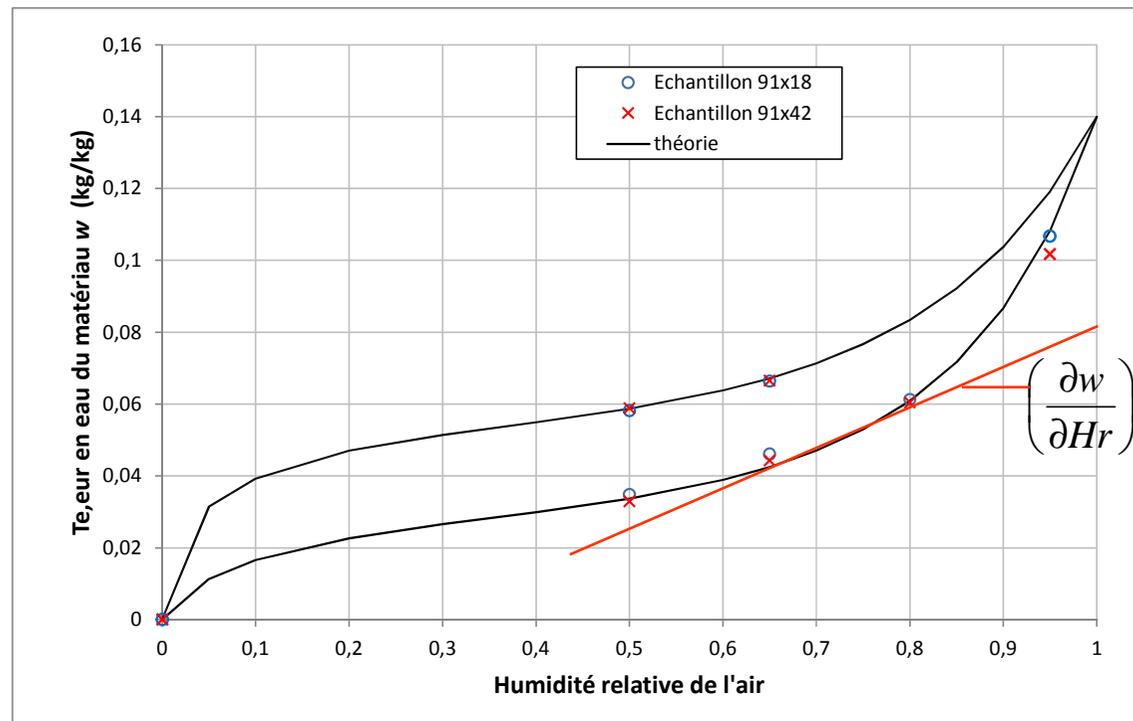
## 2.1. Isothermes de sorption



### Synthèse des paliers

$$w = w_s \cdot \exp(\varphi \cdot \ln(Hr)) \cdot \exp(a \cdot Hr) \quad (03)$$

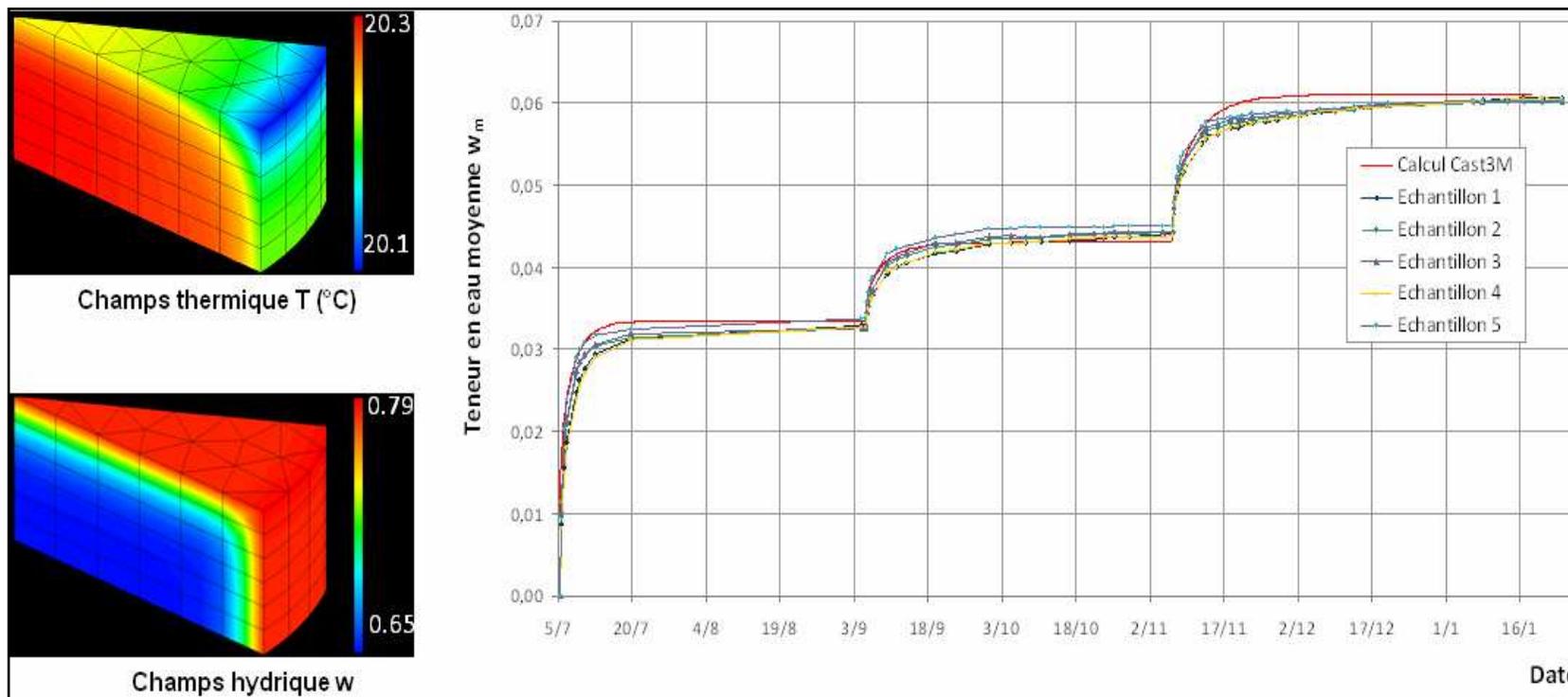
Paramètres des isothermes de sorption	$w_s = 0.14$	Adsorption : $\varphi = 0.76, \alpha = 1.99$
		Désorption : $\varphi = 0.45, \alpha = 2.05$



*Isothermes d'adsorption et de désorption*

## 2.2. Perméabilité à la vapeur

- Exploitation de la cinétique des phases de sorption pour déterminer l'évolution de la perméabilité à la vapeur  $\delta$  en fonction de la teneur en eau  $w$ .

