



Confrontation des résultats numériques avec les données expérimentales

Professeur Rafik BELARBI

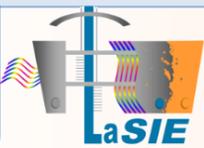
La Rochelle Université, LaSIE-UMR 7356 CNRS

rafik.belarbi@univ-lr.fr



GdR MBS

MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



Ecole d'Automne GDR - MBS, La Rochelle, 10-14 novembre 2021



Objectifs

Aptitudes des modèles numériques à reproduire fidèlement les observations expérimentales

- Modélisation expérimentale des transferts de chaleur et de masse à l'échelle du bâtiment
- Présentation de l'approche de cosimulation HAM-BES (paroi-Bâtiment)
- Mise en évidence expérimentalement et numériquement des réponses du bâtiments à des sollicitations dynamiques sur la cellule de Faunhofer Institute
- Comparaison des résultats expérimentaux et ceux des modèles à l'échelle du bâtiment (TRNSYS-Modèle développé au LaSIE 1D et celui en 2D)

Modélisation des transferts hygrothermiques dans les bâtiments

Approche de co-simulation HAM-BES

Plateforme de cosimulation HAM-BES

Modèle enveloppe (HAM)

Transferts couplés masse/chaleur

Modélisation 2D (pour la représentation de points sensibles et ponts thermiques)

Sources d'humidité : climat et ambiance interne (pluie, HR)

Variation des propriétés de transfert avec la teneur en eau

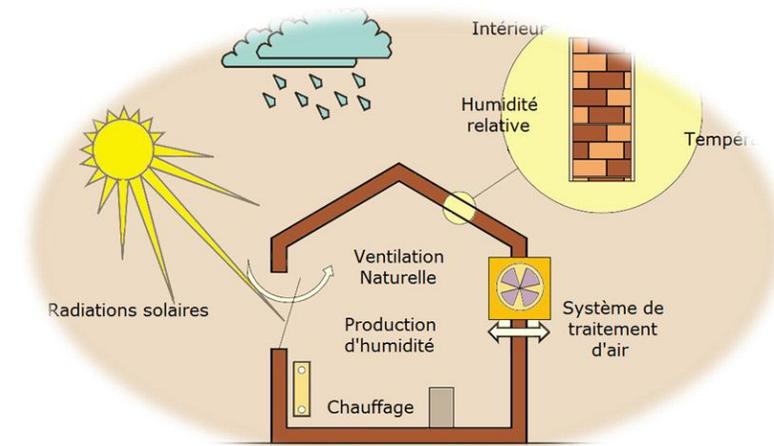
● Modèle bâtiment (BES)

Modélisation multizone

Echanges surfaciques et transferts radiatifs entre parois

Intégration de scénarios d'occupation et de charges internes d'humidité

Modélisation des systèmes de ventilation



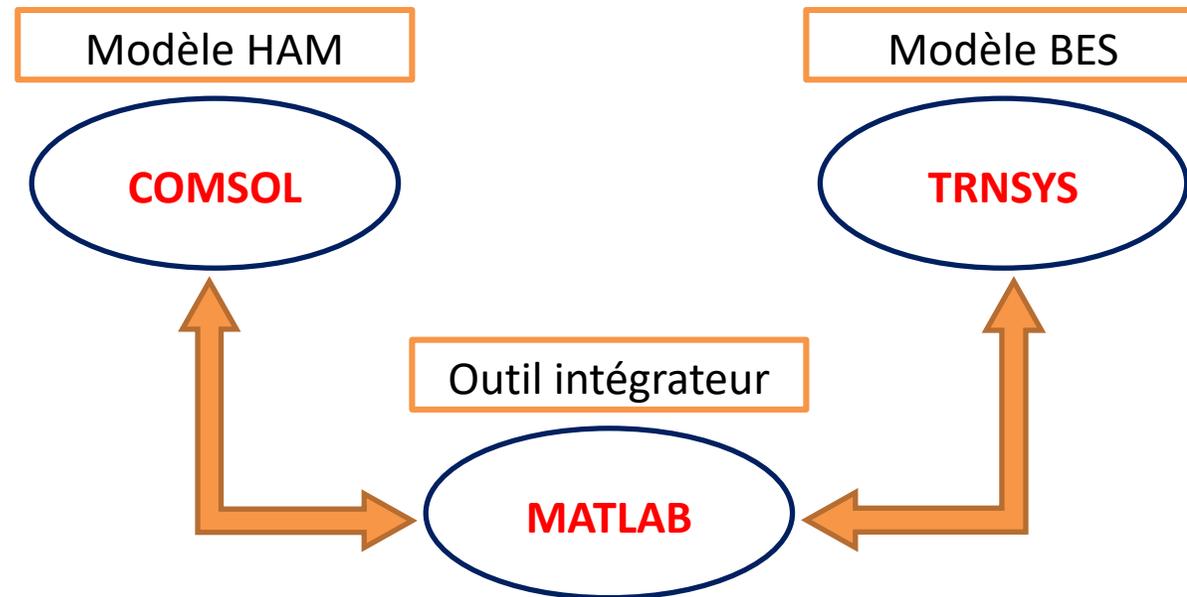
Co-simulation HAM-BES

Présentation de la démarche

Intégration des transferts hygrothermiques dans les enveloppes dans un outil de simulation dynamique du bâtiment: Approche de Co-simulation

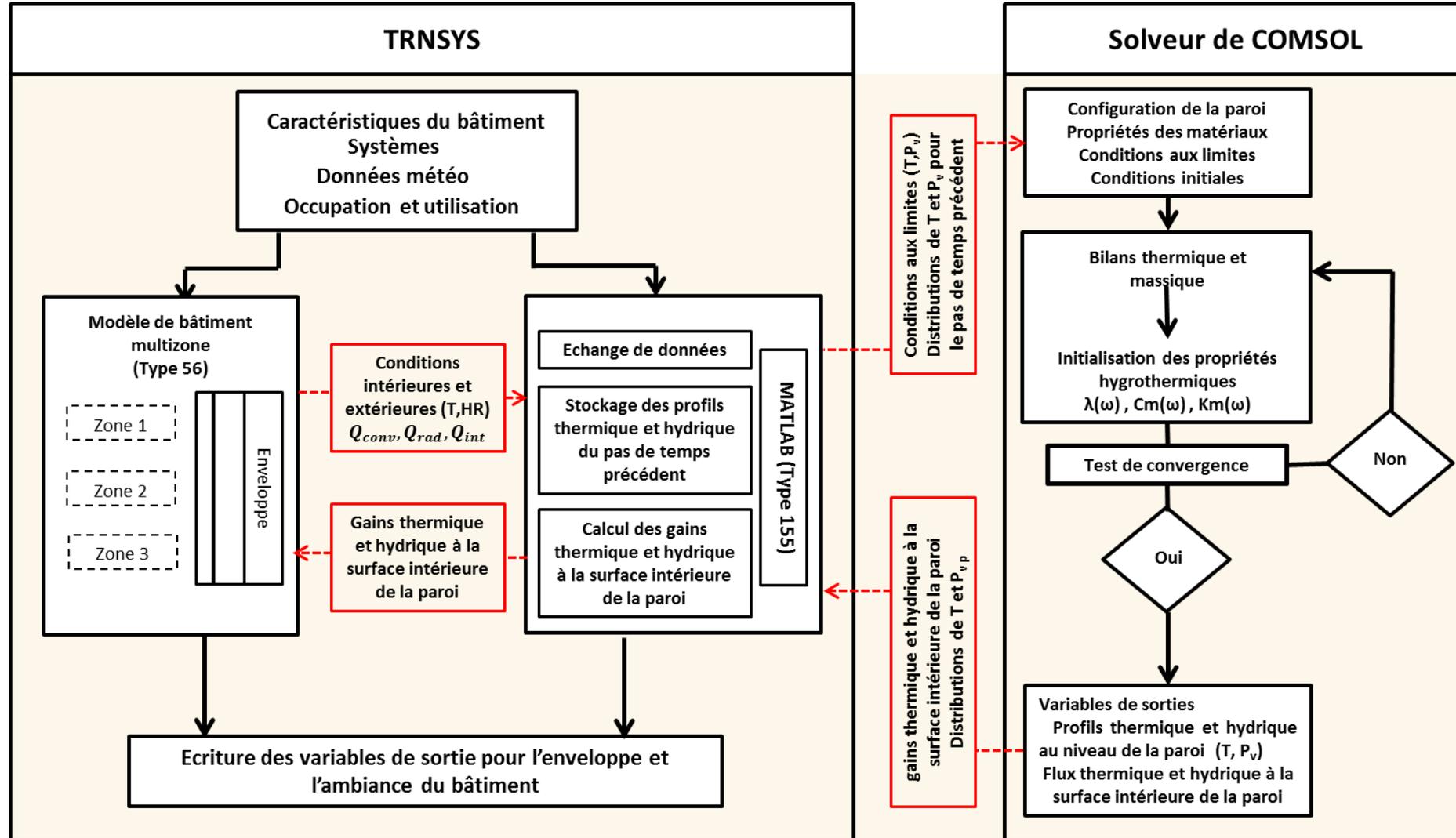
Choix des codes de la co-simulation HAM-BES

