

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

Dalel MEDJELEKH

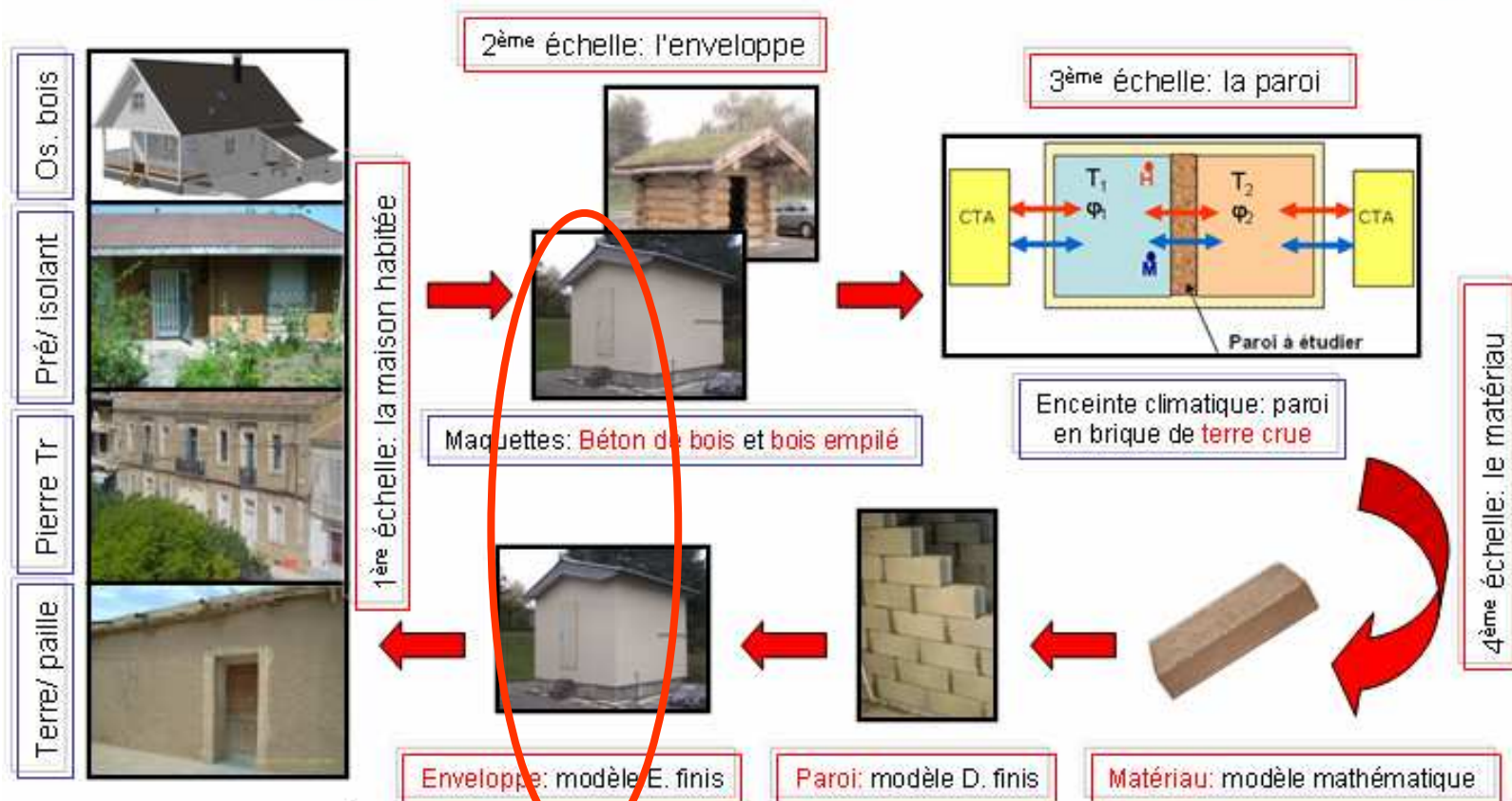
Dalel MEDJELEKH^{1-2*}, Laurent ULMET¹, Frédéric DUBOIS¹

^{1-2*} Université de Limoges, GEMH-GC&D, Egletons, France

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

*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.

