



Caractérisation des propriétés hydriques des matériaux

Professeur Rafik BELARBI

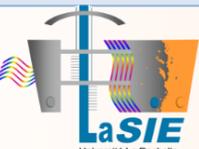
La Rochelle Université, LaSIE-UMR 7356 CNRS

rafik.belarbi@univ-lr.fr



GdR MBS

MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



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



Plan de la présentation

Isothermes de sorption (volumétrique – Gravimétrique)

Succion capillaire

Perméabilité à la vapeur

Pouvoir tampon (MBV)

Coefficient de la thermo-diffusion

Coefficient d'infiltration

Caractérisation des propriétés hydriques des matériaux

Isothermes d'adsorption/désorption

Méthode Gravimétrique



Dynamic Vapor Sorption
DVS

Specimens ground of ~ 30mg
Balance accuracy 0.1 μ g



Vapor sorption analyzer (VSA)

Sample mass ~ 500-5000mg
Balance accuracy 0.1 mg



SPS-ProUmid
EN ISO 12571 (2000)

sample mass 500mg
Balance accuracy 1 mg
> 3 weeks



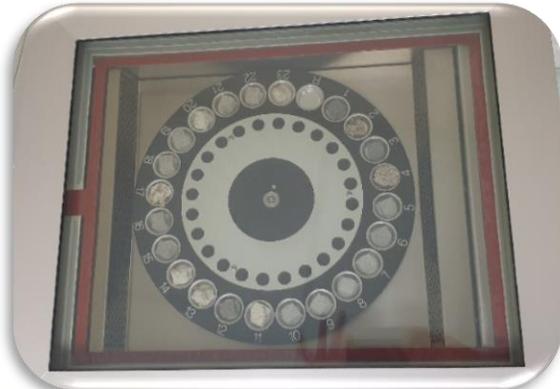
Climatic chamber
EN ISO 12571 (2000)

sample mass 10000mg
Balance accuracy 1 mg
> 2 years

Propriétés hydriques

Isothermes d'adsorption/désorption

ProUmid, SPS



- **Principe:** Suivi de l'évolution de la masse des échantillons en fonction de l'humidité relative (HR) et de la température (T) (méthode gravimétrique).
- **Nombre d'échantillons:** Il peut mesurer jusqu'à **23** échantillons simultanément.
- **Taille des échantillons :** cubes de **1 cm** à **5 cm** de côté (en fonction du plateau choisi).
- **Durée de l'essai:** entre 20 jours et 60 jours.
- **Limite technique de l'appareil:** HR maximale est de **95%** (risque de condensation).

Méthode gravimétrique

Propriétés hydriques

Isothermes d'adsorption/désorption

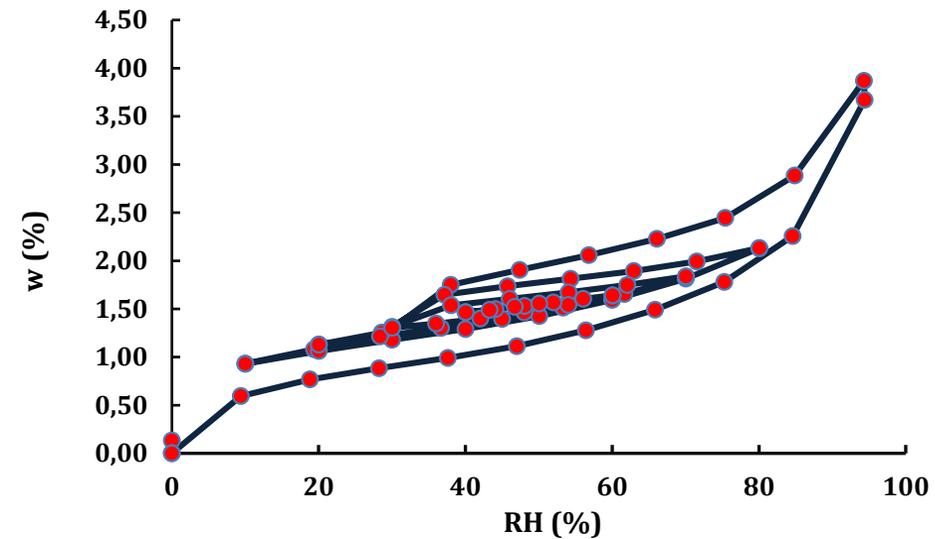
ProUmid, SPS



Méthode gravimétrique

Avantages

- ✓ Permet de mesurer plusieurs échantillons simultanément ;
- ✓ Dimensions des échantillons (représentativité) ;
- ✓ Déterminations des boucles intermédiaires (hystérésis).



Exemple sur la caractérisation de l'hystérésis du béton de polystyrène

Propriétés hydriques

Isothermes d'adsorption/désorption

Belsorp Aqua3



Méthode volumétrique



- **Principe** : Il consiste à mesurer la variation de volume du gaz adsorbé ou libéré par le matériau moyennant le nombre de mole du gaz en question.
- **Nombre d'échantillons** : Il peut mesurer jusqu'à **03** échantillons simultanément.
- **Masse des échantillons** : environ **30 mg**.
- **Durée de l'essai** : 01 semaine.
- **Limite technique de l'appareil** : HR maximale est de **95%** (risque de condensation).