Le choix des outils de la co-simulation doit assurer la faisabilité du couplage



Co-simulation HAM-BES

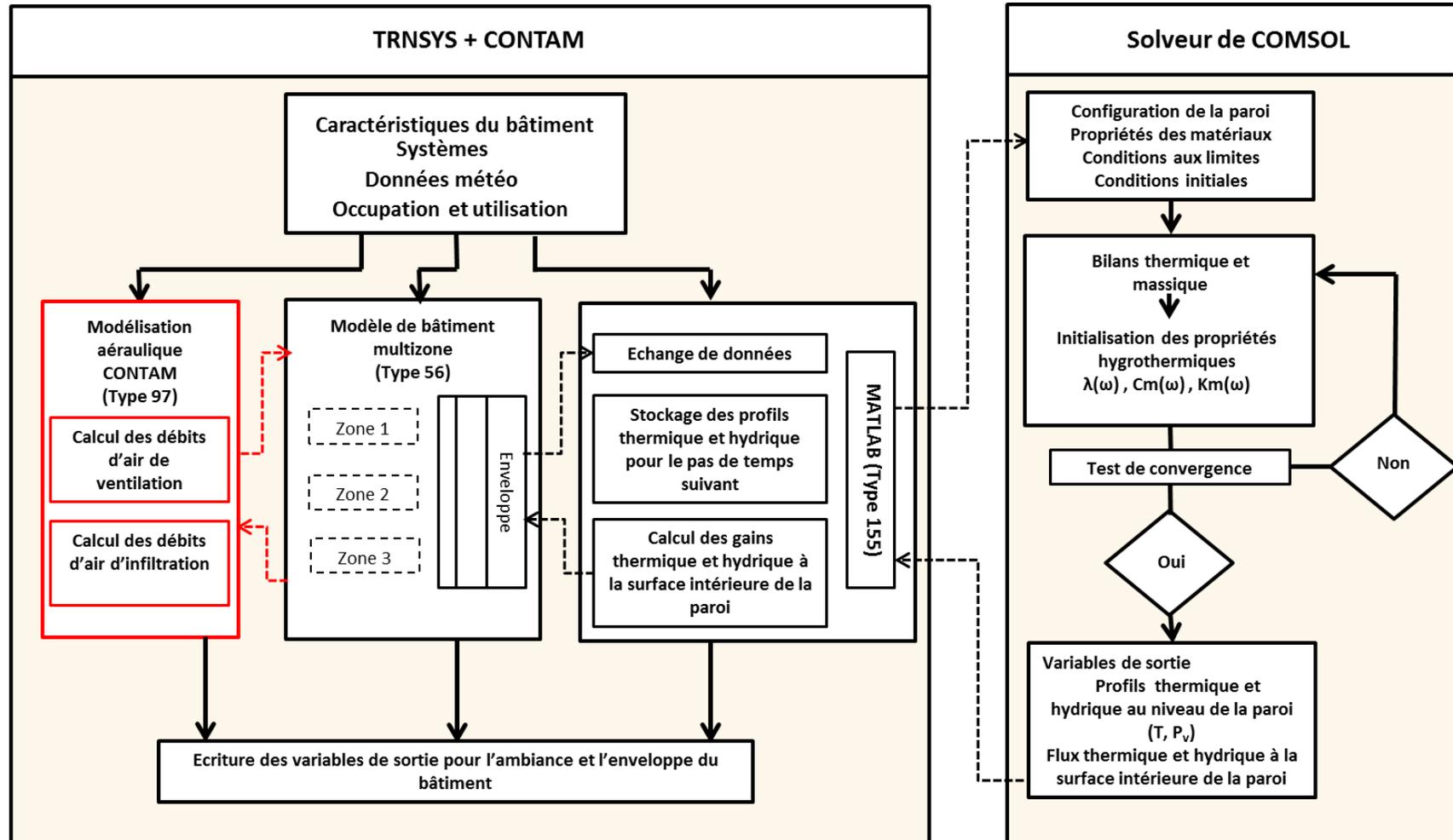
Modélisation du comportement hygrothermique des bâtiments



Co-simulation HAM-BES

Modélisation des transferts hydro-thermo-aérauliques des bâtiments

Couplage de la plateforme de co-simulation HAM-BES avec un outil de simulation aéraulique de bâtiment : **CONTAM**

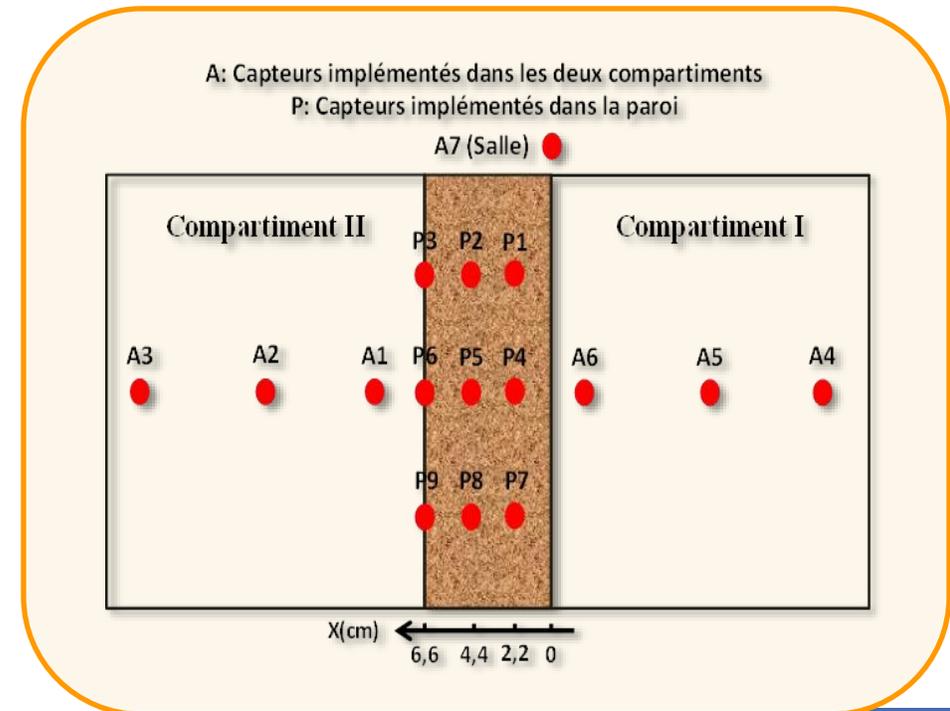


Plateforme expérimentale échelle enveloppe de bâtiment

Etude de la réponse de la paroi à des sollicitations hygrothermiques dynamiques (Plateforme LaSIE 2014)

Développement d'un dispositif expérimental dédié à l'étude du comportement hygrothermique des enveloppes de bâtiments sous des conditions contrôlées

- 2 compartiments contrôlés et instrumentés :
- Températures Cryostat avec capteur T déporté)
- Hygrométrie Générateur avec capteur HR déporté
- Enveloppe du bâtiment (1.2 mx1.2 m) instrumentée



Comparaison entre la simulation numérique et des mesures issues

Etude de la réponse de la paroi à des sollicitations hygrothermiques

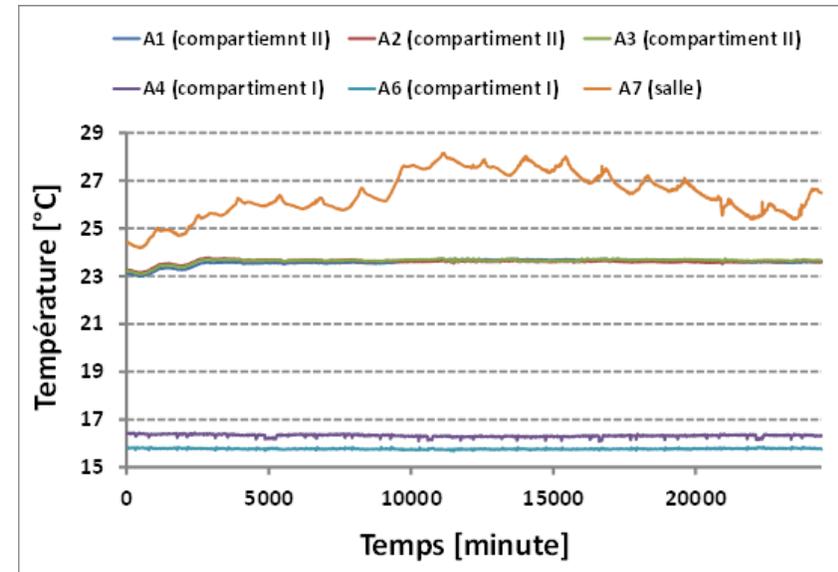
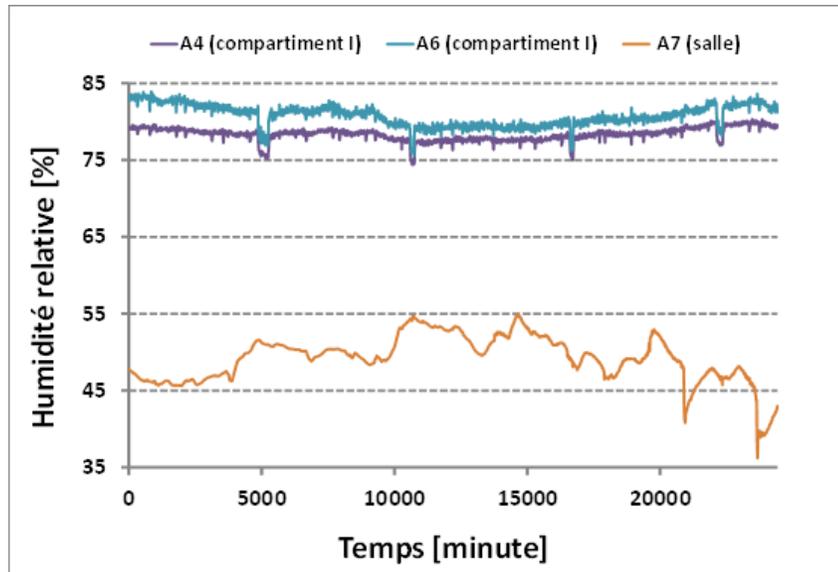
Comparaison entre la simulation numérique et des mesures issues du banc expérimental développé

Essai sur une paroi de bois aggloméré ($e = 6,6$ cm)