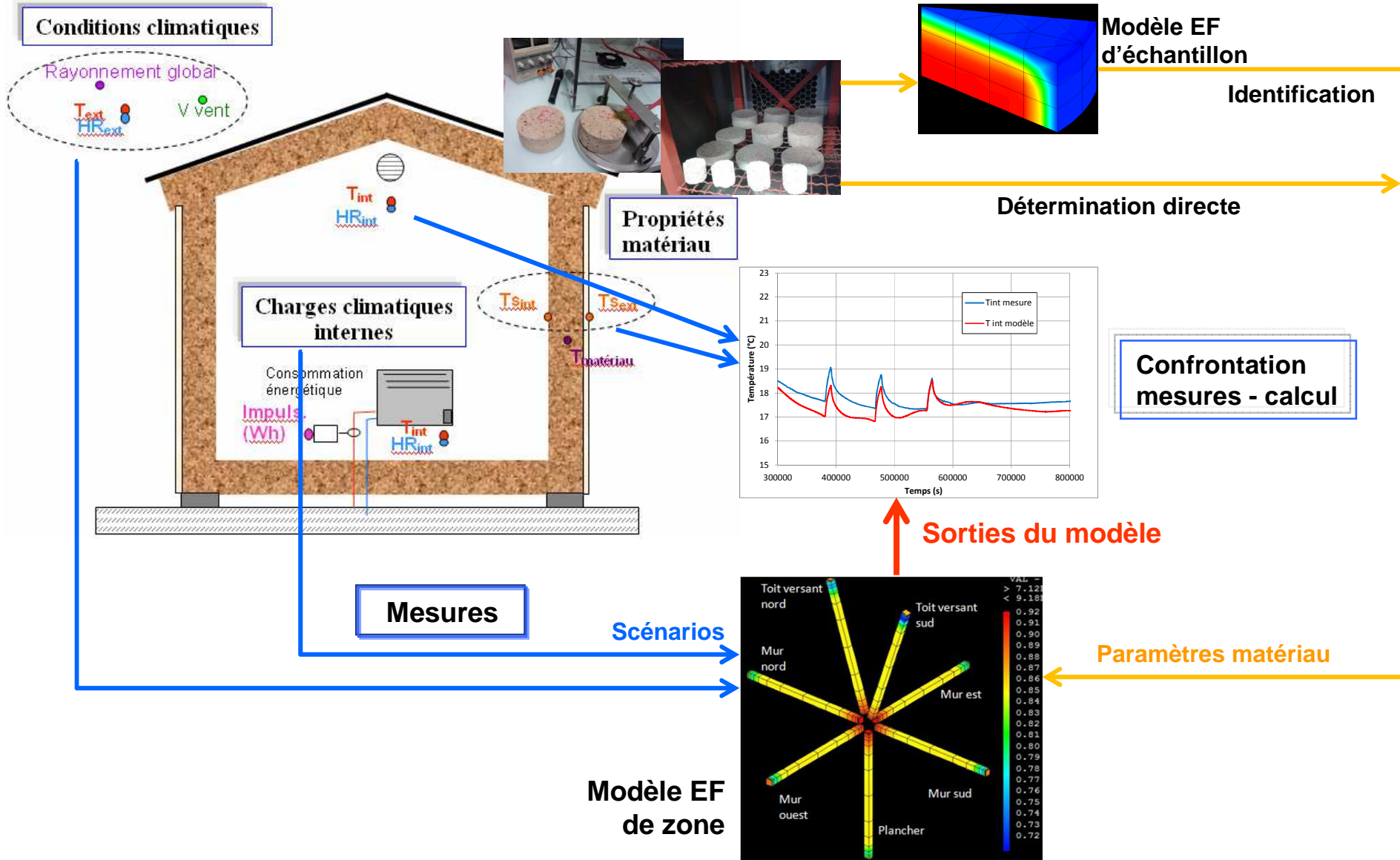
Contexte - Objectifs

- 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

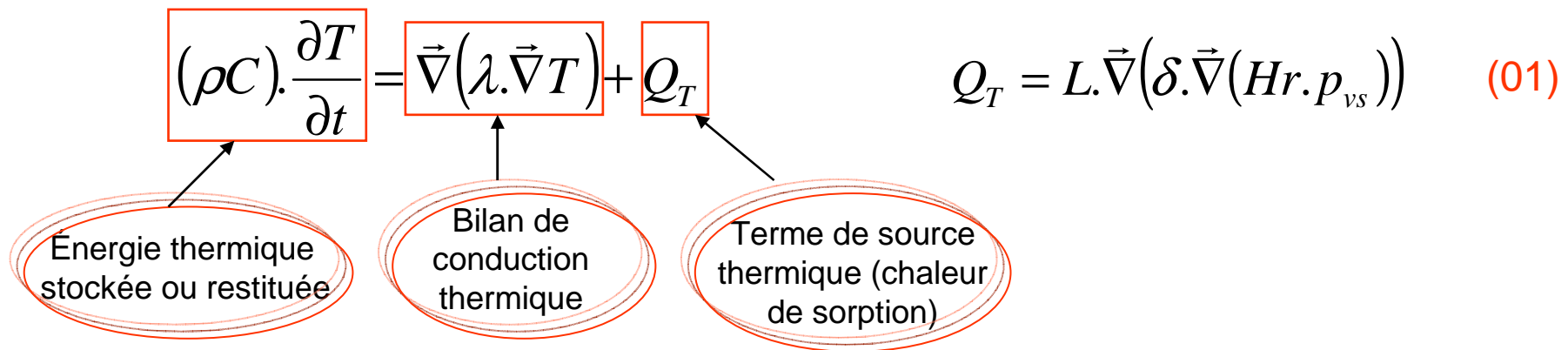
- Identification des paramètres du matériau par simulation de paliers de sorption
- Le modèle de zone est ensuite comparé aux mesure menées sur une cellule-test.

Méthode

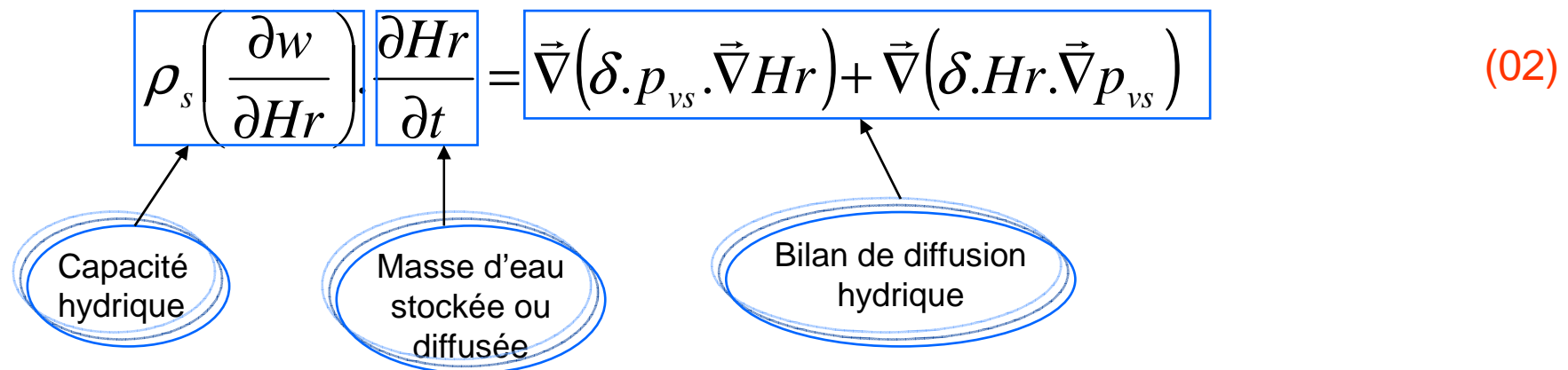


▪ Équations de bilan thermique et hydrique:

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



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



1.1. Implantation dans CAST3M

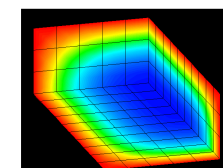
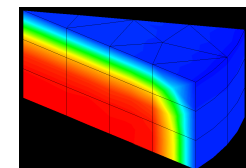
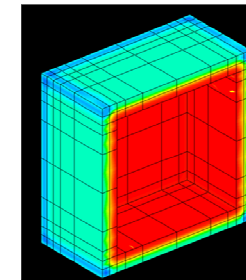
- Développements spécifiques dans l'environnement Eléments Finis Cast3M;
- Adaptation de la méthode implicite de thermique transitoire (Theta-méthode) aux deux modes de transferts, thermique et hydrique.

