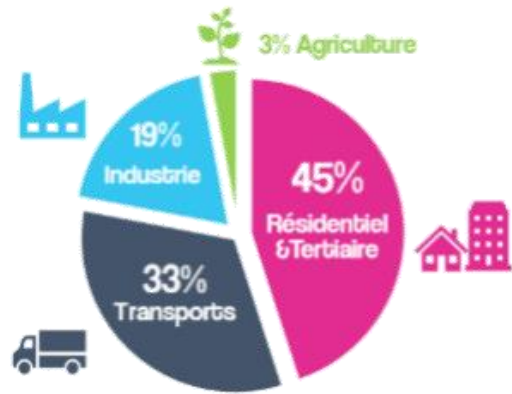


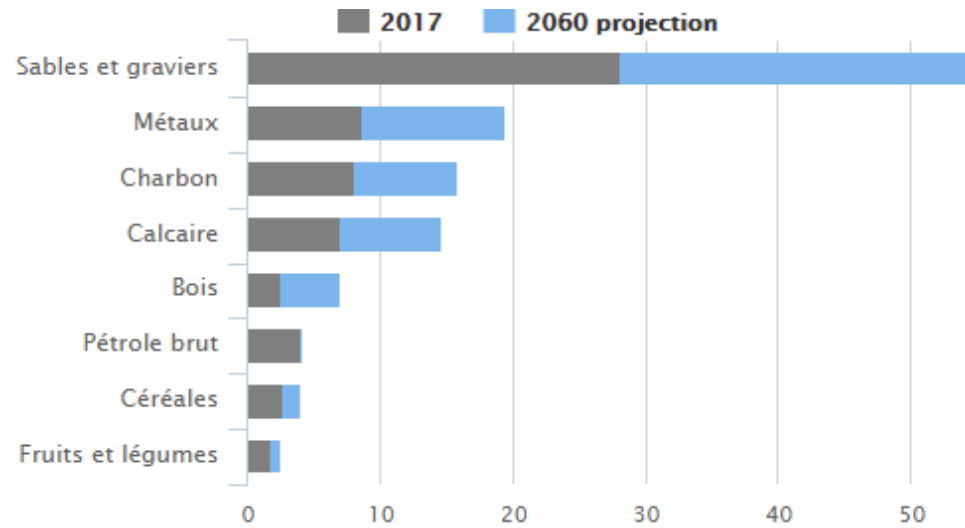


Matériaux et applications

- Béton de polystyrène



Consommation énergétique
en 2016

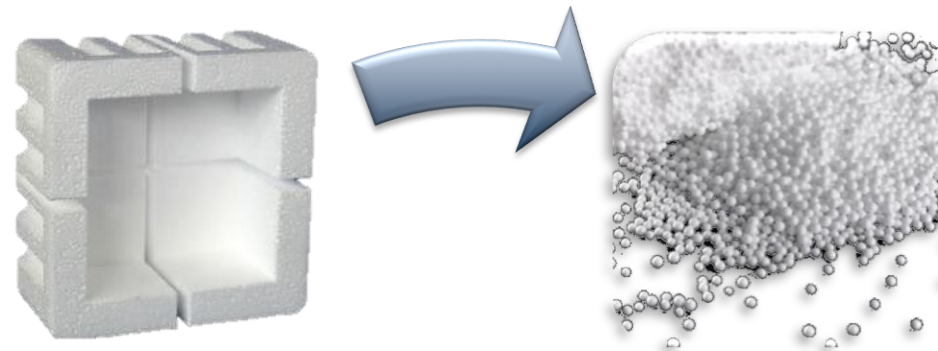


Consommation des matières premières

- 45% de la consommation totale d'énergie
 - 25% des émissions de CO₂
 - 50 % de ressources naturelles exploitées



Utilisation de
déchets recyclés

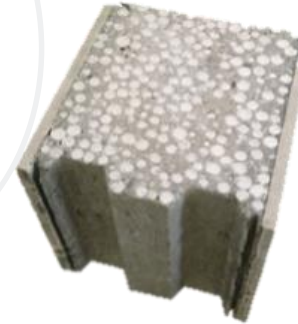


Déchet

Traitement

1,5 million de tonnes de polystyrène utilisé (UE)