Propriétés hydriques

Isothermes d'adsorption/désorption

Pré-conditionnement des échantillons

Préparation des échantillons par un pré-conditionnement préalable en utilisant un VacPrep (à 45° C, sous vide) jusqu'à la stabilisation de masse des échantillons



VacPrep

Propriétés hydriques

Courbe de rétention d'eau

Extracteur à membrane à 100 bars

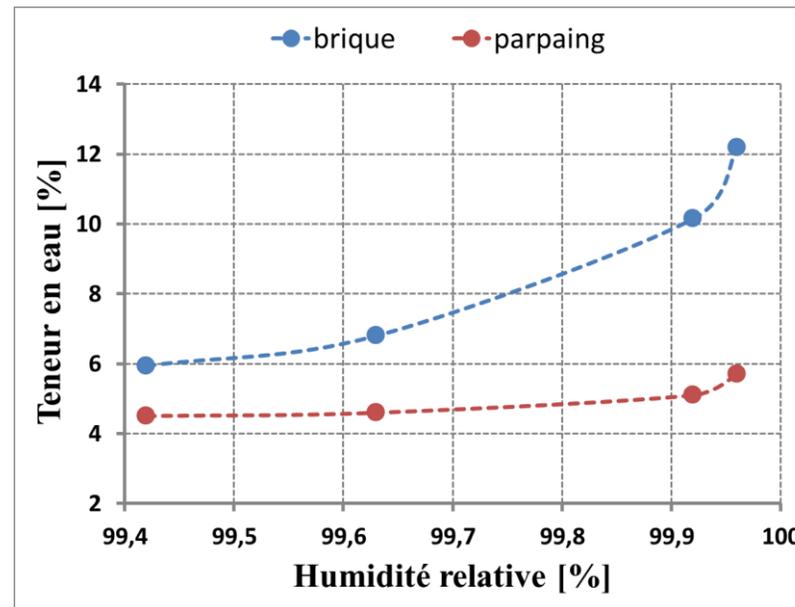


Description du stockage d'humidité du matériau dans la zone super-hygroscopique où le transfert d'eau liquide est prédominant

- Méthode utilisée : méthode d'extraction par **presse à membrane (0-100 bars)**.
- Utilisation de la **loi de Kelvin** comme lien entre la succion et l'humidité relative.

Loi de Kelvin

$$P_c = \frac{RT\rho_e}{M} \ln(HR)$$



Compléter les courbes
d'isotherme d'adsorption dans la
zone super-hygroscopique
(HR > 95%)

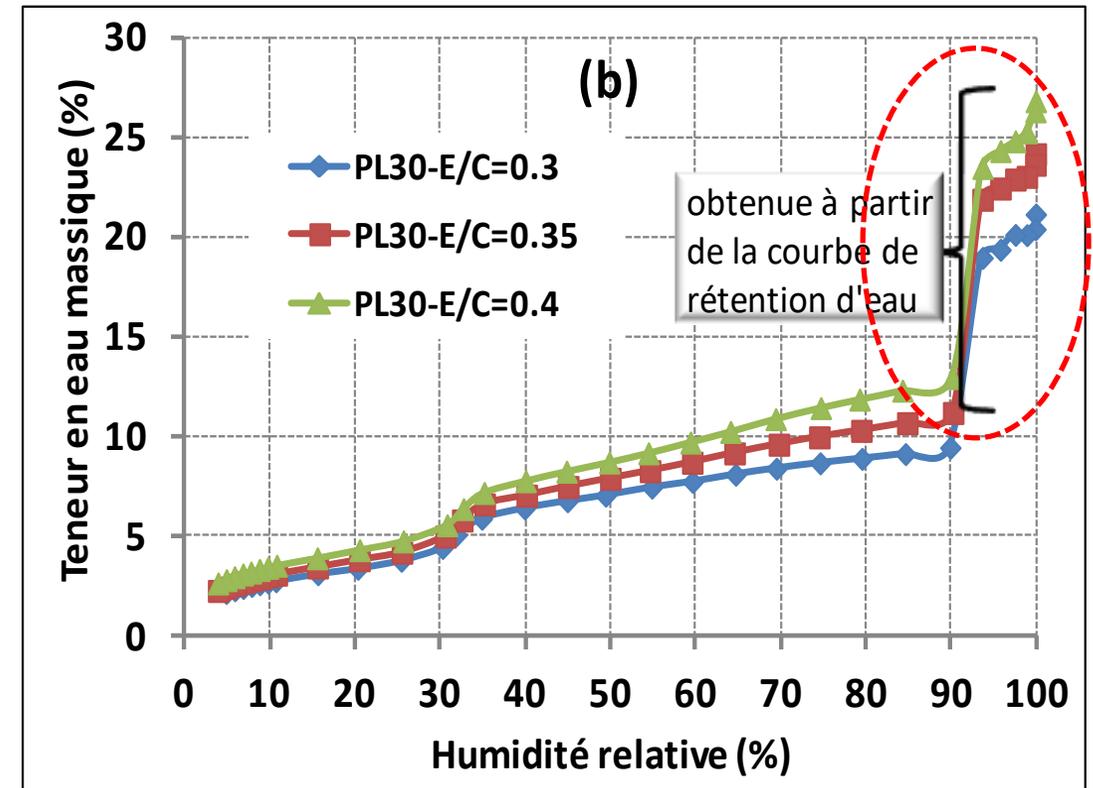
Propriétés hydriques

Courbe de rétention d'eau

Valeurs de la succion et de l'humidité relative issues de la relation de Kelvin

Succion (bars)	Humidité relative (%)
0	100
1,5	99,89
2	99,85
4	99,71
9	99,34
16	98,84
35	97,49
60	95,74
90	93,67