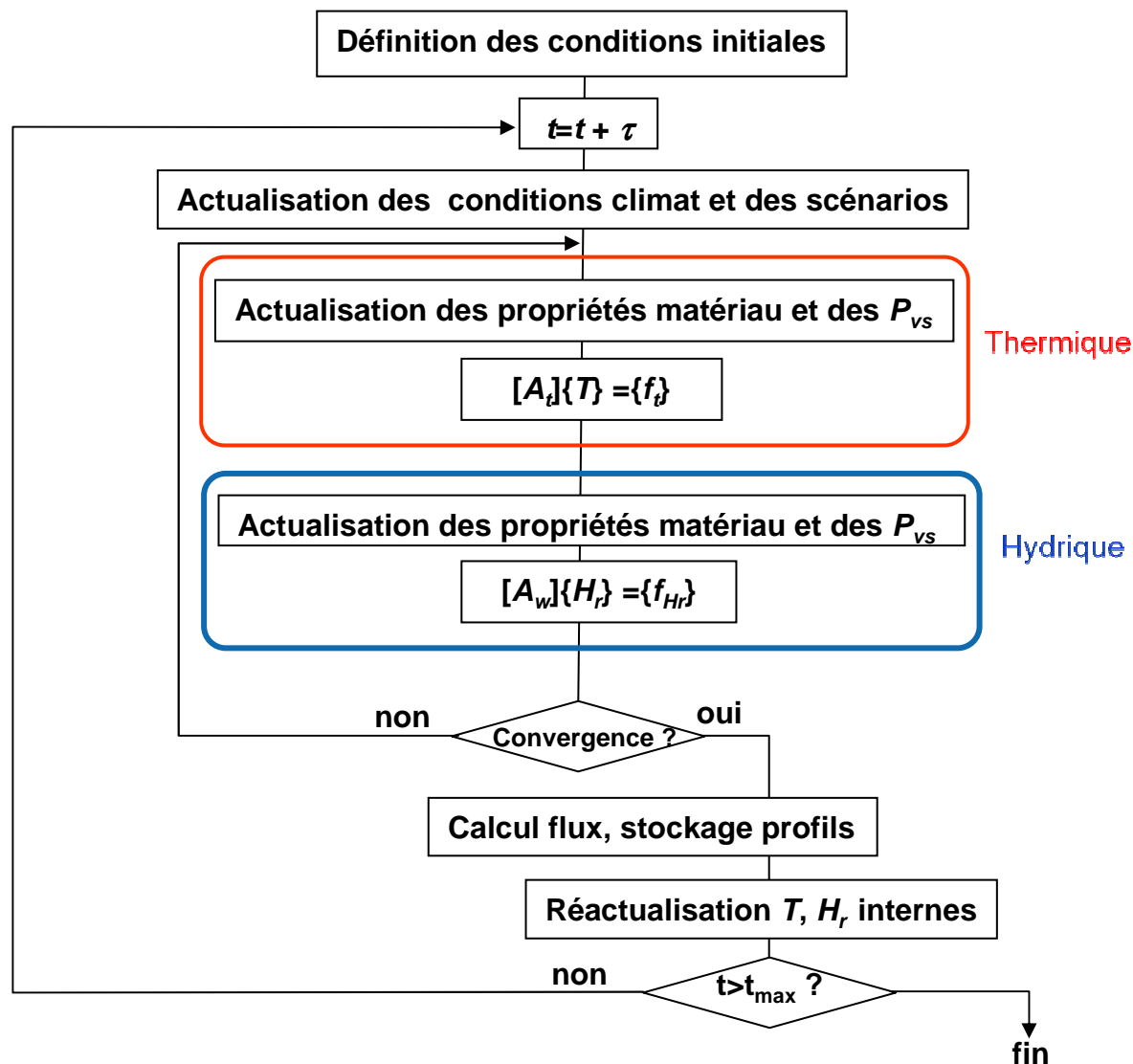
Modèle éléments finies 3D : STHD_EF

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

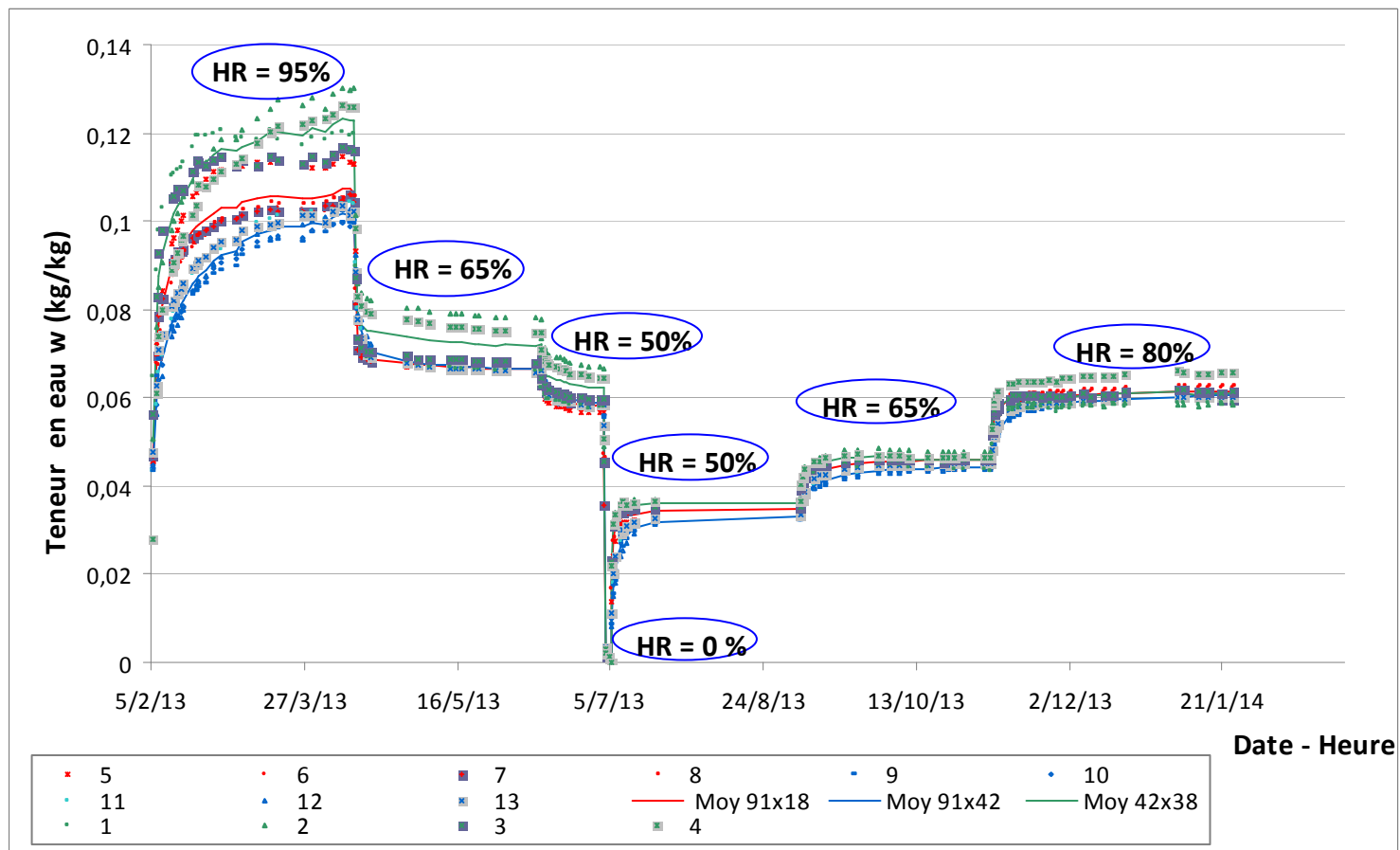
Pesées
régulières des
échantillons

Mesures de λ 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

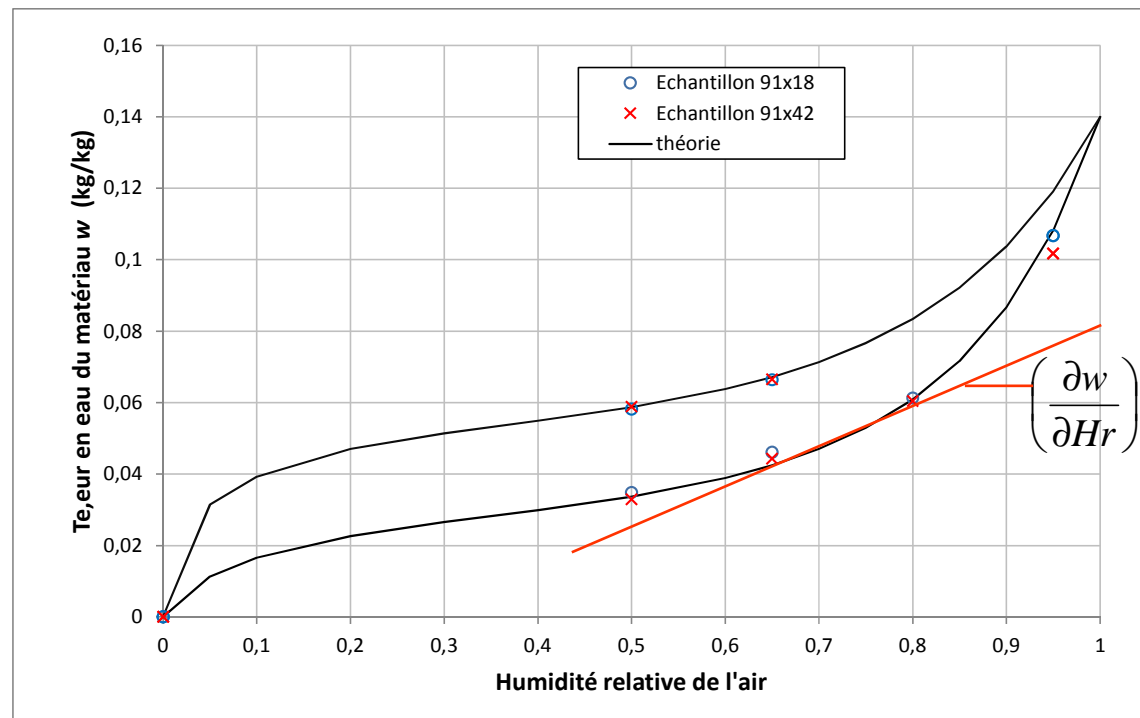