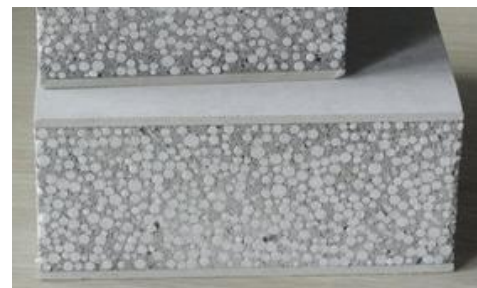
Taux de recyclage de 30 %



Matériau recyclé



Dalles sur hourdis



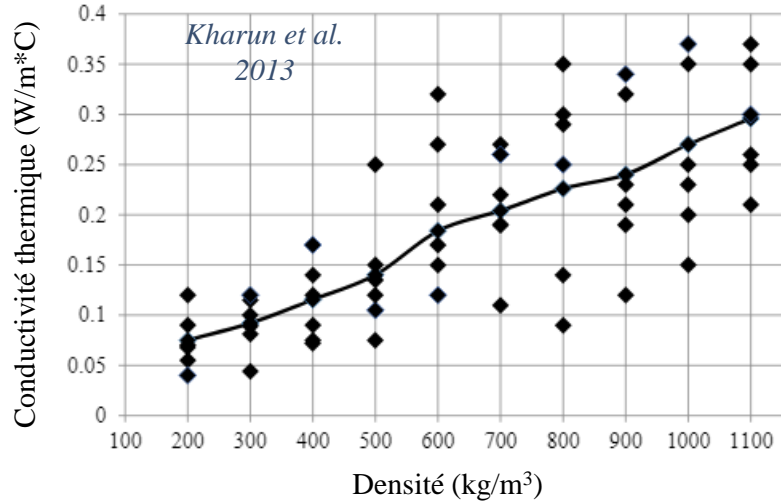
Toitures



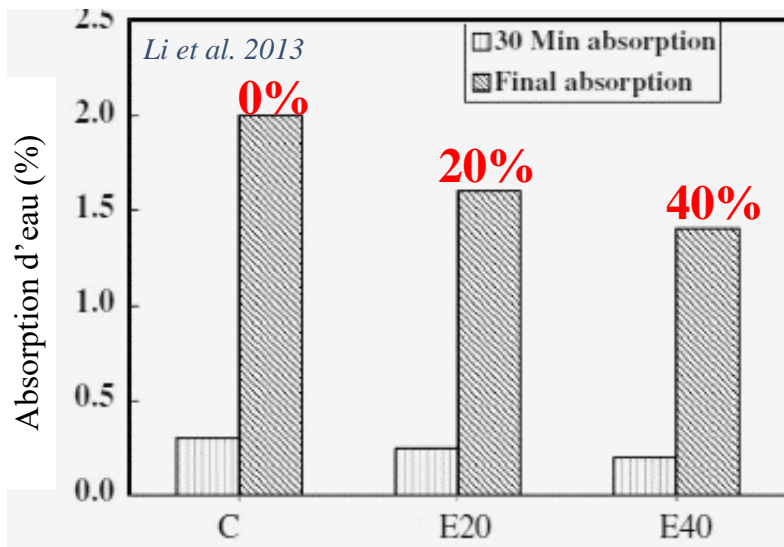
Chapes de sol

Avantages

➤ Amélioration de



➤ Amélioration de la **durabilité**

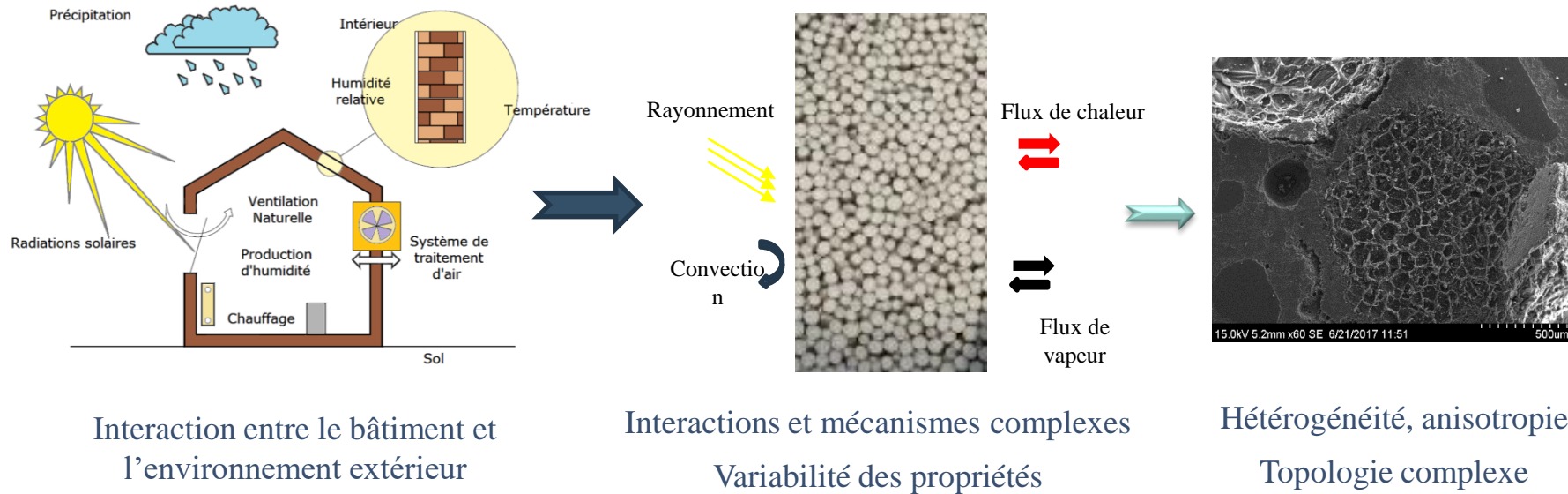


Inconvénients

➤ Altération des propriétés **mécaniques**



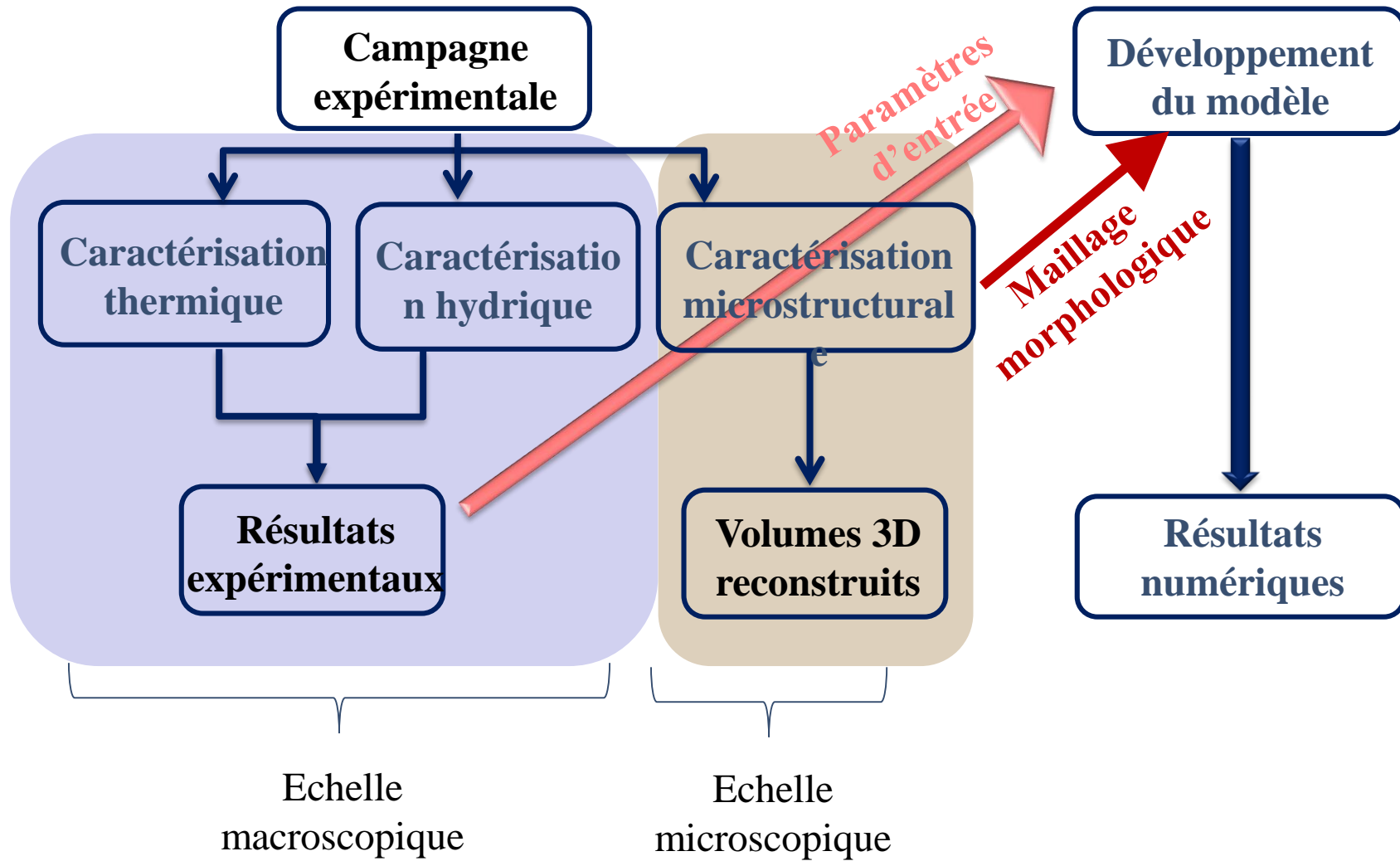
Phénomènes multi-échelles



Barrière au développement de l'utilisation des matériaux innovants (éco-matériaux, bio-sourcés, recyclés)



Nécessité de modéliser le comportement thermo-hydrrique de ces matériaux de construction



Composition des matériaux



Caractérisation microscopique



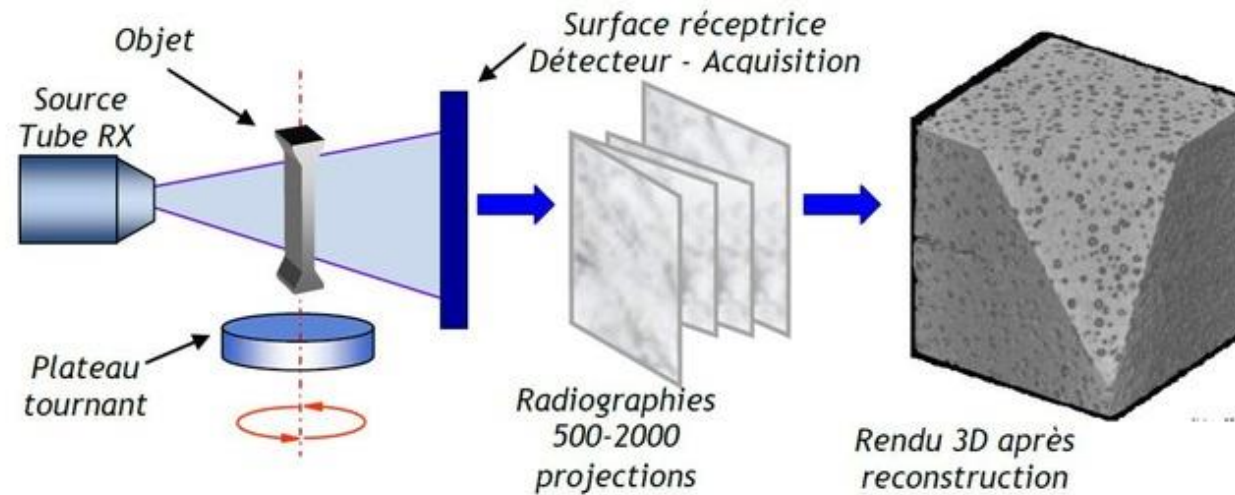
- Micro-tomographie à rayons X

- Microscopie électronique à balayage

- Microscopie numérique

Micro-tomographie à rayons X

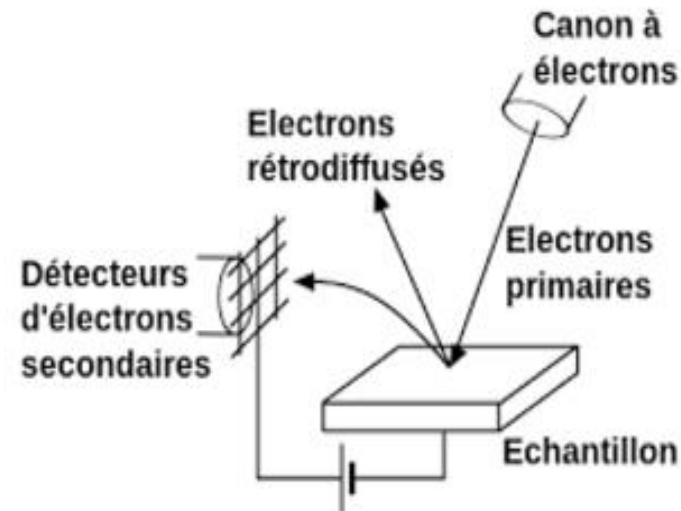
- Technique non destructive
- Analyse multidirectionnelle
- Reconstruction 3D des volumes réels



: Principe de fonctionnement de l'acquisition des données
Image N. Limodin, J. Réthoré, J.-Y. Buffière, A. Gravouil, F. Hild, S. Roux

Microscopie électronique à balayage

- Technique non destructive mais nécessite un dépôt métallique pour les matériaux isolants
- Observation de la morphologie en surface
- Détermination des différentes phases



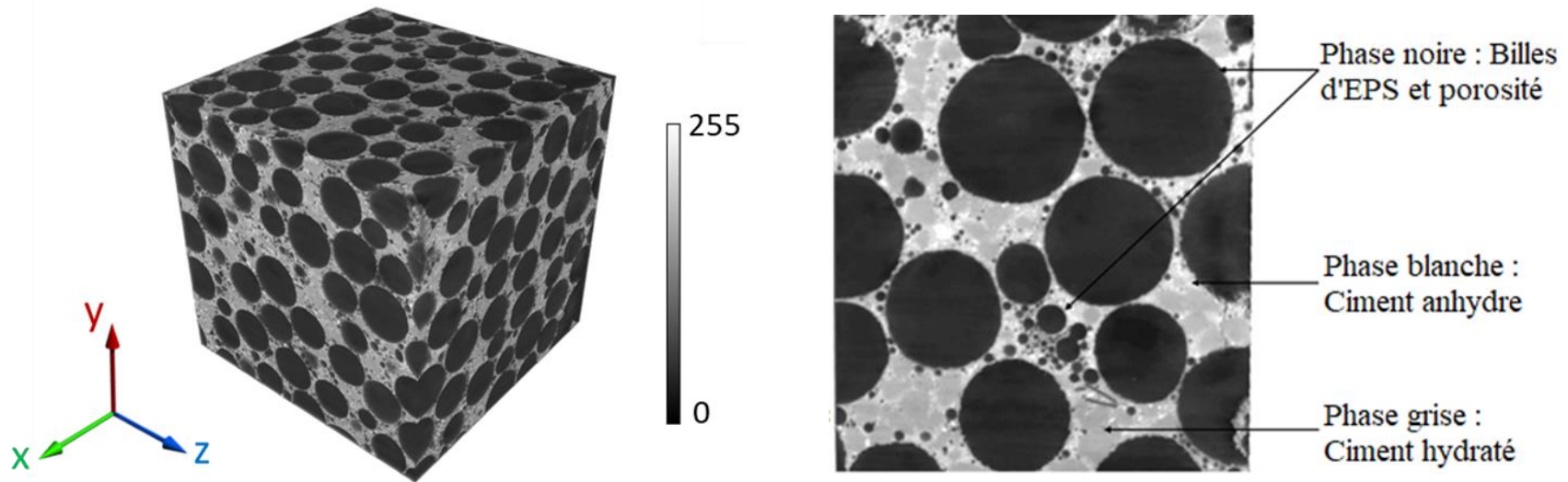
Microscopie numérique

- Technique non destructive
- Observation de la morphologie en surface
- Possibilité de reconstructions morphologiques en 3D

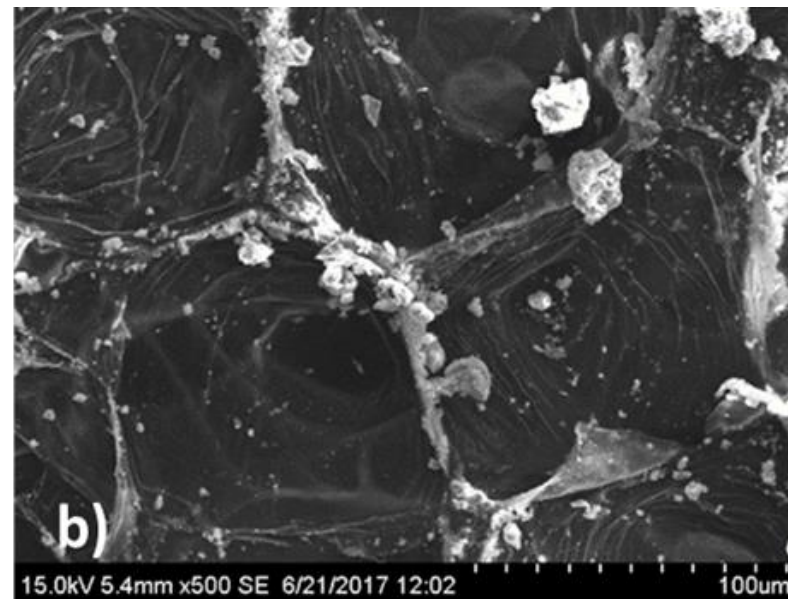
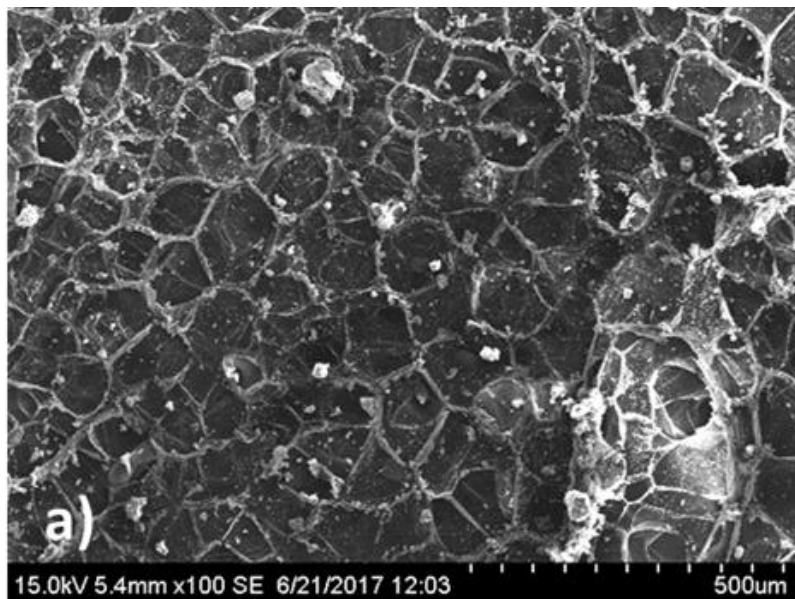


