

Transferts de **chaleur** et de **masse** dans les enveloppes hygroscoPIques des bâtiments:

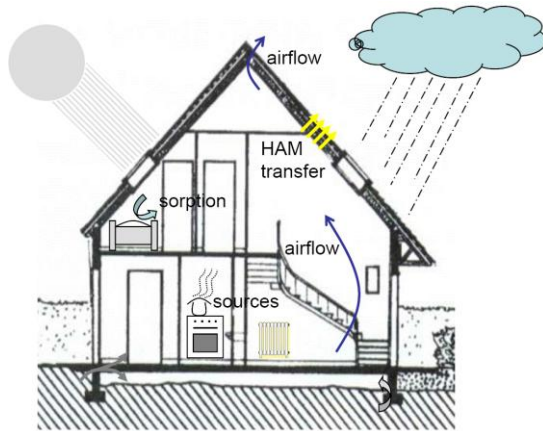
Qu'avons nous appris des benchmarks expérimentaux et numériques ?

Monika Woloszyn

Locie, UMR 5271, Université Savoie Mont Blanc

+ Partenaires du projet ANR Hygrobat

1. Introduction : phénomènes hygrothermiques, quelques défis actuels et le cadre
2. Benchmark 1 : **numérique** vs. **numérique** et **numérique** vs **expérimental**
3. Benchmark 2 : **Expérimental** vs. **expérimental** et **numérique** vs **expérimental**
4. En guise de conclusion



Enveloppe des bâtiments

- ~80% des besoins de chauffage
- Inertie thermique et hygrique
- Lien avec la tenue mécanique

Nouveaux enjeux des transferts dans les enveloppes

- Constructions nouvelles **très fortement isolées** (*flux de chaleur sensible très bas – importance de la partie latente*)
- **Réhabilitation** massive des bâtiments existants (*modification importante des champs thermo-hygriques dans les matériaux – durabilité*)
- Importance croissante des **matériaux non-conventionnels** : innovants, anciens, à faible impact environnemental, (*besoins de leur caractérisation vis à vis des transferts de chaleur et de masse*)

Equations de conservation

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\text{div}(\varphi)$$

$$\frac{\partial \rho_{H_2O}}{\partial t} = -\text{div}(g_{H_2O})$$

$$\frac{\partial \rho_{air}}{\partial t} = -\text{div}(g_{air}) \cong 0$$

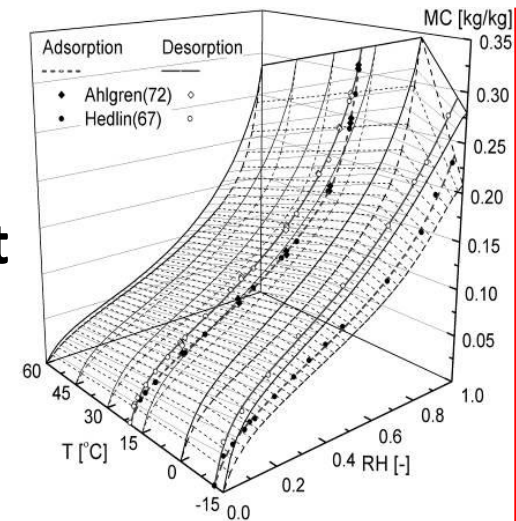
$$\varphi = \lambda \text{grad}T + h_{H_2O} g_{H_2O} + h_{air} g_{air}$$

$$U = (u\rho)_{H_2O} + (u\rho)_{air} + (u\rho)_{matrice_solide}$$

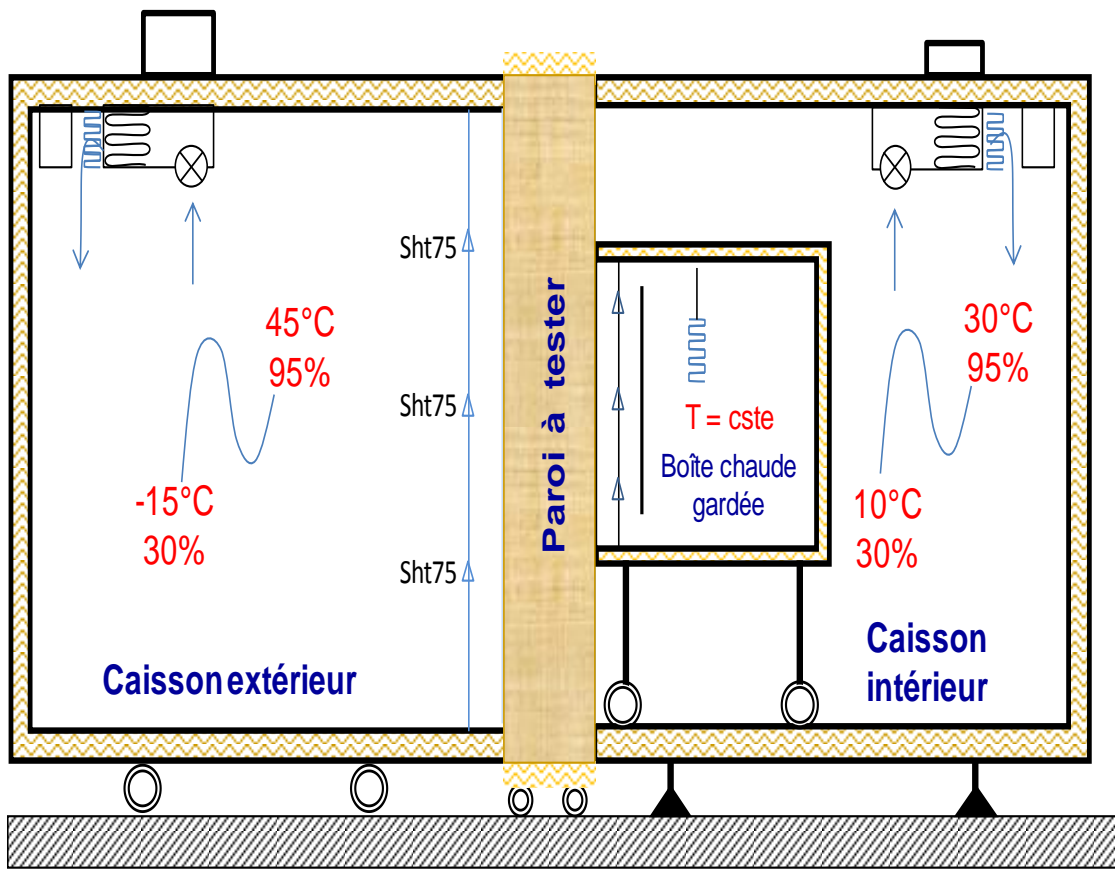
$$\varphi|_{surface} = \alpha (T_{surface} - T_{air}) + \varphi_{radiatif} + \varphi_{g_{air}} + \varphi_{g_{H_2O}}$$