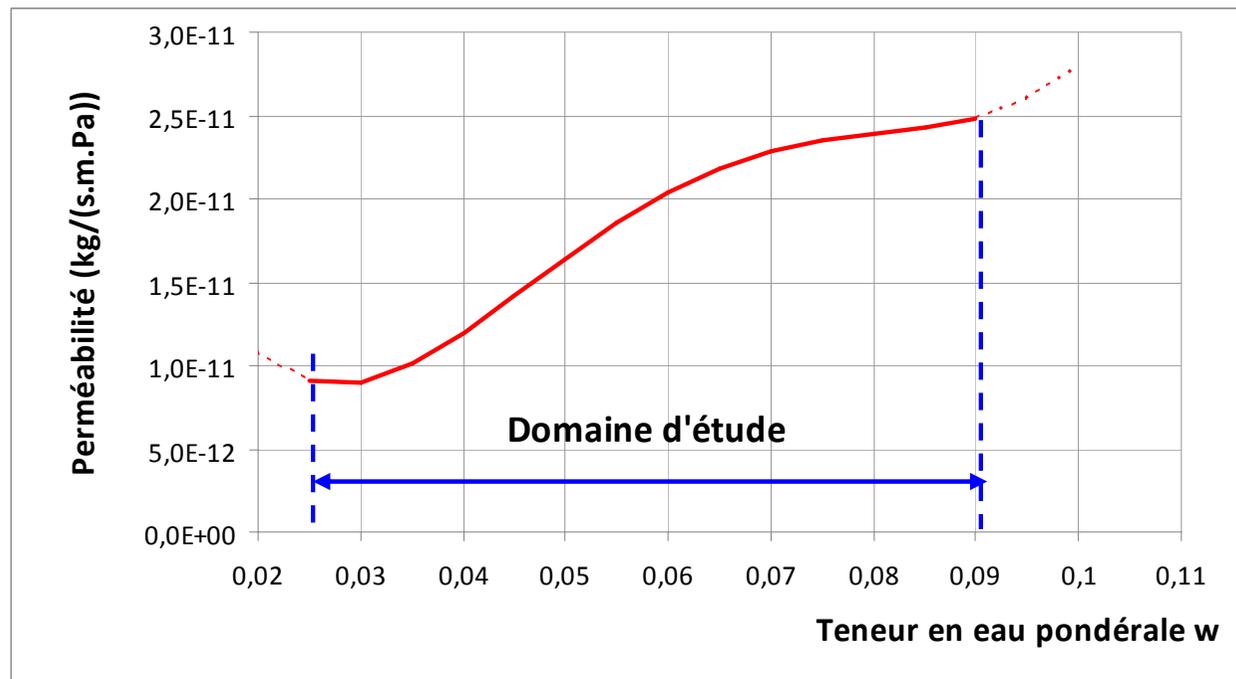


*Modélisation des échantillons : exemple de champs lors d'une adsorption, et comparaison des cinétiques calculées et mesurées après identification de  $\delta$*

- Dépendance de la perméabilité à la vapeur  $\delta$  à la teneur en eau  $w$ .

$$\delta = 4,52 \times 10^{-6} w^4 - 1,15 \times 10^{-6} w^3 + 1,02 \times 10^{-7} w^2 - 3,39 \times 10^{-9} w + 4,60 \times 10^{-11}$$

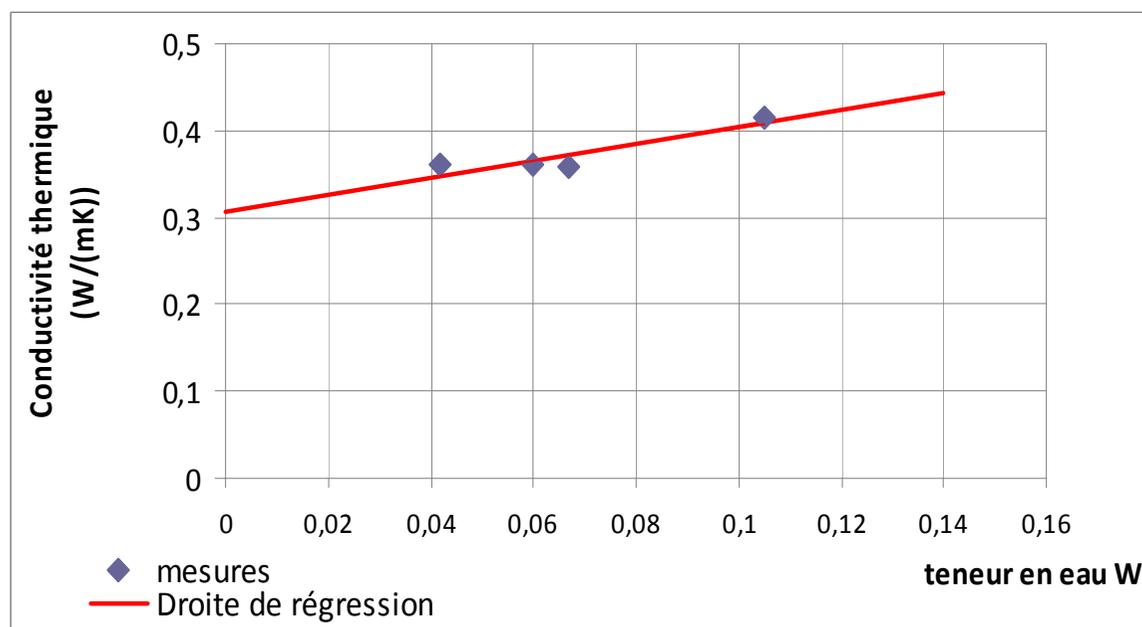
[kg.s<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup>]



