

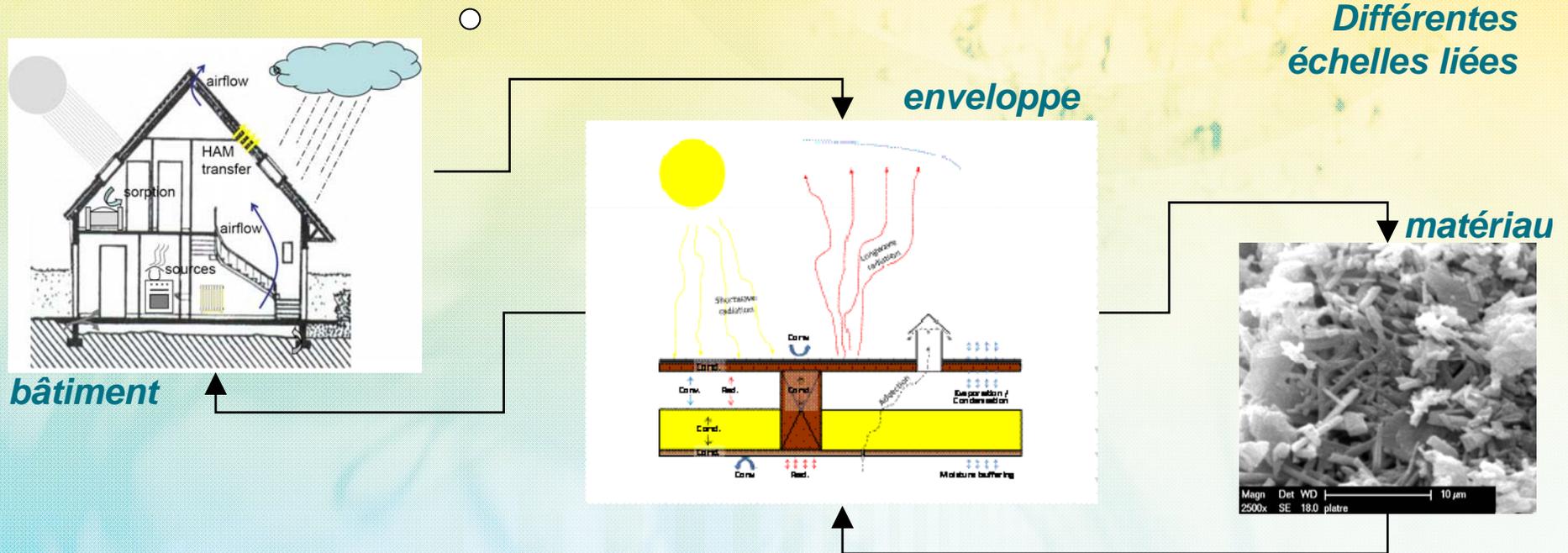
Transferts de masse Transferts de chaleur dans les bâtiments

Monika Woloszyn
CETHIL UMR 5008, Université Lyon 1



Transferts de masse : état de l'art et futur

- Introduction
- Etat de l'art



- Et après ?

*Plusieurs laboratoires – projets ...
Collaborations nationales – internationales*

Transferts dans les parois – les bases « classiques »

Equations de conservation

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

Énergie (chaleur)

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

Masse - eau

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

Masse - air

Conditions aux limites

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

$$g_{H_2O}|_{surface} = \alpha_{H_2O} (P_{vap,surface} - P_{vap,air})$$

$$g_{air}|_{surface} = g_{air} = K_{air} (P_{air,ext} - P_{air,int})$$

Transferts dans les parois – les couplages

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

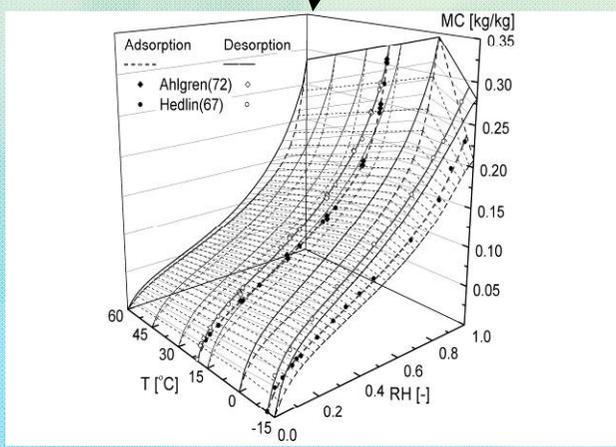
$$\rightarrow \varphi = \lambda gradT + h_{H_2O} g_{H_2O} + h_{air} g_{air}$$

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

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

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

$$P_{vap} = \rho_{vap} r T$$



$$g_{H_2O} = g_{vap} + g_{liq} = \delta_{P_{vap}} gradP_{vap} + \delta_{P_{liq}} gradP_{liq} = \delta_{P_{vap}} gradP_{vap} + \delta_T gradT$$

Benchmarks de validation

Annexe 41, AIE

- CE0: Validation des aspects **thermiques** des modèles utilisés (BESTEST)
- CE1: **Hygro-BESTEST** (y compris une solution analytique).
- CE2: basé sur des données **expérimentales** d'une cellule climatique en conditions gardées (Japon).
- CE3: basé sur un double essai de chambre climatique soumise au **climat extérieur**, (Allemagne)
- CE4: CE3 + ventilation **hygroréglable** et des matériaux hygroscopiques
- CE5: étude de **cas réel**
- CE6: cellule climatique à **deux niveaux** située à (Canada)

17 outils de simulations participants

CE3 : Présentation

Lengsfeld et al. 2008

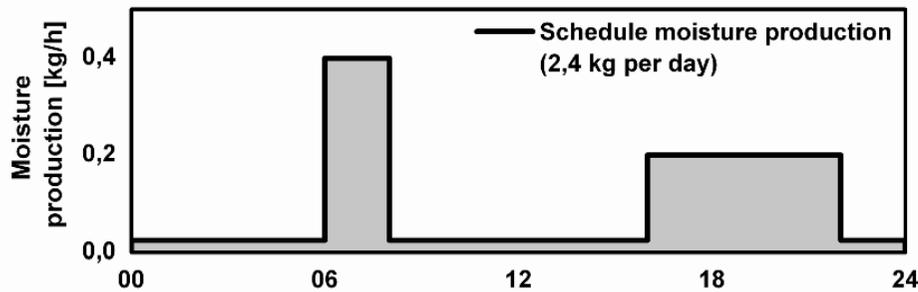
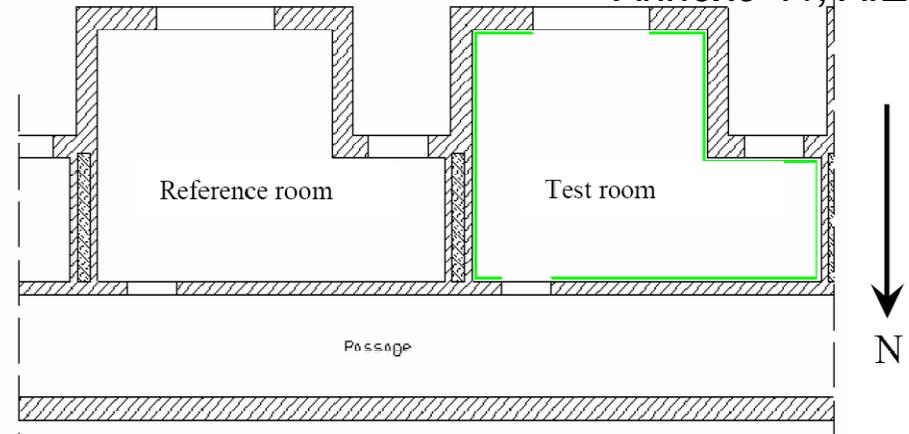
foil faced test room