Complexité – contexte du bâtiment

- couplages forts entre les transferts de masse et les transferts de chaleur (*aussi : temps de simulation*)
- conditions aux limites fortement dynamiques
- matériaux



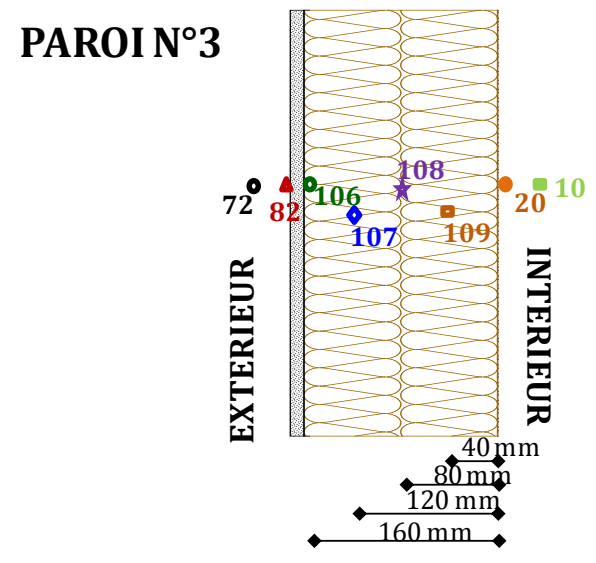
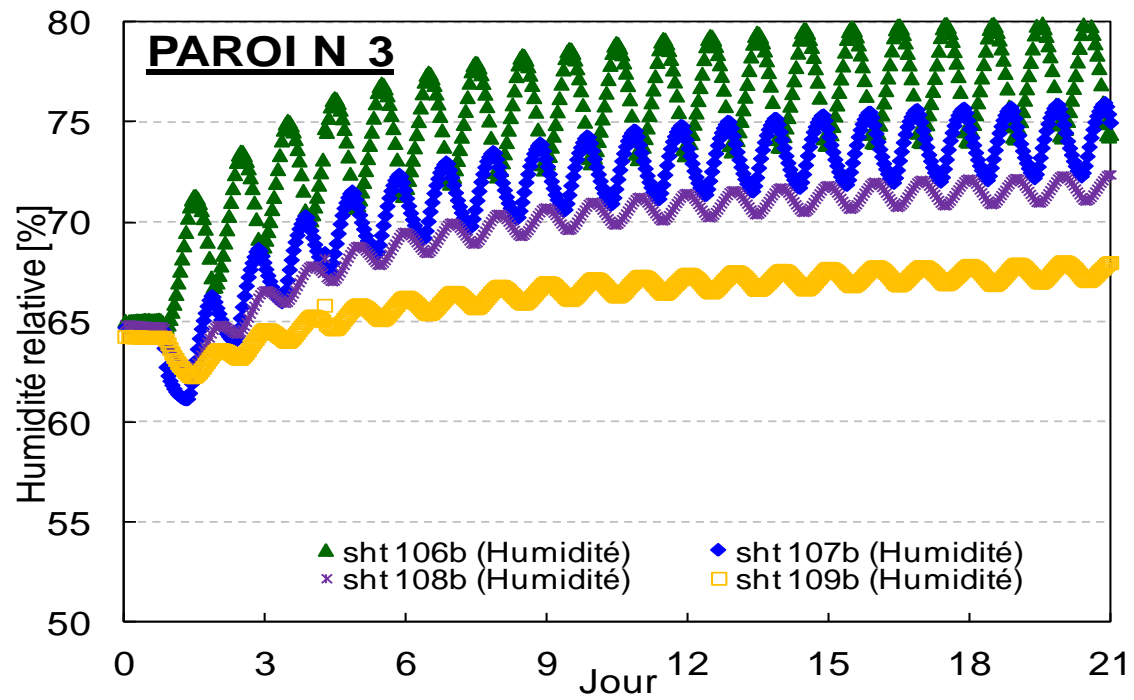
=> Souvent : Faible précision des comparaisons mesures vs. simulations