2.1. Isothermes de sorption



Synthèse des paliers

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

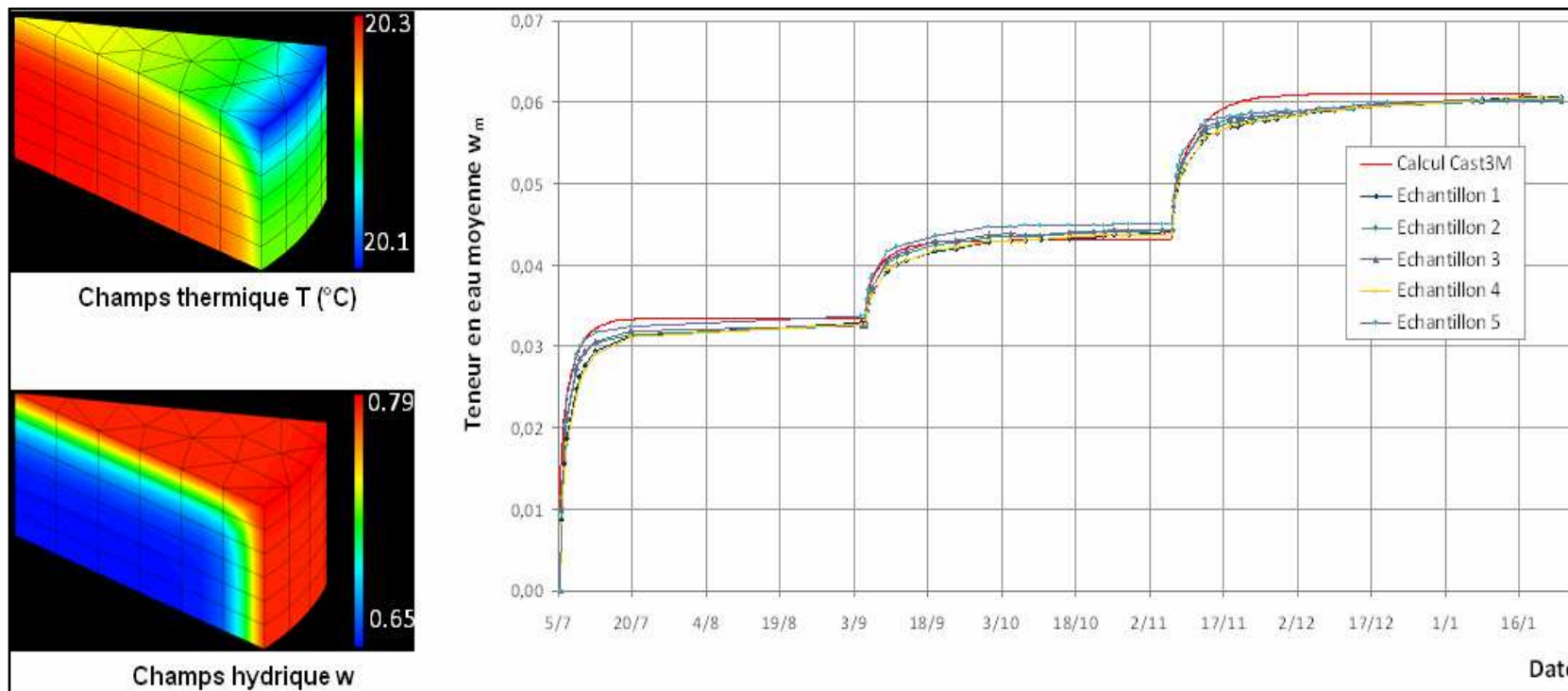
Paramètres des isothermes de sorption	$w_s = 0.14$	Adsorption : $\varphi = 0.76, \alpha = 1.99$
		Désorption : $\varphi = 0.45, \alpha = 2.05$