Conditions aux limites fixes

Compartment I: $T = 16 \pm 1$ °C HR = 80 ± 3 %

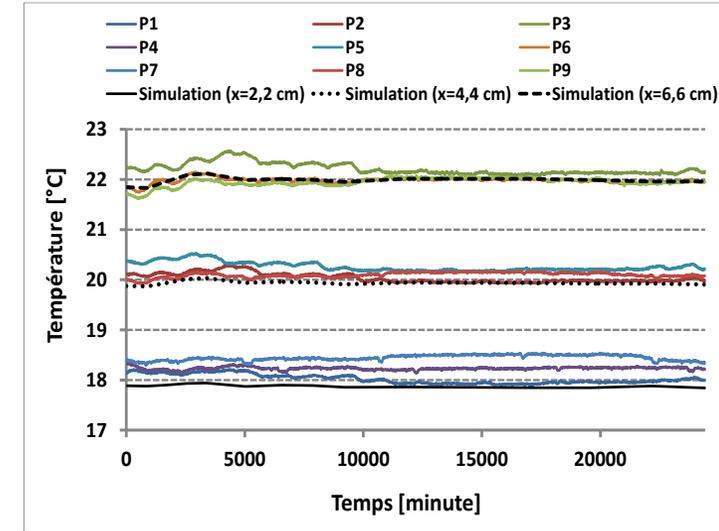
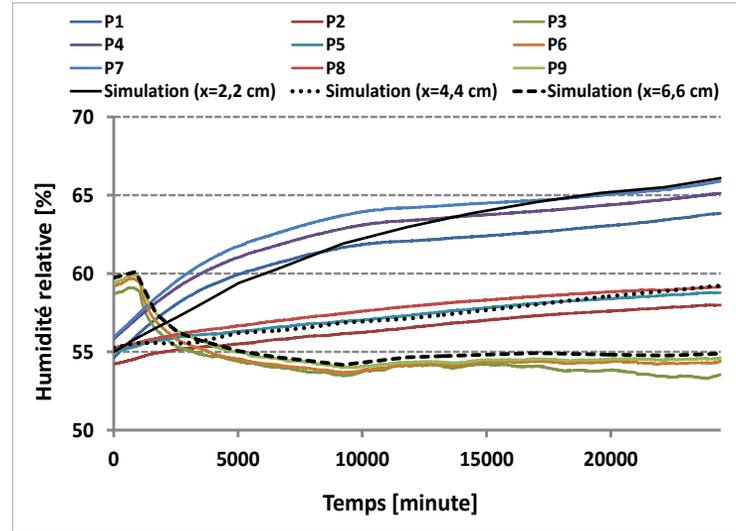
Compartment II: $T = 24 \pm 1$ °C HR = Libre



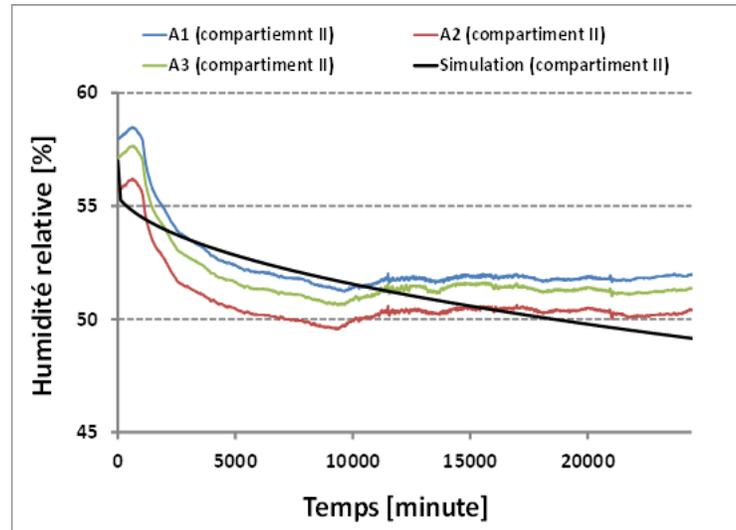
Comparaison entre la simulation numérique et des mesures issues

Résultats quant à la réponse de la paroi à des sollicitations hygrothermiques

Paroi testée



Compartment II

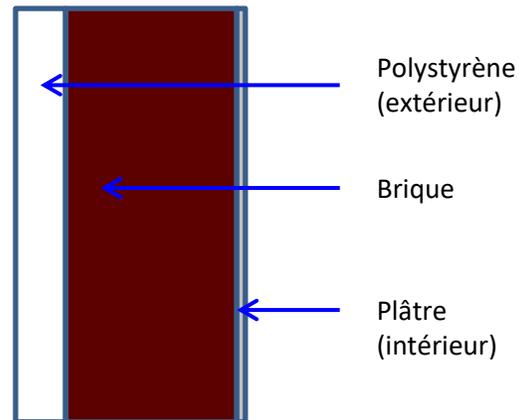
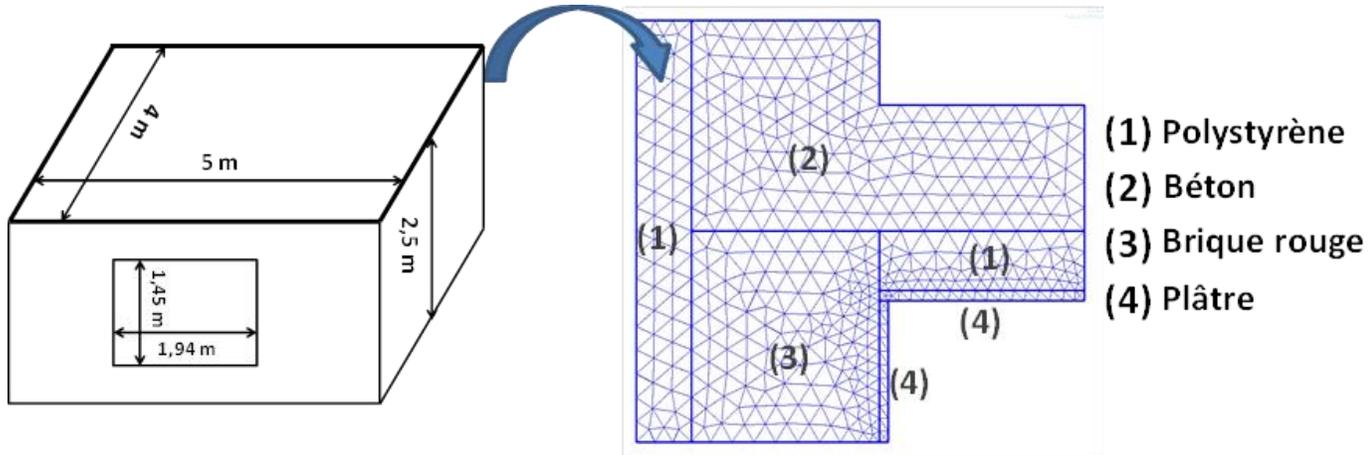


Une bonne concordance entre les données expérimentales et la résolution numérique proposée par la plateforme de co-simulation HAM-BES
Ecart en température $< 1^{\circ}\text{C}$
Ecart en hygrométrie $< 5\%$

Comparaison avec la cellule test de Fraunhofer Institute

Présentation de la cellule test

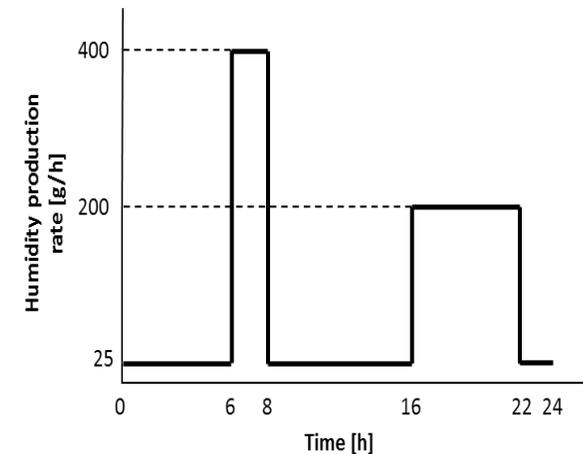
Confrontation de la résolution numérique de la plateforme de co-simulation HAM-BES avec des données expérimentales issues d'un cas d'étude (**Cellule test de Fraunhofer Institute**)



Une bâtiment monozone d'un volume de 50 m^3 et une surface de paroi de 67 m^2

Température intérieure fixée à 20°C
Une fenêtre double vitrage ($1,41 \times 1,94 \text{ m}^2$)
située sur la façade sud

Renouvellement d'air constant de $0,6 \text{ h}^{-1}$



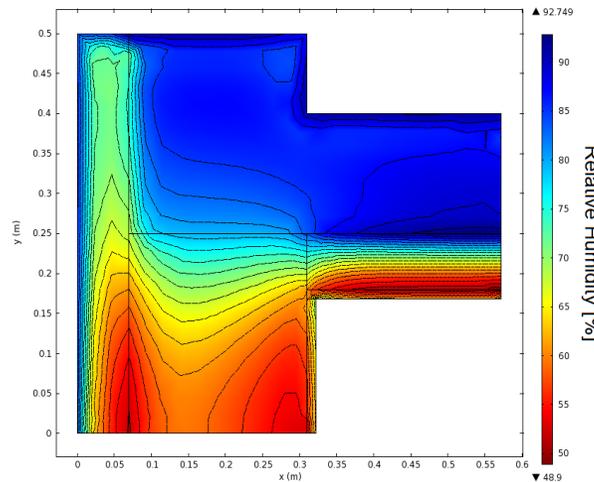
Comparaison avec la cellule test de Fraunhofer Institute

Présentation du cas d'étude et confrontation de deux approches (Chainage: découplée et HAM-BES du LaSIE)

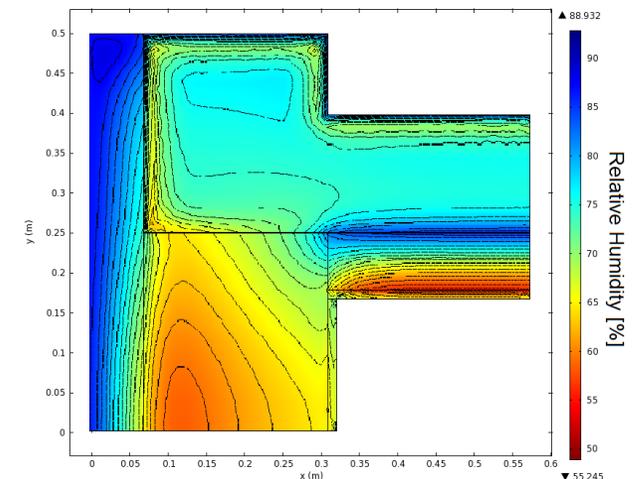
Avantage de la co-simulation dynamique HAM-BES quant à la prédiction du comportement hygrothermique des ambiances habitables