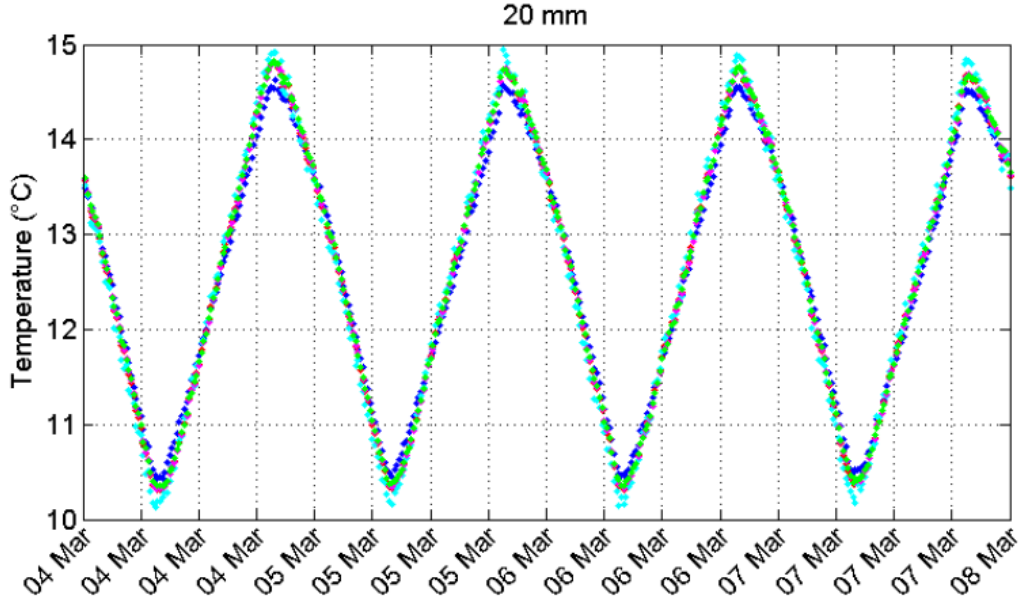


Banc expérimental : double enceinte climatique au Lermab



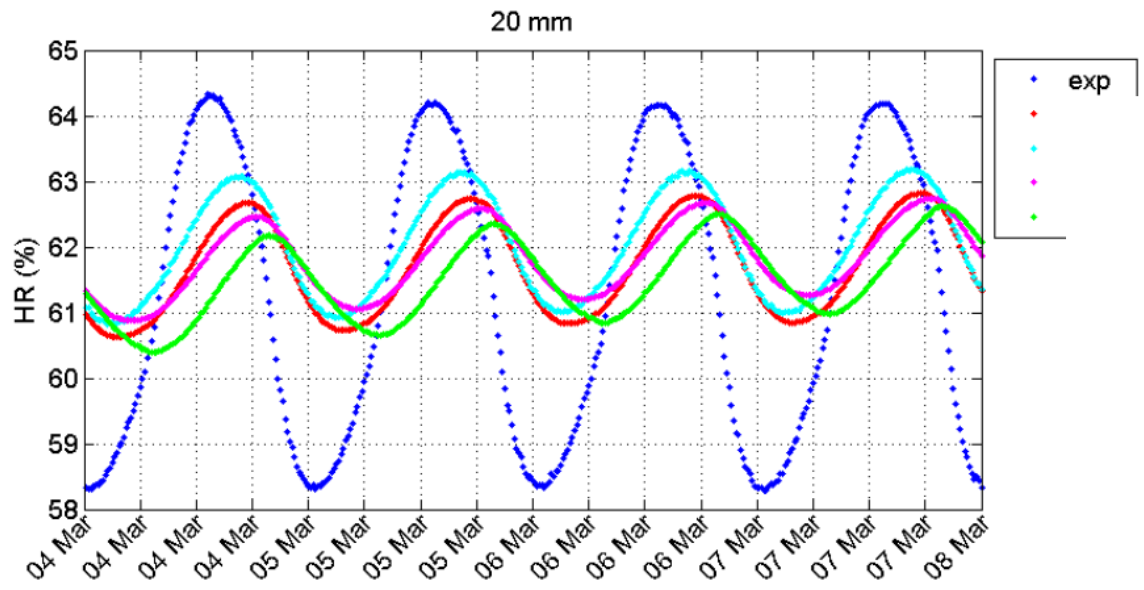
Fibre de bois : matériau perméable à la vapeur et hygroscopique





Température dans la paroi

Humidité relative dans la paroi

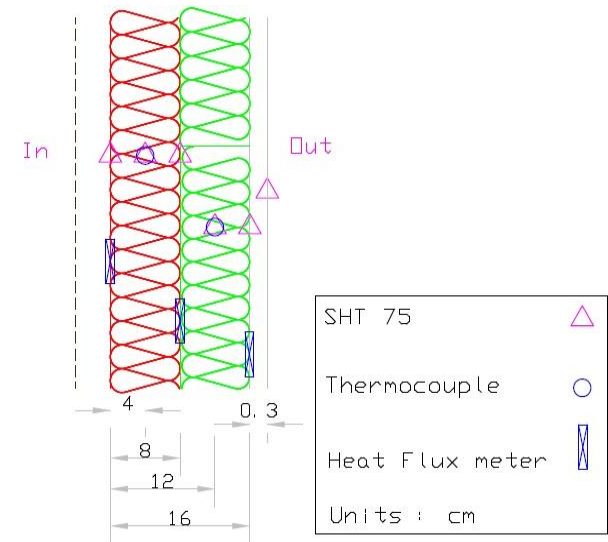


Installation expérimentale

Matériau très hygroscopique, perméable à la vapeur (fibre de bois + enduit)