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 δ en fonction de la teneur en eau w .

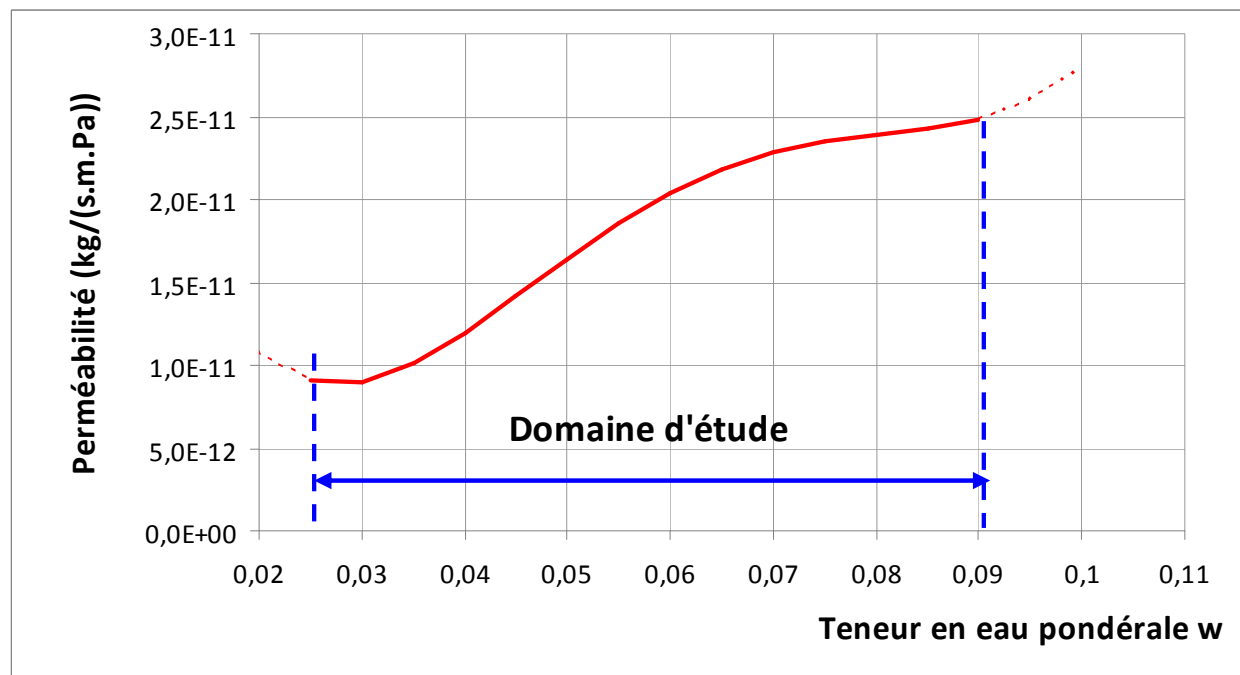


Modélisation des échantillons : exemple de champs lors d'une adsorption, et comparaison des cinétiques calculées et mesurées après identification de δ

- Dépendance de la perméabilité à la vapeur δ à la teneur en eau w .

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

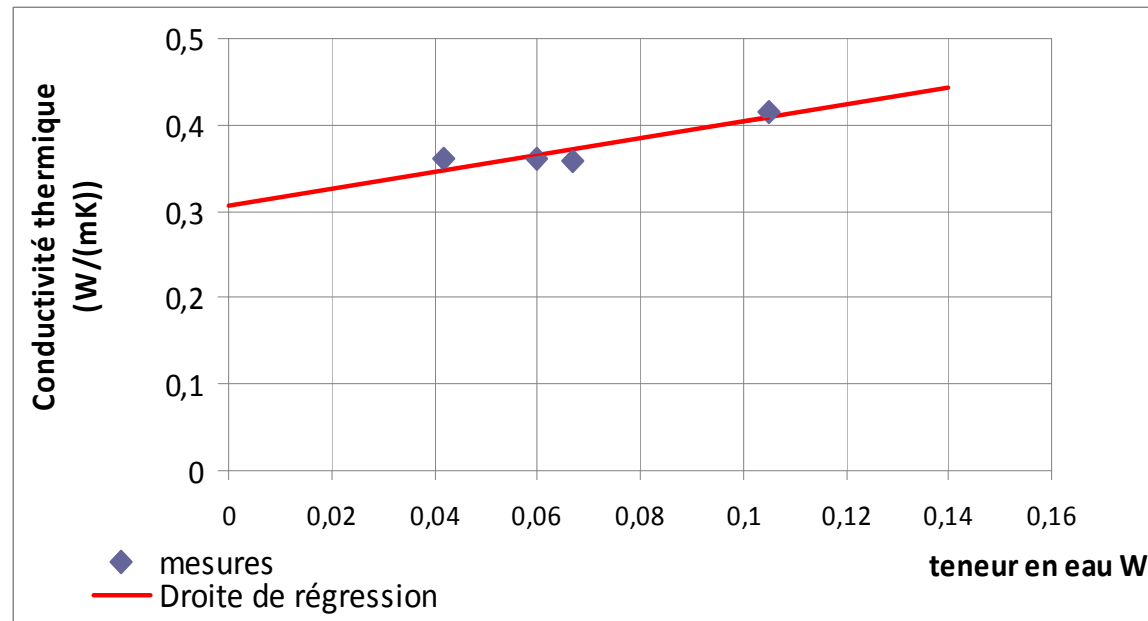
[kg.s⁻¹.m⁻¹.Pa⁻¹]



