



IBPSA ARRAS 2014

Étude et caractérisation d'un matériau poreux pour un système de rafraîchissement innovant par évaporation



LEROUX Guilian^{1,2}
STEPHAN Louis¹
LE PIERRES Nolwenn²
WURTZ Etienne¹

1. SBST – CEA

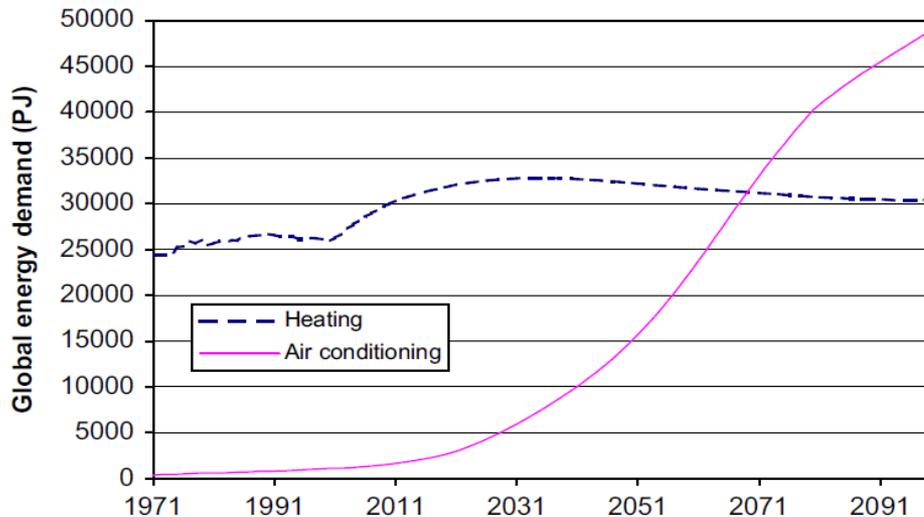
2. LOCIE – Université de Savoie

PLAN DE LA PRÉSENTATION

- I. Contexte
- II. Le rafraîchissement par évaporation
- III. Description du système
- IV. Etude expérimentale
- V. Modélisation
- VI. Conclusions/Perspectives

CONTEXTE

Le besoin de froid : un enjeu énergétique du 21^{ème} siècle



- Pays en développement très demandeurs de climatisation (Inde, Brésil...)
- Réchauffement climatique
- Besoin de plus de confort d'été

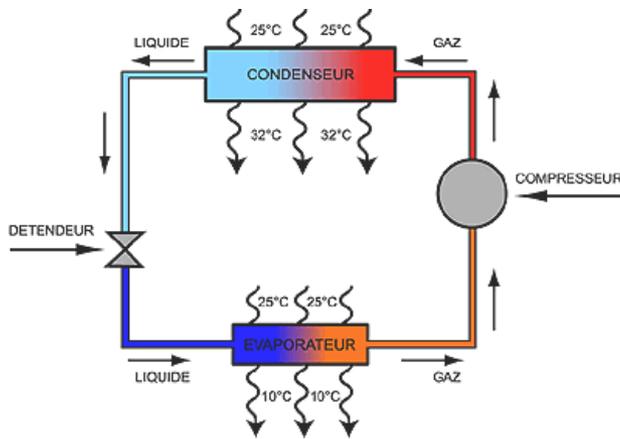
Modélisation de la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation jusqu'en 2100

Source: Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change, Energy Policy (2009), Morna Isaac, Detlef P. van Vuuren, Netherlands Environmental Assessment Agency

CONTEXTE – OBJECTIFS

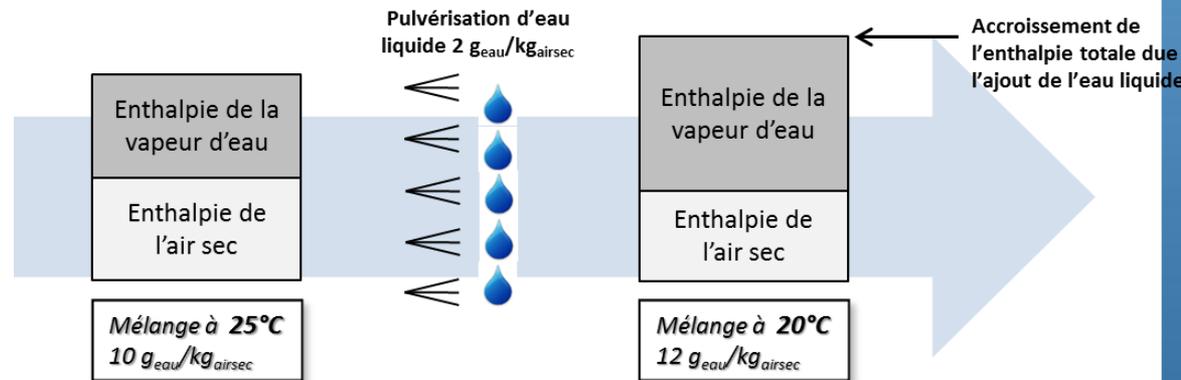
Comment faire face ?

