

# Diffusion massique en régime de non-équilibre local:

### Résumé :

Ce travail propose de modéliser et de caractériser le comportement diffusif de **panneaux de fibres de faible densité (LDF)**. Ces matériaux offrent de **bonnes performances thermiques** et sont prometteurs dans le domaine de **l'isolation**. Cependant de nombreux travaux ont mis en évidence des différences importantes entre les simulations des transferts massiques et les résultats expérimentaux. L'origine de ces différences provient entre autre du fait que le matériau présente une morphologie à **double porosité** (phase gazeuse très diffusible et fibres très peu diffusibles) et de la présence de **relaxation macromoléculaire**. Ces deux phénomènes aboutissent à des situations de **non-équilibre local**. Une nouvelle **formulation macroscopique** permettant de prendre en compte ce non-équilibre est proposée. En parallèle un **nouveau dispositif expérimental** permet de soumettre des échantillons à une perturbation d'humidité relative sur leur face avant puis de collecter l'évolution de l'**humidité relative en face arrière** de l'échantillon ainsi que sa **masse** en fonction du temps. Ce dispositif doit permettre **d'alimenter la nouvelle formulation**. Les premiers résultats sont très prometteurs.

### Problématique du non-équilibre local

Ces matériaux sont constitués d'une **phase gazeuse très connectée** et d'une **phase solide mal connectée**. Les molécules d'eau pénètrent lentement à l'intérieur de la phase solide (phénomène de diffusion d'eau liée) alors que la **vapeur** diffuse rapidement à travers la phase gazeuse (diffusion dans l'air).

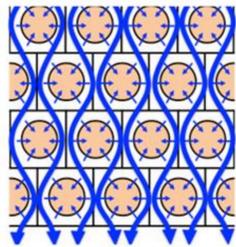


Schéma explicatif des transferts diffusifs pour des matériaux à double échelle de porosité

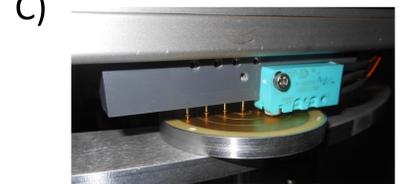
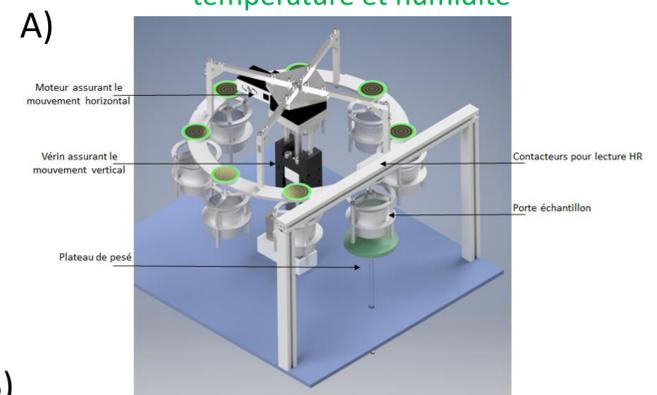
A ceci s'ajoute la **relaxation macromoléculaire** des polymères végétaux qui induit un **retard de l'ordre de la centaine d'heures** à l'équilibre hygroscopique. Cet effet est particulièrement visible aux **hautes humidités relatives**.

Dans le domaine du bâtiment les alternances des cycles jours-nuit conduisent à des situations de **non-équilibre local**.

### Un nouveau dispositif expérimental

Principe : Imposer une perturbation de **l'humidité relative en face avant** de l'échantillon et collecter l'évolution de **l'humidité relative en face arrière** et de **la masse**.

→ Un robot peseur d'échantillon positionné dans une enceinte climatique contrôlée en température et humidité



A) Vue isométrique du dispositif sans l'enceinte  
B) Photo d'un porte-échantillon  
C) Photo du système de transmission/contacteurs

### Formulation macroscopique

Utilisation de **fonctions mémoires** permettant de transférer le comportement de la fibre à l'échelle microscopique vers l'échelle **macroscopique** :

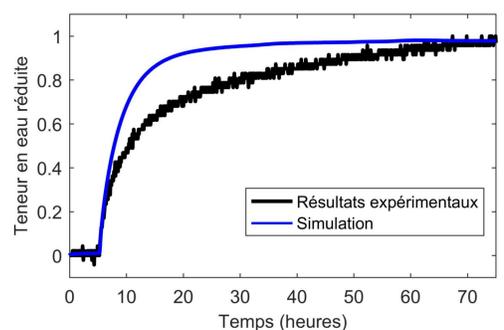
$$X(t) - X_{eq}(HR_{ini}) = \int_0^t \varphi(t - \tau) \frac{\partial X_{eq}}{\partial \tau} d\tau$$

Le produit de convolution permet de reproduire le comportement simple de la fibre (fonction échelon) dans le cas d'une variation temporelle quelconque de l'humidité relative en fonction du temps.

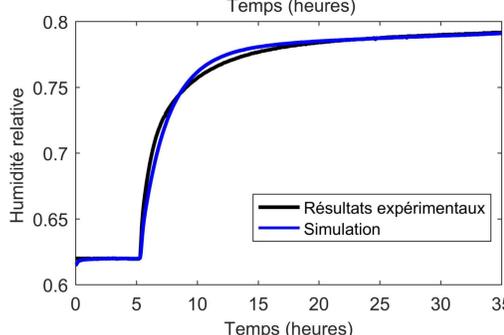
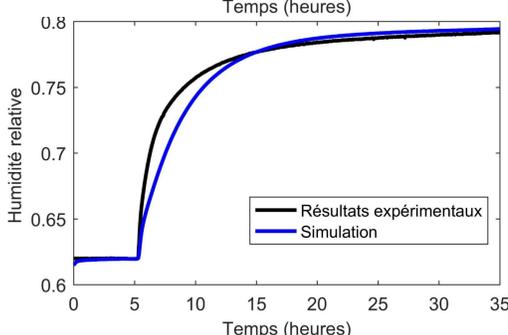
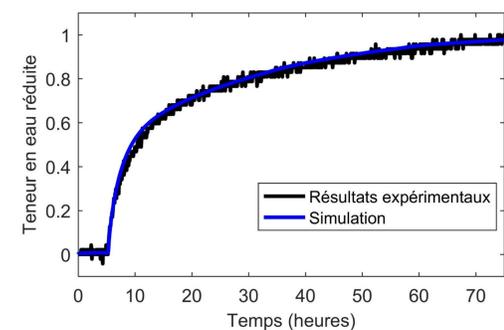
### Comparaison entre les données expérimentales et les simulations

Exemple d'un échantillon de **LDF de 160kg/m<sup>3</sup>** d'une épaisseur de **4 cm** soumis à un saut d'humidité de **62 à 80%** en conditions isothermes à **35°C**

#### Résultats avec la formulation classique



#### Résultats avec la nouvelle formulation et la fonction mémoire identifiée



Permet d'identifier la fonction mémoire

### Conclusion et perspectives

- ✓ Simulations nettement améliorées grâce à la nouvelles formulation,
- ✓ Mise en évidence du **non-équilibre local** sur divers matériaux biosourcés, particulièrement à haute humidité relative,
- ✓ **Identification des fonctions mémoires** pour ces matériaux, avec possibilité de traiter **jusqu'à huit échantillons différents par essai**,
- ✓ Implémentation de la nouvelle formulation possible dans les **codes de thermique du bâtiment**.

Remerciements à : [ la fabrique ]

arnaud.challanonnex@centralesupelec.fr

Implémentée dans le code Transpire