reference room



Annexe 41, AIE

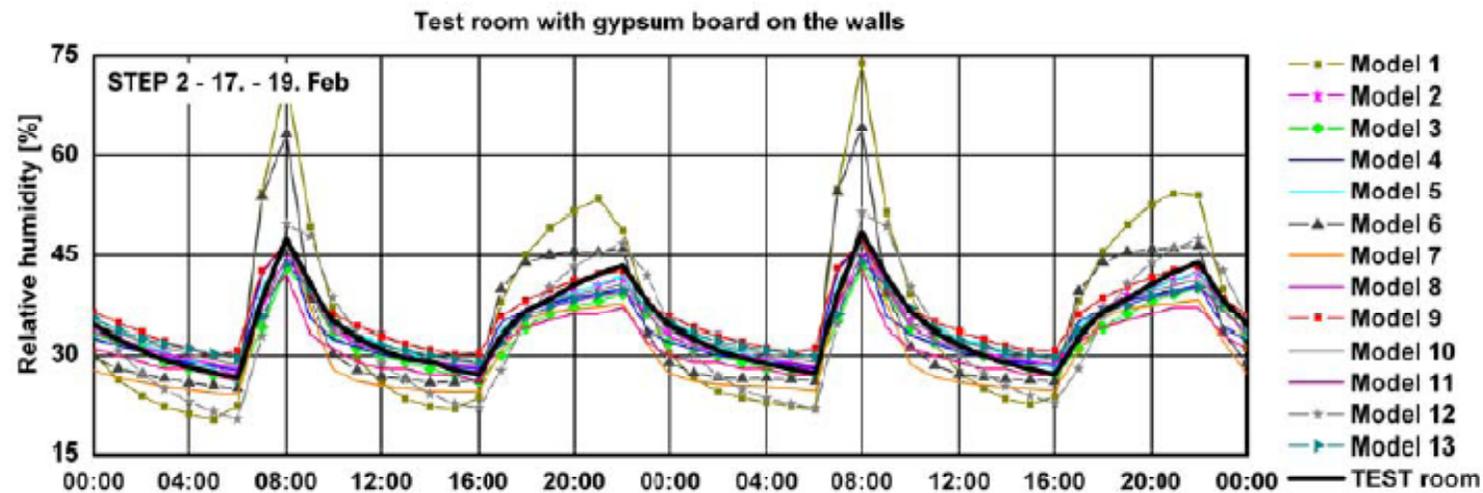
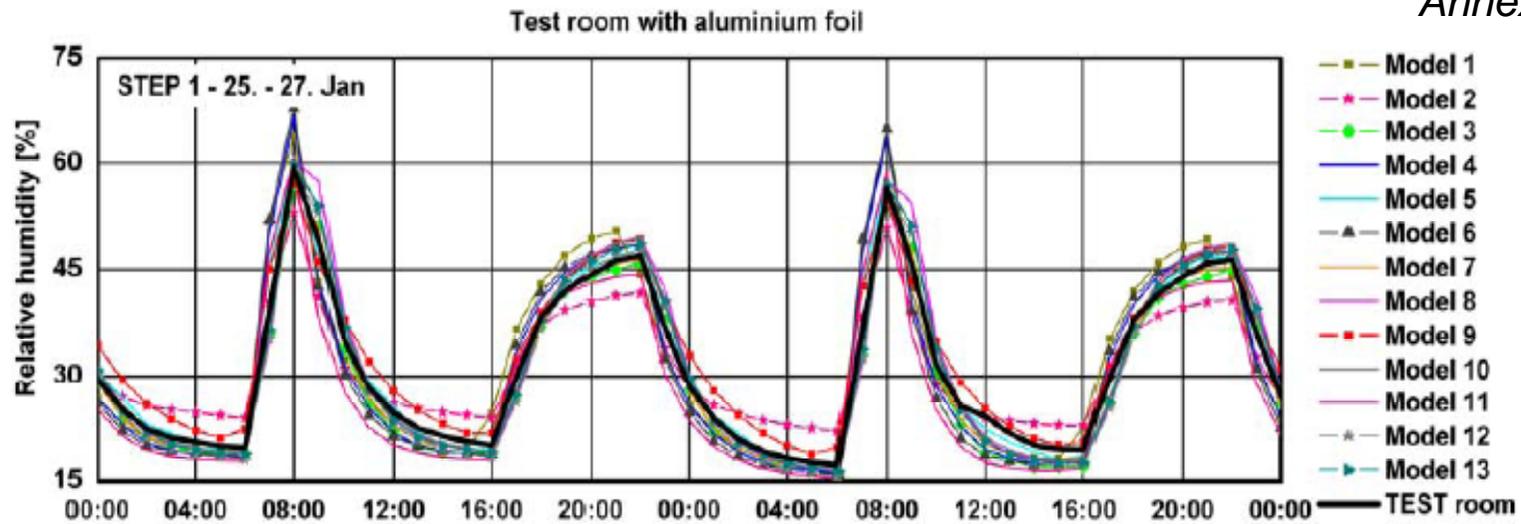


Cellule	Etape 1	Etape 2	Etape 3
Reference	Enduit plâtre peint	Enduit plâtre peint	Enduit plâtre peint
Test	Aluminium	Plaque de plâtre (Parois)	Plaque de plâtre (Parois + plafond)