Sollicitations dynamiques

- Côté extérieur : climat naturel
- Côté intérieur : conditions contrôlées

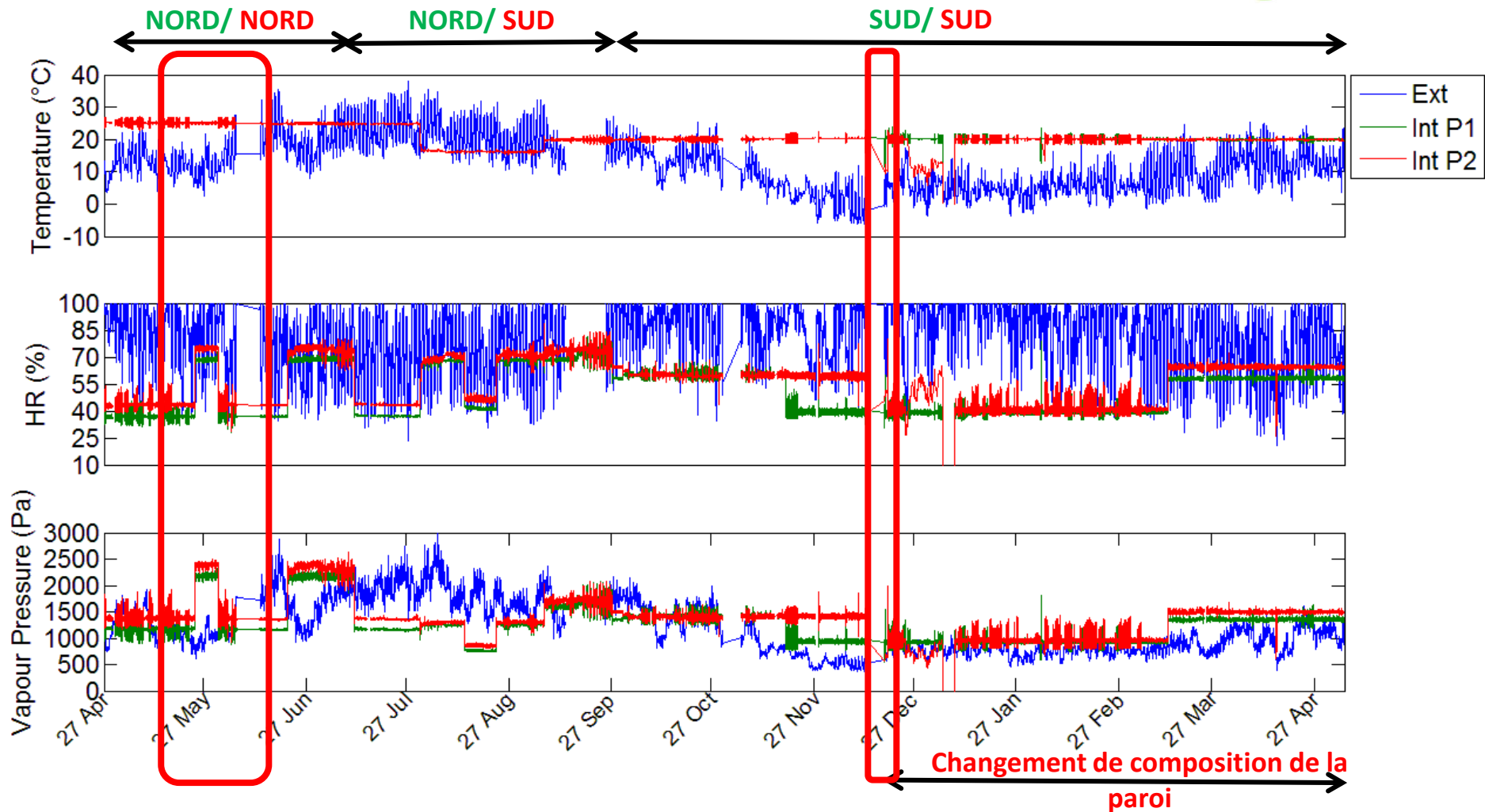


2 cellules
18 mois de mesures

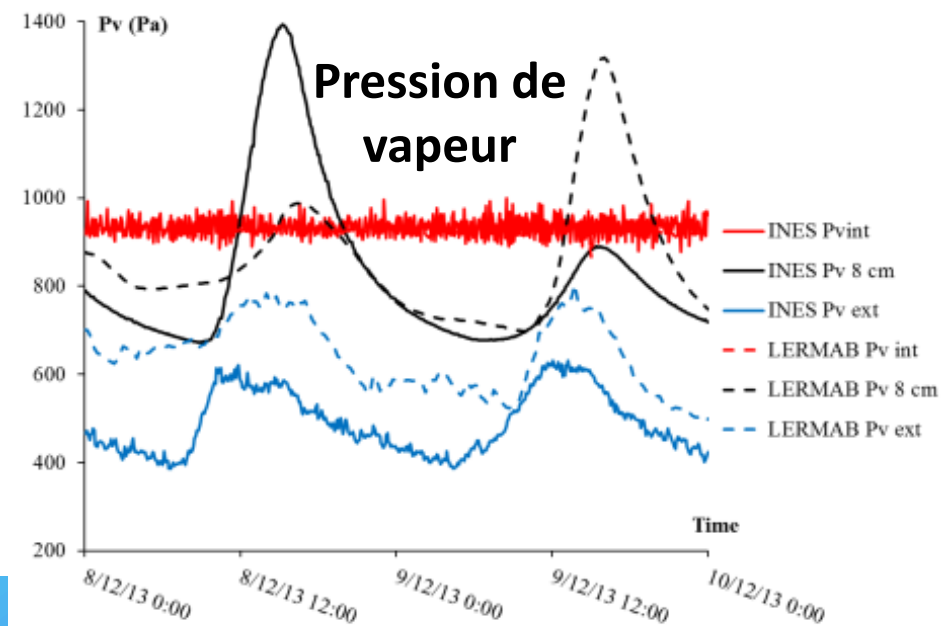
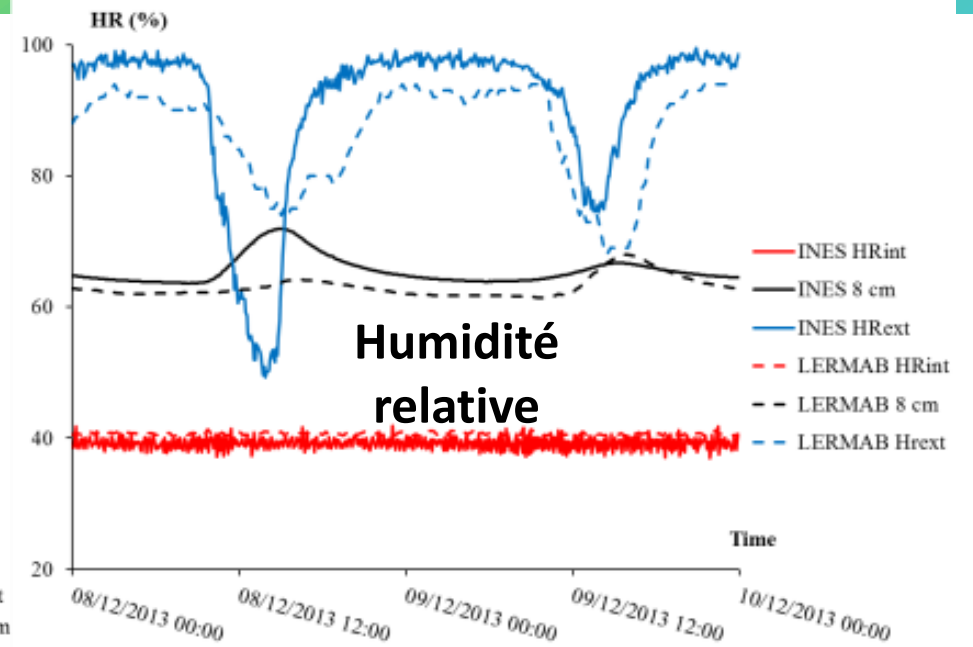
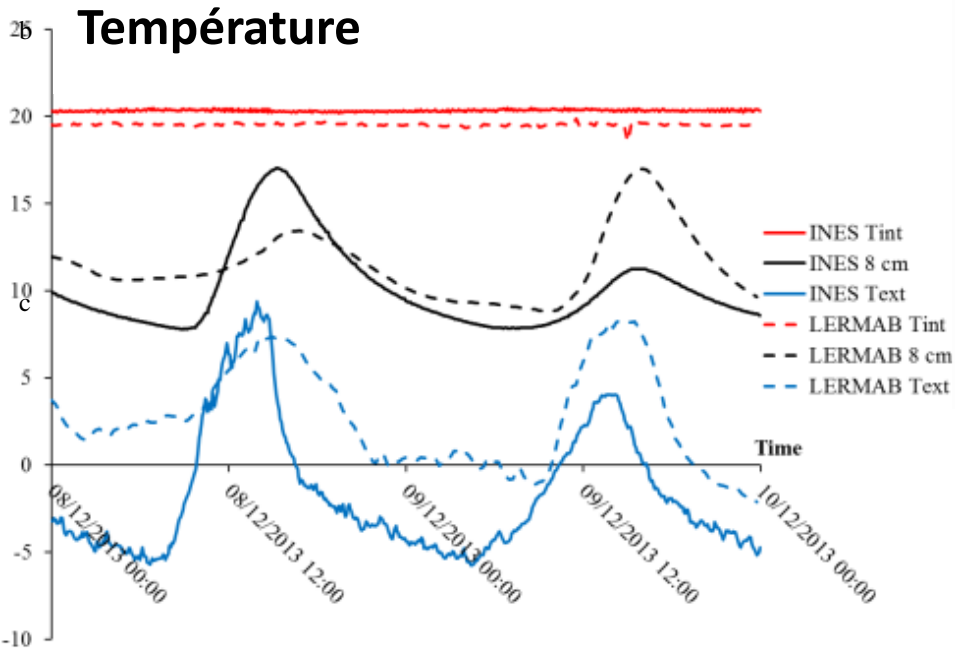