Reconstruction des volumes

- Phase sombre : Phase très peu dense et n'absorbe presque pas de rayons X, elle correspond donc à la porosité (air présent dans la matrice) et aux billes de polystyrène
- Phase claire : Matrice cimentaire sa densité est plus importante et il absorbe des rayons X

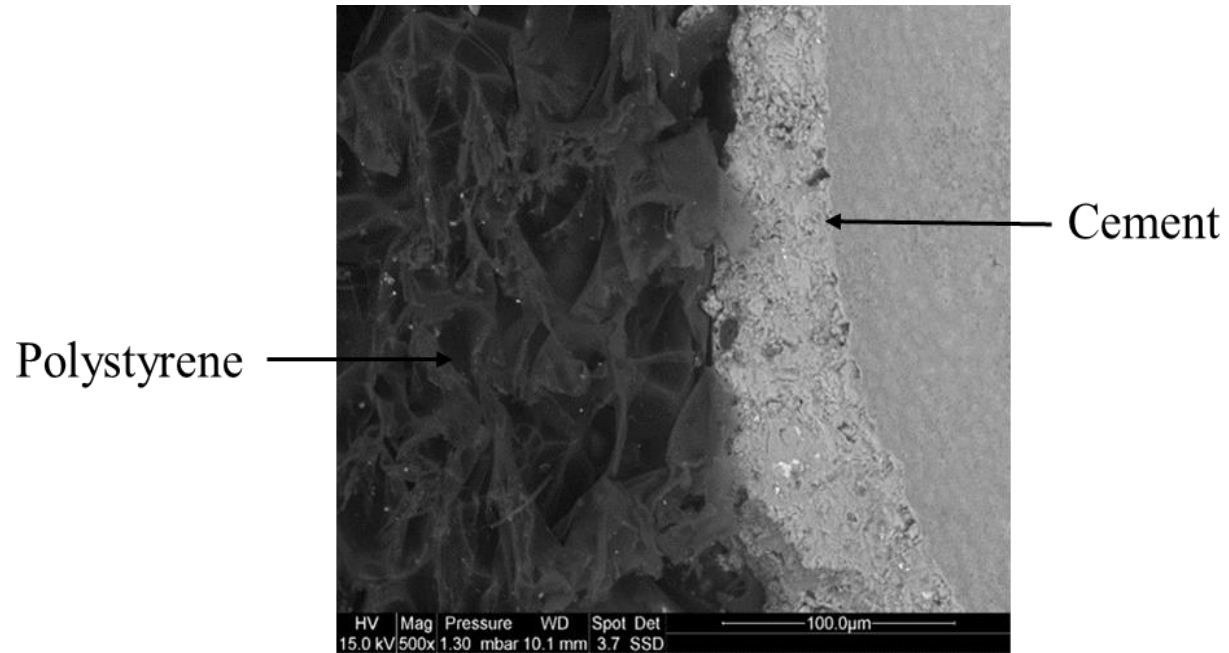


Structure des billes d'EPS



- Structure cellulaire des billes de polystyrène
- Parois alvéolaires très fines
- Cause de la faible densité du polystyrène expansé

Interface entre les différentes phases

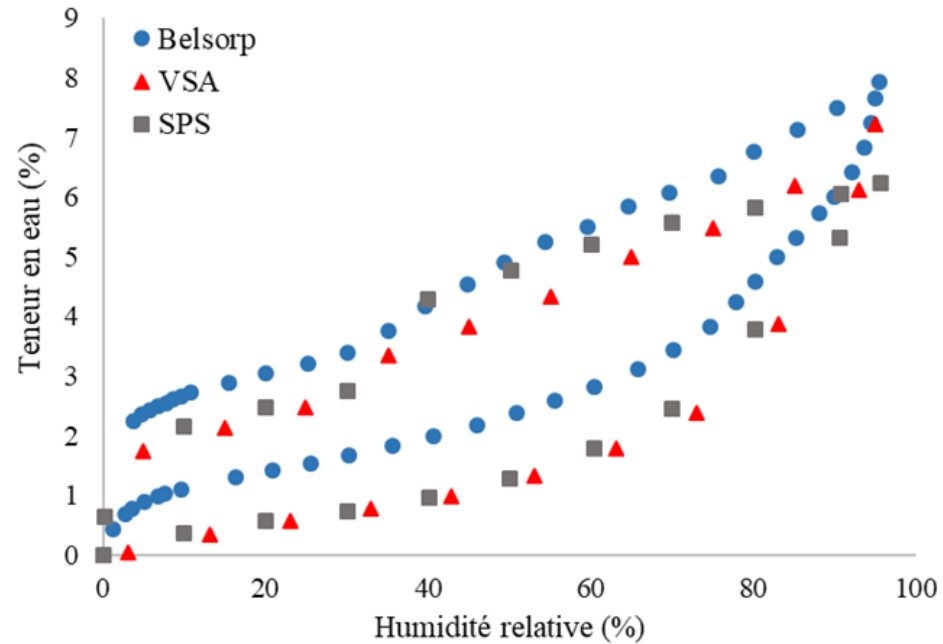


- Bonne adhérence entre le ciment et le polystyrène
- Pas de zone de transition interfaciale

Caractérisation macroscopique

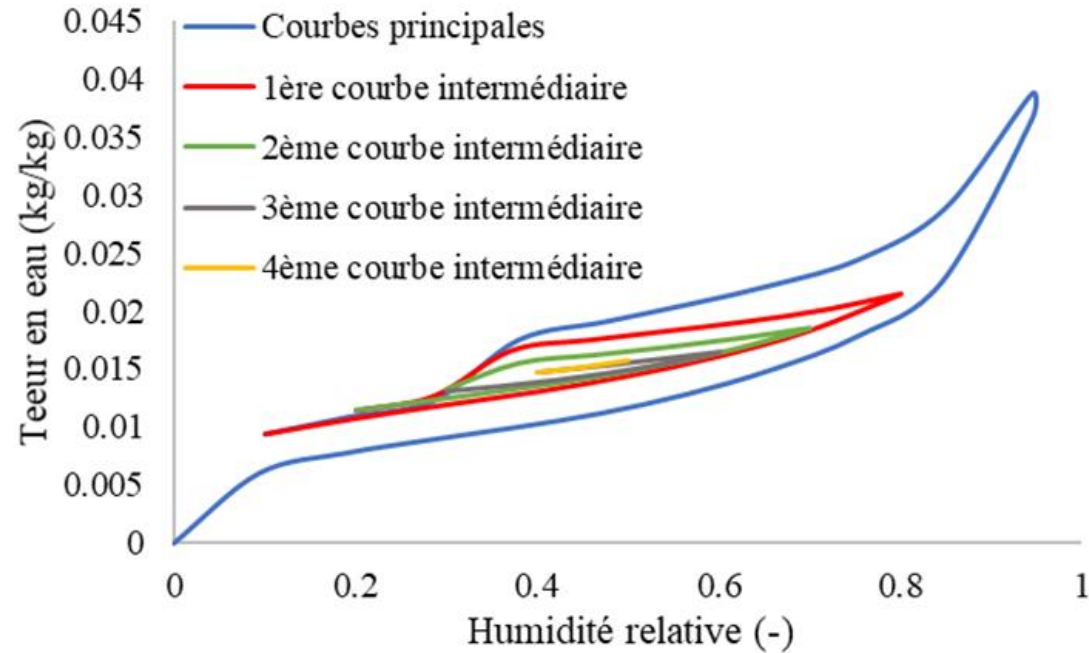
- Isothermes d'adsorption et de désorption
- Capacité de stockage d'humidité
- Pouvoir tampon hydrique
- Conductivité thermique
- Chaleur spécifique
- Perméabilité à la vapeur

Isothermes d'adsorption et de désorption



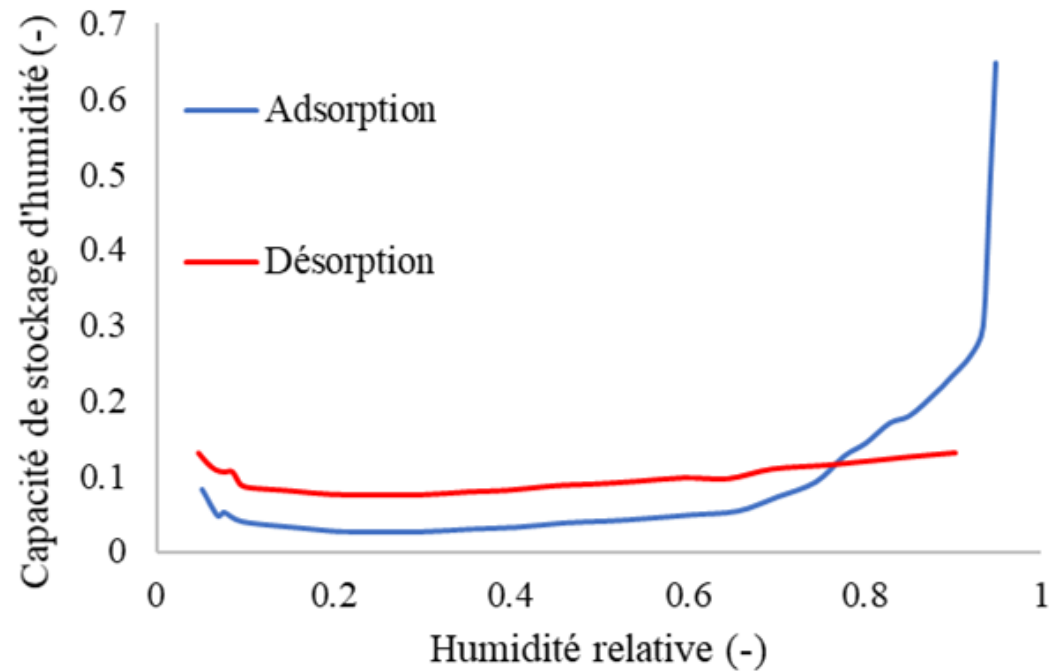
- Teneur en eau à saturation plus importante à l'aide de la méthode de mesure volumétrique
- Teneur en eau max du matériau peu élevée → Matériau peu hygroscopique