CE3 : Humidité relative

Lengsfeld et al. 2008

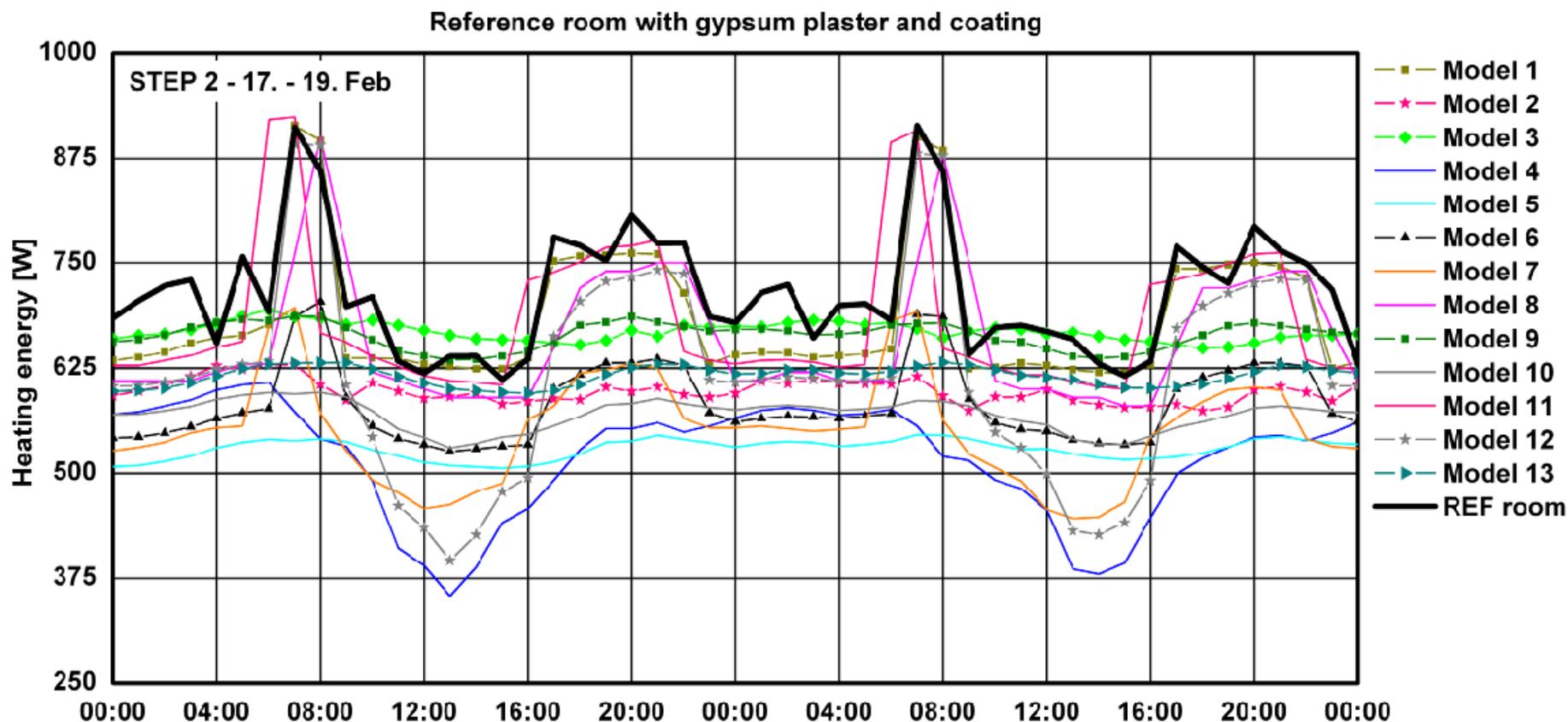
Annexe 41, AIE



CE3 : Puissance de chauffage

Lengsfeld et al. 2008

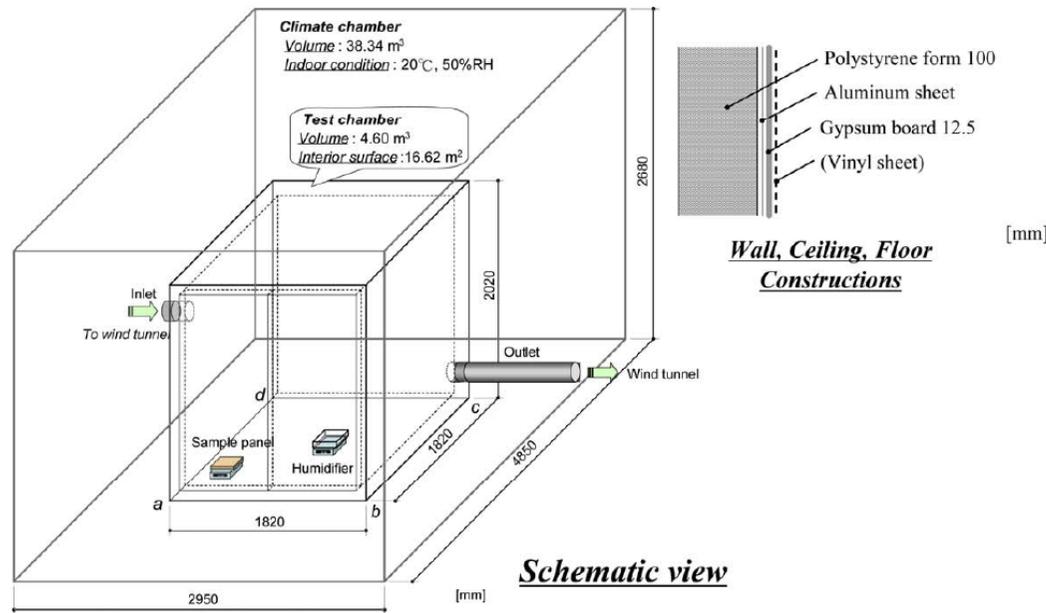
Annexe 41, AIE



CE2 : Présentation

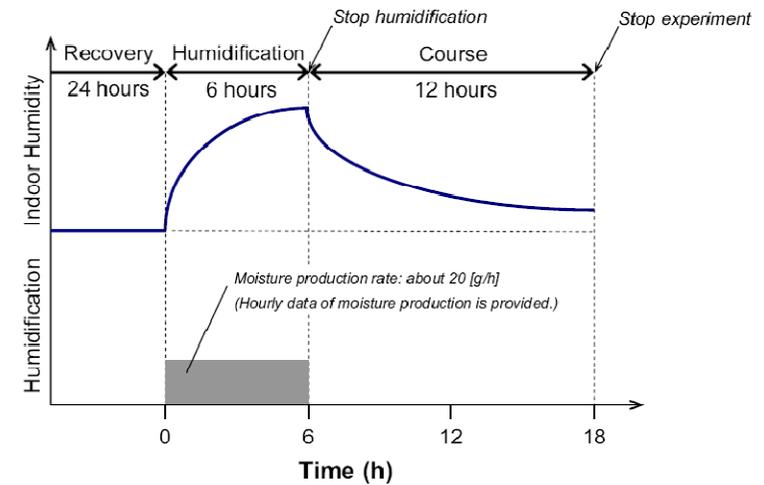
Yoshino et al. 2009

Annexe 41, AIE



	Hygrothermal materials	Volume rate [m ² /m ³]	Target of ventilation rate [1/h]
Case 2-1	all walls, ceiling, floor	2.99	1.0
Case 2-2	floor	0.53	
Case 2-3	one side of walls	0.63	
Case 2-4	3 sides of walls	1.88	
Case 2-5	ceiling	0.56	
Case 2-6	none	0.00	