Compléter l'isotherme de désorption dans la zone de saturation HR > 90%



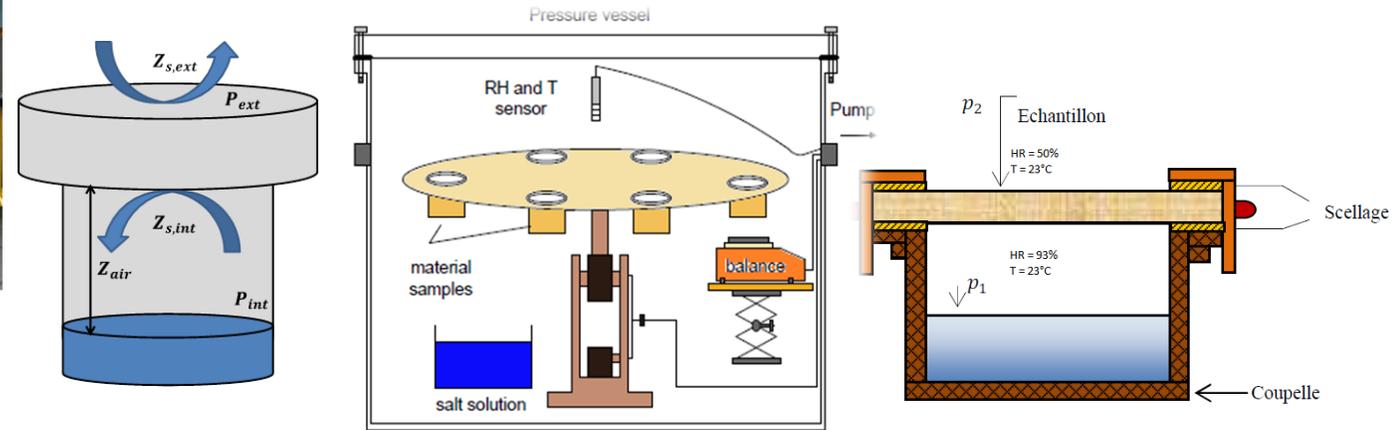
Propriétés hydriques

Perméabilité à la vapeur d'eau

Dispositif de la coupelle automatisée mesurant la perméabilité à la vapeur



- Méthode de **la coupelle** selon la norme EN ISO 12572 ;
- Taille des échantillons : **8 cm** de diamètre et **2 cm** d'épaisseur ;
- Durée de l'essai : **~ entre 10 à 20 jours** ;
- Principe : créer un **gradient de pression de vapeur** entre les deux compartiments **amont** et **aval** de l'échantillon et suivre l'évolution de la masse (ou du flux) au cours du temps.



$$j_v = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta t}$$

$$k_v = j_v \cdot \frac{e}{\Delta P_v}$$

Propriétés hydriques

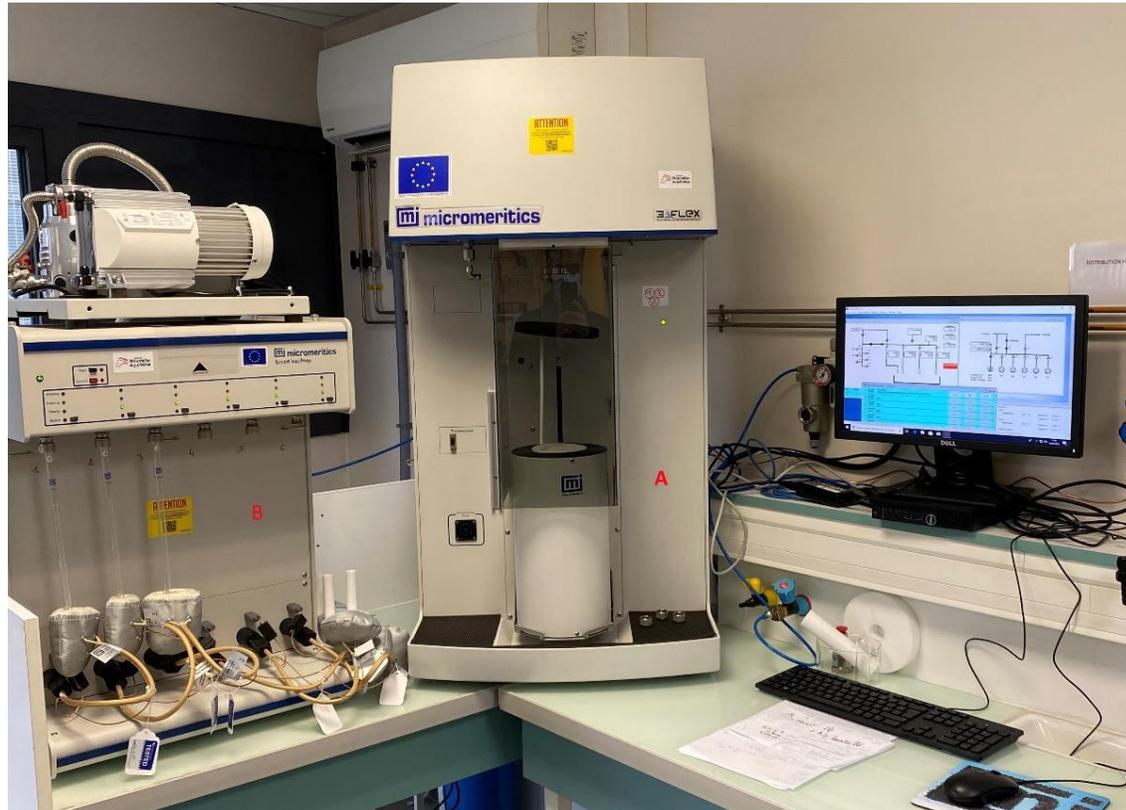
Surface spécifique, distribution de la taille des pores et isothermes

Analyseur de sorption volumétrique

3-Flex ?