Aujourd'hui



Machine thermique à compression

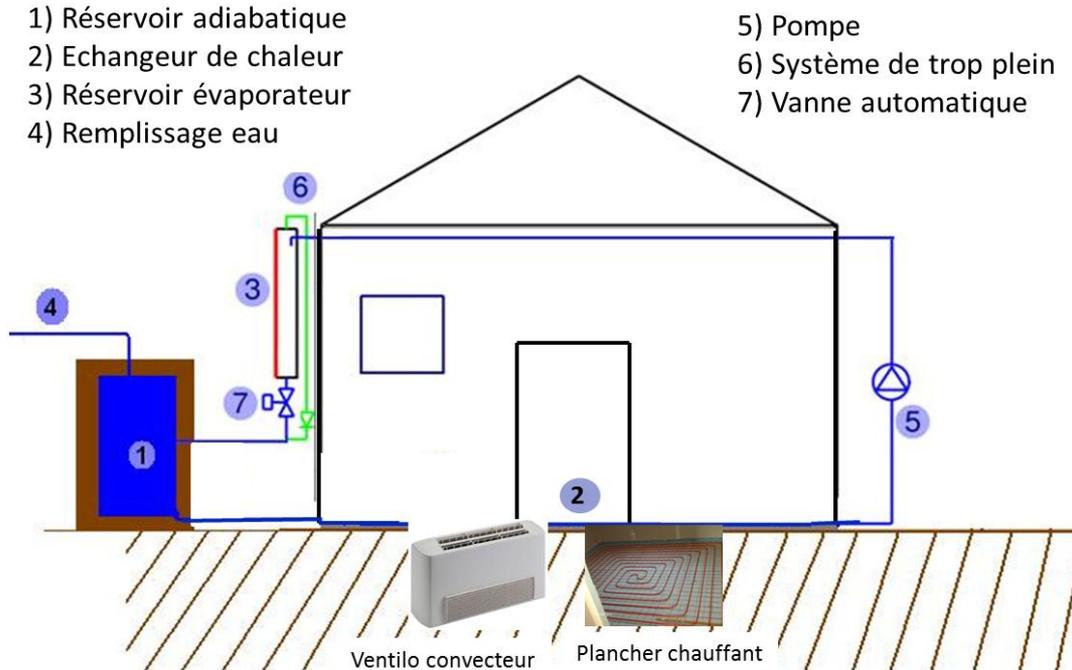
Demain ?



rafraîchissement par évaporation

- 1: Limiter le besoin : bonne conception du bâtiment (brise soleil...)
- 2: Améliorer les usages (volets)
- 3: *Développer des systèmes actifs peu énergivores (Evaporation)*

UN SYSTÈME EVAPORATIF INNOVANT



- 1: L'eau se rafraîchit dans l'évaporateur poreux(3) pendant la nuit.
 - 2: Au matin, cette eau est acheminée dans un réservoir tampon.
 - 3: Au cours de la journée l'eau rafraîchie est utilisée pour satisfaire les besoins en froid du bâtiment
- L'eau est stockée de nouveau dans l'évaporateur

Le cycle journalier se reproduit pendant tout l'été

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

- Un caisson raccordé à une lame d'air (HR, température et débit contrôlé)
- A l'intérieur; un réservoir poreux rempli d'eau avec mesure de température et pesée en continu.