Répartition des matériau hygroscopiques

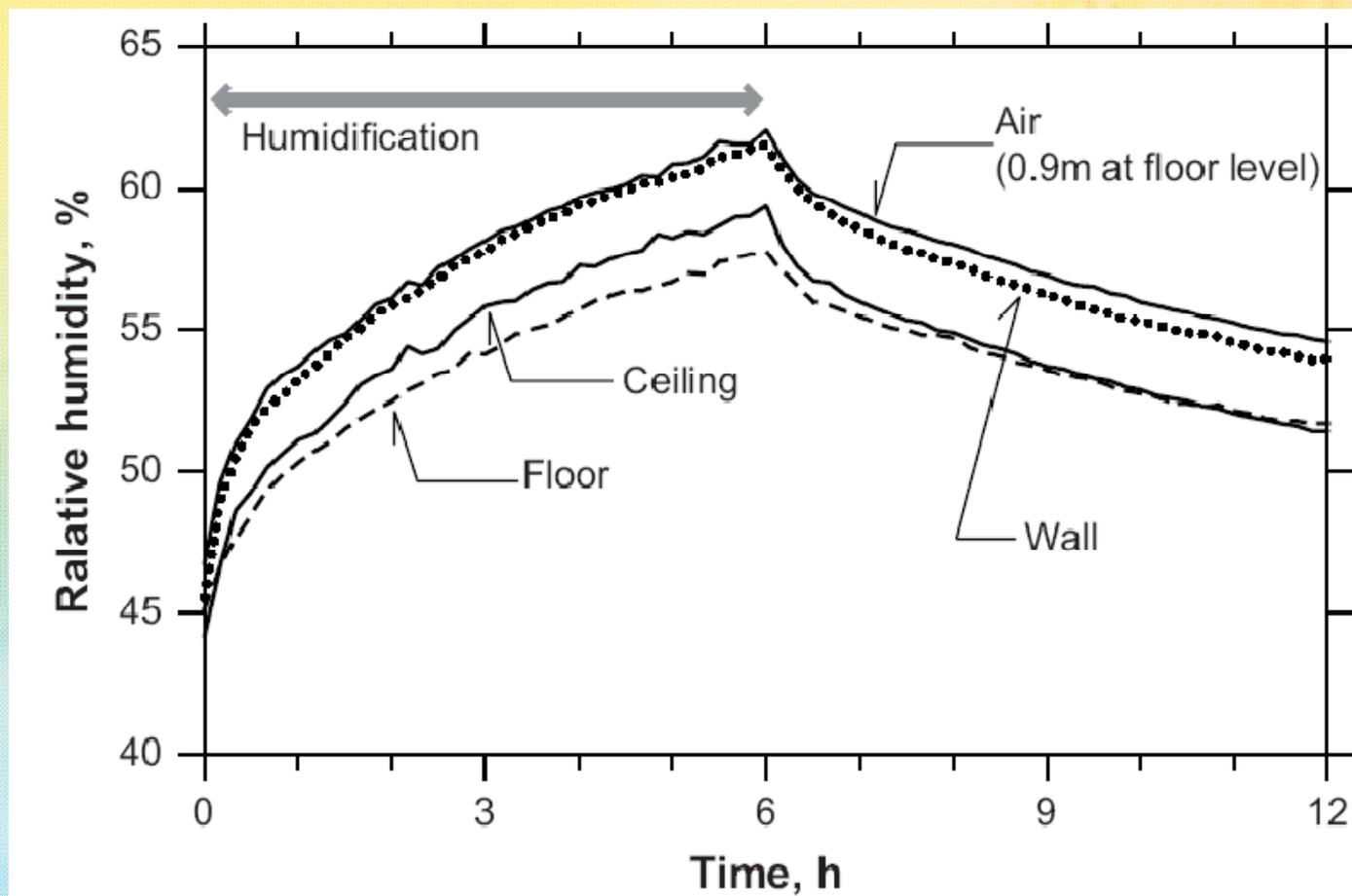


Production de vapeur

CE2 : Humidité relative

Yoshino et al. 2009

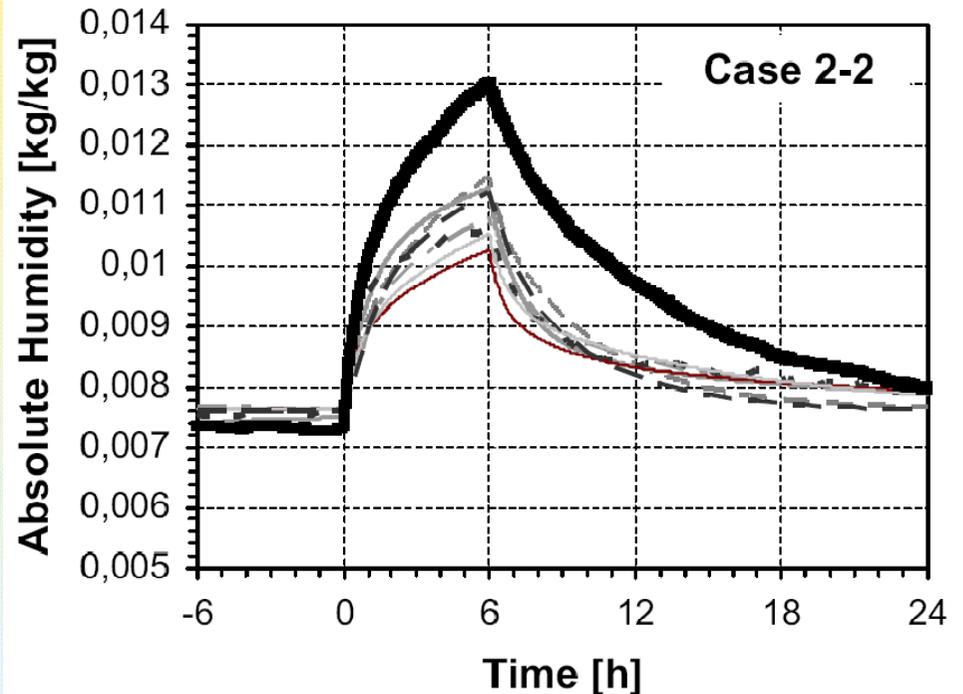
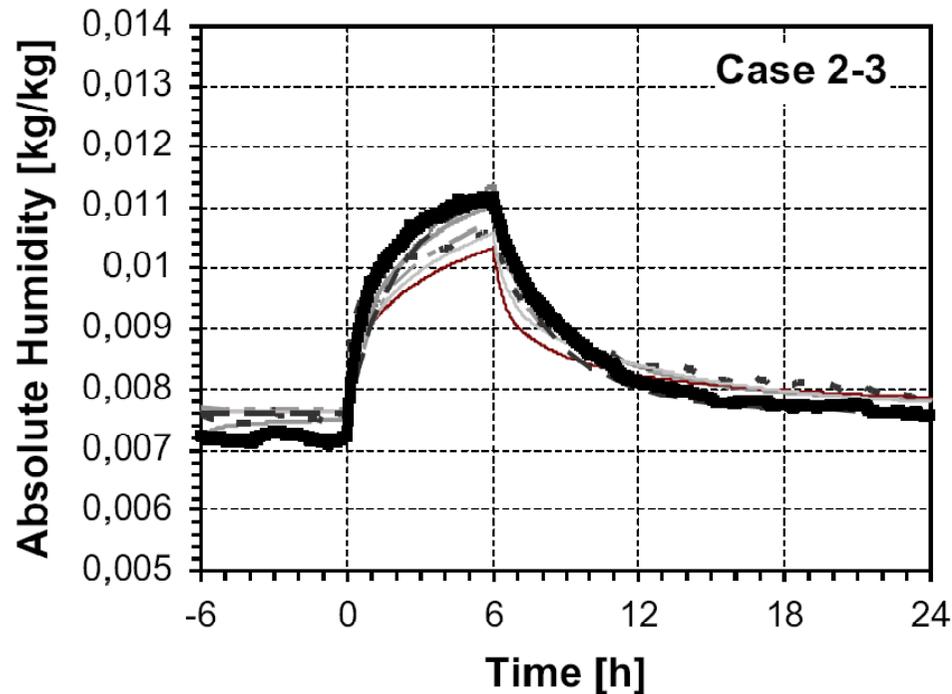
Annexe 41, AIE



CE2 : Humidité absolue

Yoshino et al. 2009

Annexe 41, AIE



Matériau hygroscopique sur un mur

Matériau hygroscopique sur le plancher

Stratification ?