➔ Réalisation de trois cas de simulation

Cas 1	Modèle de simulation dynamique de TRNSYS
Cas 2	Modèle de TRNSYS + Modèle HAM 1D pour l'enveloppe
Cas 3	Modèle de TRNSYS + Modèle HAM 1D pour l'enveloppe + Modèle HAM 2D (Pont thermique)



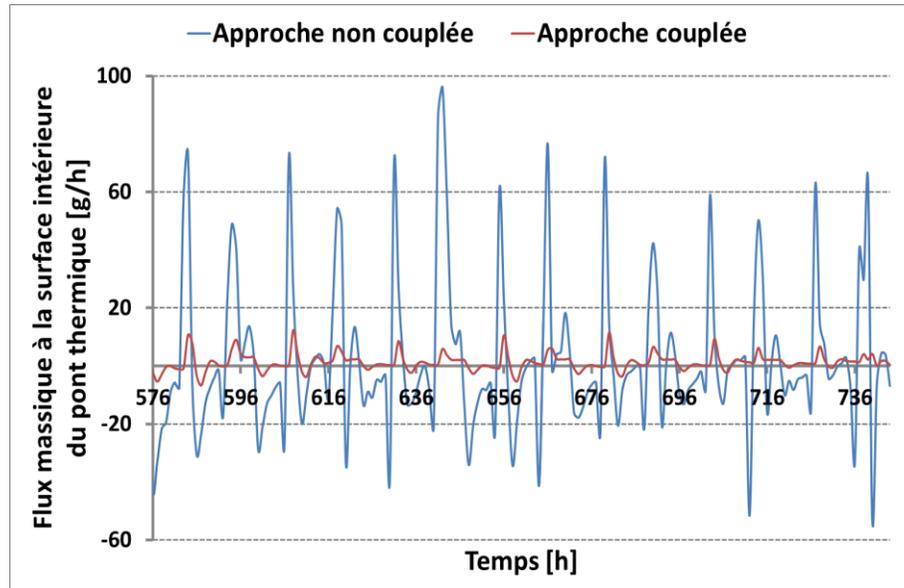
Comparison of the relative humidity distribution in the studied wall element between coupled and decoupled HAM-BES co-simulation approaches (31 January)



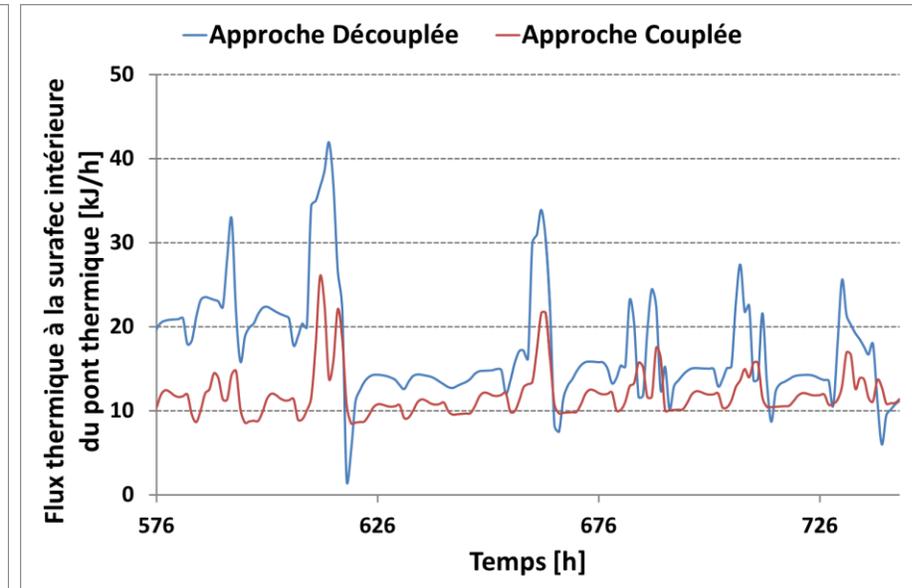
Comparaison avec la cellule test de Fraunhofer Institute

Présentation du cas d'étude et confrontation de deux approches (Chainage: découplée et HAM-BES du LaSIE)

Confirmation de la différence de prédiction entre les approches couplée et découplée par une présentation des flux hygrothermique traversant la surface intérieure du pont thermique pour le mois de Janvier



Flux hydrique



Flux thermique

➔ Les flux thermique et hydrique sont différents entre les deux approches de modélisation

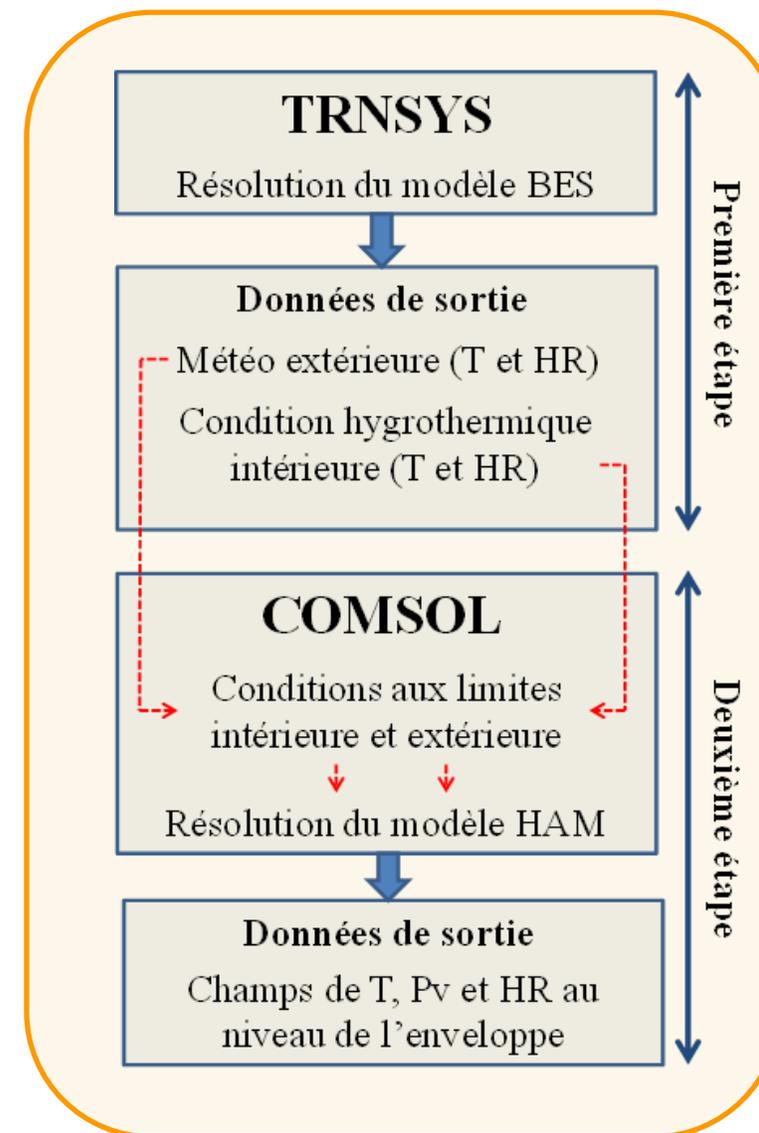
Présentation de la méthode de simulation par chaînage

Rappels de la base de la méthode de chaînage

Comparer le comportement hygrothermique d'un pont thermique en utilisant deux approches de simulation HAM-BES:

Co-simulation dynamique couplée : La plateforme développée avec une interaction dynamique entre les modèles HAM et BES,

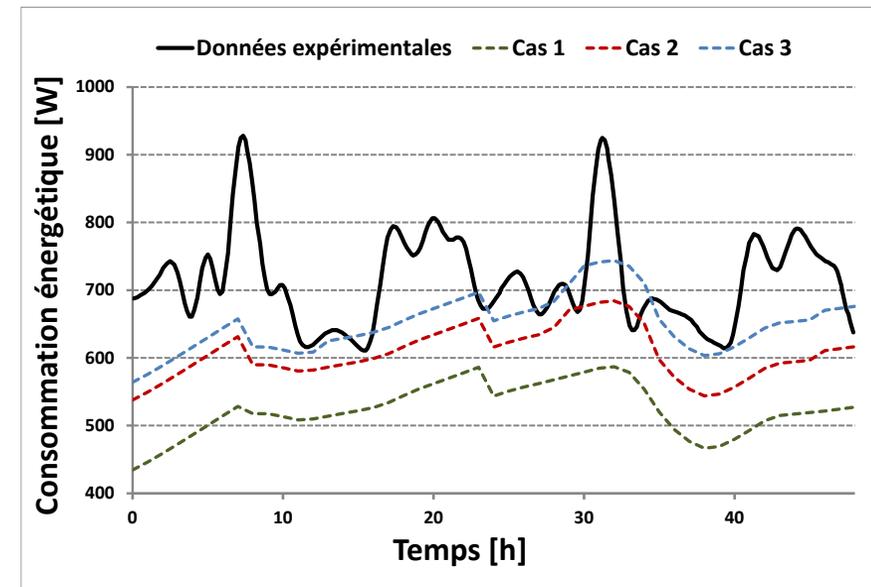
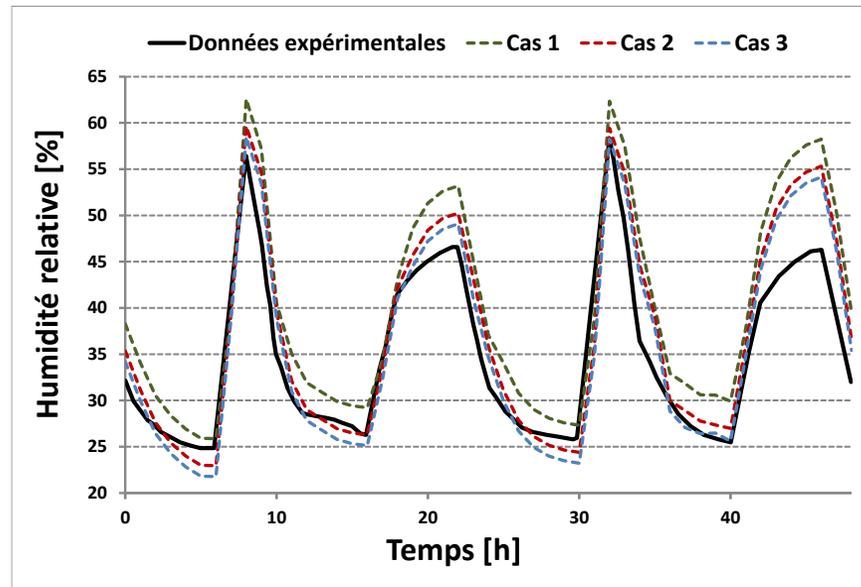
Simulation découplée: Un chaînage avec une résolution séparée des modèles HAM et BES,