Isothermes d'adsorption et de désorption intermédiaires



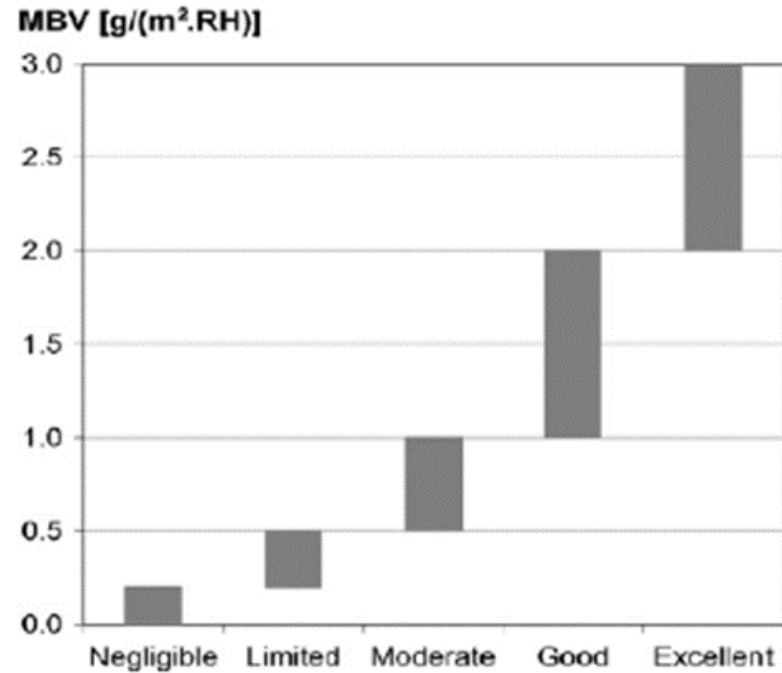
- Même allure que les courbes principales
- Après quatre cycles, les courbes commencent à se superposer

Capacité de stockage d'humidité



- Courbes différentes en adsorption et désorption
- Augmentation importante aux hautes hygrométries

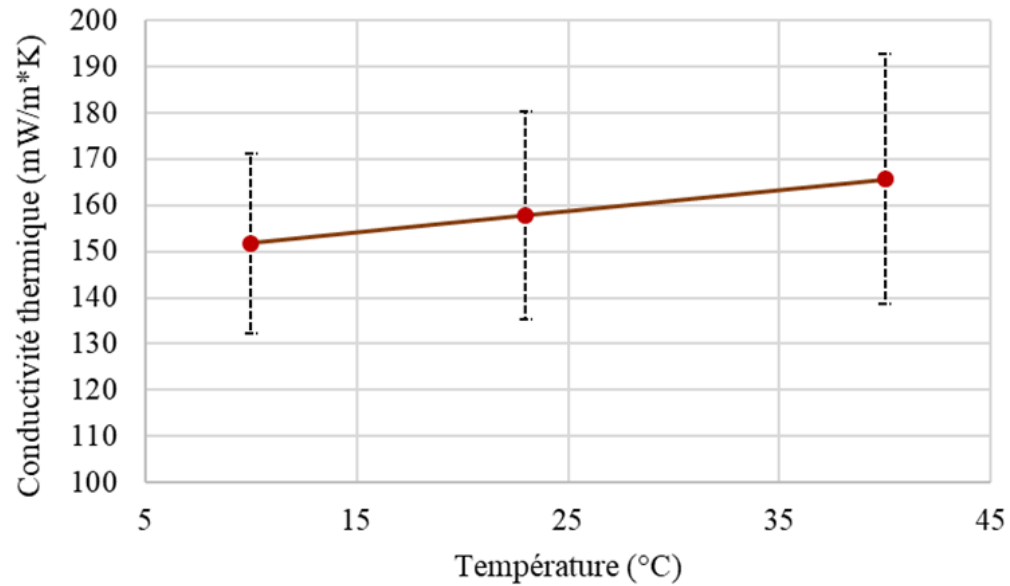
Pouvoir tampon hydrique (Moisture Buffer Value)



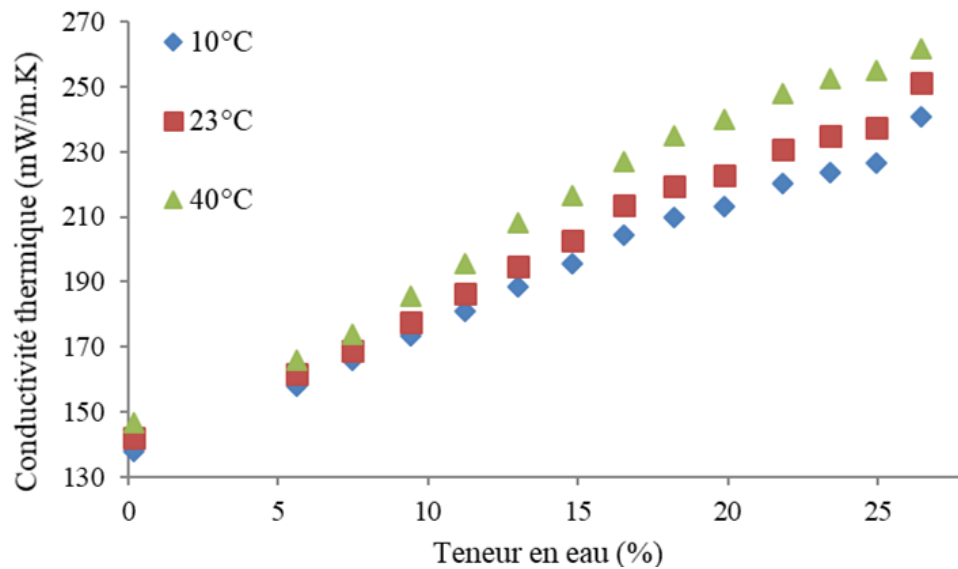
$$\text{MBV} = 0,55\text{g/m}^2.\%HR$$

- Béton de polystyrène a un pouvoir tampon hydrique modéré
- Pas de régulation d'humidité

Conductivité thermique

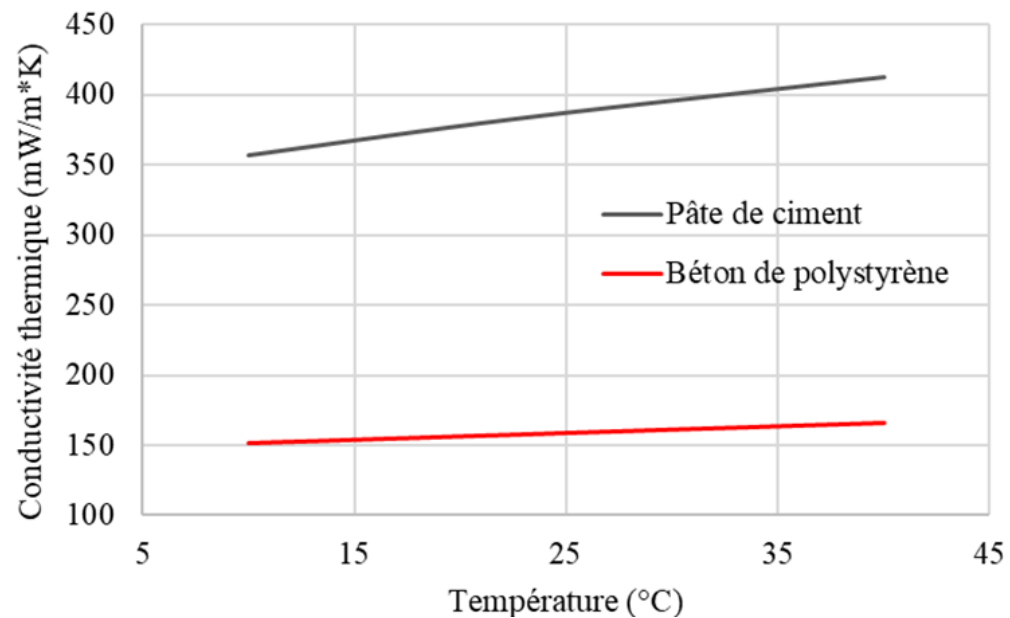


Augmentation en fonction de la température



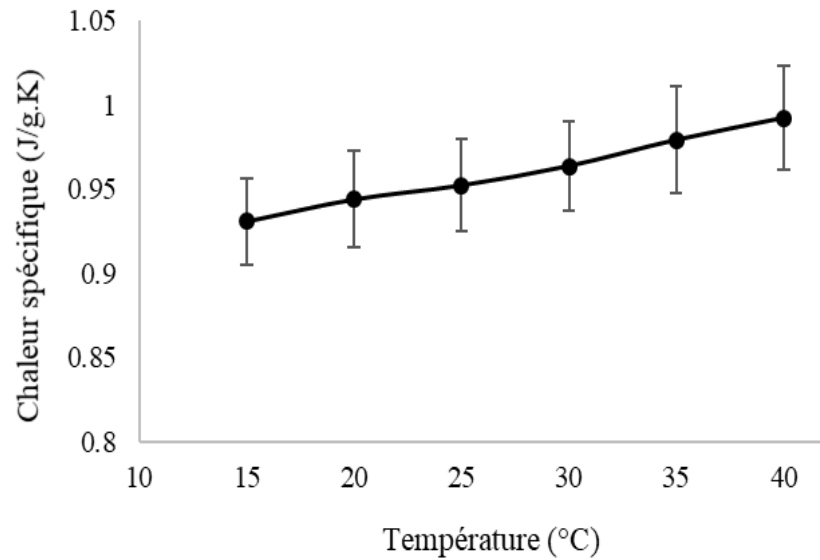
Augmentation en fonction de la teneur en eau