Vue extérieure du banc expérimental



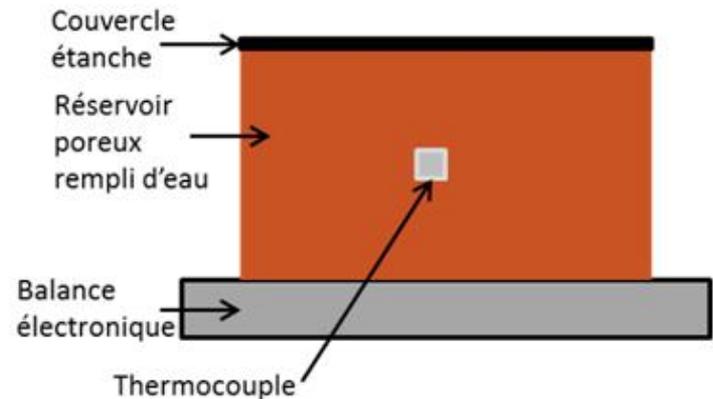
Contrôle de la balance
électronique

Centrale d'acquisition

Caisson

Arrivé d'air contrôlé

Schéma du montage à
l'intérieur du caisson



Couvercle
étanche

Réservoir
poreux
rempli d'eau

Balance
électronique

Thermocouple

COMPARAISON EXPÉRIMENTALE DE DIFFÉRENTES TERRES CUITES

Test de matériaux terre cuite disponibles directement dans le commerce (brique, pot).

Mesure de porosité des matériaux

$$P = \frac{V_{pore}}{V_{total}} = \frac{m_{mou} - m_{sec}}{m_{mou} - m_{im}}$$



Mesure de porosité avec une balance hydrostatique

Résultats expérimentaux

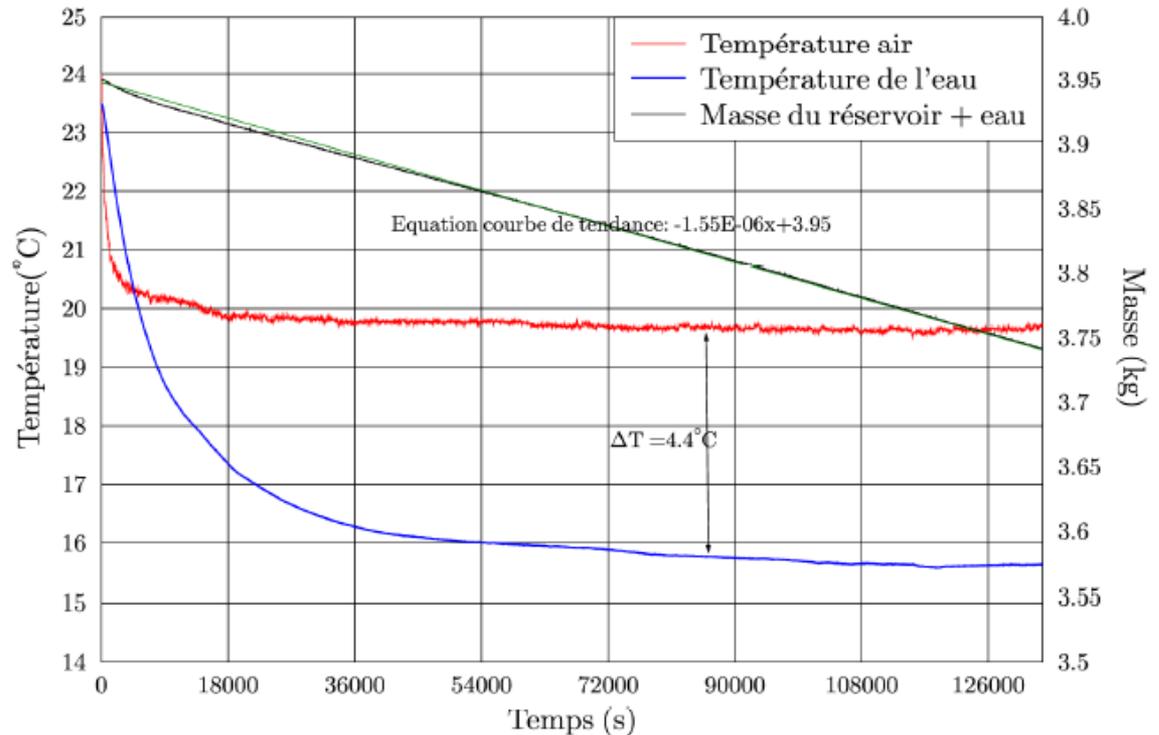
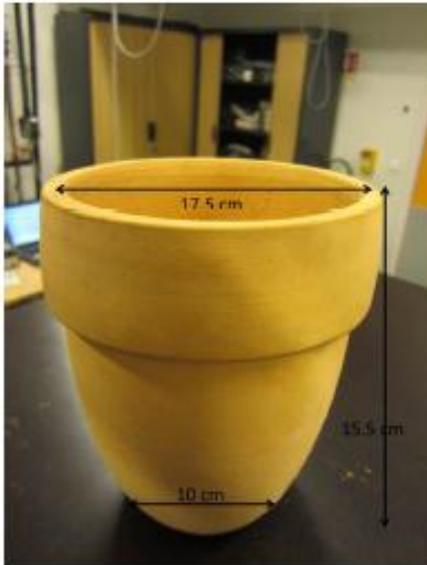
| | $T_{air}(^{\circ}C)$ | $T_{eau}(^{\circ}C)$ | $\Delta T(^{\circ}C)$ | $\Delta P(Pa)$ | \dot{m} | Dimension | Porosité |
|--------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------|-----------|--------------------------------------|----------|
| Brique | 28.1 | 24.7 | 3.4 | 910.0 | 2.01 | $H = 0.25, L = 0.3, p = 0.1$ | 33.6% |
| Pot 1 | 27.6 | 25.1 | 2.5 | 1010.0 | 3.25 | $h = 0.2, d_1 = 0.2, d_2 = 0.14$ | 25.2% |
| Pot 2 | 27.5 | 23.3 | 4.2 | 691.0 | 3.60 | $h = 0.155, d_1 = 0.175, d_2 = 0.10$ | 31.2% |
| Pot 3 | 27.7 | 26.2 | 1.5 | 1220.0 | 0.85 | $h = 0.13, d_1 = 0.14, d_2 = 0.09$ | 17.0% |
| Pot 4 | 27.7 | 27.0 | 0.7 | 1310.0 | 0.35 | $H = 0.11, L = 0.32, p = 0.10$ | 23.0% |