Comparaison avec la cellule test de Fraunhofer Institute

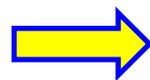
Résultats quant à la réponse de la paroi à des sollicitations hygrothermiques dynamiques

Comparaison entre les résultats des simulations et ceux obtenus expérimentalement du 17-19 février 2005 (Cellule test : Fraunhofer Institute)



Ecart moyen par rapport aux mesures expérimentales

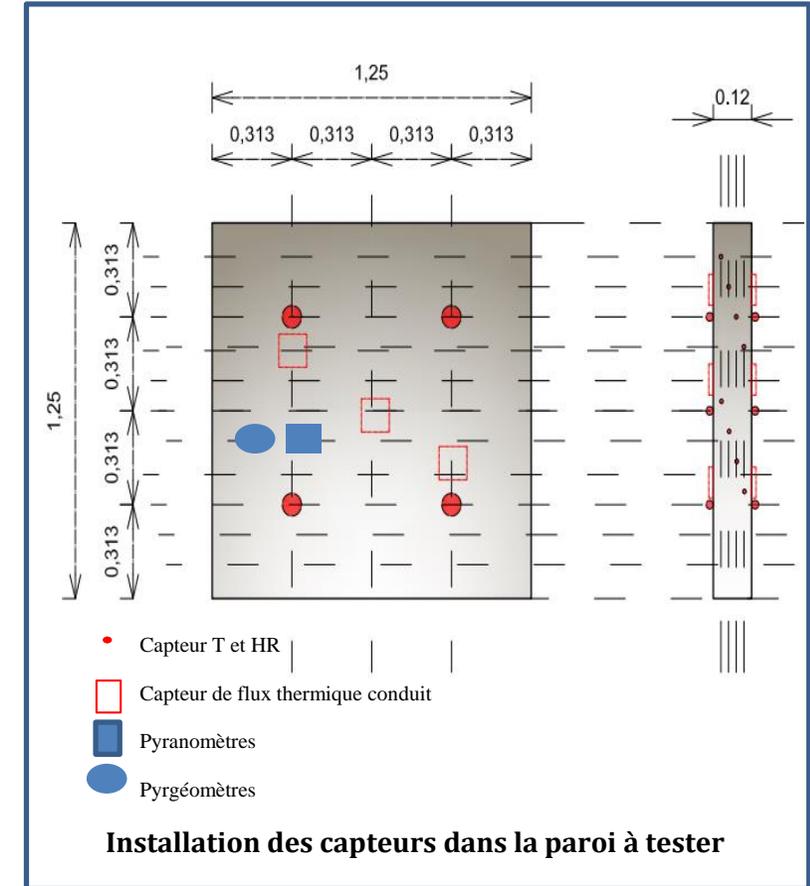
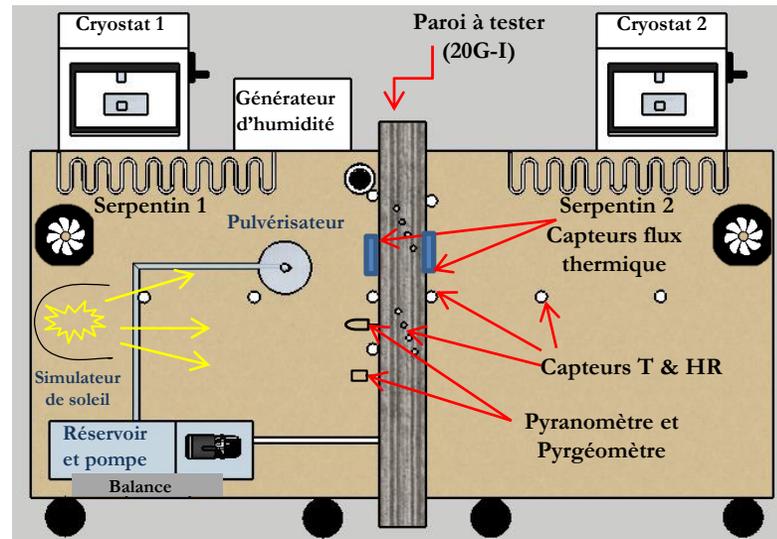
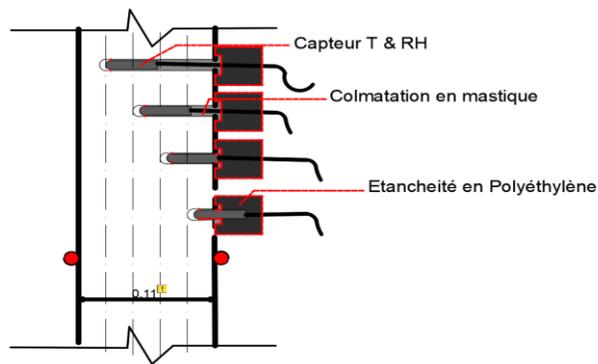
Cas 1: 4,8% **Cas 2: 3,7%** **Cas 3: 2,3%** **Cas 1: 190 W** **Cas 2: 108 W** **Cas 3: 73 W**



La prise en compte des transferts HAM dans la simulation dynamique des bâtiments améliore la prédiction du comportement hygrothermique des bâtiments

Développement d'une nouvelle plateforme expérimentale

Réponse de paroi à des sollicitations dynamiques réalistes : prise en compte des précipitations et des radiations solaires



Développement d'une nouvelle plateforme expérimentale

Quantification de l'homogénéité des éclairagements solaires sur la paroi



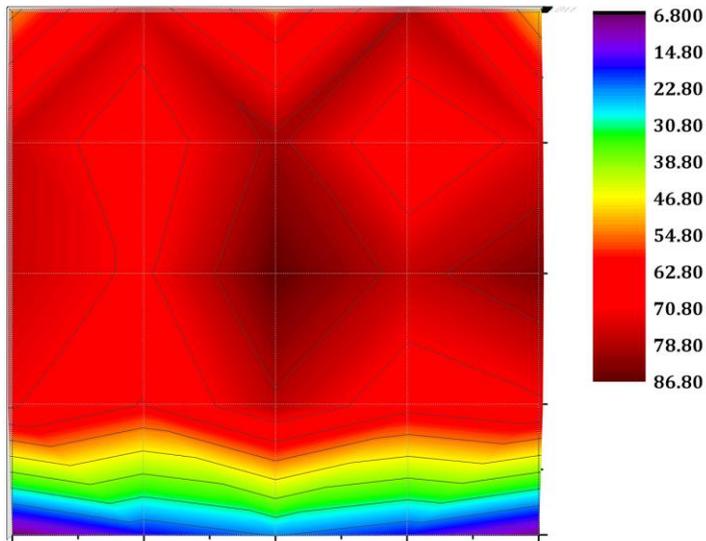
**Simulateur d'ensoleillement doté
de 2 lampes de 500 W chacune
Variateur de puissance (0 -1000 W)**