Transferts de masse dans les constructions à ossature bois

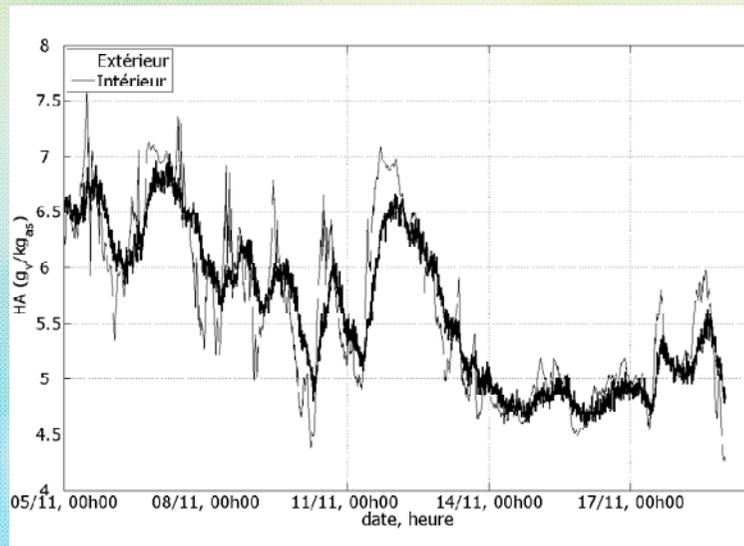
thèse d'Amandine Piot, ANR OPTI-MOB

Cible scientifique

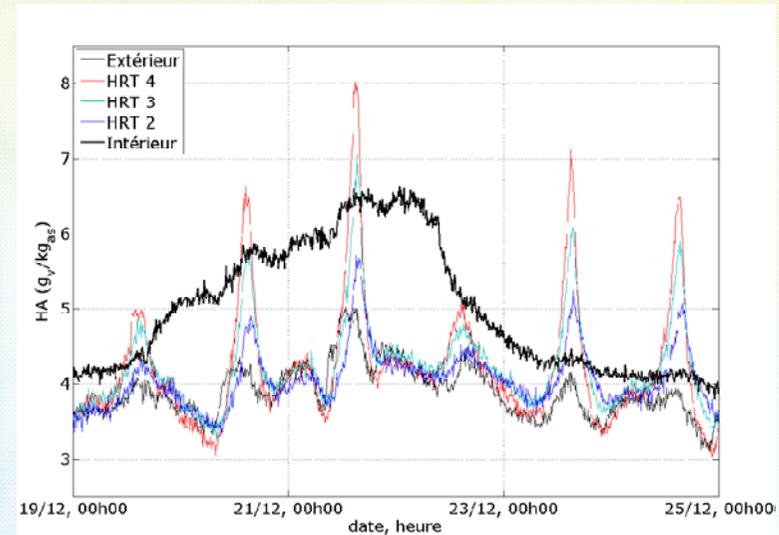
- Impact couplé des transferts d'humidité et d'air sur le transfert de chaleur

Supports

- Cellule expérimentale en grandeur réelle
- Modélisation numérique



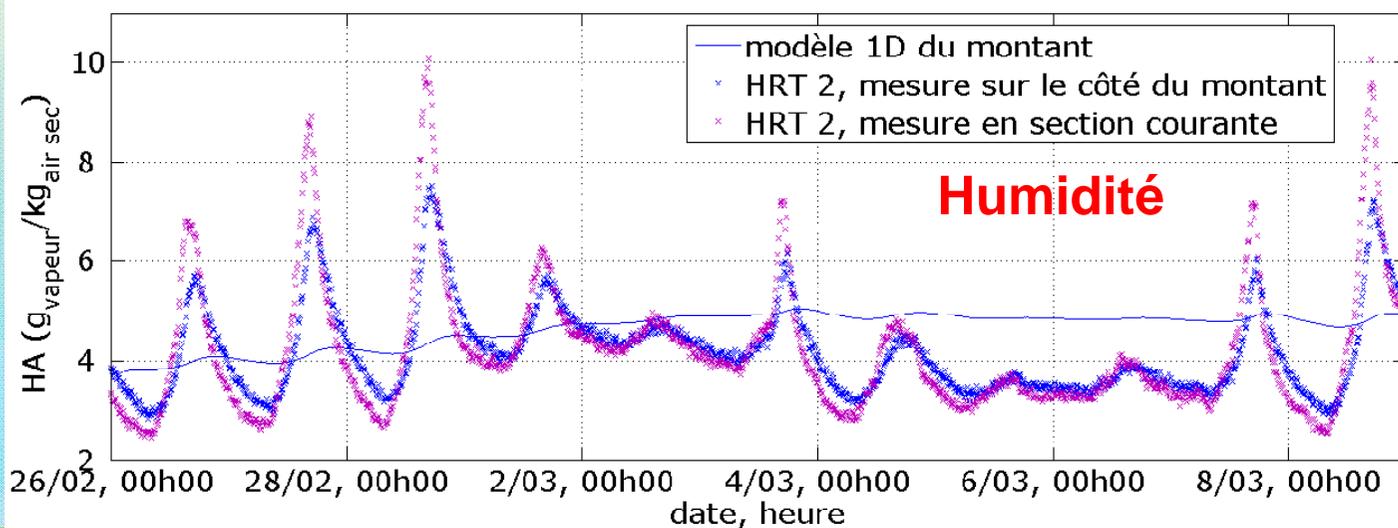
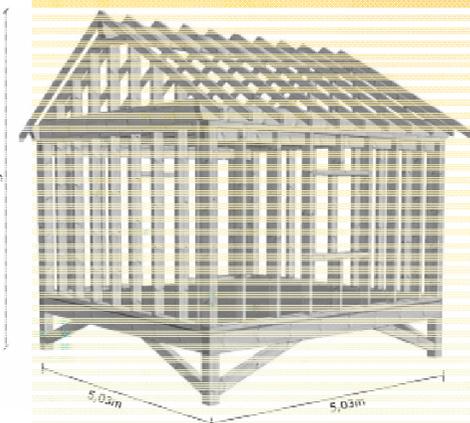
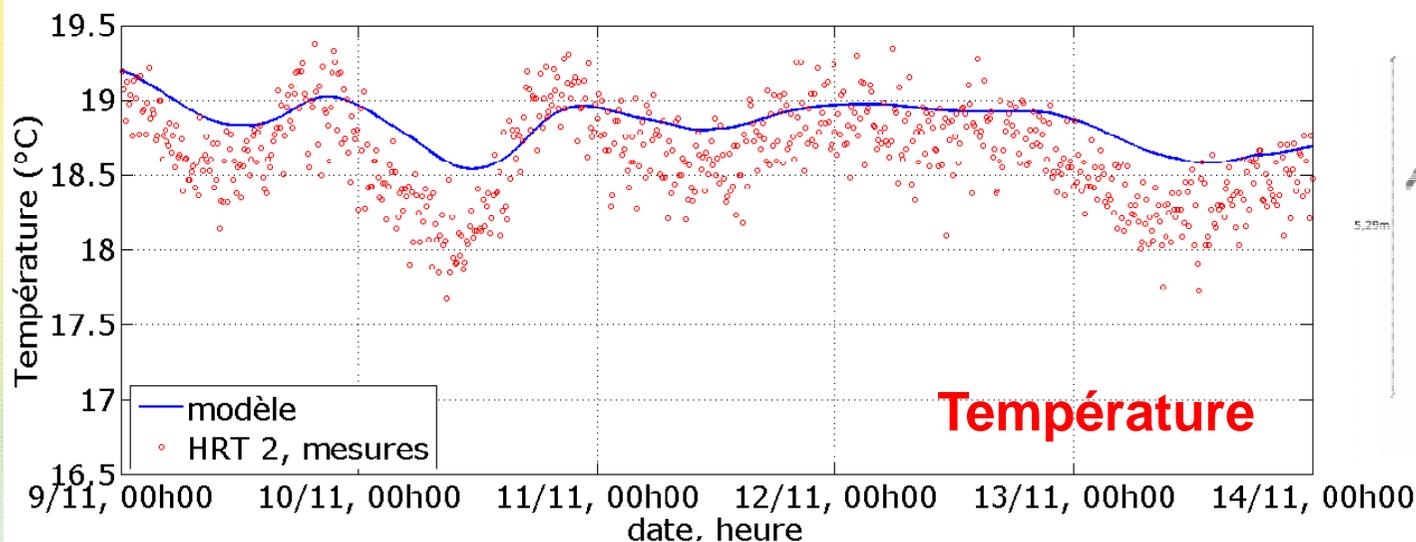
automne, sans pare-vapeur, sans génération de vapeur



hiver, sans p-v, échelon de génération de vapeur

ponts hygro-thermiques (cellule opti-mob montant paroi ouest)