\dot{m} (g/min/m²) le taux d'évaporation surfacique,

Le pot 2 donne les meilleurs résultats ; ΔT de 4.2°C, taux d'évaporation surfacique de 3.6 g/min/m² .

ETUDES EXPERIMENTALES SUR LE POT 2

➤ Expérience à débit d'air nul



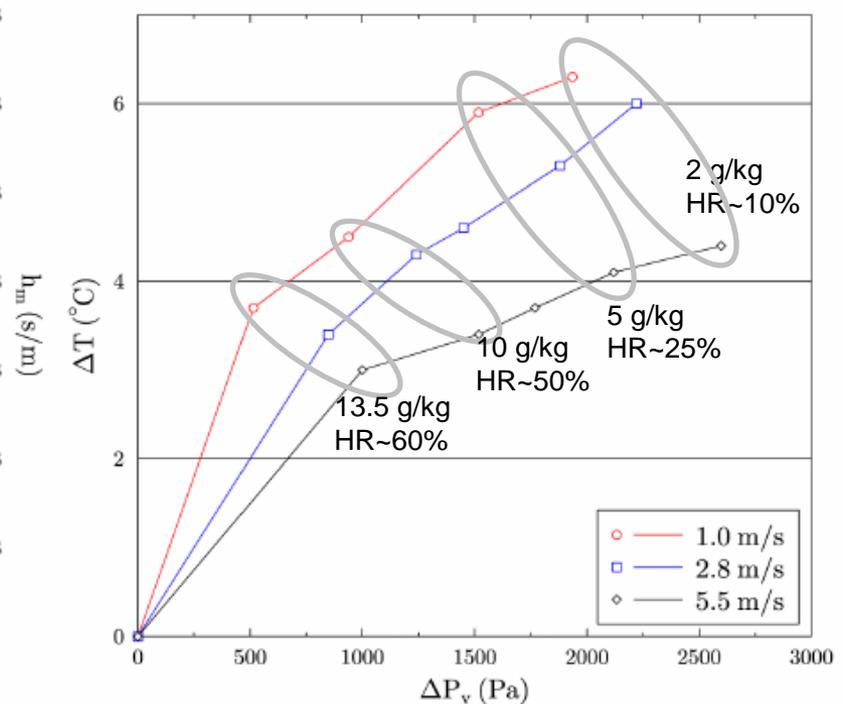
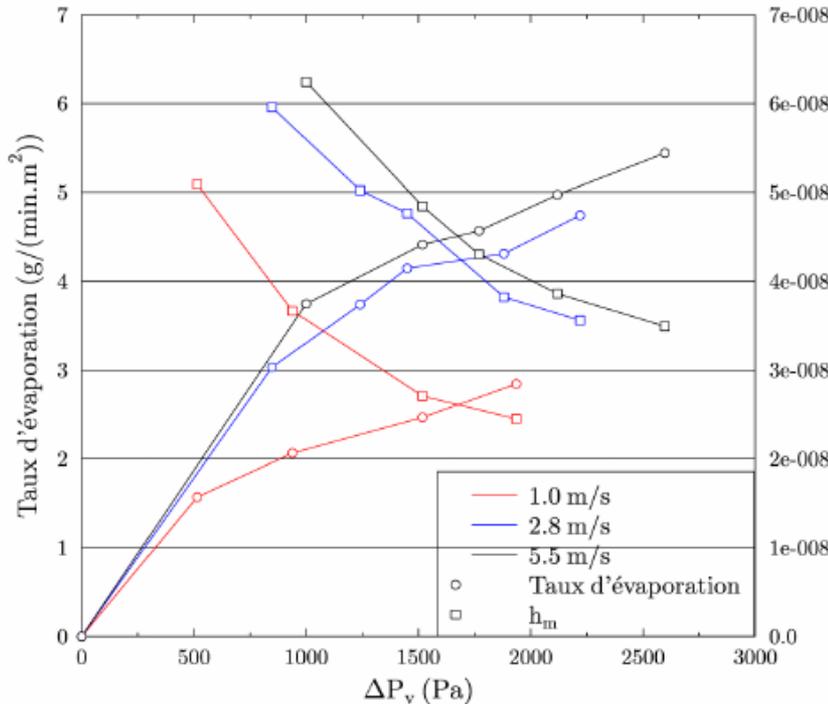
Ecart de température de 4.4°C et taux d'évaporation de 1.22 g/min/m^2