Mesures des Radiations CLO et GLO

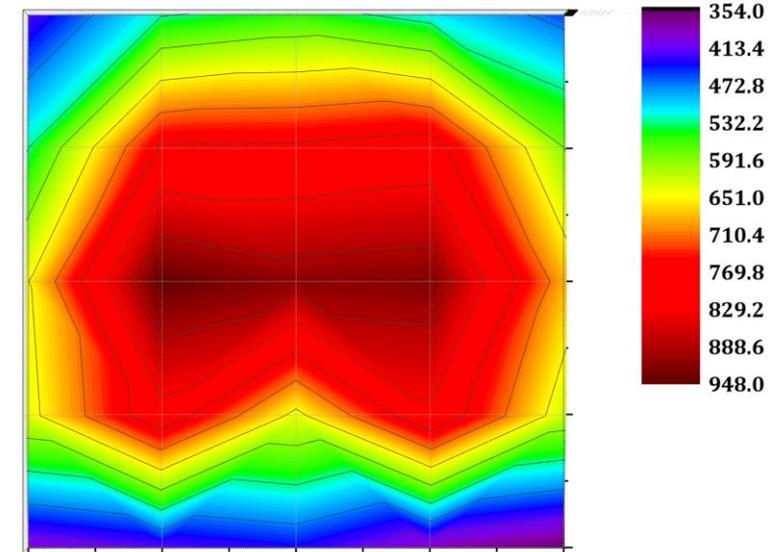


Pyranomètre & Pyrgéomètre

Simulateur de l'ensoleillement



Flux radiatif GLO (W/m^2): $d=60cm$



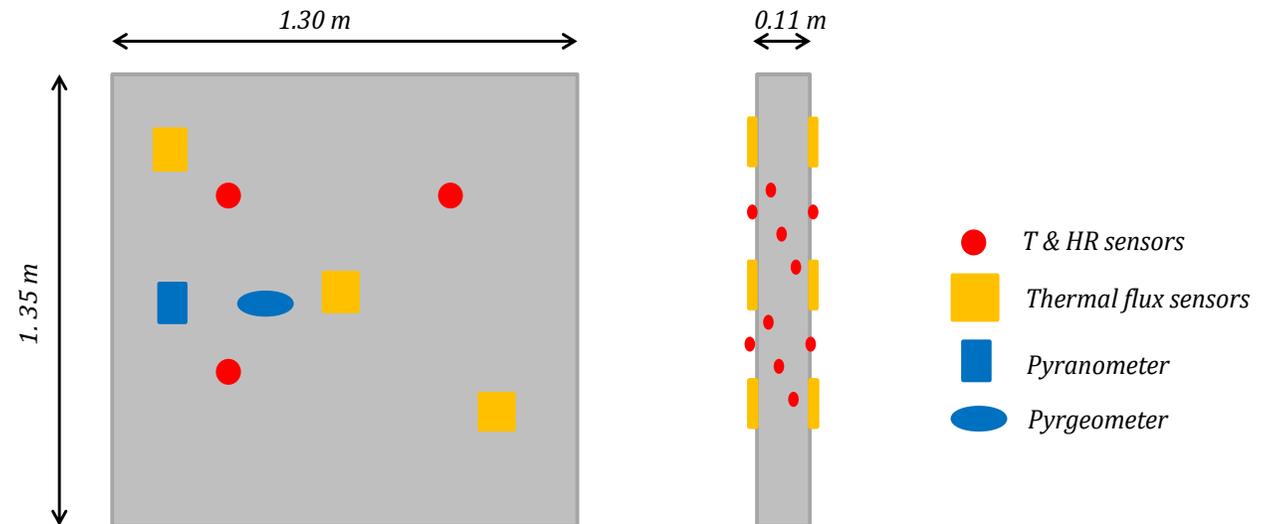
Flux radiatif CLO (W/m^2): $d=60cm$

Développement d'une nouvelle plateforme expérimentale

The technical data of the hygrothermal and thermal flux sensors

Technical data	
RH accuracy	$\pm 5 \%$
T accuracy	$0.3 \text{ }^\circ\text{C}$
Maximum response time	10 s
RH measurement range	0 – 100 % RH
T measurement range	- 20 – 100 $^\circ\text{C}$
Thermal flux sensitivity	$60 \text{ } \mu\text{V}/(\text{W}\cdot\text{m}^{-2})$
Thermal flux range	$\pm 1500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Thermal flux accuracy	5%

Sensor position on the wall borders and in the interior of the wall (left external border, right cross-sectional view)

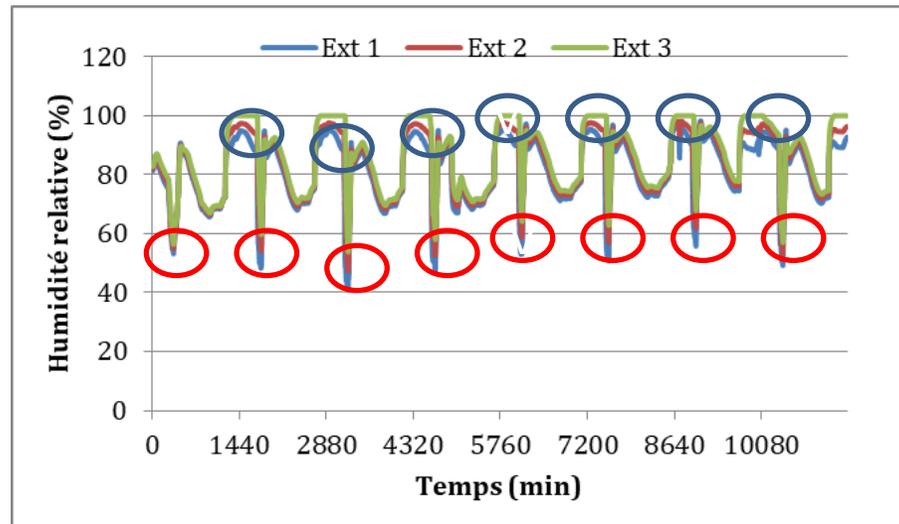
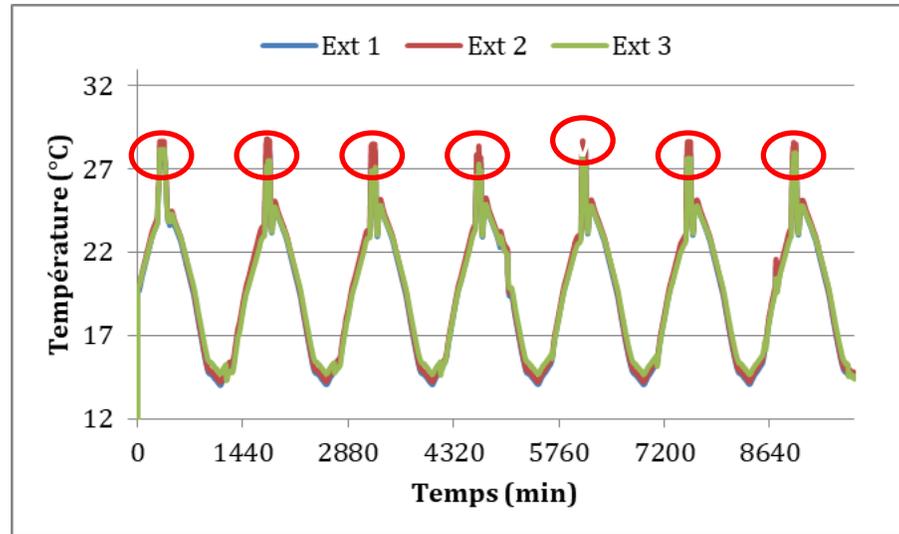


Temperature and relative humidity sensors are placed at 4, 6 and 9 cm and at the external and internal borders

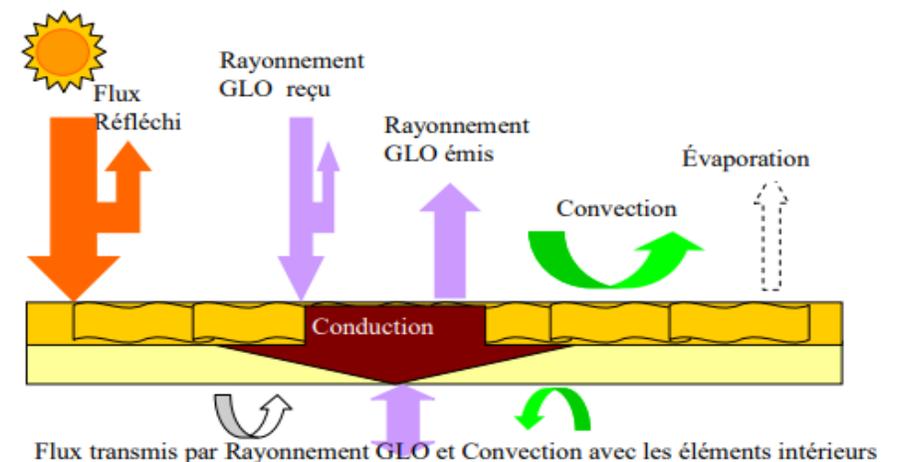
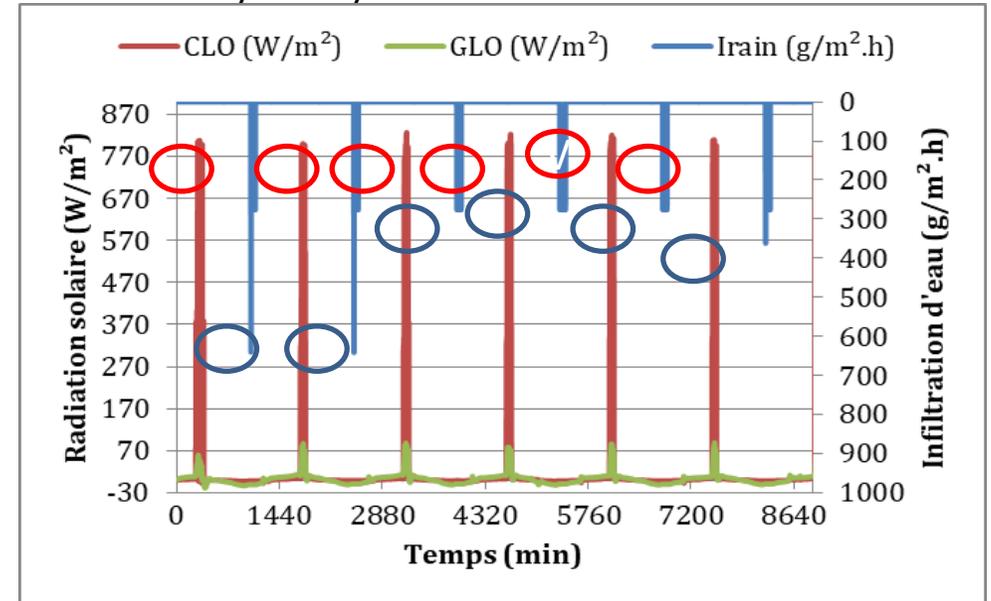
Plateforme expérimentale développée au LaSIE (2019)