Analyseur de sorption basé sur une méthode volumétrique, entièrement automatique pour la détermination des **isothermes d'adsorption/désorption**, des **surfaces spécifiques**, des **distributions méso et micro-poreuses** et des **volumes poreux**.

- **Nombre d'échantillons:** Configuré avec **3 ports** pour l'analyse des micropores, des mésopores et de la surface spécifique BET ;
- **Gaz d'analyse:** N₂, O₂, Ar, Kr, CO₂, CO, H₂, butane et la plupart des gaz non corrosifs ;
- **Durée de l'essai:** environ 01 semaine.



Propriétés hydriques

Surface spécifique, distribution de la taille des pores et isothermes

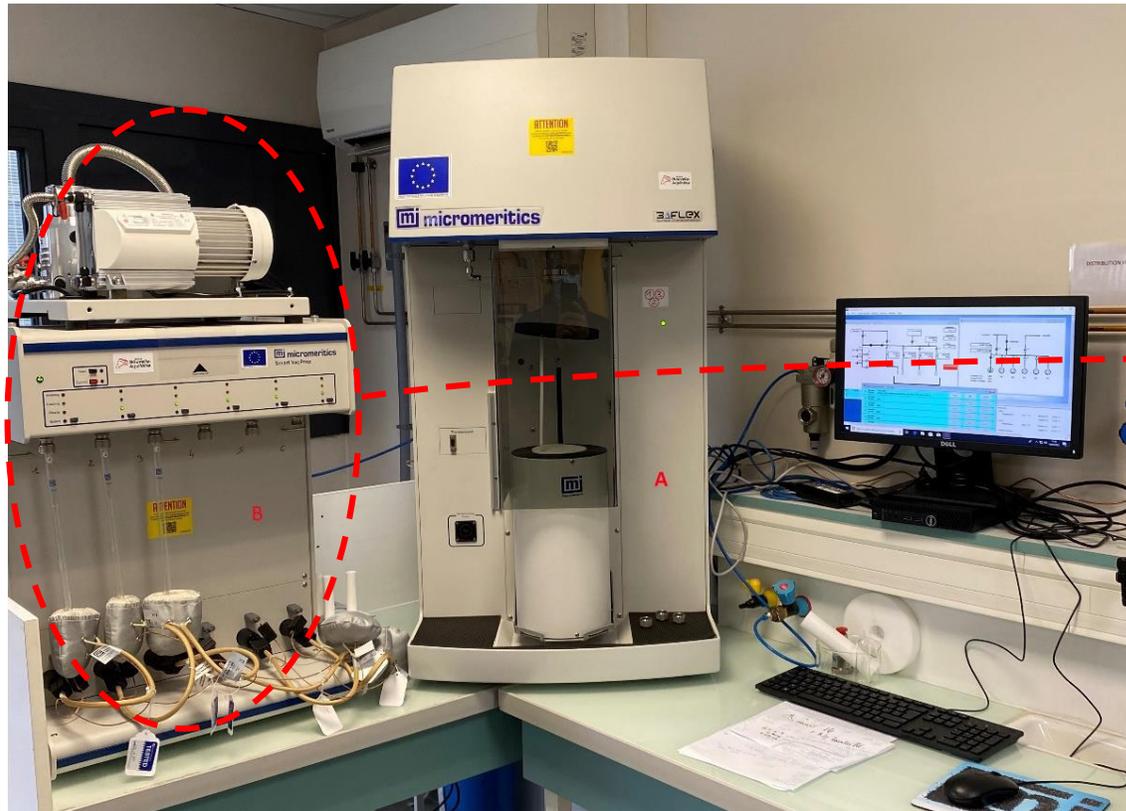
Pré-conditionnement

Le 3-Flex est également équipé d'un Système de dégazage pour la préparation des échantillons :



(SMART VACPREP 067 High-Vac)

- Four électrique permettant de dégazer les 3 échantillons ;
- Température maximale : 450 C ;
- Mise sous vide contrôlée par servovalve ;
- 1 palier de température à la mise sous vide ;
- 5 paliers additionnels pendant le dégazage contrôlé par logiciel.



Propriétés hydriques

Moisture Buffer Value (MBV)