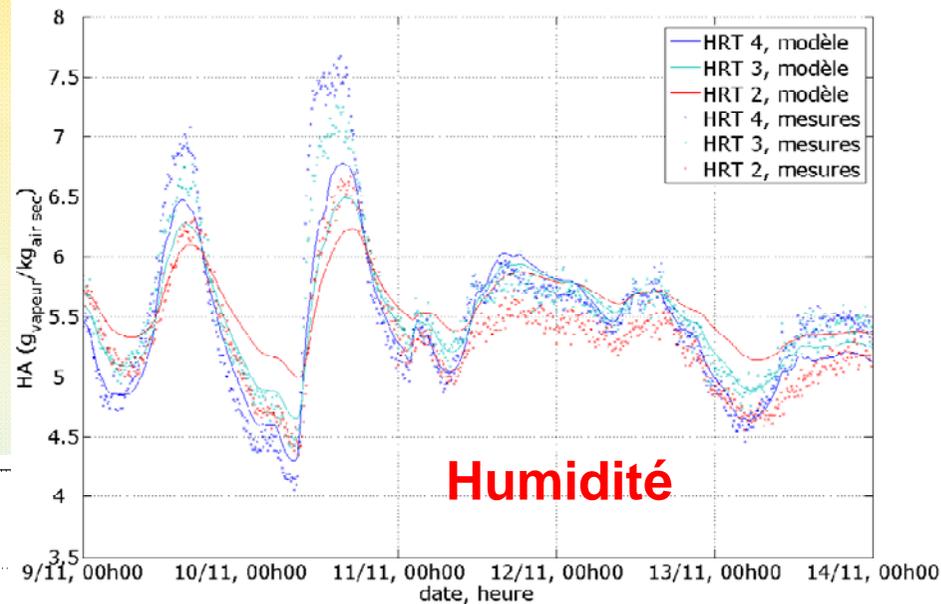
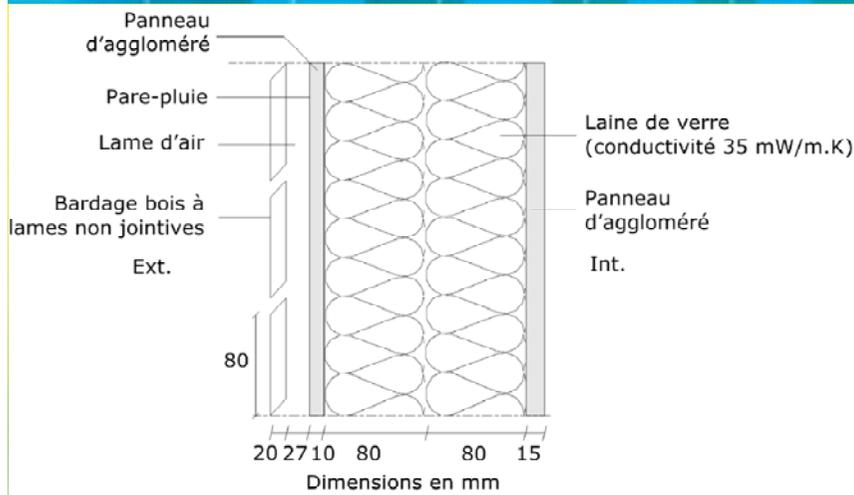
A. Piot, 2009



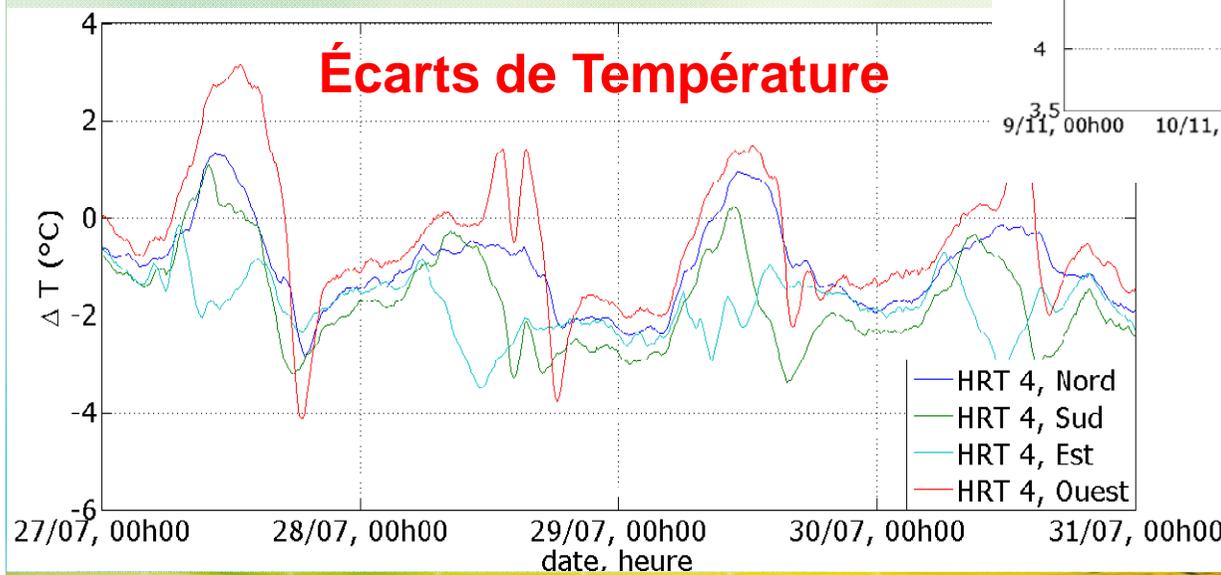
Modèle 1D
vs. mesures

Lame d'air ventilée (cellule opti-mob, paroi est)