La perméabilité  $\delta$  en fonction de la teneur en eau  $w$

## 2.3. Variations $\lambda$ en fonction de $w$

$$\lambda = 0,3078 + 0,9587 \times w$$

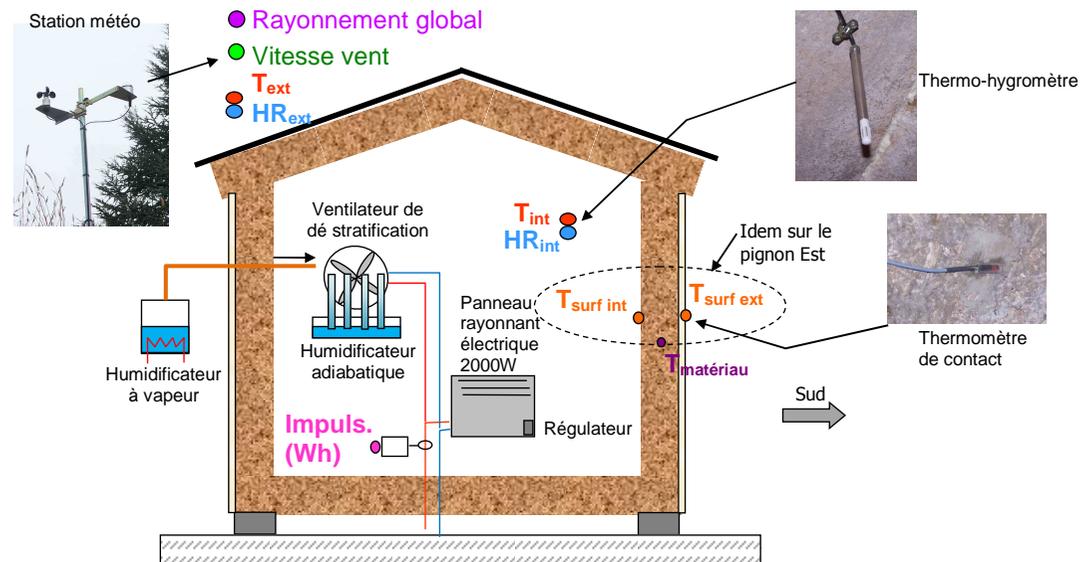


Variation de  $\lambda$  en fonction de %W

## 3. Cellule test et monitoring

Cellule test : 7 faces en béton de bois, de volume intérieur 27 m<sup>3</sup> 38 cm d'épaisseur  
Site Egletons (19) Alt 650 m