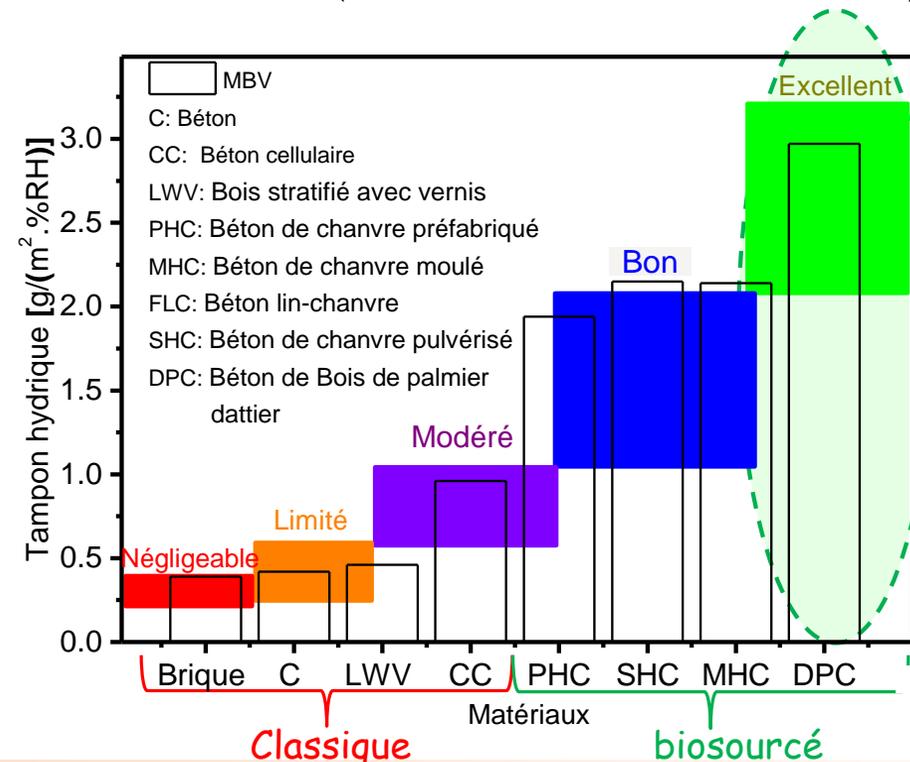
Enceinte climatique



MBV selon le protocole Nordest :

Echantillons soumis à une succession de cycles d'hygrométrie :
8h à 75% suivi de 16h à 33%

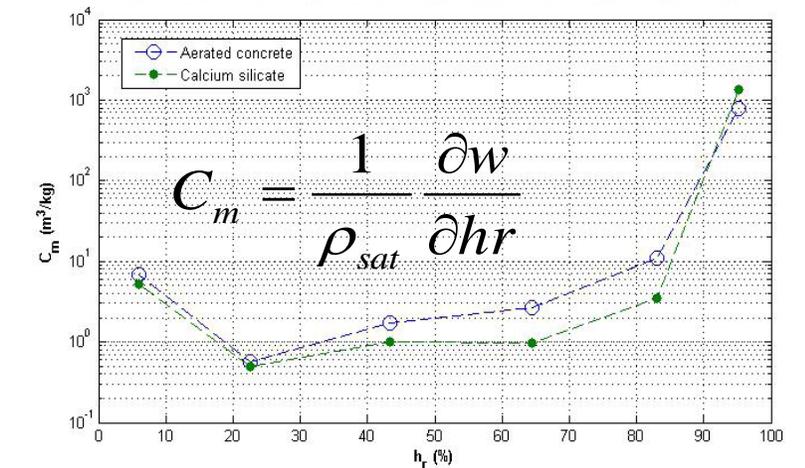
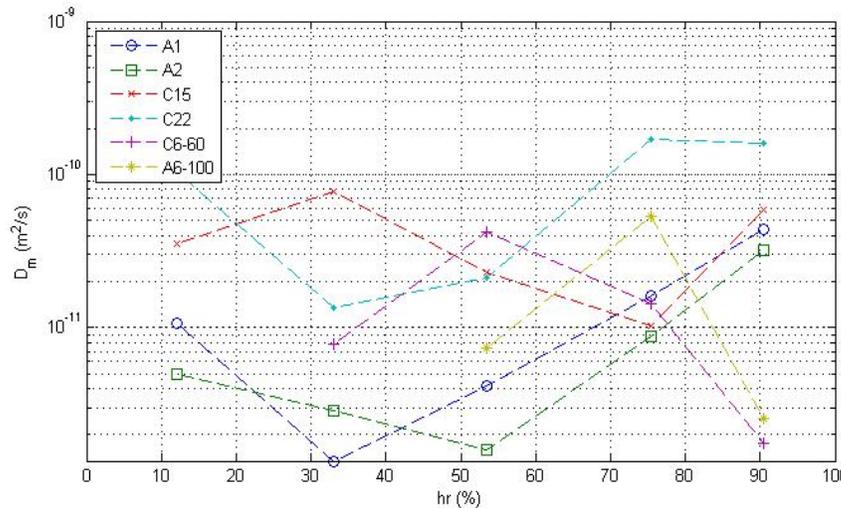
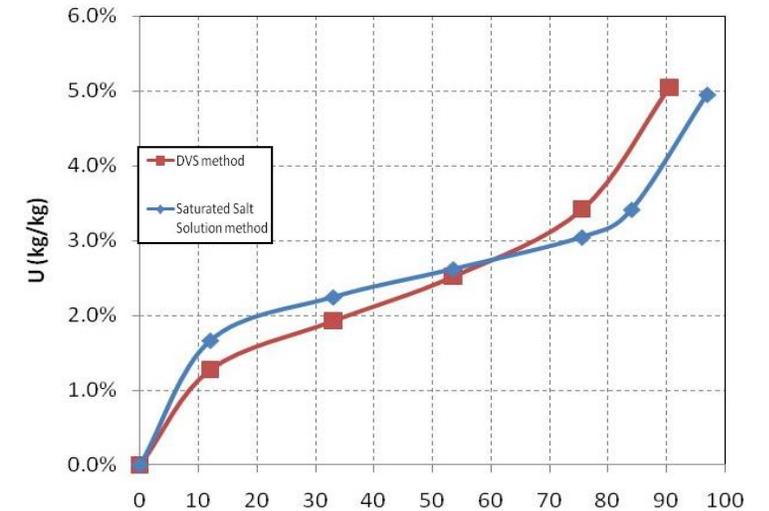
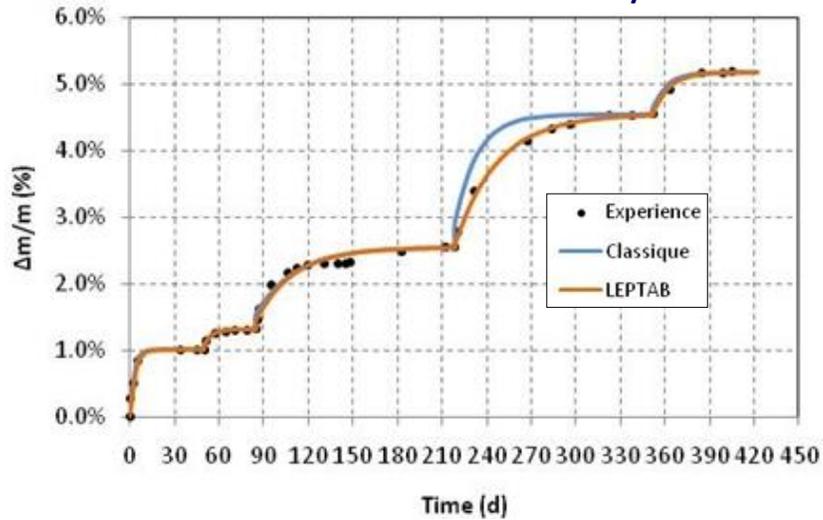
$$MBV_{8h} = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{A \cdot (HR_{\text{humidification}} - HR_{\text{séchage}})}$$