A. Piot, 2009



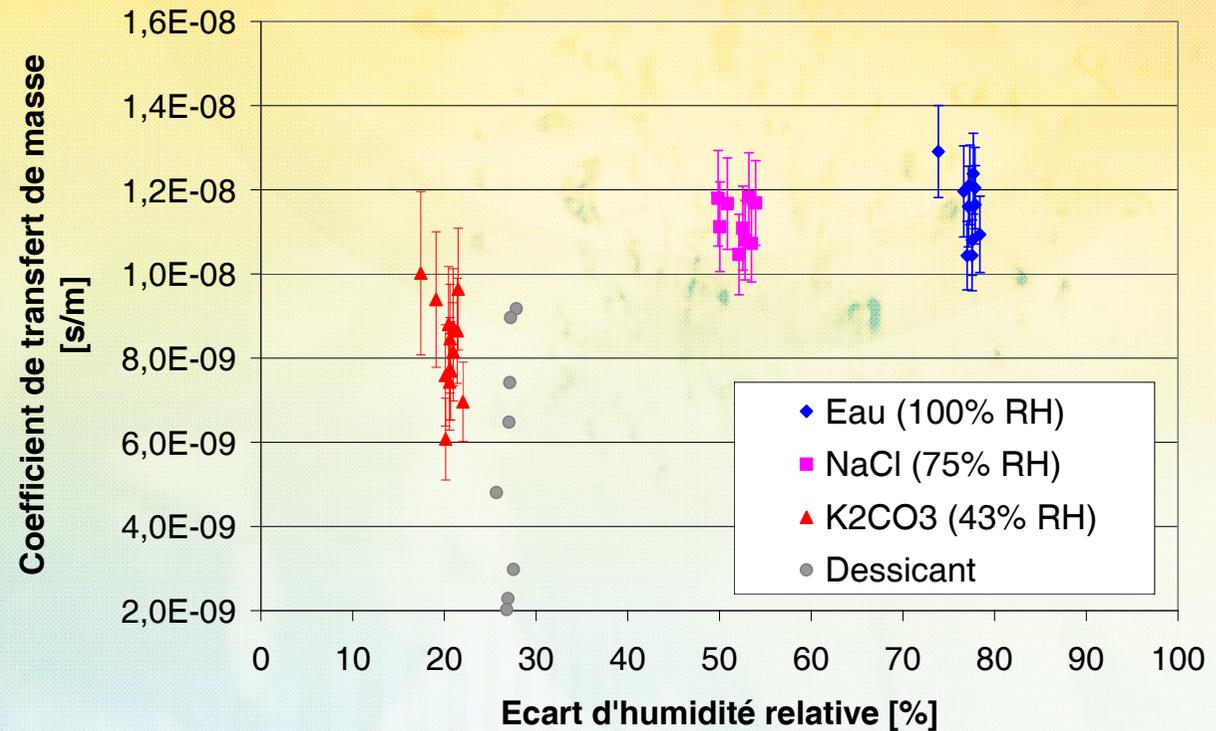
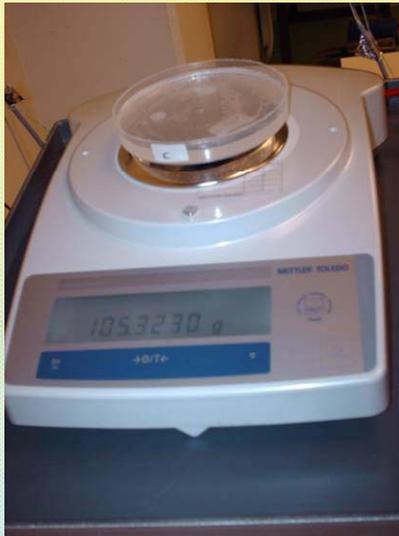
Humidité



Écart de Température

**Modèle 1D
vs. mesures**

Coefficient de transfert convectif

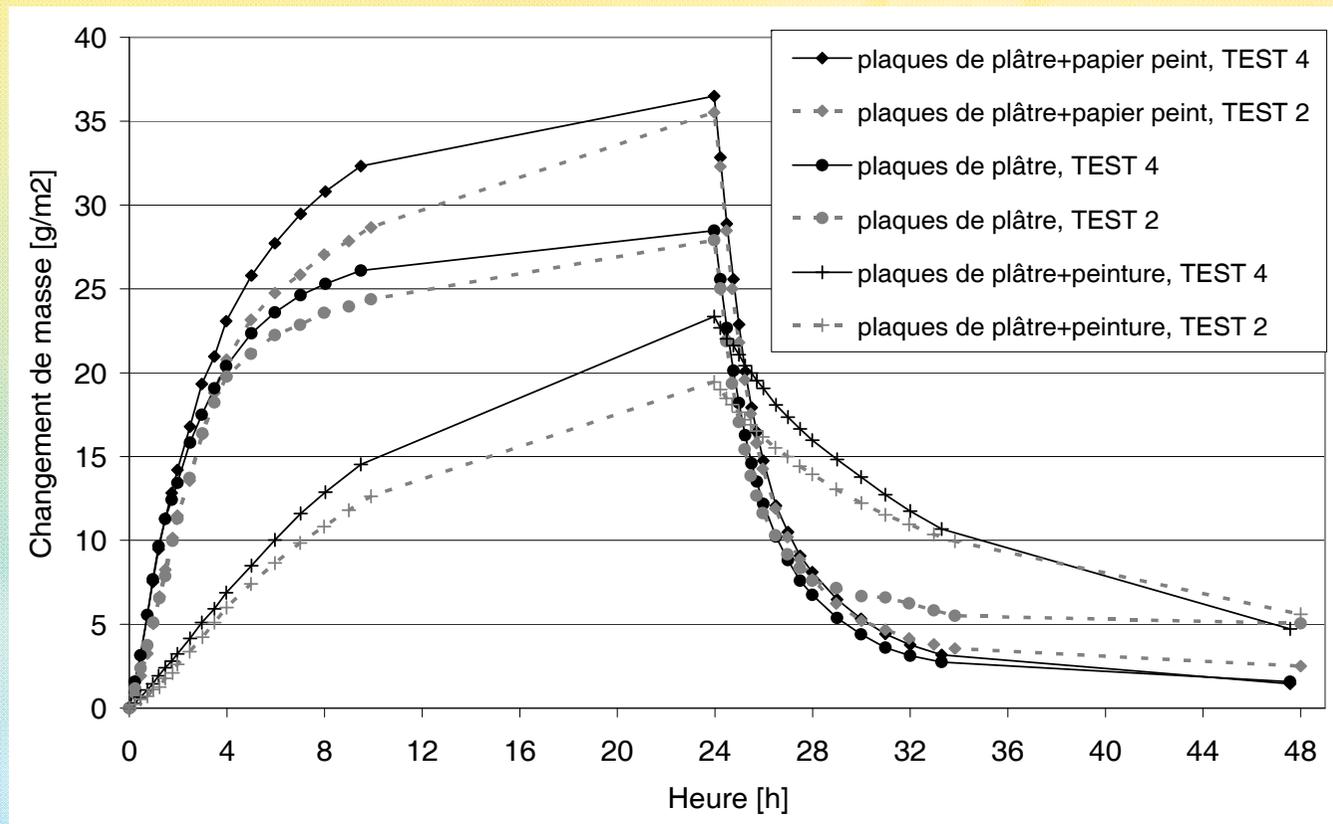


- ➔ Valeur habituelle $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ s/m, indépendant de l'écart d'HR
- ➔ Quel impact sur la **caractérisation des matériaux** ?
sur les **simulations à l'échelle du bâtiment** ?