6 parois
12 mois de mesures

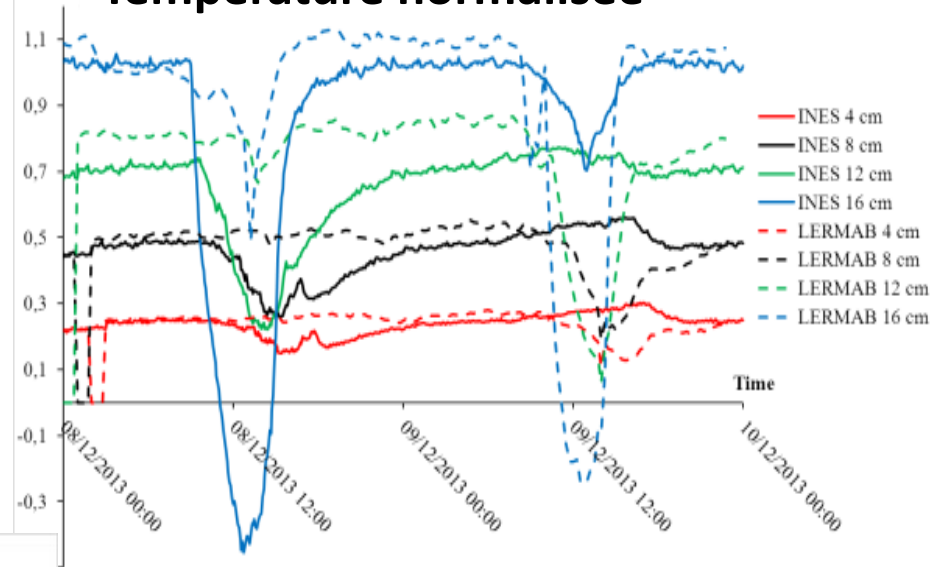
Exemple de la campagne expérimentale passys



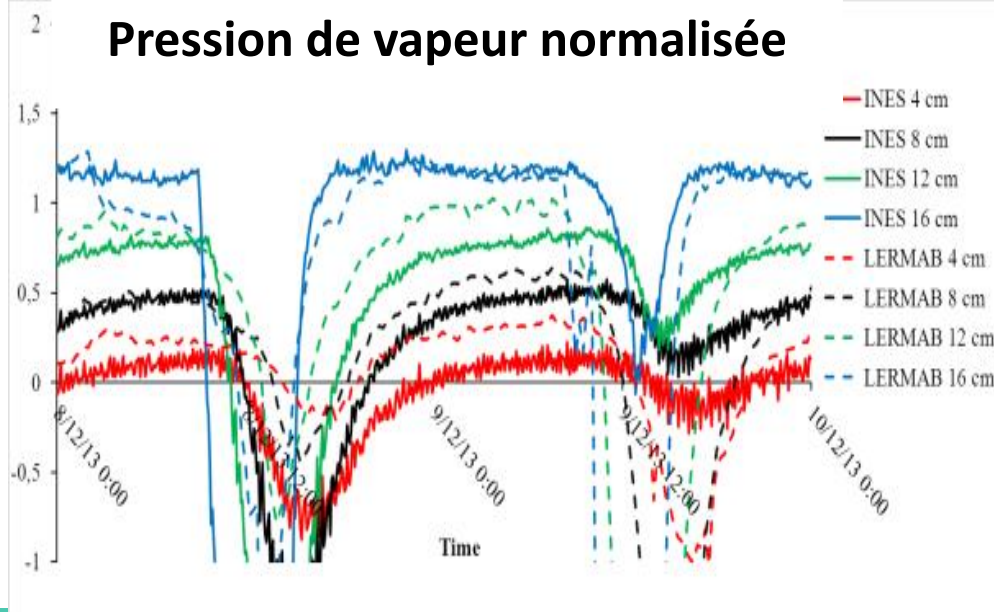
18 mois de mesures : richesse des conditions aux limites



Température normalisée



Pression de vapeur normalisée



Equations :

transferts couplés de **chaleur** (température) et de **vapeur** (pression partielle de vapeur)

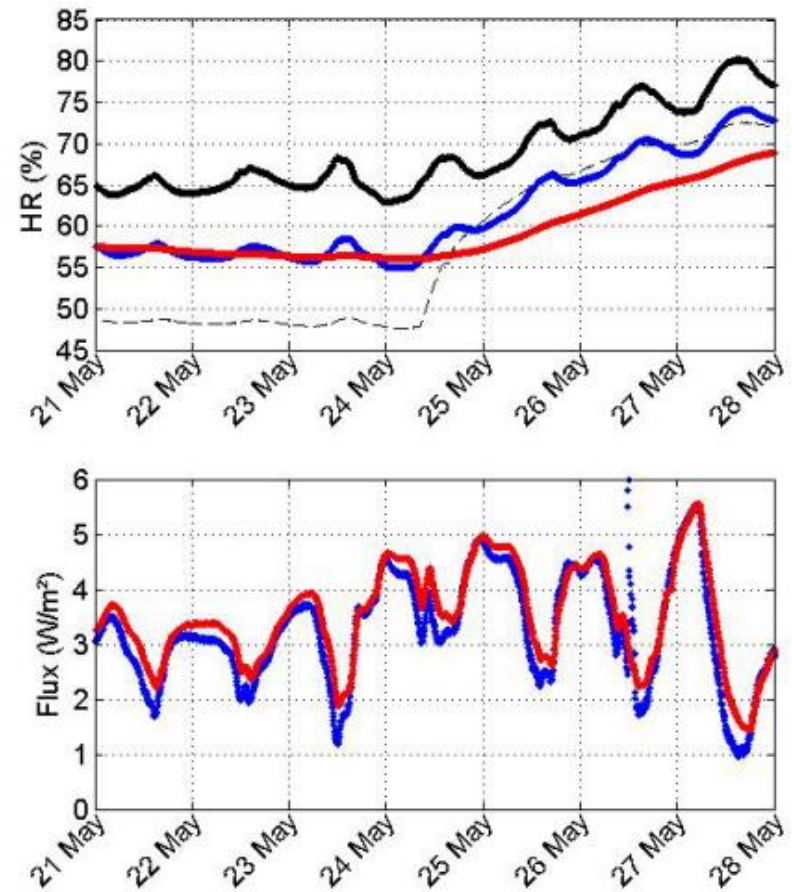
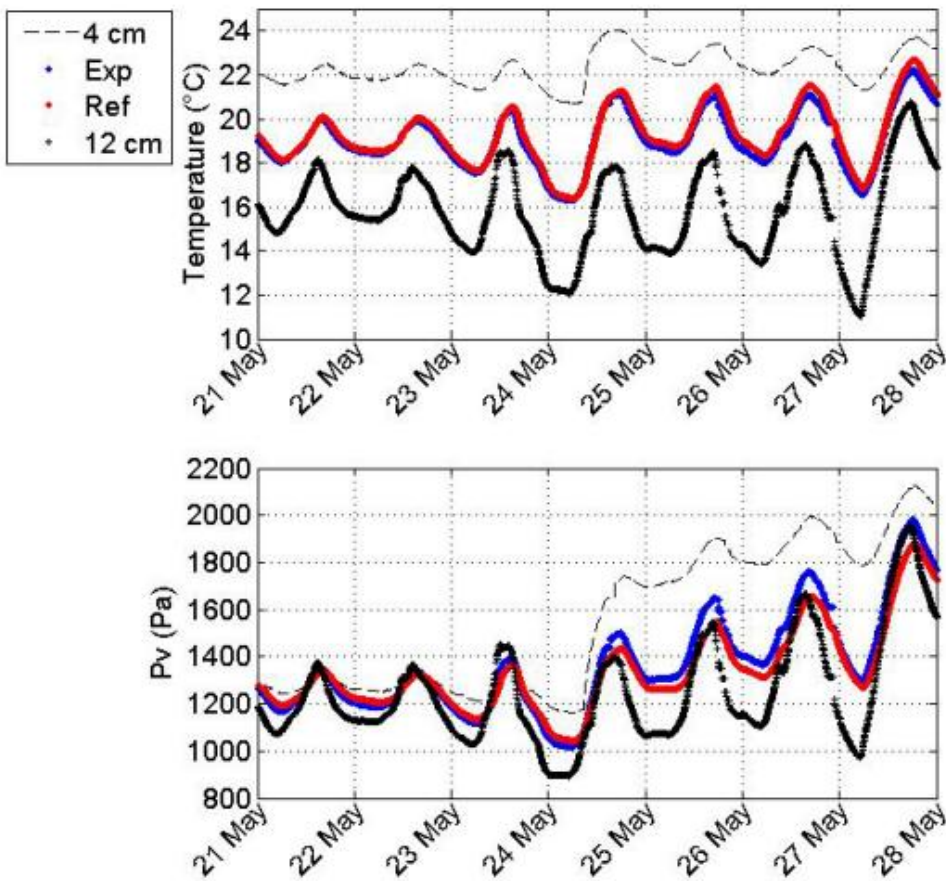
Propriétés de matériaux :