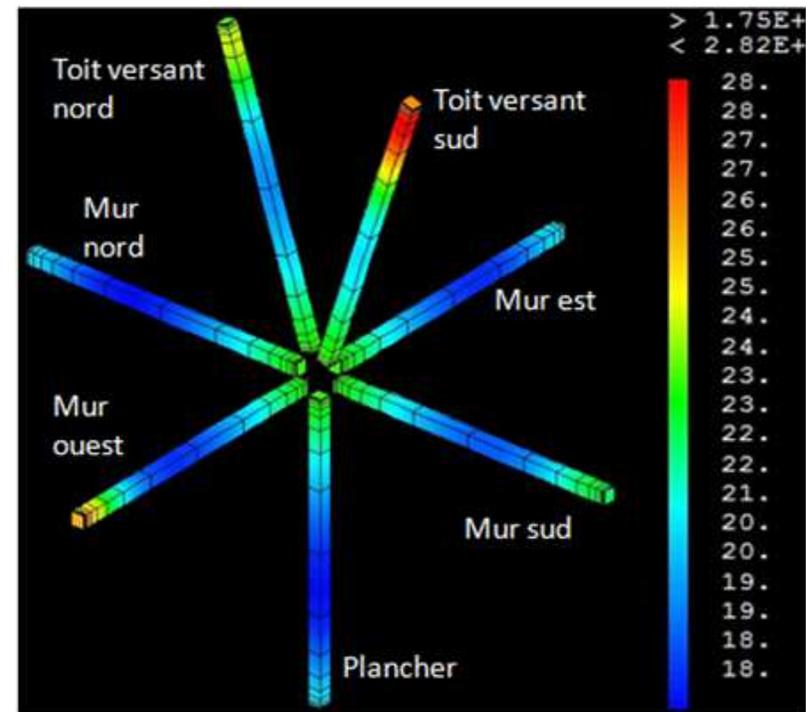
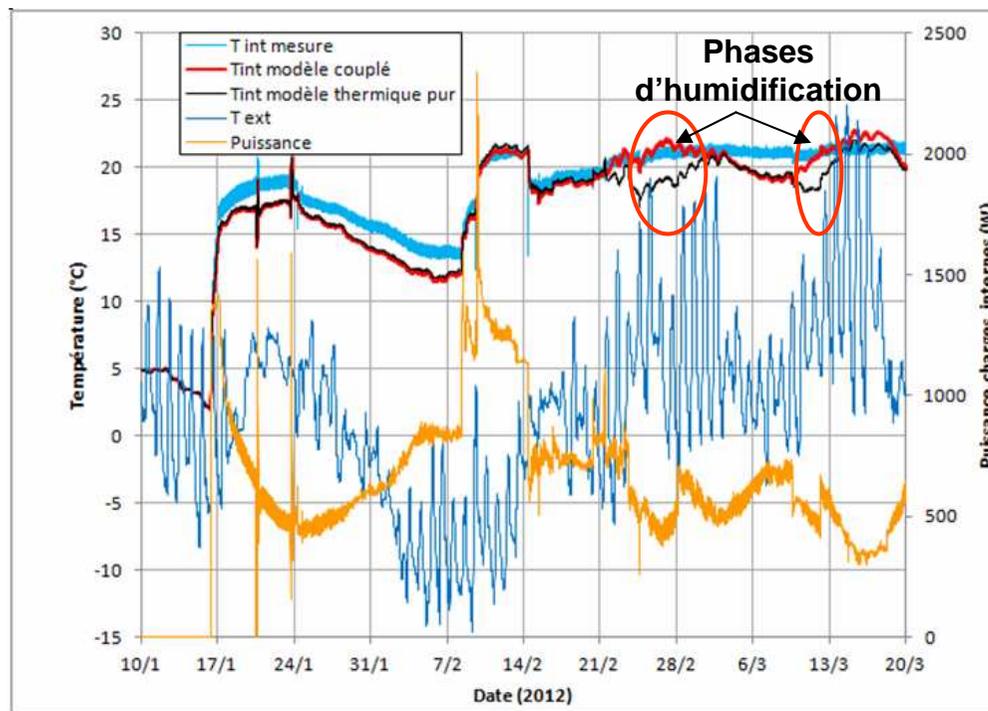
- (1) Thermo-hygromètres capacitifs: T/HR int / ext,
- (2) Sonde de rayonnement global incident de surface,
- (3) anémomètre à coupelles,
- (4) sondes de température de contact surfaces int / ext
- (5) Wattmètre,
- (6) compteur d'impulsions consommation d'énergie du convecteur et de tous les équipements.
- (7) Ventilateur brassage éviter stratification thermique.
- (8) Quantités de vapeur par pesée (humidification adiabatique, ou injection directe).