Prise en compte des précipitations et radiations solaires

Sollicitations sinusoïdales en T & RH retenues



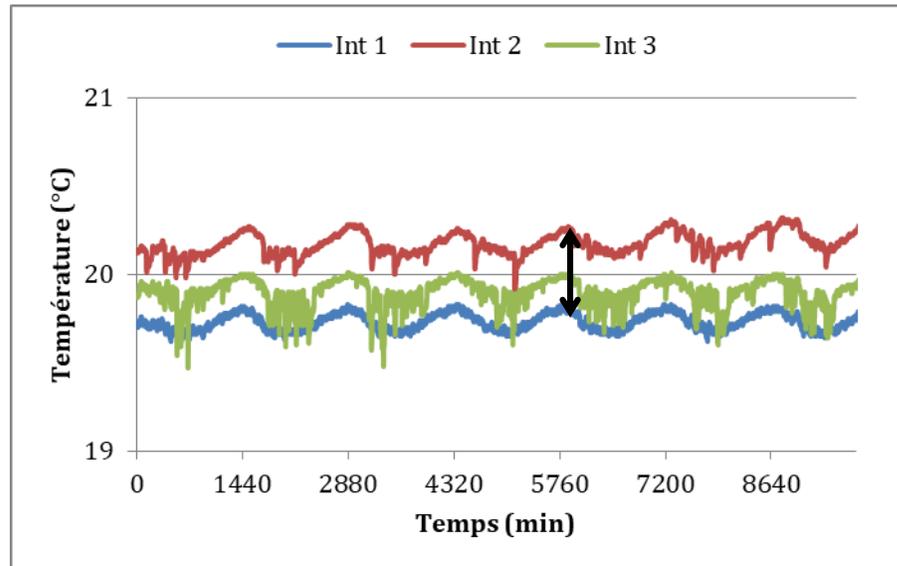
Flux CLO/GLO/Pluie au bord extérieur



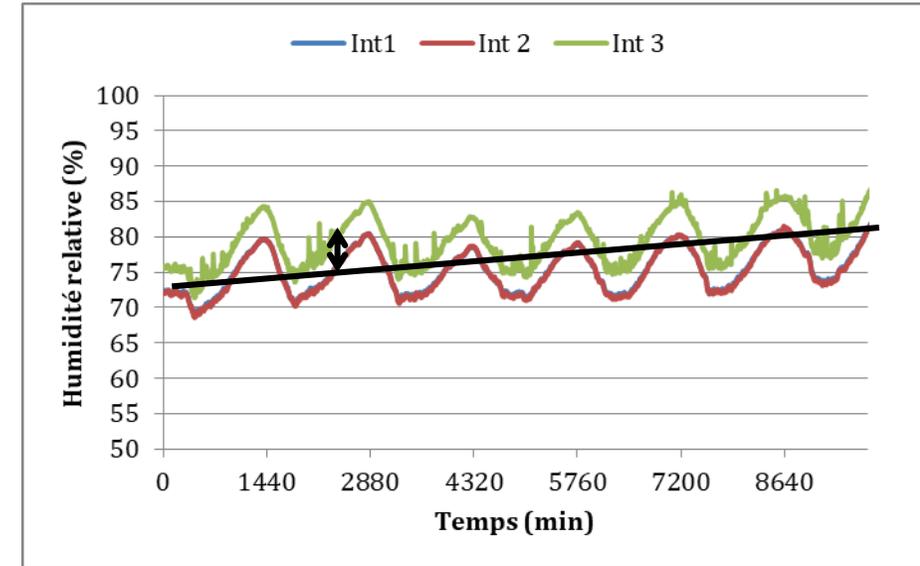
Plateforme expérimentale développée au LaSIE (2019)

Prise en compte des précipitations et radiations solaires

Conditions de température dans le caisson intérieur



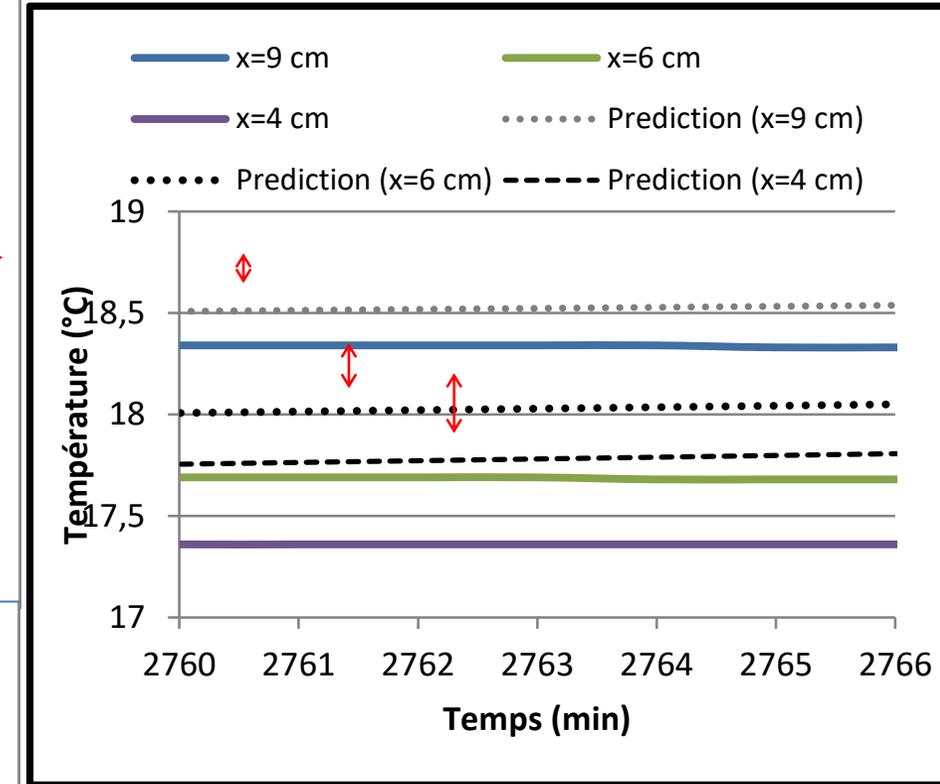
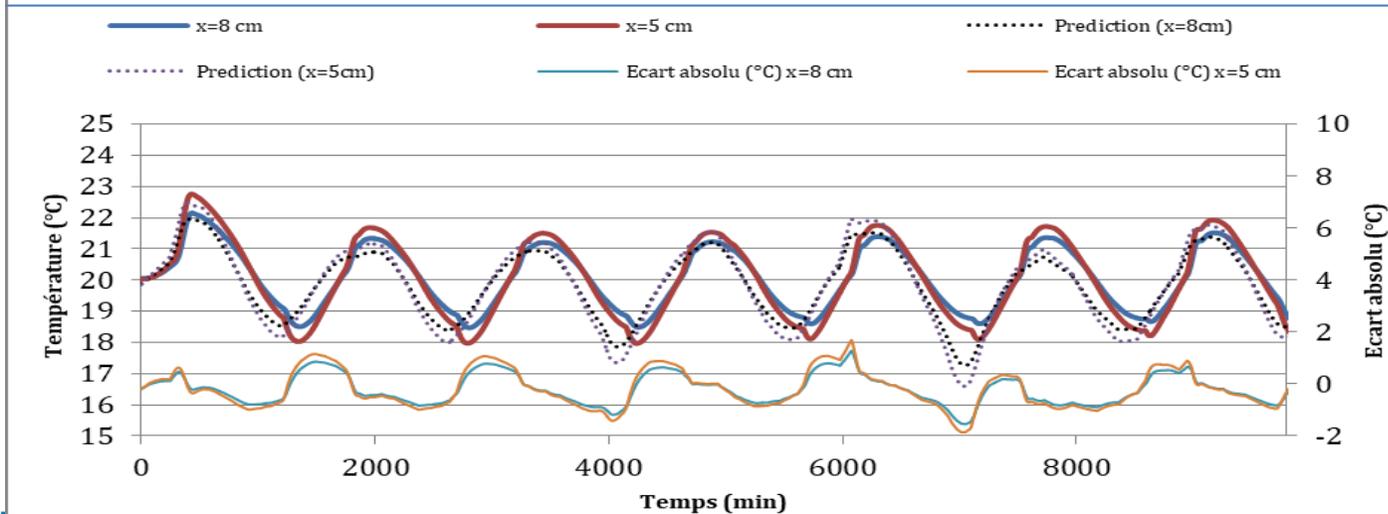
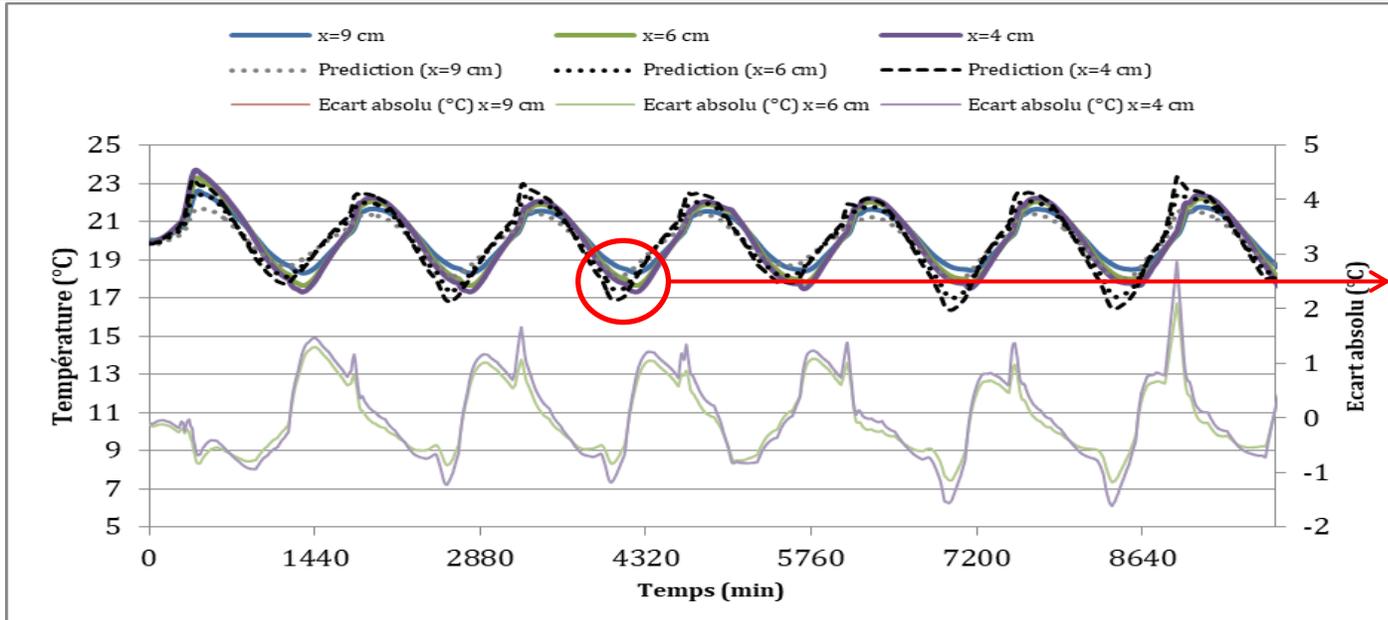
Evolution de l'humidité relative dans le caisson intérieur



- Fluctuation de température constatée dans le caisson intérieur
- Augmentation de 11% de l'humidité relative en une semaine
- Ecart moyen observé sur les 3 capteurs: 0.15 °C et 2.5% HR

Plateforme expérimentale développée au LaSIE (2019)