ETUDES EXPERIMENTALES SUR LE POT 2

Sollicitations sous différentes conditions de soufflages

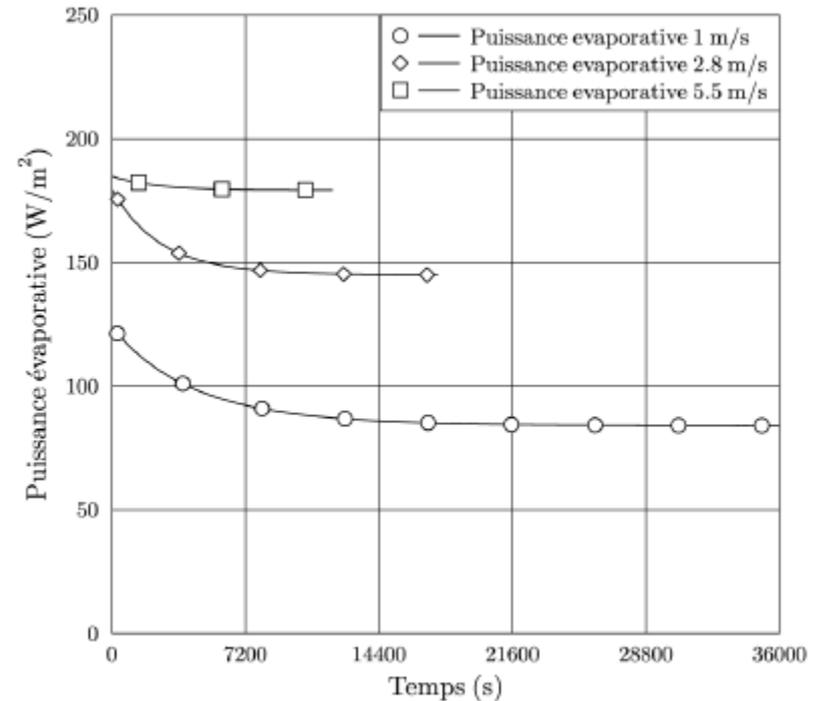
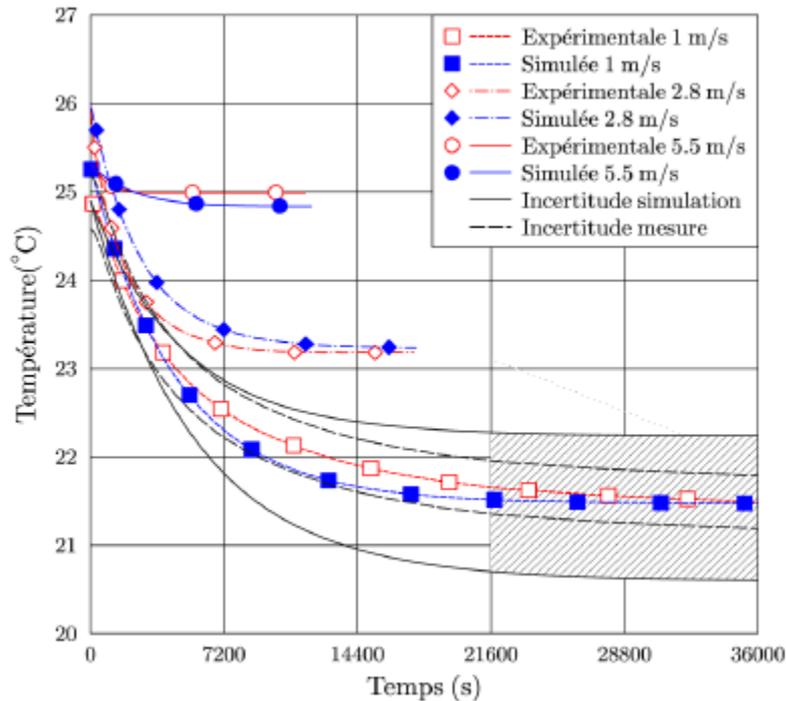
$$\dot{m} = h_m (P_{vsat}(T_{surf}) - HR.P_{vsat}(T_{air})) = h_m \Delta P_v$$