La perméabilité δ en fonction de la teneur en eau w

2.3. Variations λ en fonction de w

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

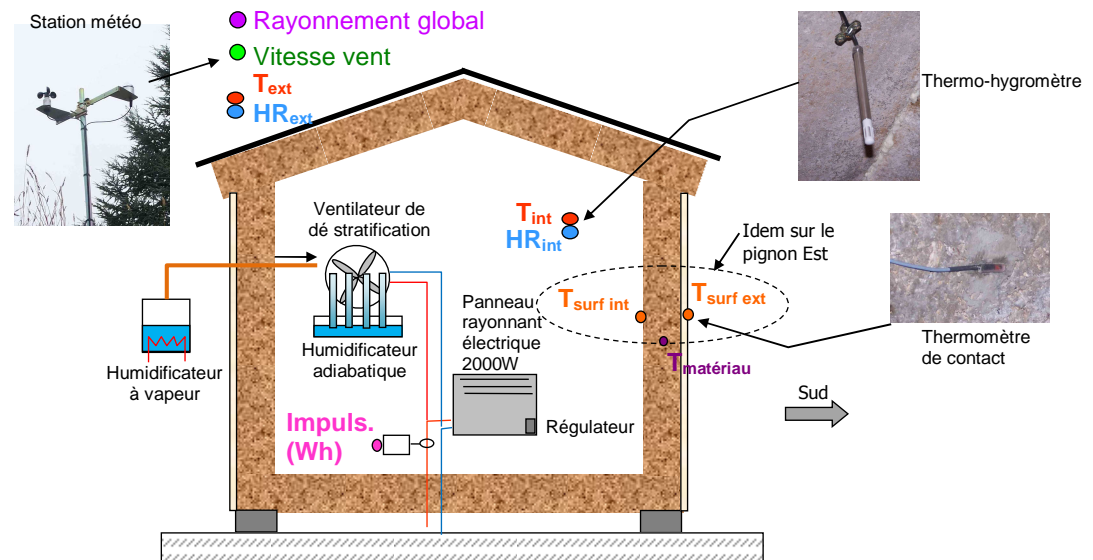


Variation de λ en fonction de %W

3. Cellule test et monitoring

Cellule test : 7 faces en béton de bois, de volume intérieur 27 m³ 38 cm d'épaisseur
Site Egletons (19) Alt 650 m

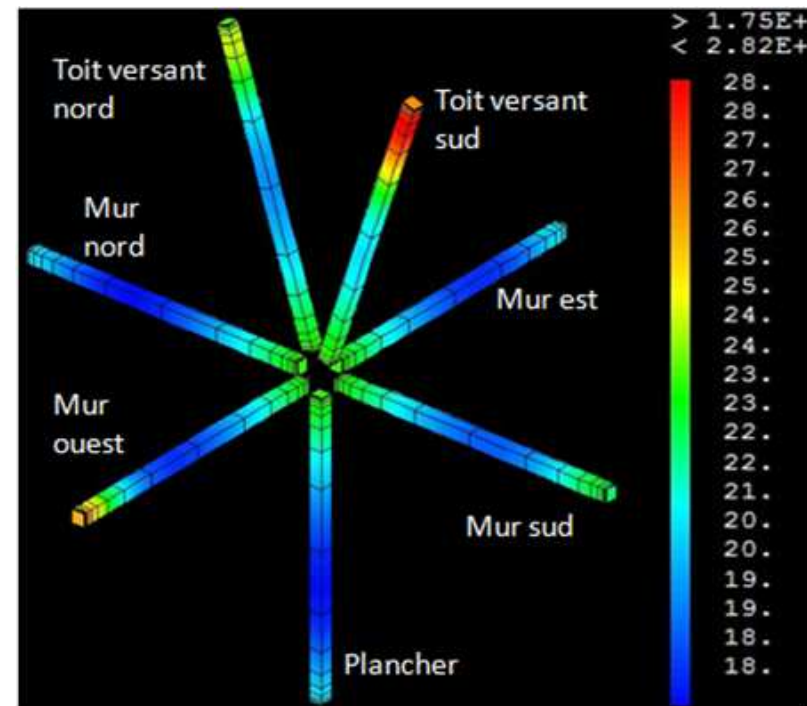
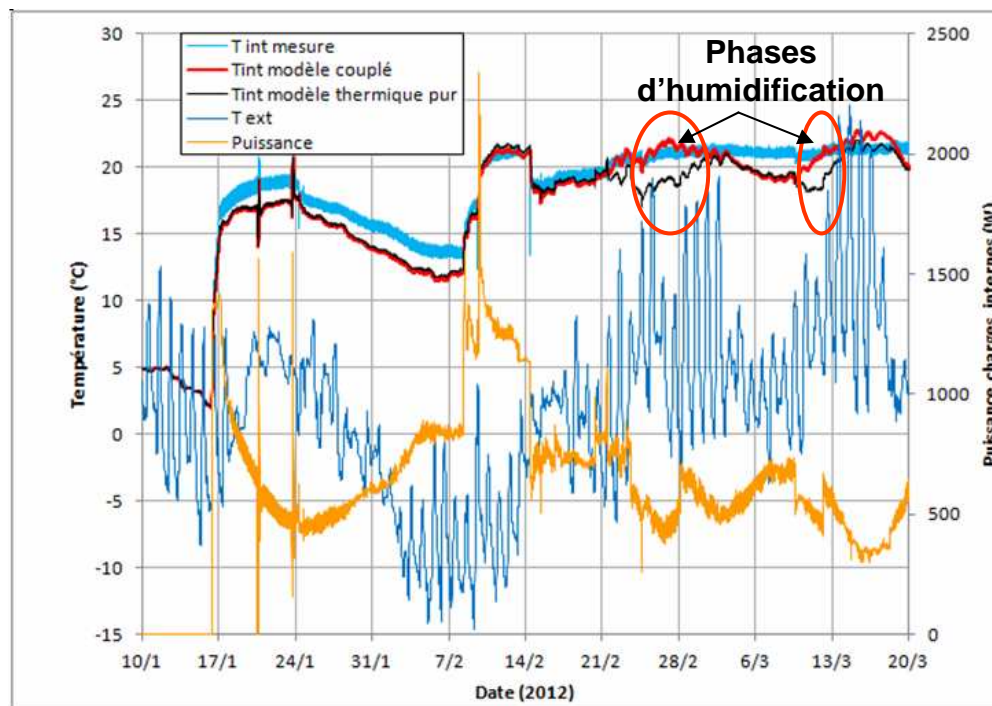
- (1) Thermo-hygromètres capacitifs: T/HR int / ext,
- (2) Sonde de rayonnement global incident de surface,
- (3) anémomètre à coupelles,
- (4) sondes de température de contact surfaces int / ext
- (5) Wattmètre,
- (6) compteur d'impulsions consommation d'énergie du convecteur et de tous les équipements.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