- Conductivité thermique, capacité thermique
- Perméabilité à la vapeur, isotherme de sorption



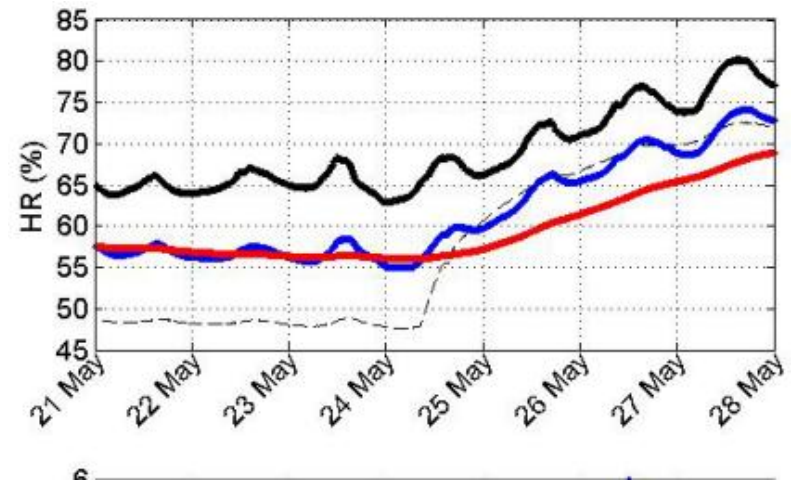
Mesurés par les partenaires du projet

Aussi 'benchmark' expérimental



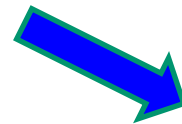
Température : **correct**

Humidité : prise en compte de la dynamique **à améliorer**



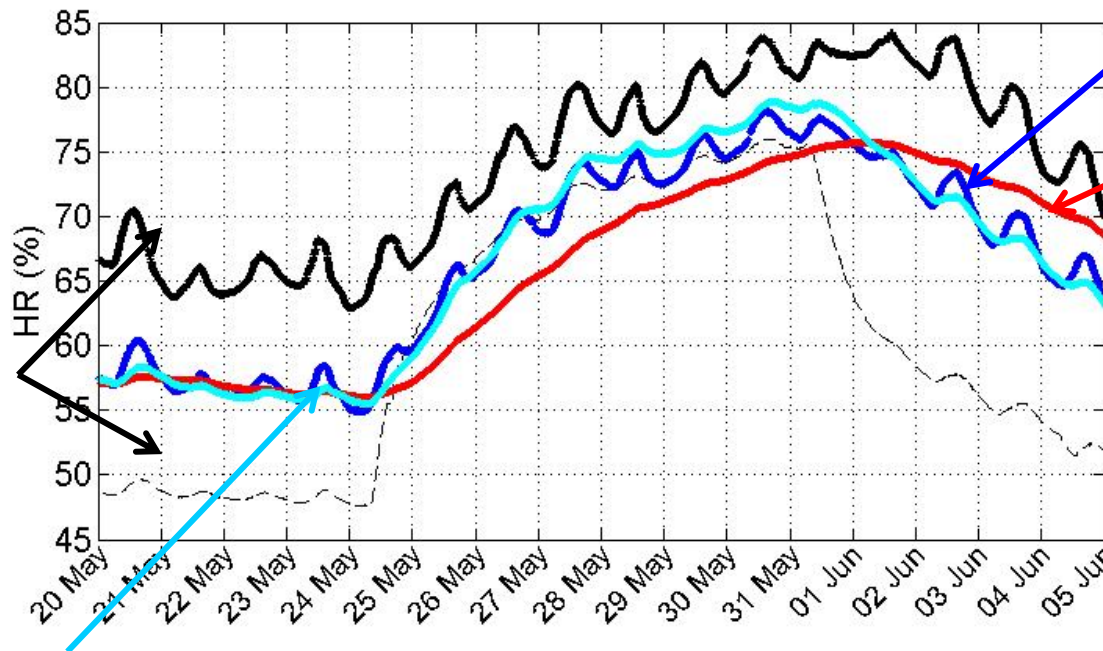
Que faire ?

- conditions aux limites : testé
- comparaison du modèle avec d'autres codes : testé
- propriétés de matériaux
- modélisation à affiner



+/- 10% => pas de
changement significatif

Noir : valeurs à 4 cm et 12 cm prises comme conditions aux limites



Bleu : mesures à 8 cm

Rouge : modèle à 8 cm

Propriétés de matériaux

« consensus » - mesures par au minimum 2 laboratoires

Bleu clair : modèle à 8 cm

Propriétés de matériaux « adaptés » :

- Perméabilité vapeur multiplié par 2
- Isotherme de sorption lissée

Comparaison entre codes hygrothermiques (Syrthès-Bati, Delphin, codes maison Locie, Cethyl, ...)

Campagnes expérimentales en conditions contrôlés

Campagnes expérimentales en conditions réelles (2 bancs)

paroi non-conventionnelle (très hygroscopique et perméable à la vapeur)

Phénomènes

Impact des transferts de vapeur d'eau sur les transferts thermiques

- **Mesurable** sur une configuration réaliste
- **Perturbation** non-négligeable des champs thermiques

Impact des transferts thermiques sur les transferts de vapeur d'eau

- Variations saisonnières (**Humidité relative**) et journalières (**Pression de vapeur**) de l'humidité
- Confirmation de l'impact de l'orientation de la paroi

Qu'avons nous appris ?