*Cellule-test : vue extérieure et monitoring*

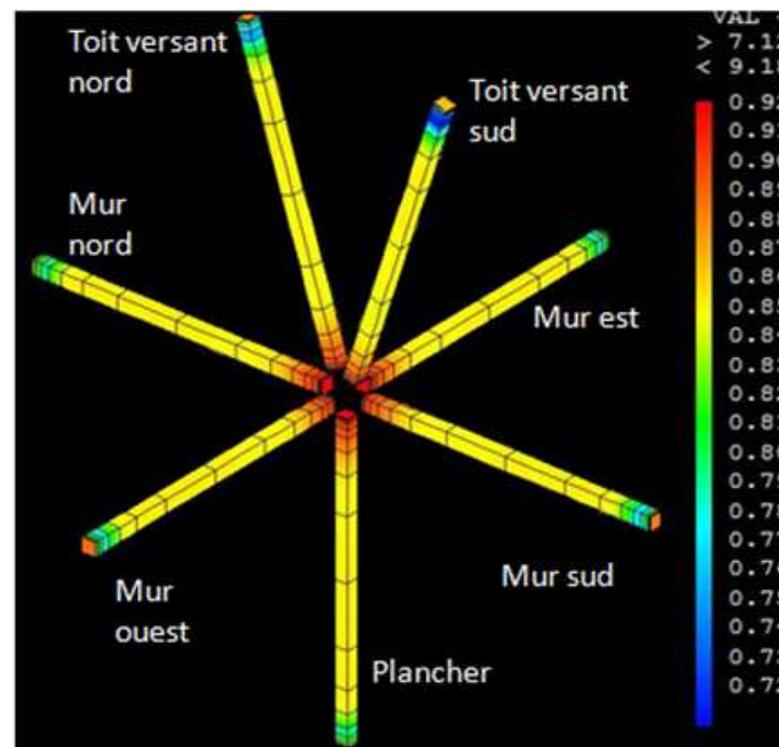
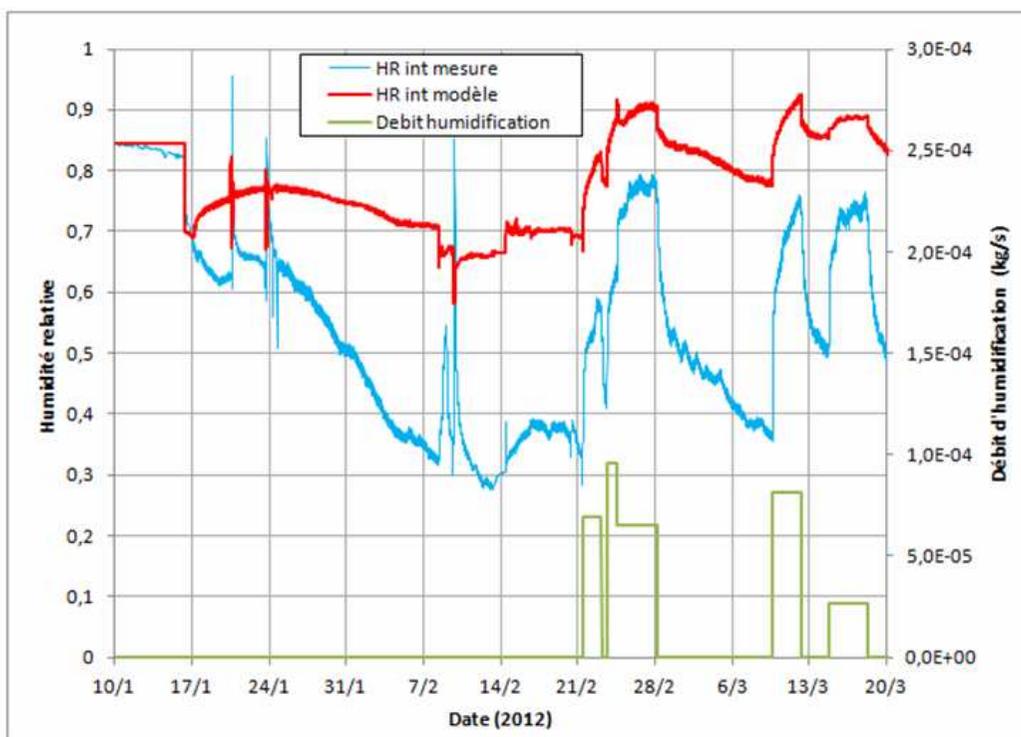
## Résultats

- Réponse en température relativement satisfaisante;
- L'impact du couplage thermo-hydrrique visible lors des phases d'humidification;
- le modèle couplé (courbe rouge): meilleure adéquation avec la mesure que le modèle thermique pur (courbe noire)



*Confrontation modèle-mesure, période hivernale: Exemple de champs thermique dans les parois*