Cellule-test : vue extérieure et monitoring

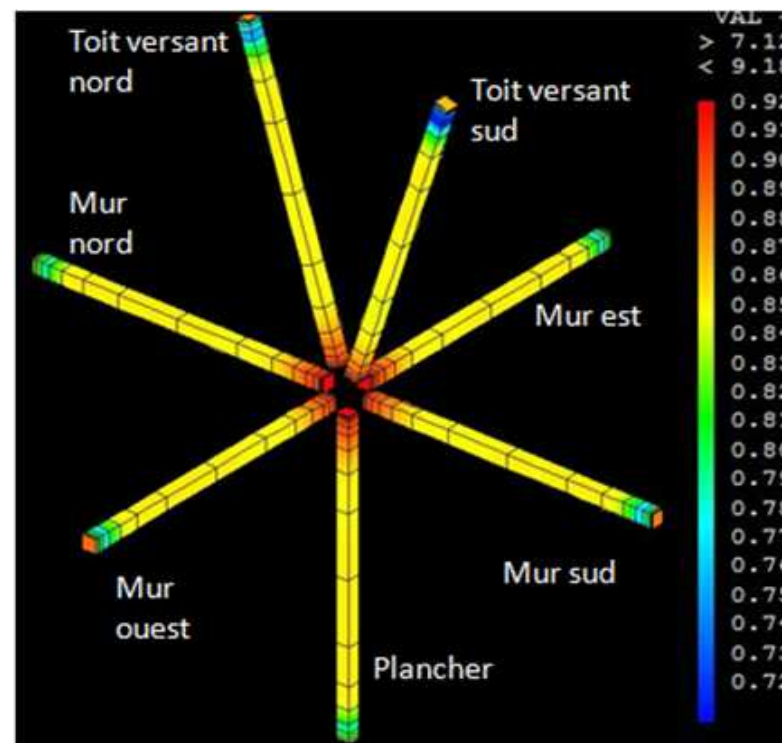
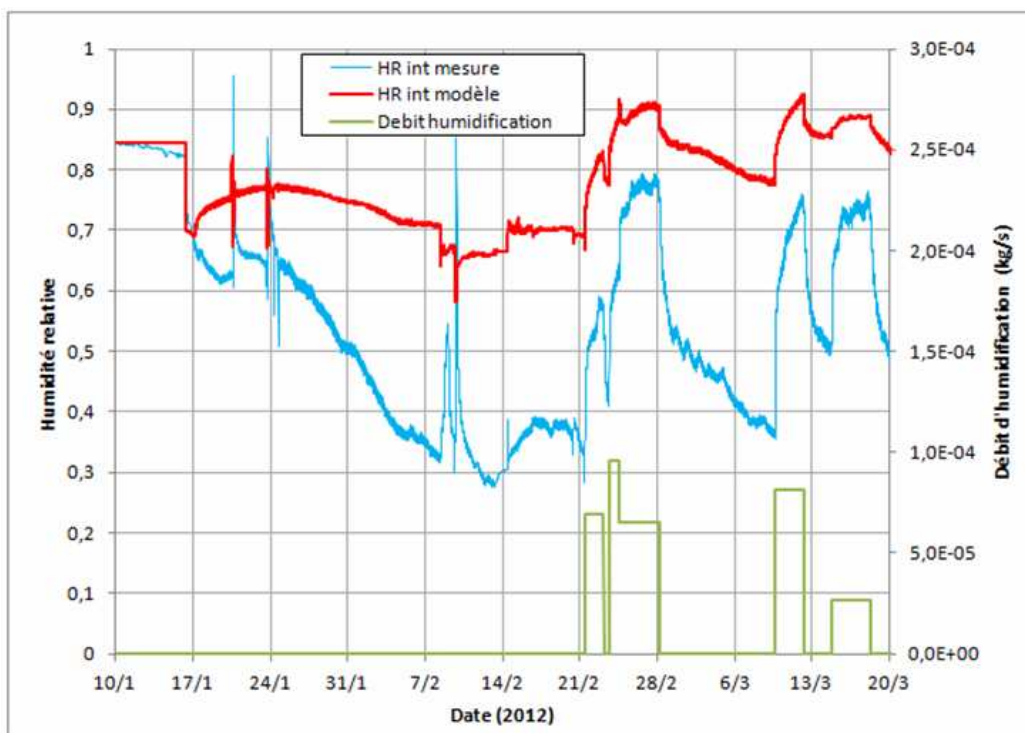
Résultats