Propriétés hydriques

Mesures dans des conditions isothermes

- Méthode Gravimétrique (Solutions Salines Saturées ou enceinte climatique): durée **2 ans**
- Gravimetric Dynamic Method DVS (Dynamic Vapor Sorption) Durée de l'essai **2 semaines**

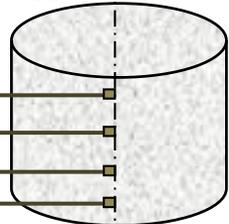


Propriétés hydriques

Thermo-diffusion

Temperature and relative humidity sensors

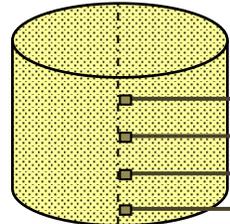
HR = 75% T = 35°C



HR = 75% T = 20°C

Aerated Concrete

HR = 75% T = 35°C



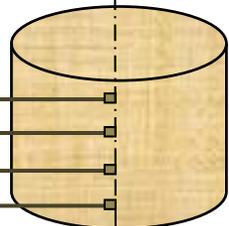
HR = 75% T = 20°C

Brick Joens

Matériaux utilisés

Temperature and relative humidity sensors

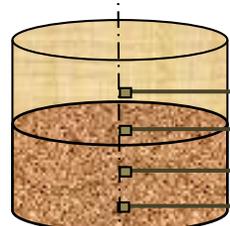
HR = 75% T = 35°C



HR = 75% T = 20°C

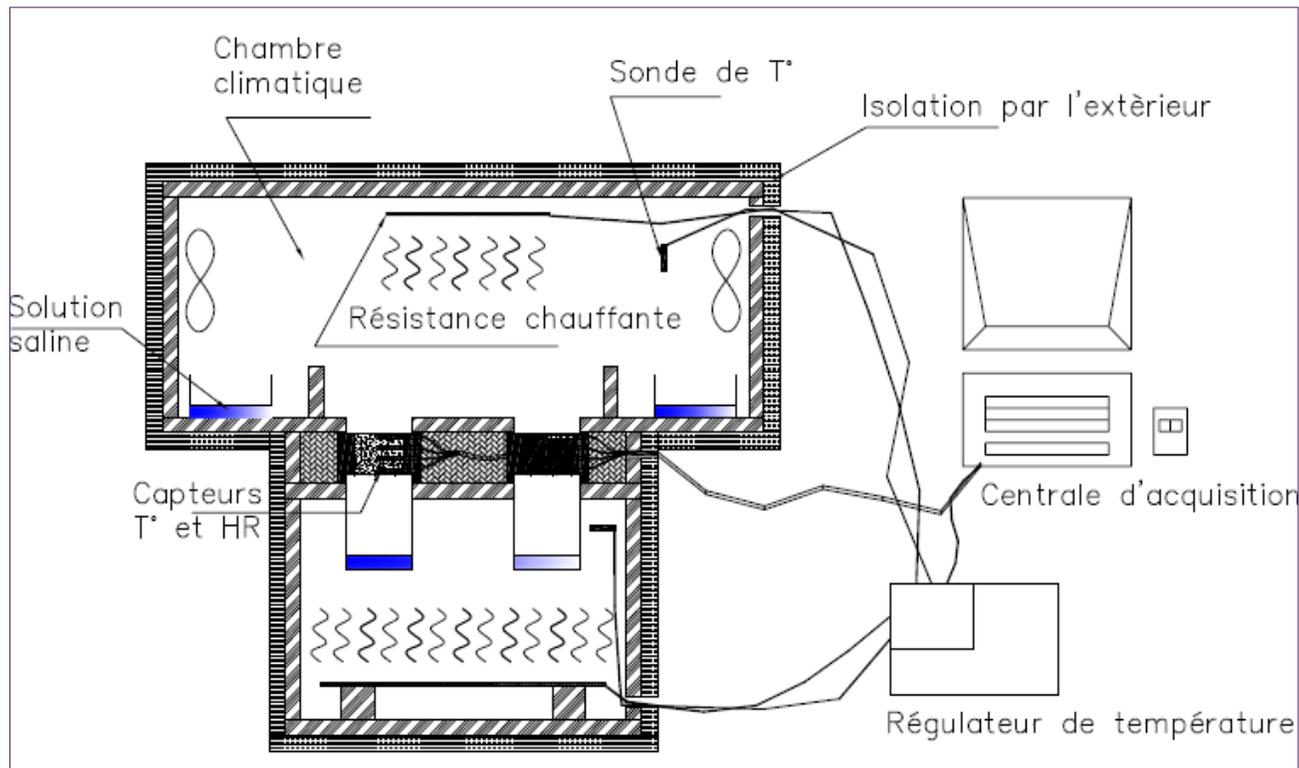
Isolant fibreux

HR = 75% T = 35°C



HR = 75% T = 20°C

OSB + Fibrous Insulation

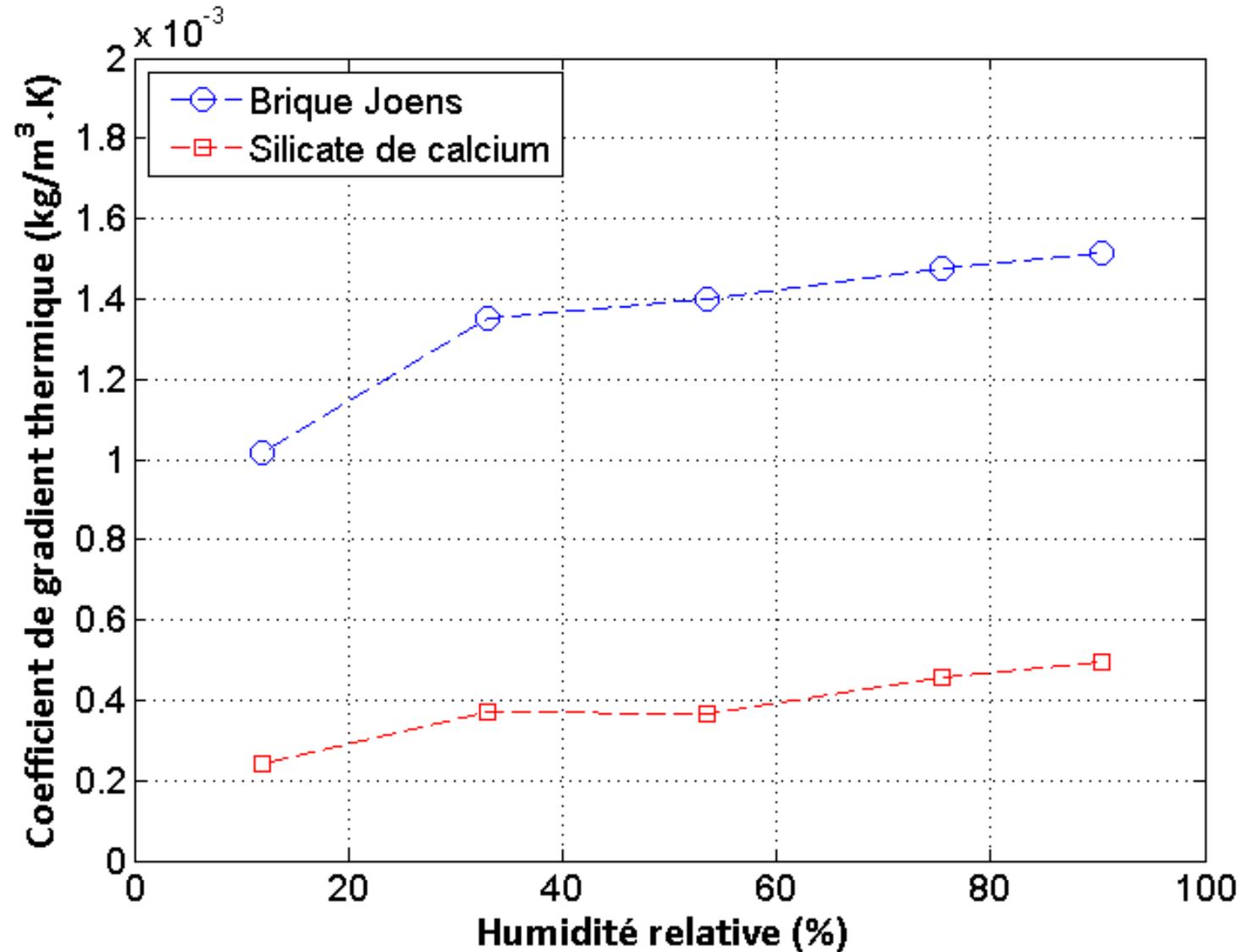


- Différence de T : 17°C et 35°C
- Paliers d'humidité relative 85%-85%, 75%-75%, 50%-50%, 30%-30%, 12%-12%.

$$\varepsilon = \frac{1}{\delta_v \frac{dT}{dx}} \left(j_m - \delta_v \frac{d\rho_v}{dx} \right)$$