Fiabilité des mesures

- **Très bonne similitude des mesures** (*différents points de mesure, différentes cellules, différents capteurs*)
- **Difficultés** : *placement des capteurs au seins des matériaux (position géométrique précise) et régulation précise en humidité de l'air intérieur*
- **Perspectives** : *recherche des méthode pour corrélér les données entres les bancs*

Qu'avons nous appris ?

Numérique vs. expérimental

- **Bonne similitude résultats de différents codes**
(approche macroscopique)
- **Difficultés** : *prise en compte de la dynamique (notamment en humidité)*
- **Pistes pour l'avenir** :
 - *Caractérisation des matériaux : perméabilité vapeur, cinétiques de sorption...*
 - *Modélisation : équilibre instantanée, hystérésis...*

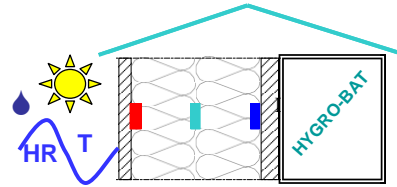
Transferts couplés de chaleur et de masse dans les parois



Des Transferts Locaux

... à la performance du Bâtiment

Les verrous sont encore nombreux !



Vers une méthode de conception HYGRO-thermique des BATiments performants :

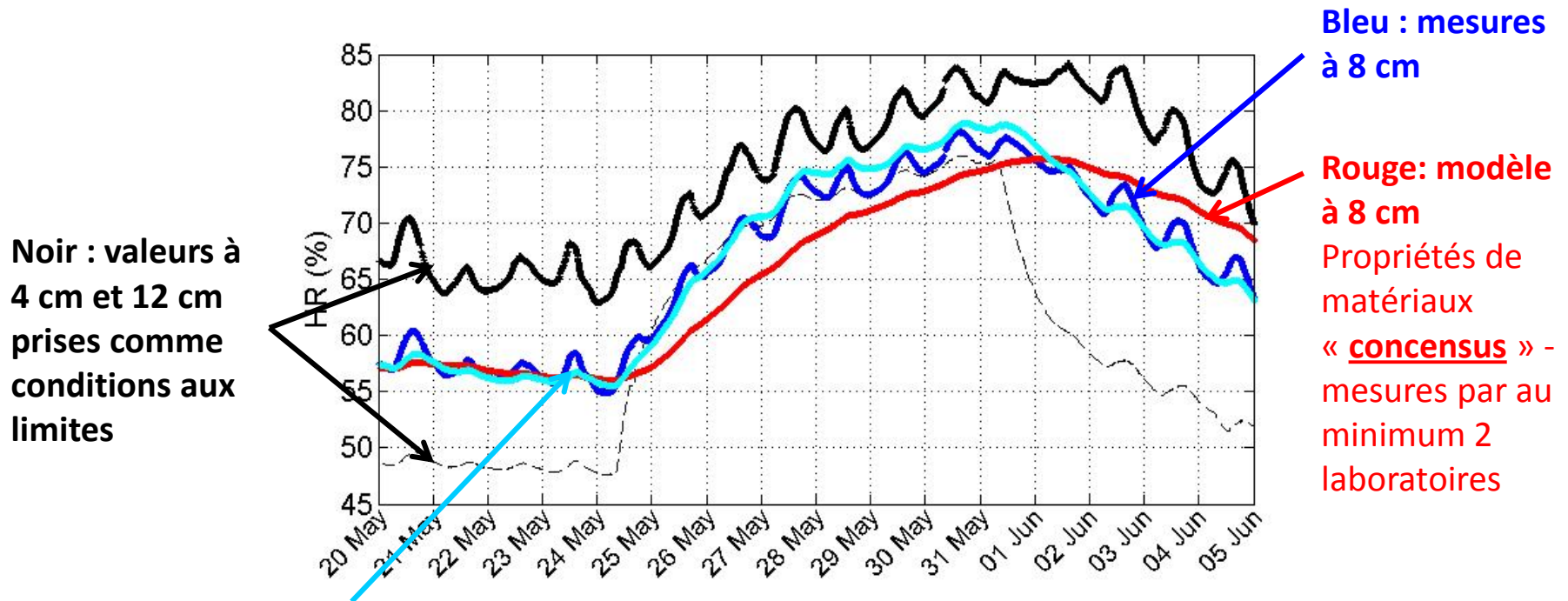
projet HYGRO-BAT – ANR HABISOL 2010

MERCI A:

Monika Sloszyn*, Nolwenn Le Pierrès, Yannick Kedowidé,
 LOCIE, CNRS UMR 5271, Université de Savoie
Joseph Virgone, Abdelkrim Trabelsi, Zakaria Slimani,
 CETHIL, CNRS UMR 5008, Université Lyon 1, Insa Lyon
Eric Mougel, Romain Reymond, Helisoa Rafidiarison,
 ENSTIB, LERMAB, Université de Lorraine
Patrick Perré, Floran Pierre,
 Ecole Centrale Paris, LGPM, EA 4038
Rafik Belarbi, Nabil Issaadi, Kamilia Abahri,
 Université de la Rochelle, LaSIE CNRS FRE 3474
Timéa Bejat, Amandine Piot, Etienne Wurtz
 CEA / LITEN / LEB - INES

Thierry Duforestel, Mathilde Colmet Daâge,
 EDF R&D
Bernard Perrin, Marie Coutand, Oly Vololonirina,
 LMDC, Université Paul Sabatier, Insa Toulouse
Claude Pompéo,
 CSTB, Grenoble
Wahbi Jomaa,
 Arts & Métiers Paris Tech, Université de Bordeaux – I2M, UMR5295 :
Jean-Sébastien Lauffer, Philippe Thiriet,
 CRITT BOIS
Robert Diss, Nadia Rémond
 LIGNATEC
Olivier Legrand,
 NR GAIA