- 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

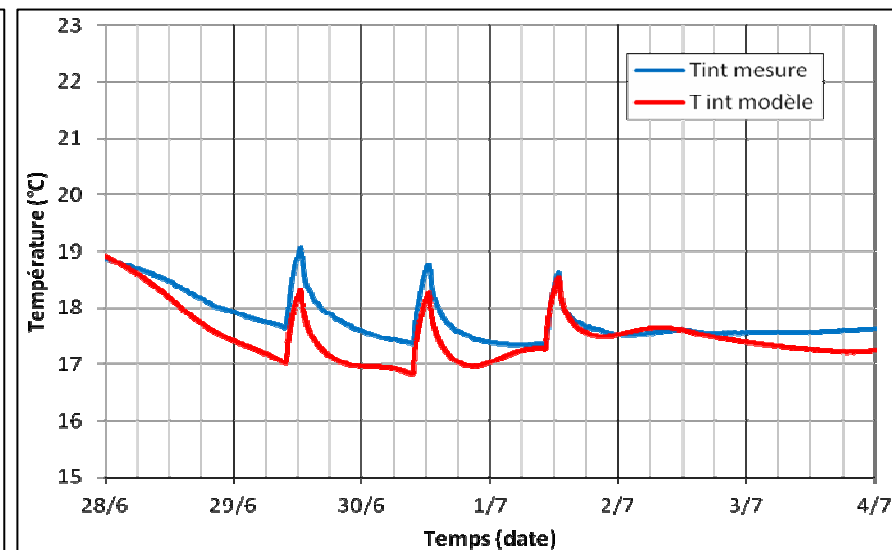
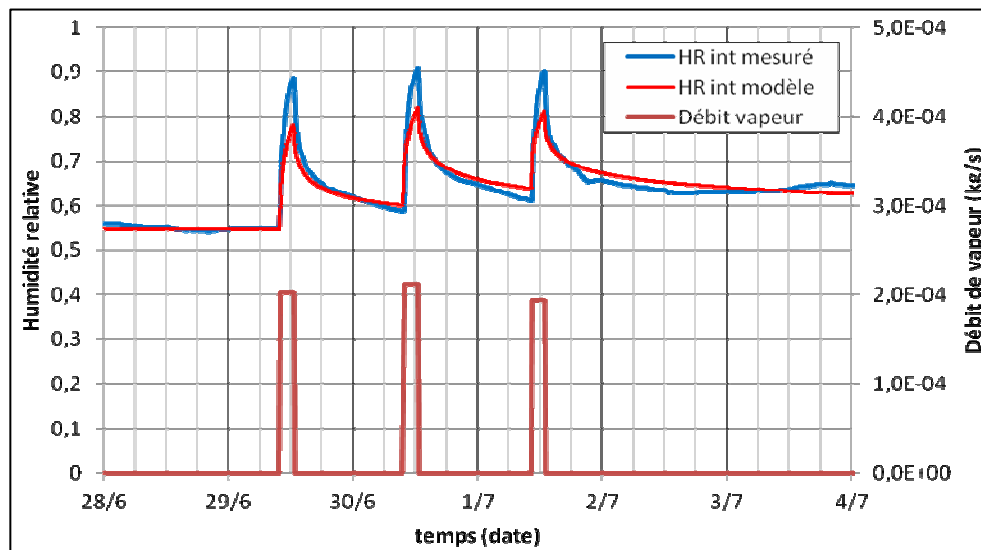
- Importants écarts sur l'humidité relative imputés à une **migration de vapeur** à travers les défauts d'étanchéité de l'enveloppe, non prise en compte par le modèle.



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

Injections de vapeur

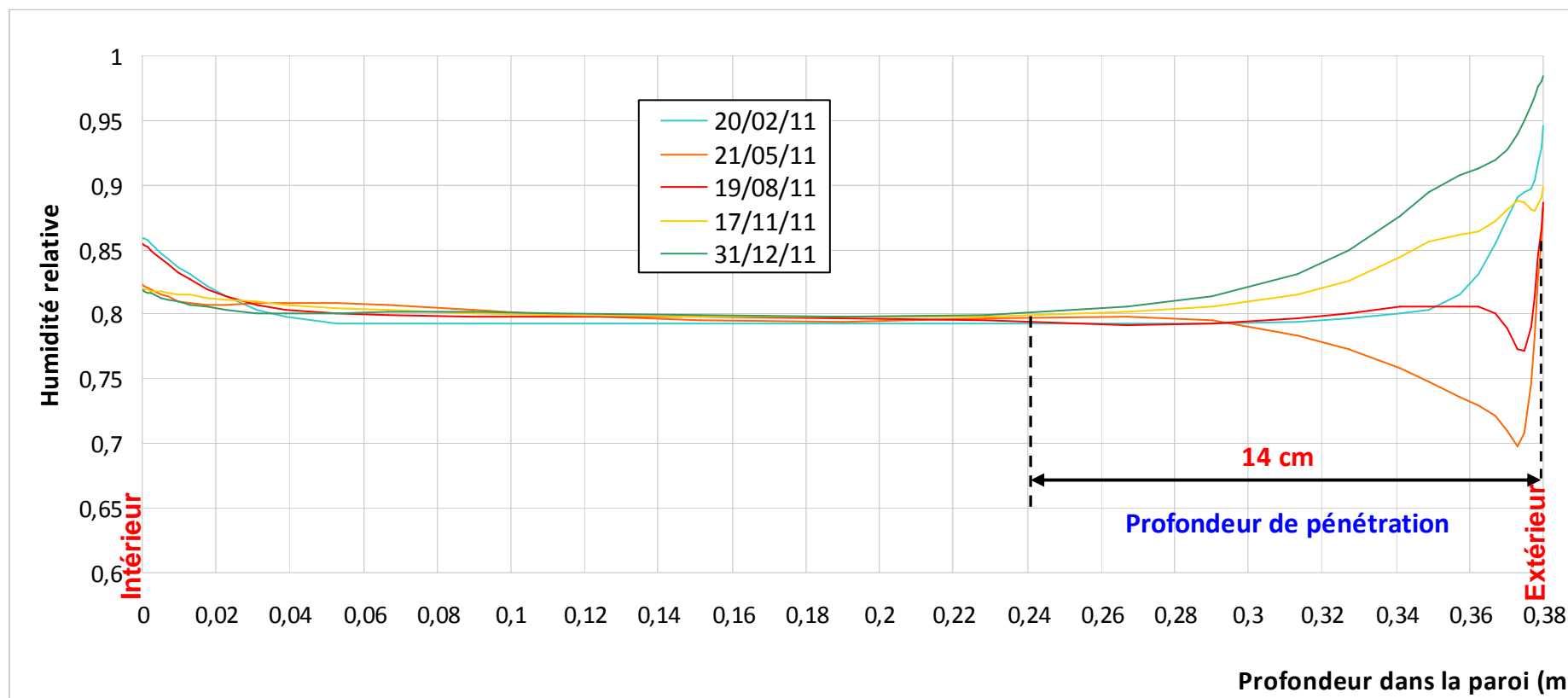
- Effet de cumul des humidifications successives et accroissement de HR d'un cycle à l'autre;
- Le modèle sous-estime d'environ 1/3 l'amplitude de HR lors d'un cycle;
- Mise en évidence **l'influence de la chaleur de sorption sur la température intérieure**: élévation de l'ordre de 1K à 1.4K (mesure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