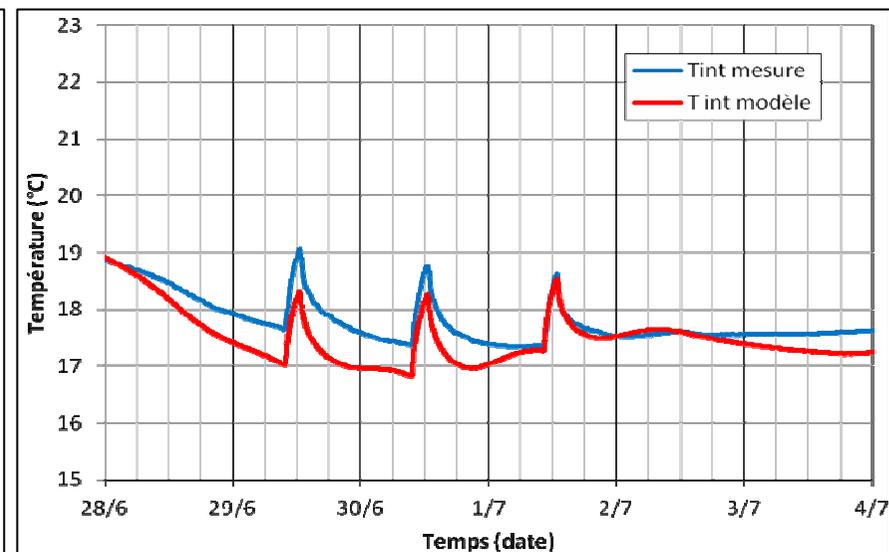
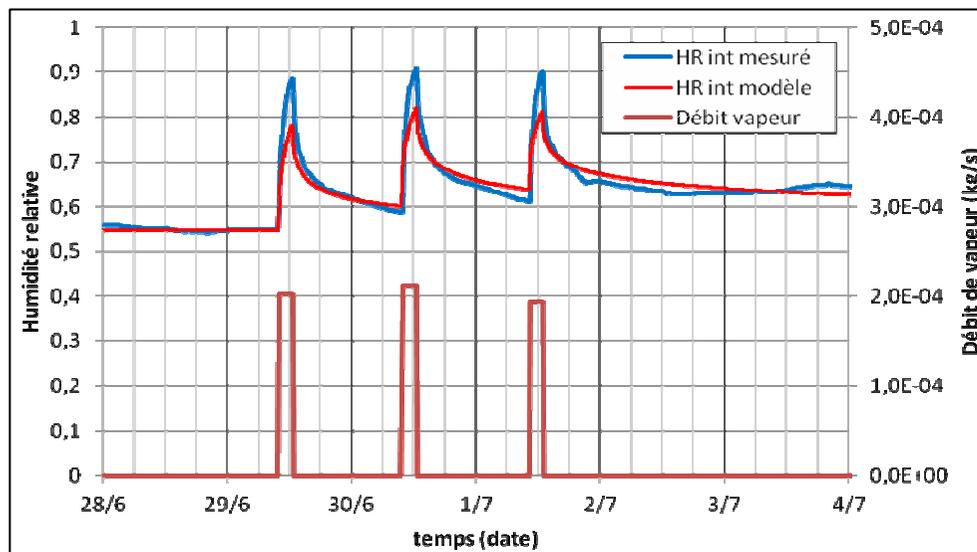
- Importants écarts sur l'humidité relative imputés à une **migration de vapeur** à travers les défauts d'étanchéité de l'enveloppe, non prise en compte par le modèle.



*Confrontation modèle-mesure, période hivernale: Exemple de champs hydrique dans les parois*