Bleu clair : modèle à 8 cm

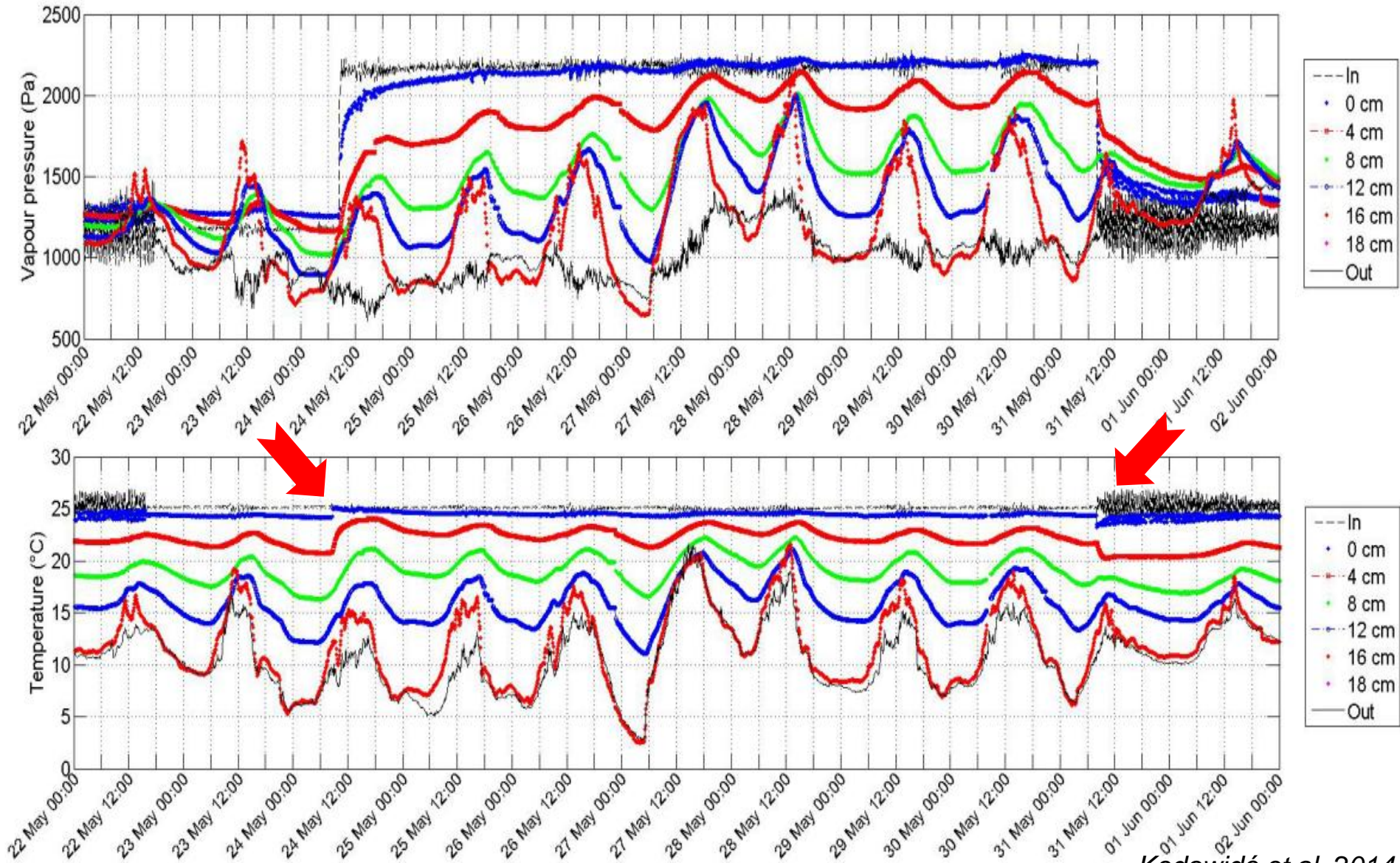
Propriétés de matériaux « adaptés » :

- Perméabilité vapeur multiplié par 2
- Isotherme de sorption lissée

Remise en cause des caractérisations habituelles :

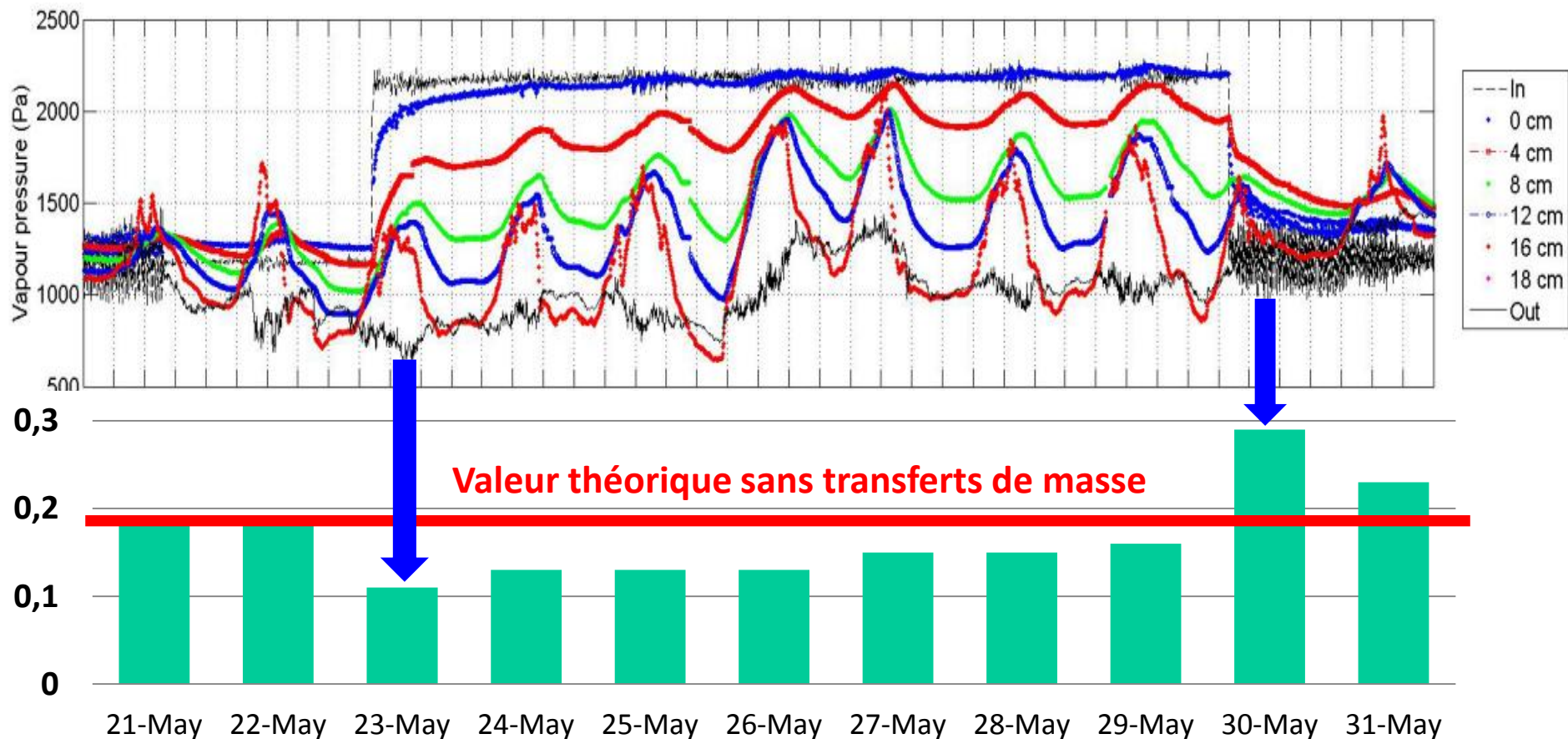
- méthode de la coupelle
- non-représentation d'hystérésis de sorption

Résultats à l'échelle de journées



Kedowidé et al. 2014

Impact des transferts de masse sur la thermique



Ecart de température normalisé à 4 cm dans la paroi
(dans l'isolant hygroscopique)

Effet mesurable de la chaleur latente de sorption