Conductivité thermique

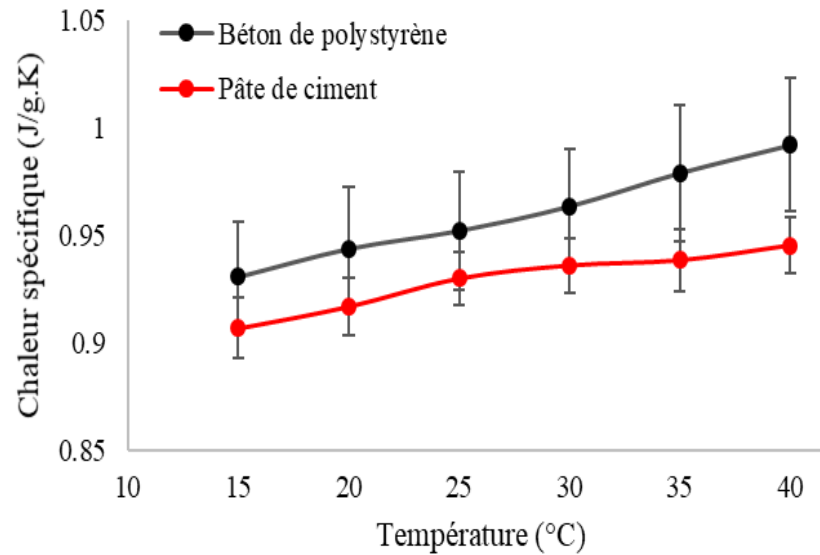


Le polystyrène expansé améliore les performances d'isolation thermique

Chaleur spécifique

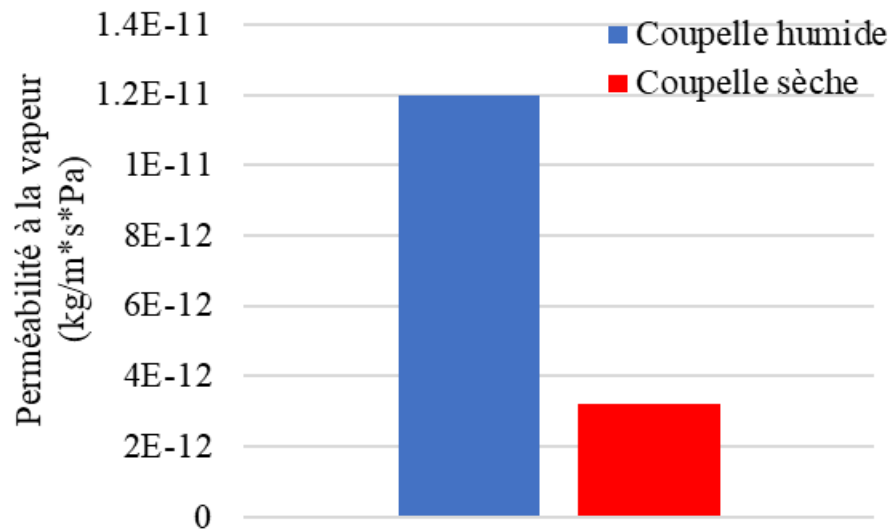


Augmentation en fonction de la température

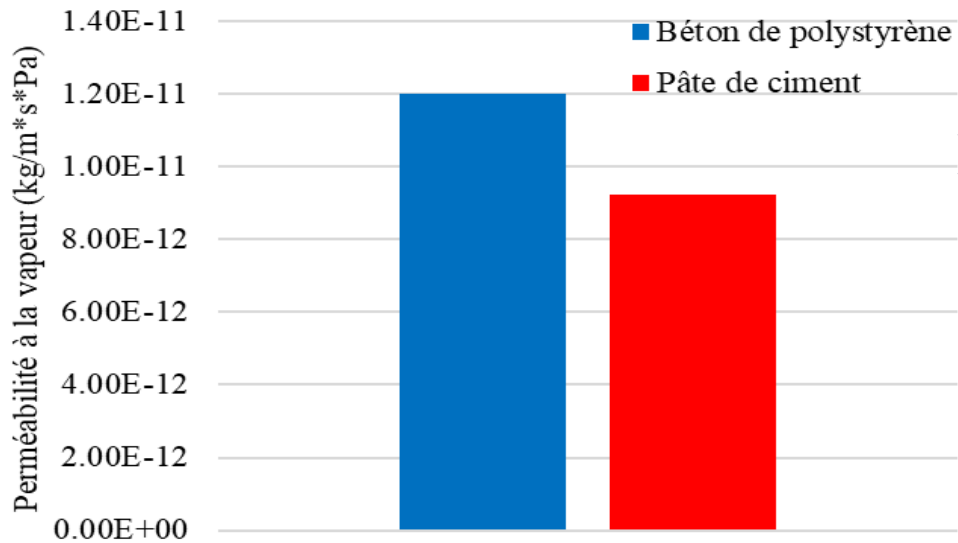


Le polystyrène expansé améliore la capacité de stockage de chaleur

Perméabilité à la vapeur



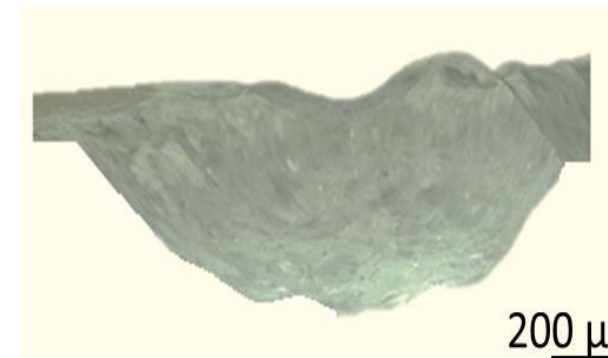
Augmentation en fonction du gradient de pression de vapeur



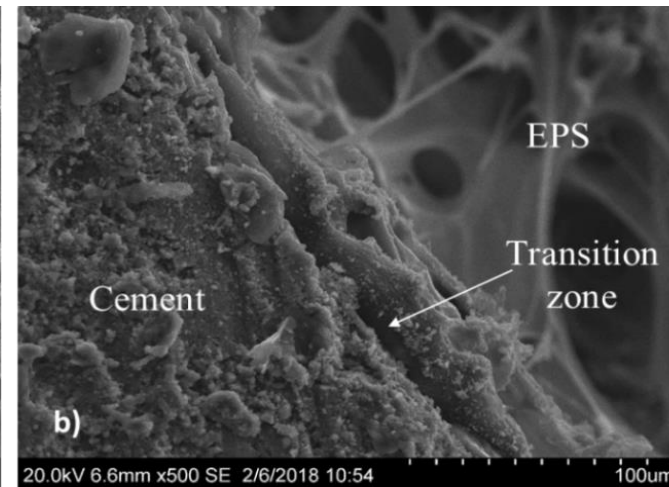
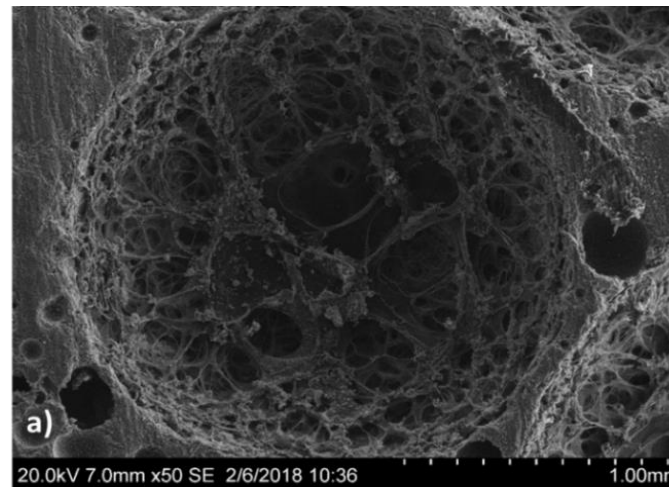
L'ajout de polystyrène expansé entraîne la formation de bulles d'air

Résistance aux sollicitations thermiques

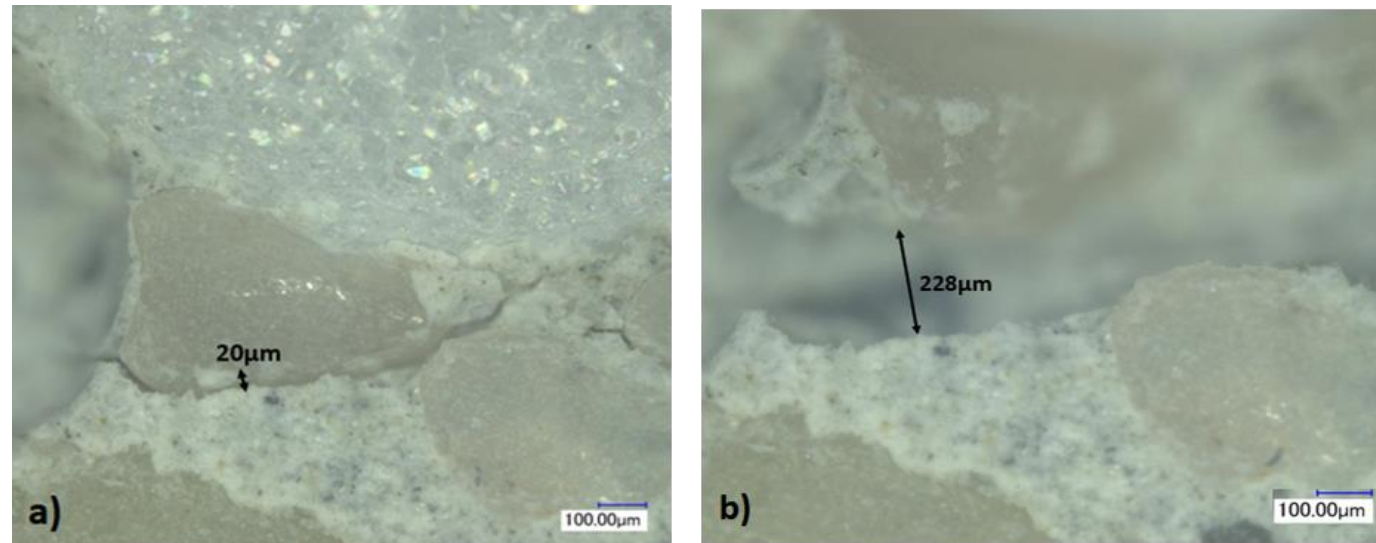
| Palier de température (°C) | Durée (h) |
|----------------------------|-----------|
| 50 | 12 |
| 60 | 14 |
| 70 | 16 |
| 80 | 18 |
| 90 | 14 |
| 100 | 10 |
| 110 | 10 |



Reconstruction 3D d'une bille après 10h d'exposition à 110° C



Résistance aux sollicitations thermiques

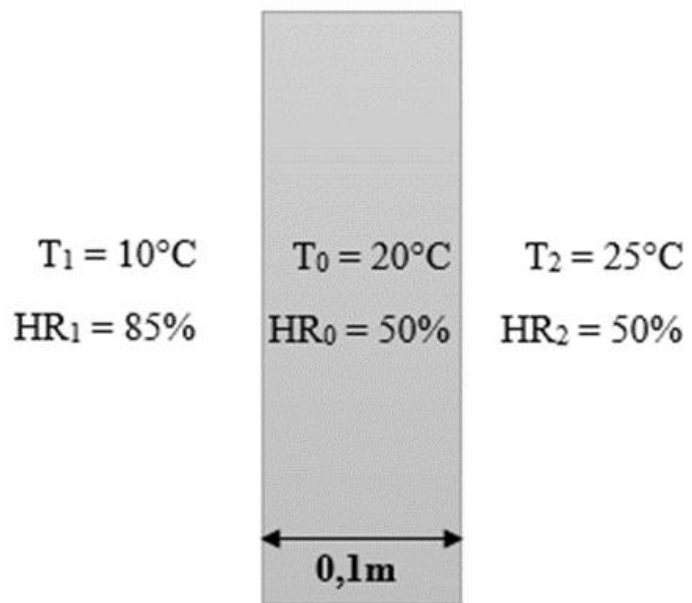


Fissures dans la matrice cimentaire après 8 heures à (a) 90° C et b) 100° C

- Dégradation du polystyrène expansé à partir de 90° C
- Apparition d'une zone de transition entre les deux phases
- Apparition de fissures dans la matrice cimentaire à partir de 90° C