## Injections de vapeur

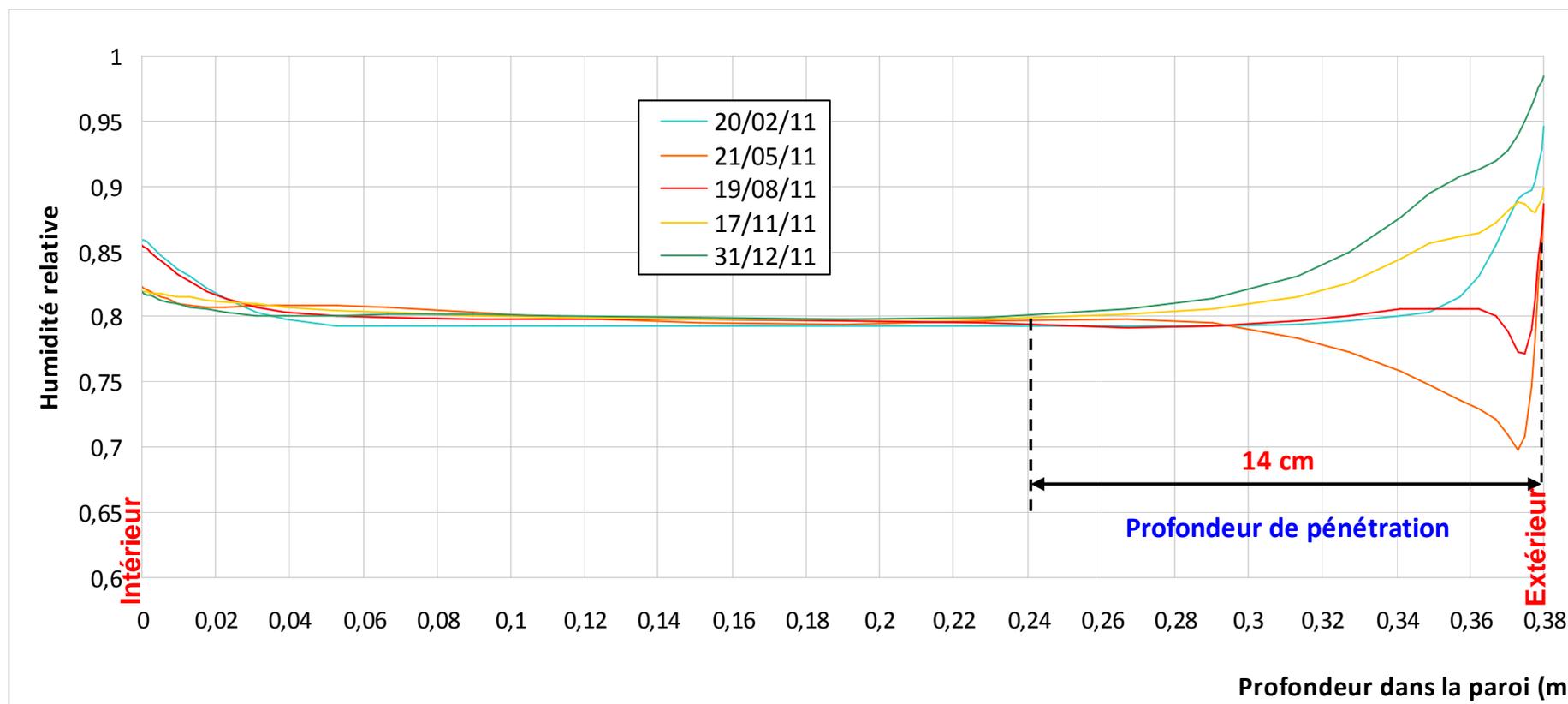
- Effet de cumul des humidifications successives et accroissement de HR d'un cycle à l'autre;
- Le modèle sous-estime d'environ 1/3 l'amplitude de HR lors d'un cycle;
- Mise en évidence **l'influence de la chaleur de sorption sur la température intérieure**: élévation de l'ordre de 1K à 1.4K ( mesure et modèle).



Confrontation modèle-mesure, injection de vapeur, période d'arrêt de chauffage

## Profils hydriques dans la paroi

- 14 cm de profondeur de pénétration d'humidité (**couche active**) sur le cycle annuel;



Profil d'hygrométrie dans le mur sud

## Conclusion

- Echelle intermédiaire de caractérisation (cellule test extérieure): avantage de **suivi des transferts hygrothermiques à long terme**, sans mobiliser des équipements coûteux.
- **La contrepartie**: fort niveau d'exigence requis pour la SHTD développée en éléments finis, pour tenir compte des **conditions aux limites externes** imposées par le climat.
- la partie « **thermique** » de la modélisation **relativement satisfaction**, la partie « **hydrique** » **encore perfectible**, avec l'impact en retour sur la thermique par le couplage.
- **Une perspective** d'amélioration: la prise en compte du **phénomène d'hystérésis** et de son impact sur les cycles partiels, marqué dans le cas du béton de bois : la grande ouverture du cycle enveloppe.
- modèle développé ouvert et maîtrisé, des développements envisagés à court terme.

# Mesure et modélisation des transferts hygrothermiques d'une enveloppe en béton de bois

---

Merci pour votre attention