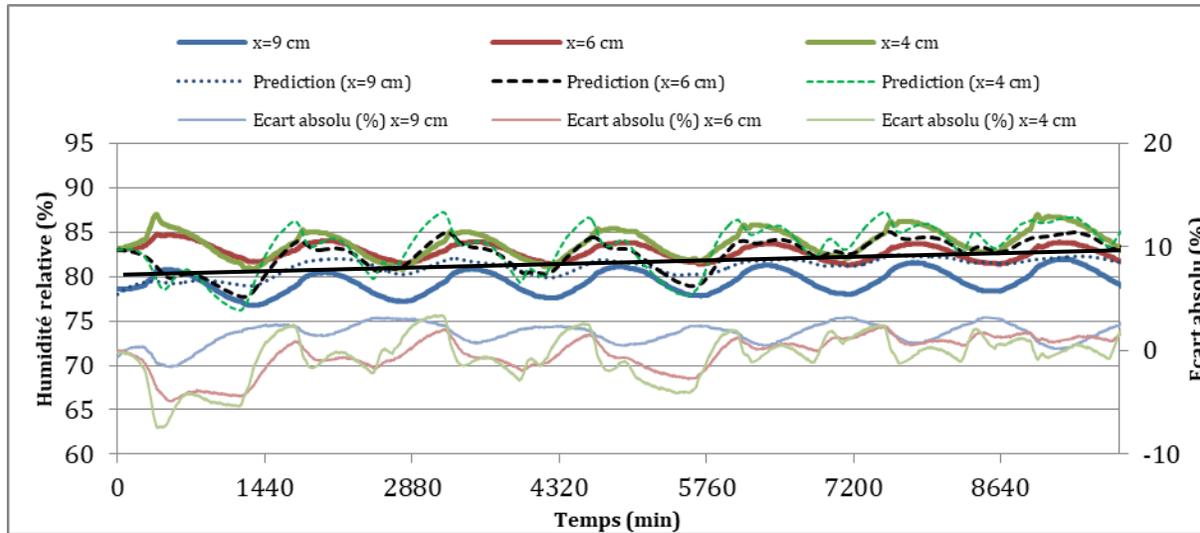
Résultats obtenus relatifs aux profils des températures



Déphasage observé après la première séance de précipitation, expliqué par le changement de l'inertie thermique de la paroi.

Plateforme expérimentale développée au LaSIE (2019)

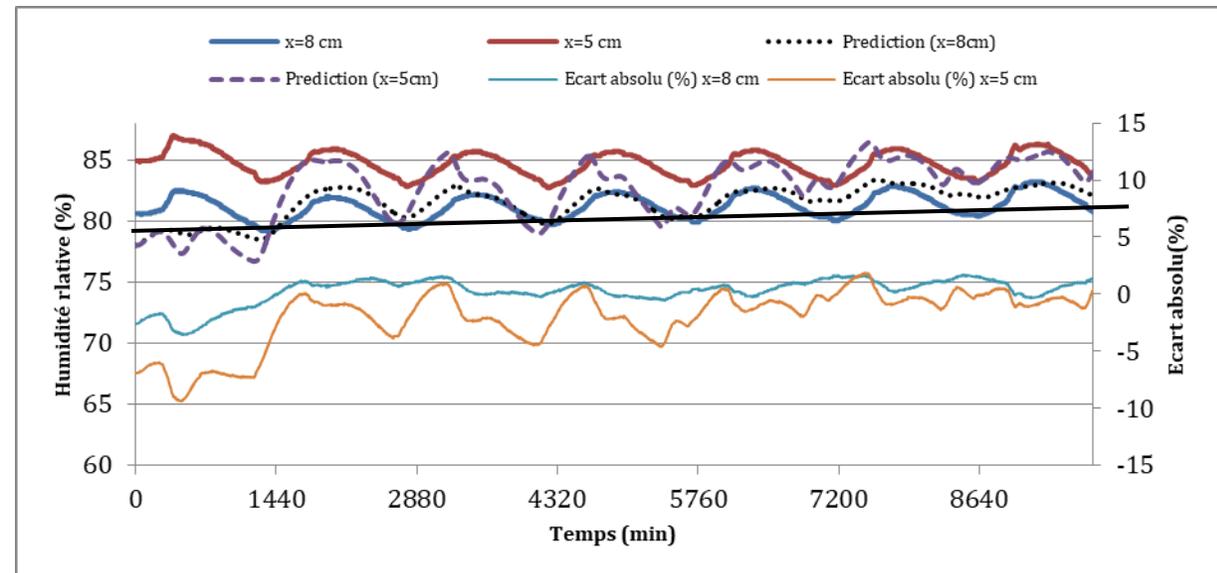
Résultats obtenus relatifs aux profils des humidités relatives



- Une bonne prédiction avec un écart qui n'excède pas les 5% HR après la première journée de sollicitation et durant toute la durée de l'essai

Réponse à des conditions climatiques cycliques et réalistes

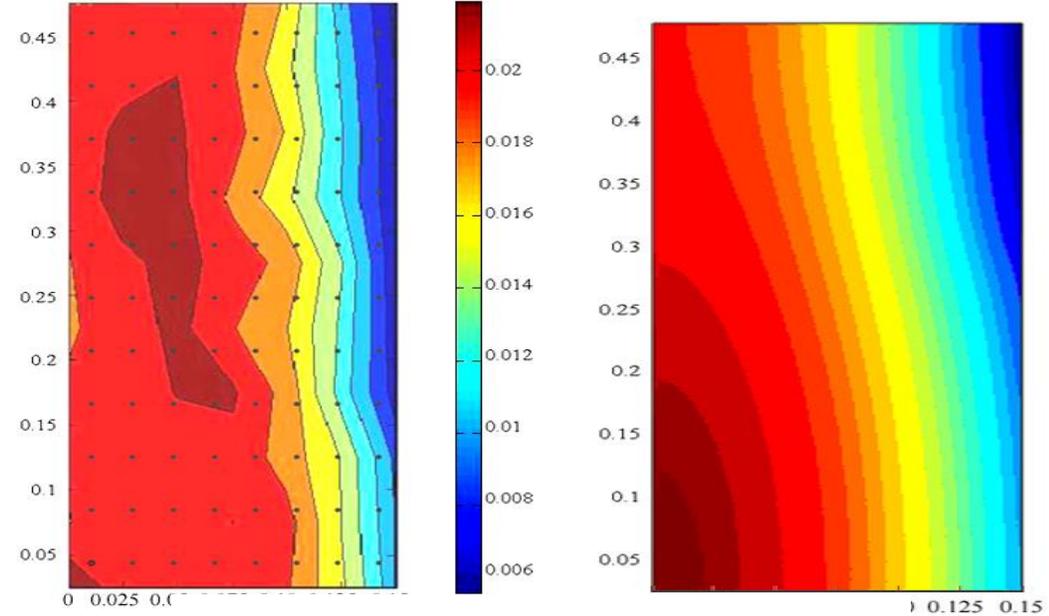
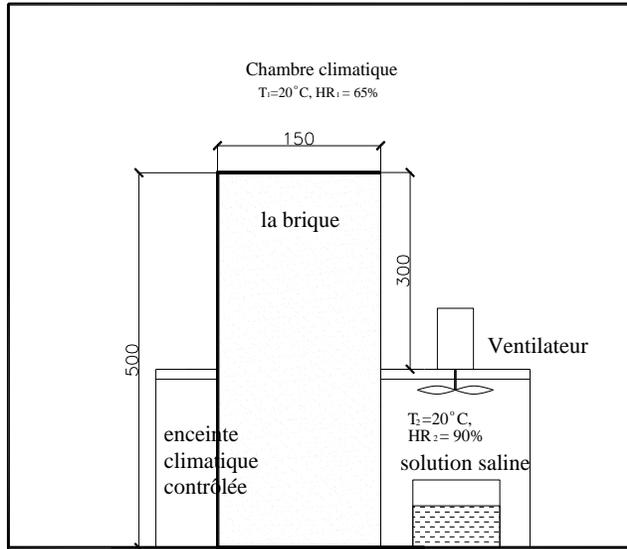
- Oscillations de HR dues aux séchages/humidifications de la paroi & augmentation due au stockage



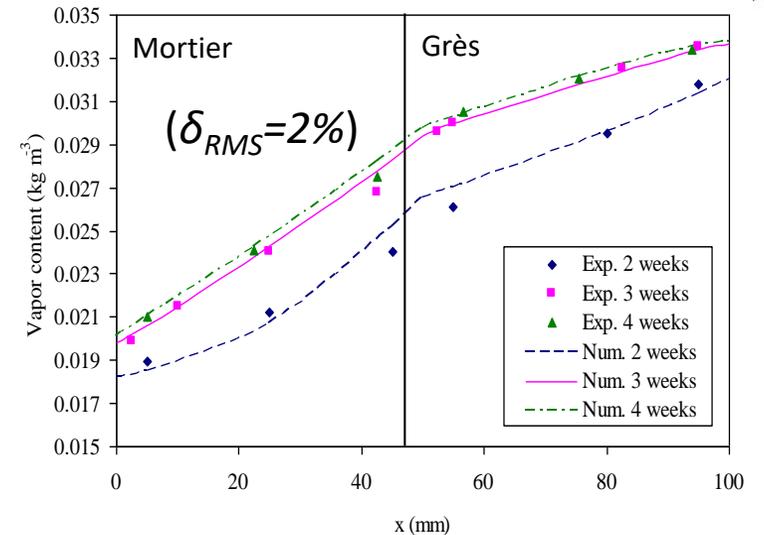
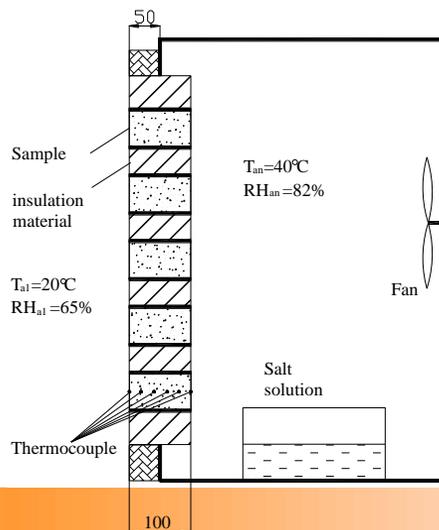
Comparaison modèle expérience 1D et 2D

Partenariat avec Lund University

Test 2D (mono layer)



Test 1D (mono and multi layer)



Comparison model - measurements