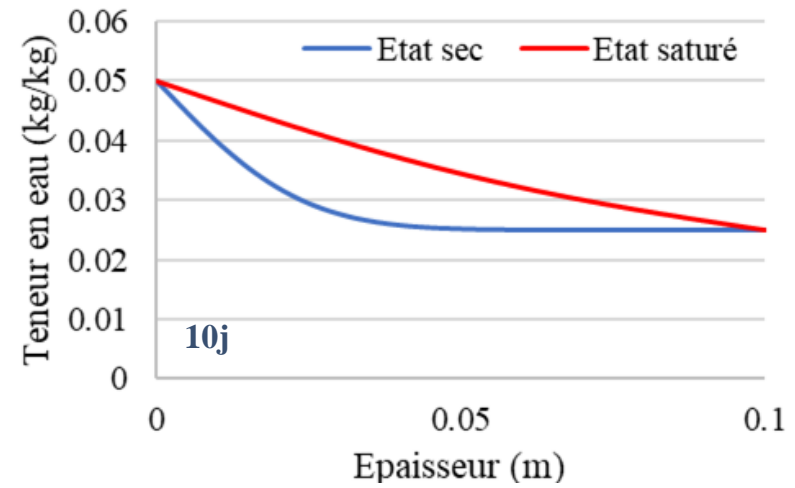
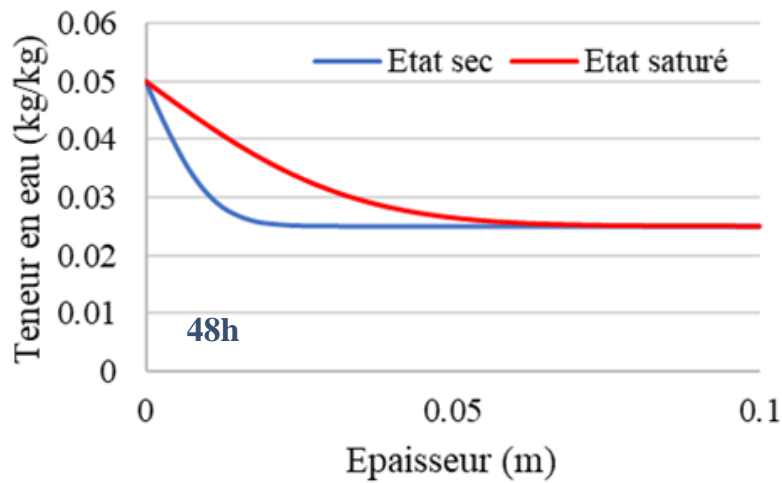
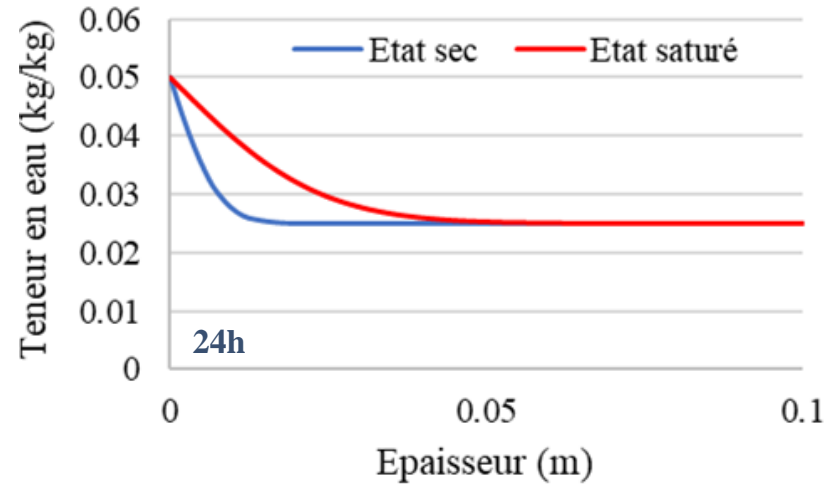
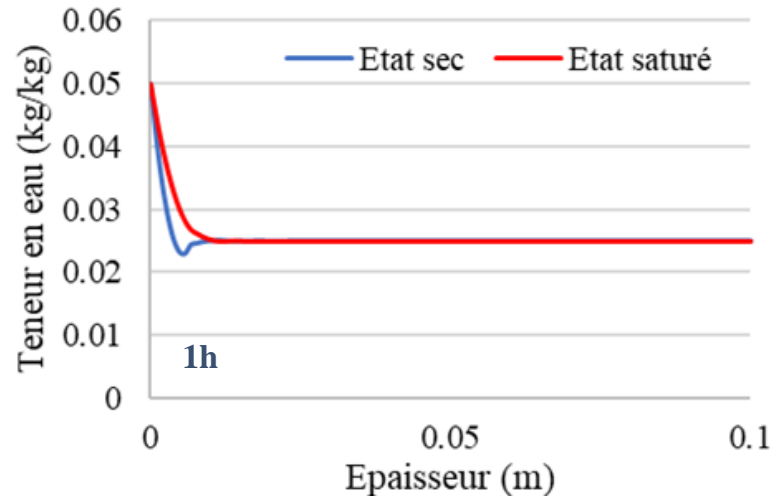
Simulations en 1D

- Influence de l'état hydrique

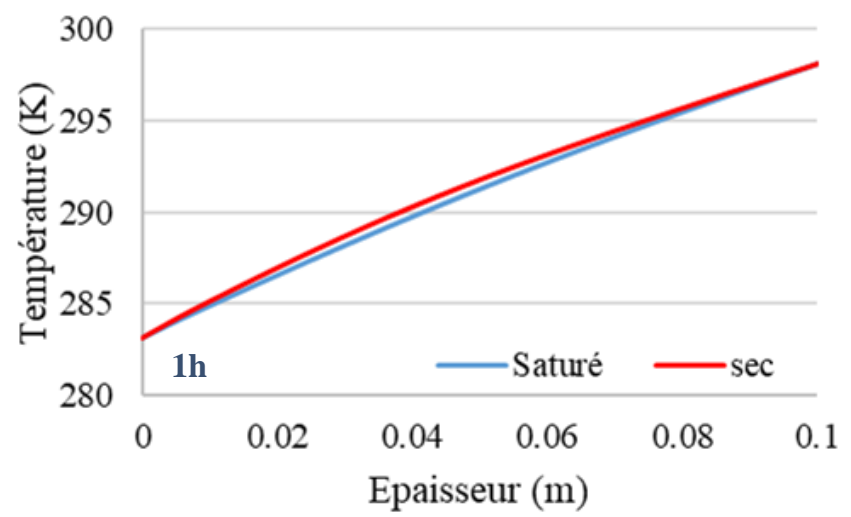
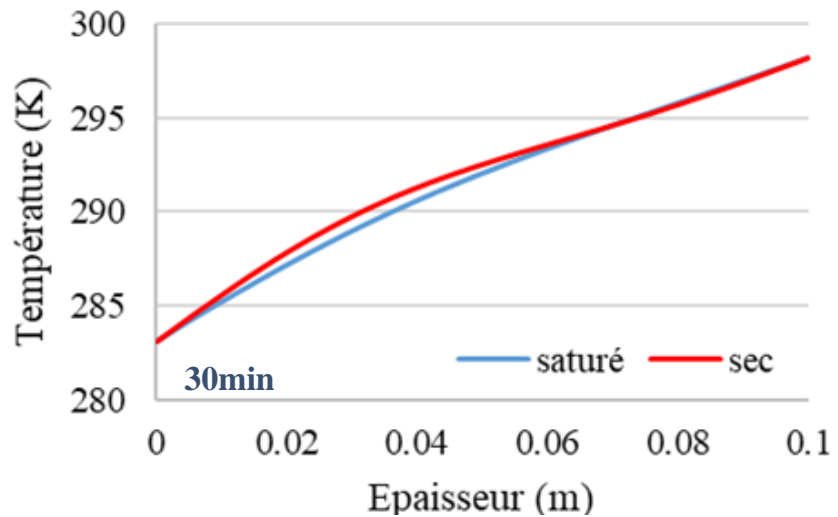
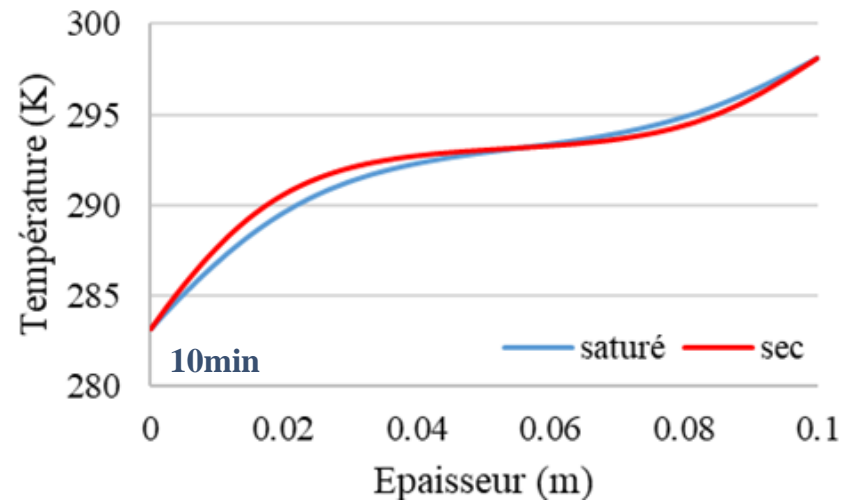
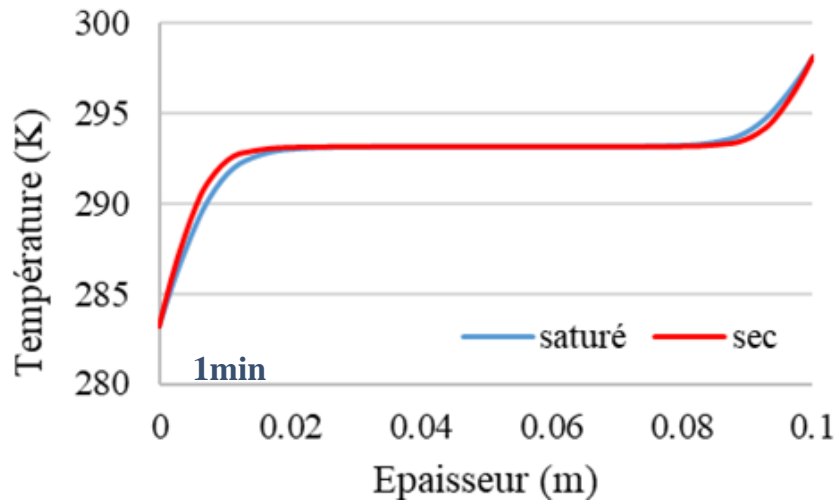


- Transferts unidirectionnels
- Paroi monocouche

Profils de teneur en eau en 1D



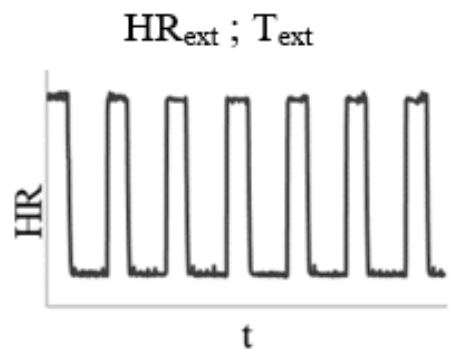
Profils de température en 1D



Simulations numériques en 1D

Influence du phénomène d'hystérésis

- Echantillon isolé par la surface latérale et la surface inférieure
- Transferts unidirectionnels
- Conditions extérieures cycliques