Impact des revêtements et de température

J. Kwiatkowski, 2009

cinétique de sorption d'une plaque de plâtre

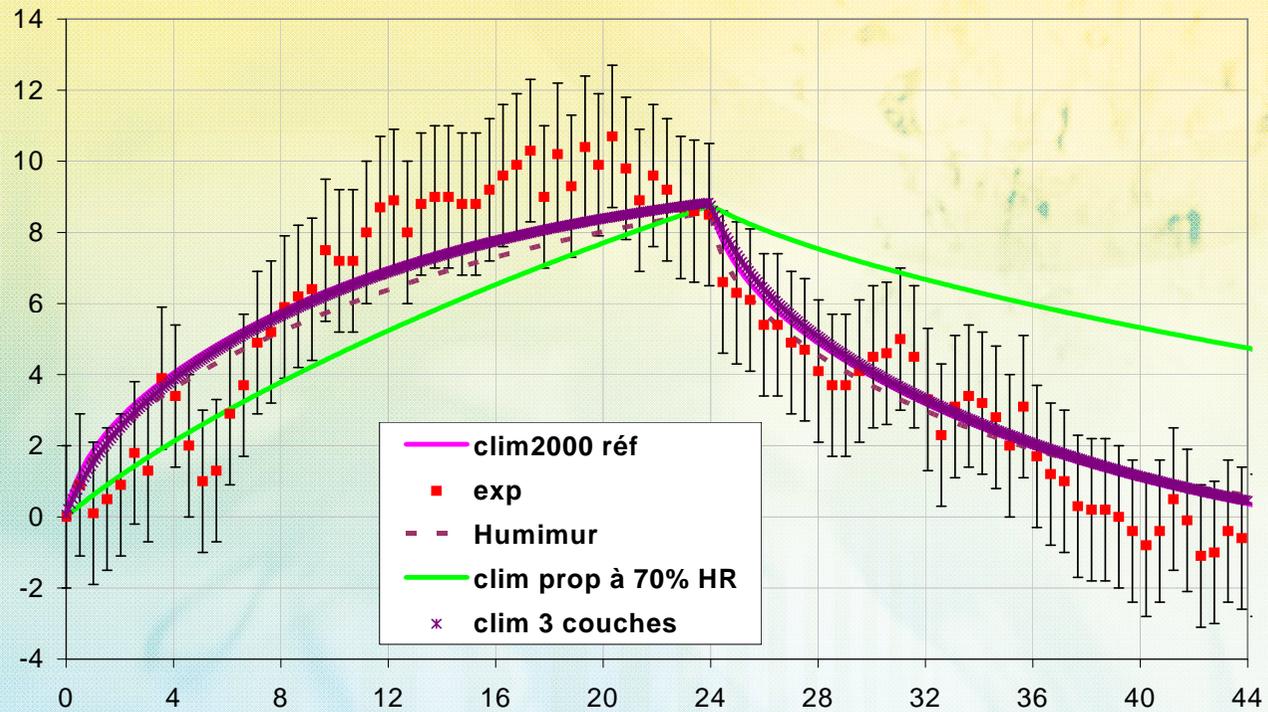


**impact des revêtements (peinture, papier peint)
et de la température (test 2 – 20°C, test 4 – 24°C)**

Modélisation des cycles de sorption

Annexe 41, AIE

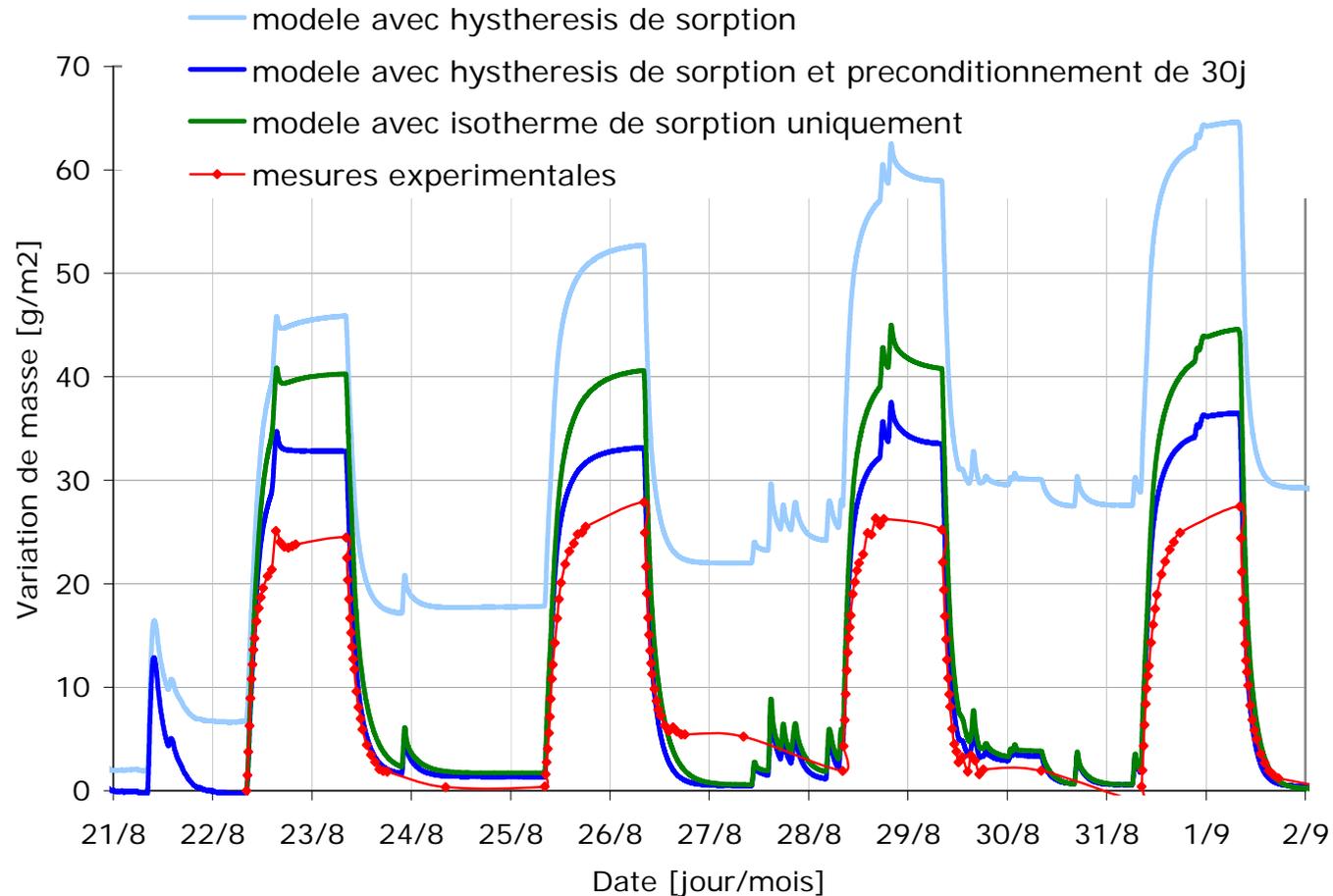
cinétique de sorption d'une plaque de plâtre



Importance d'une connaissance précise des propriétés des matériaux

Modélisation des cycles de sorption

J. Kwiatkowski, 2009



Impact de la modélisation de l'isotherme de sorption sur les résultats du modèle
Résultats les plus proches : **isotherme de sorption x 0.8**

Etat de l'art

- Nos points forts :
 - transferts de masse dans le **contexte énergétique du bâtiment**
 - traitement de **différentes échelles**
 - aspects **modélisation et expérimentation**
- Quelques résultats :
 - **Validation des codes couplés dans une paroi courante, avec evolution lente des CL**
 - **Impact sur champs hygrique des résistances de contact thermiques**
 - **Complémentarité entre différents niveaux de modélisation**
 -

Perspectives

- **COMPRENDRE : Etude des phénomènes de transferts couplés**
 - interactions conduction – convection – advection – rayonnement CLO – rayonnement GLO – humidité
 - Prise en compte des conditions aux limites complexes
 - Prise en compte de la dynamique, réflexion sur la caractérisation des matériaux pour les simulations dynamiques couplés
 - Etudier les éléments quasi-absents : transferts d'air, ponts thermo-hygriques, résistances de contact
- **EXPLOITER : Intégration des modèles à l'échelle du bâtiment**
 - Méthodologies pour la réduction de modèles couplés
 - Application pour la maîtrise des flux à travers l'enveloppe

Application de modèles
Analyse des risques
Rénovation des bâtiments

Projet annexe AIE
RAP-RETRO