Variations de HR et de la vitesse de l'air, T_{air} de soufflage $\sim 27^\circ\text{C}$



- Ecart de température allant jusqu'à 6°C
- Ecart plus importants à faible vitesse (compétition entre convection et évaporation)
- Taux d'évaporation qui augmente avec ΔP_v et la vitesse du vent
- Augmentation peu importante entre 2.8 et 5.5 m/s \rightarrow la vitesse de migration de l'eau dans le matériau poreux n'est plus suffisante pour maintenir la saturation à la surface

PREMIÈRS RÉSULTATS DE MODELISATIONS EN RÉGIME PERMANENT



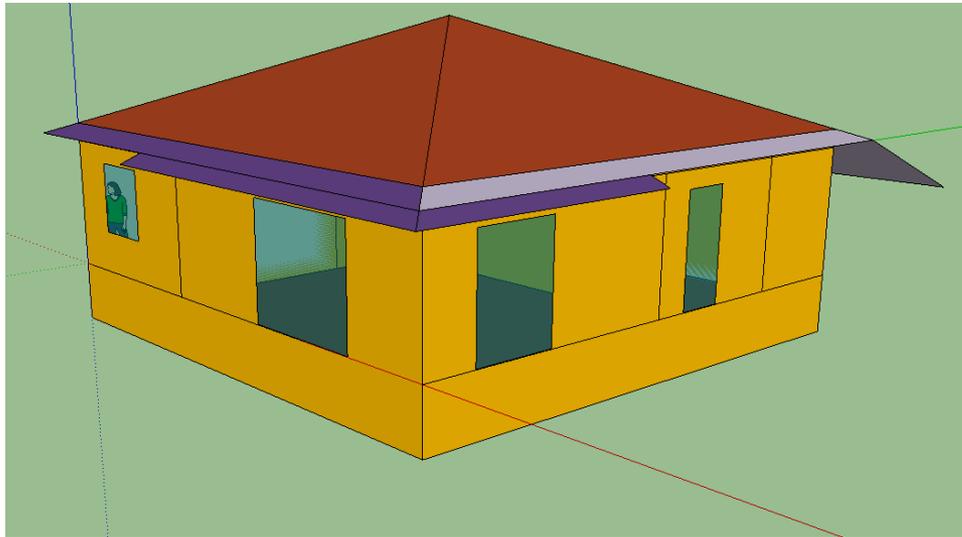
- Ecart faible entre mesure et simulation, mais modèle avec peu de paramètres et alimenté par l'expérience
- Puissance évaporative entre 50 et 200 W/m²

CONCLUSIONS

- Les résultats expérimentaux sur les terres cuites donnent des résultats encourageants (jusqu'à 6 °C mesurés)
- Les tests ont permis de mesurer le coefficient de transfert de masse et le taux d'évaporation
- Le modèle donne des puissances évaporatives de 50 à 200 W/m²

PERSPECTIVES

- Affiner le modèle et le tester en dynamique
- Le coupler à un bâtiment pour dimensionner un prototype
- Faire l'étude expérimentale d'un prototype à taille réelle sur une maison à Bordeaux



Merci de votre attention