Isolation

Simulations numériques en 1D

Influence du phénomène d'hystérésis

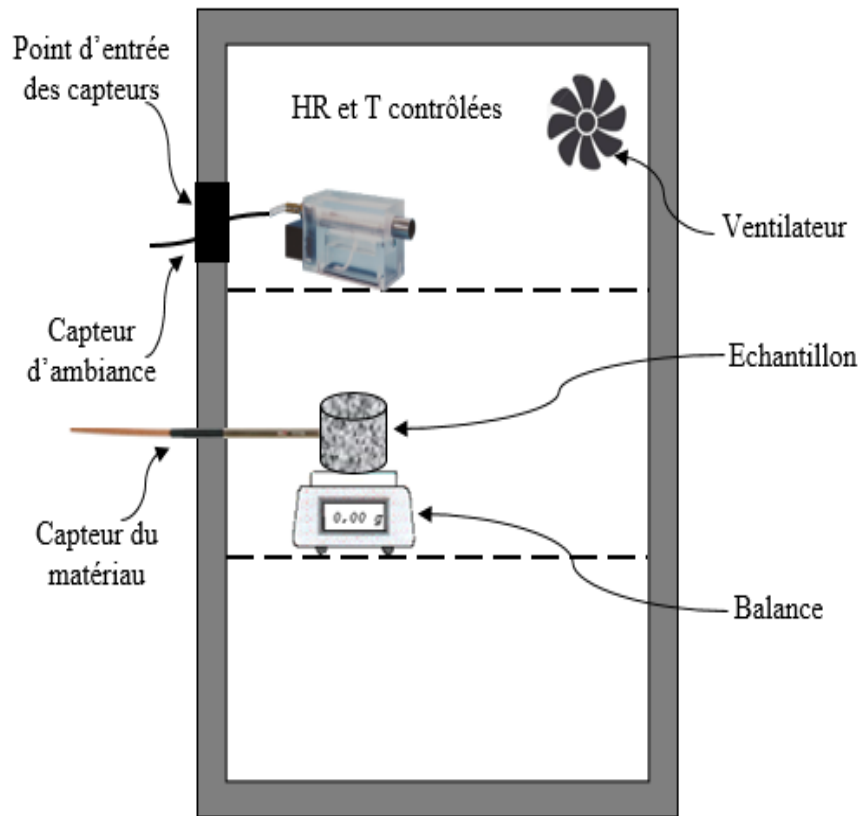


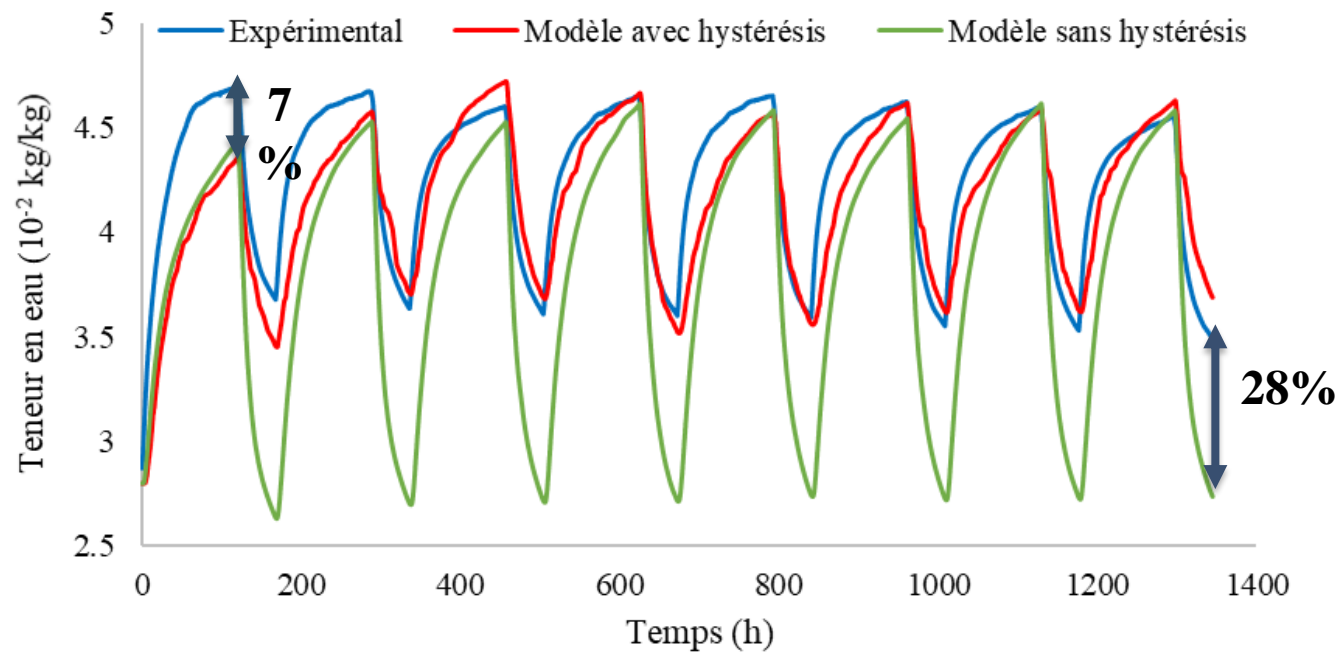
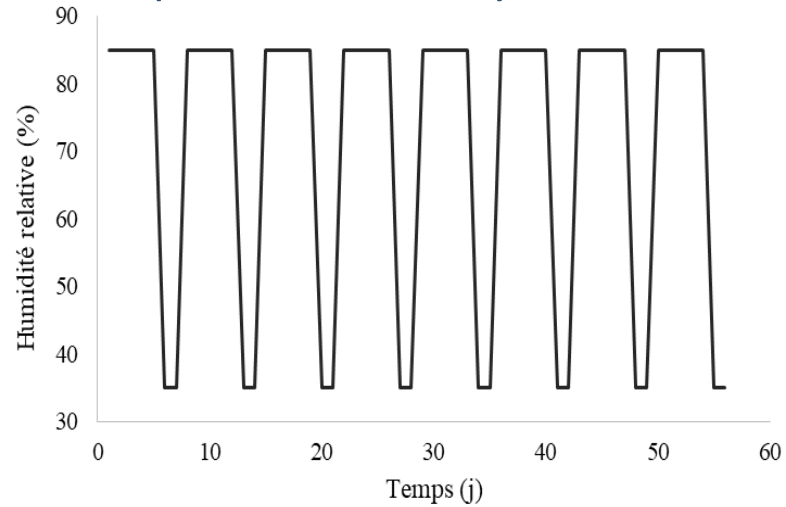
Schéma du dispositif



Dispositif réel

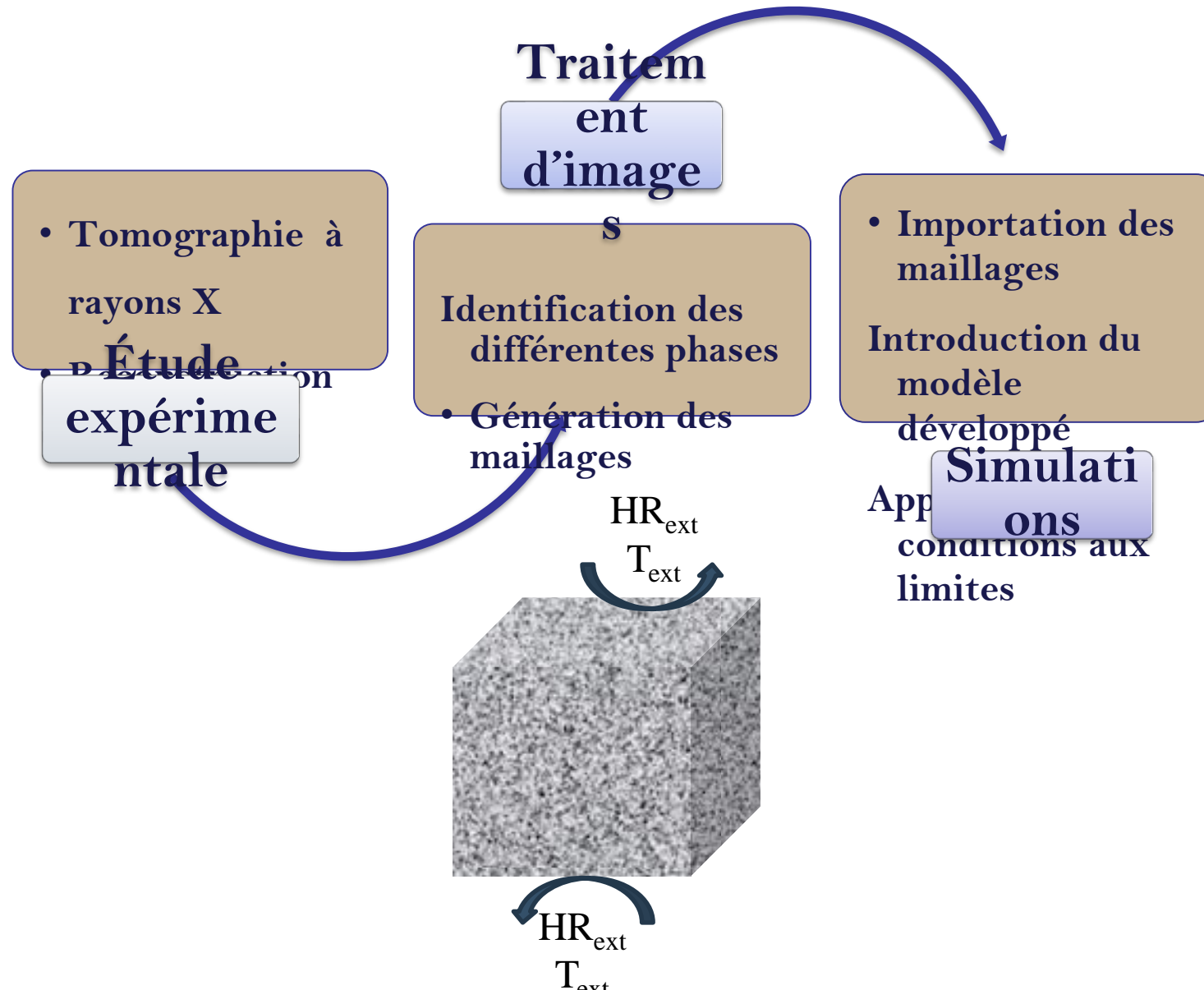
Simulations numériques en 1D

Influence du phénomène d'hystérésis



Simulations numériques en 3D

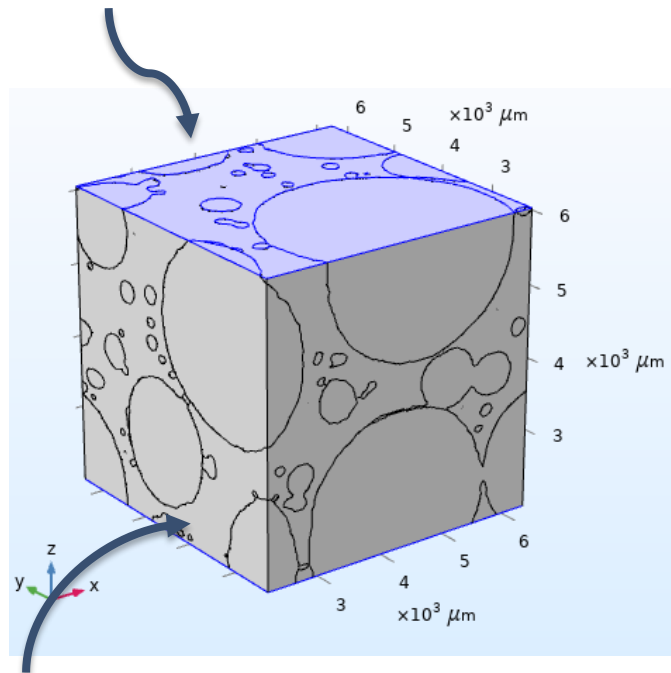
Influence de la morphologie réelle du matériau