Propriétés hydriques

Thermo-diffusion



Propriétés hydriques

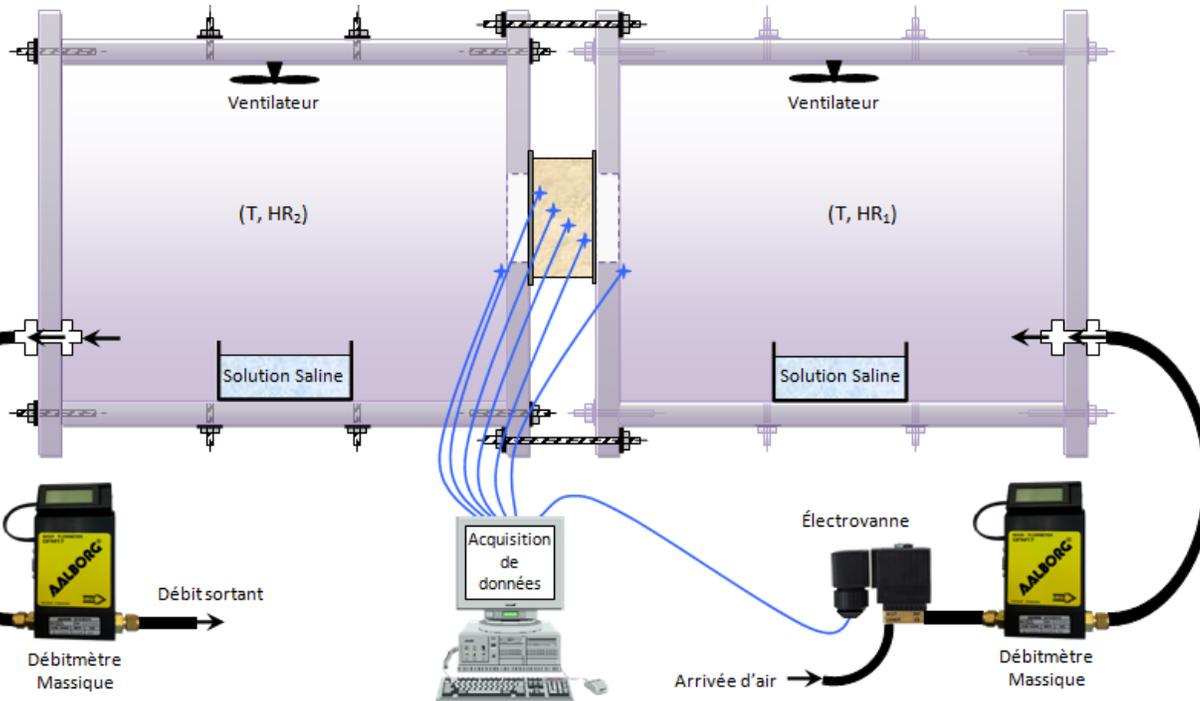
Coefficient d'infiltration

Approche expérimentale

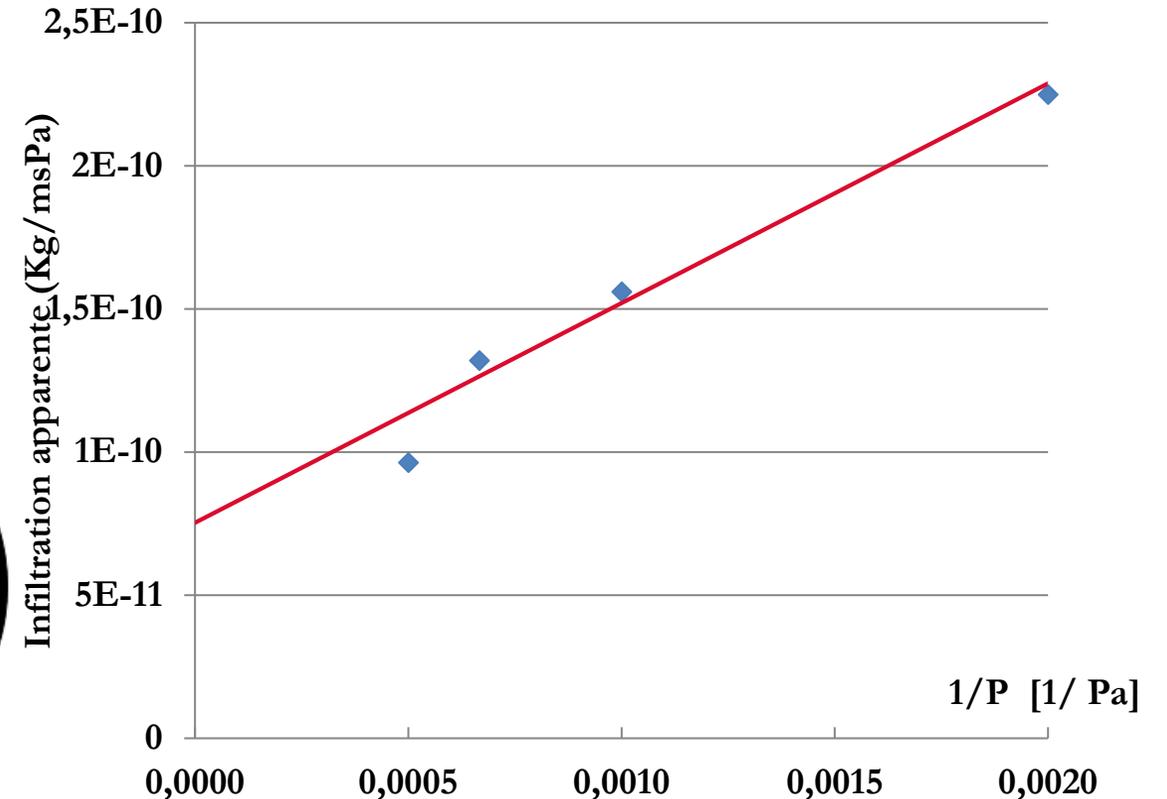
Tests effectués dans des conditions isothermes

Echantillon placé entre deux ambiances contrôlées en T et HR

Gradient de pression totale non nulle



Effet de la pression totale



Gradient de pression totale nulle :
$$j_m = -\delta_p P_{v sat} \frac{\partial HR}{\partial x}$$