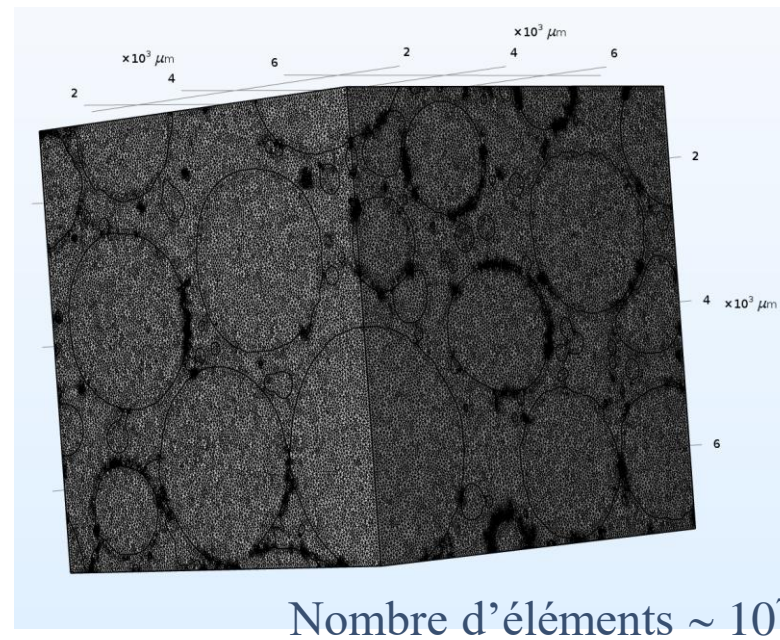
Simulations numériques en 3D

Influence de la morphologie réelle du matériau

$\omega = 0,03\text{kg/kg}$



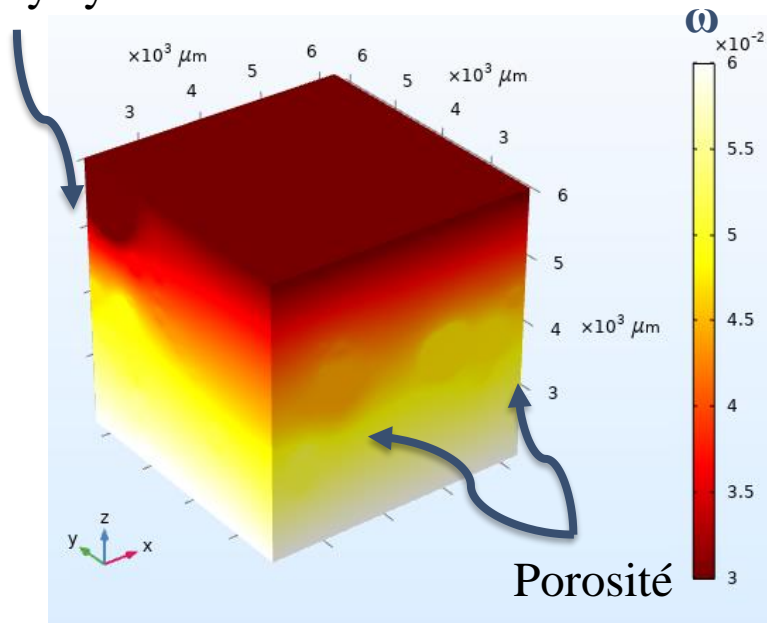
$\omega = 0,06\text{kg/kg}$



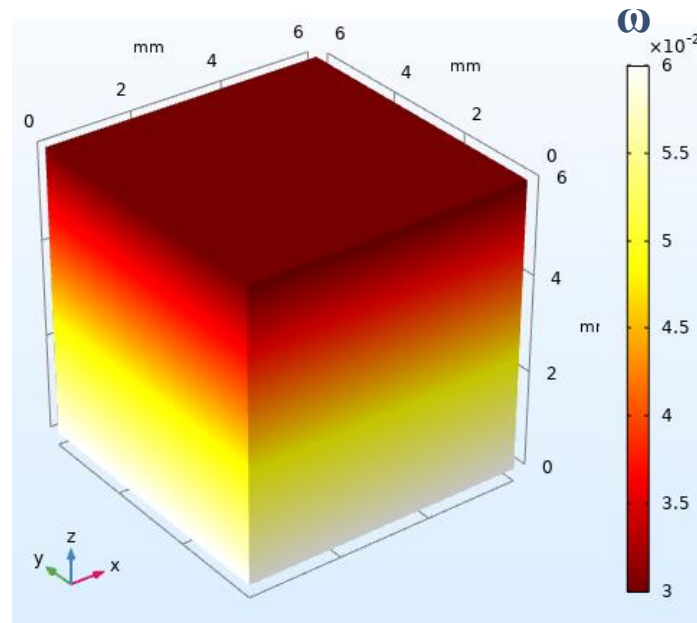
Simulations numériques en 3D

Influence de la morphologie réelle du matériau

Bille de polystyrène



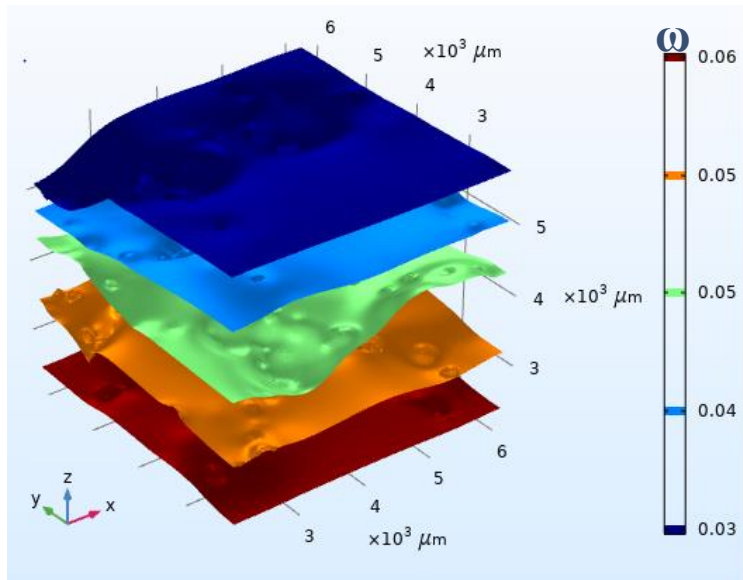
Volume réel



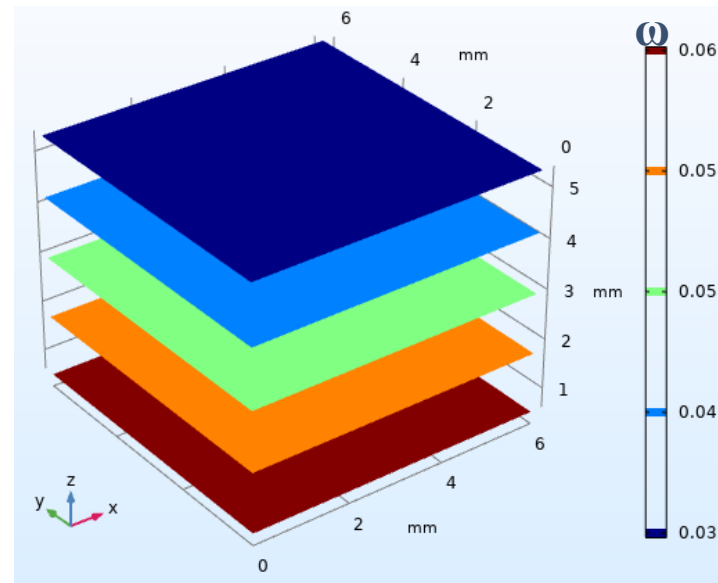
Volume homogène

Simulations numériques en 3D

Influence de la morphologie réelle du matériau



Volume réel

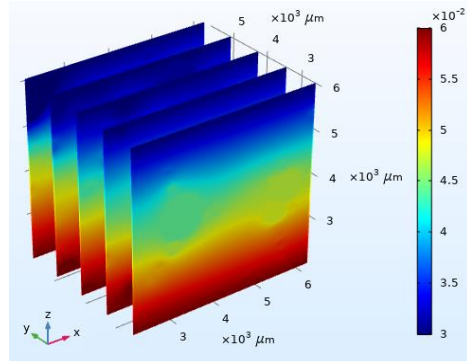


Volume homogène

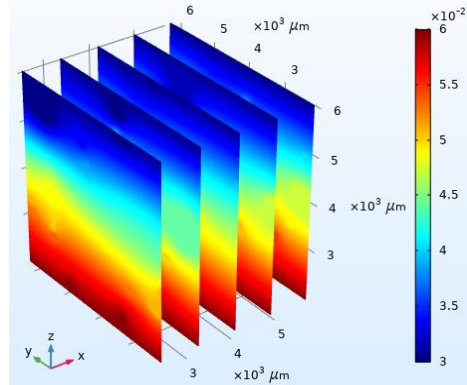
Simulations numériques en 3D

Influence de la morphologie réelle du matériau

Plan xz

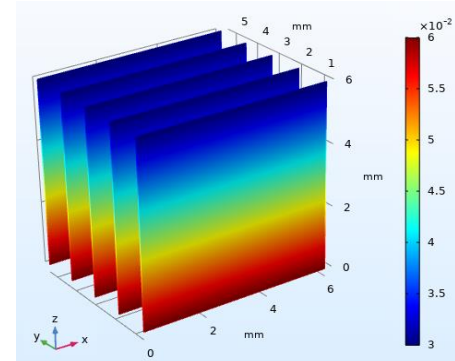


Plan yz

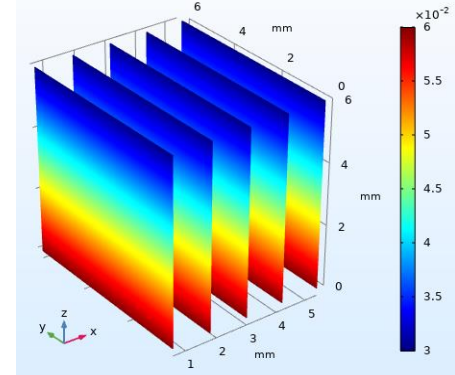


Volume réel

Plan xz



Plan yz



Volume homogène