

Master 2 Recherche ECD

Module de méthodes expérimentales

K. ABAHRI - F. BENBOUDJEMA - A. BOURDOT - M. MAAROUFI

EXAMEN

Mardi 16/02/2020

Tous documents autorisés - durée 2h

Il est conseillé de traiter chacun des exercices (indépendants)
Chacun des exercices sera rédigé sur une copie séparée
Donner des réponses concises en les justifiant.

1	<u>CONDUCTIVITE THERMIQUE DES MATERIAUX (M. MAAROUFI)</u>	2
2	<u>ESSAIS DE PERMEATION SUR UN MATERIAU A BASE CIMENTAIRE A L'AIDE D'UN DISPOSITIF CEMBUREAU (M. MAAROUFI)</u>	2
2.1	: QUESTIONS	2
2.2	: APPROCHE DE KLINKENBERG	2
3	<u>DIFFUSION DES CHLORURES (A. BOURDOT)</u>	3
4	<u>CARACTERISATION MICROSTRUCTURALE 3D DE MATERIAUX POREUX STRUCTURES POUR LA THERMIQUE (K. ABAHRI)</u>	5
4.1	CARACTERISATION 2D	5
4.2	CARACTERISATION 3D	6

1 Conductivité thermique des matériaux (M. MAAROUFI)

On peut classer les méthodes de mesure thermiques suivant différents critères explicités sur la **Figure 1**.

Géométrie	Régime thermique	Nbre de capteurs / points de mesure	Type de mesure
demi-espace	permanent	1 point	absolue
cylindre	quasi-établie	2 points	différentielle
sphère	variable	n points	

Figure 1 : Critères permettant de distinguer les classes de méthodes dédiées à la caractérisation thermique [Gauthier, 2013].

- 1.1. Expliquer le principe de la méthode du fil chaud (utilisée en travaux pratiques cette année) en vous appuyant sur la réalisation d'un schéma de principe de la méthode.
- 1.2. Sous quel régime thermique, défini dans la **Figure 1**, fonctionne la mesure de conductivité thermique par la méthode du fil chaud ? Justifier votre réponse vis à vis du fonctionnement de cette méthode.
- 1.3. Quels sont les paramètres qui influencent la mesure de conductivité thermique ?
- 1.4. Quelle est l'influence de la puissance de source sur la mesure de conductivité thermique d'un échantillon ?

2 Essais de perméation sur un matériau à base cimentaire à l'aide d'un dispositif CEMBUREAU (M. MAAROUFI)

2.1 : Questions

- 2.1.1. Qu'est-ce que la perméabilité ? Quel est l'intérêt de la mesurer en génie civil ?
- 2.1.2. Quels sont les paramètres qui influencent la perméabilité ?
- 2.1.3. Quel est l'intérêt d'appliquer une surpression de confinement pendant la mesure de la perméabilité ?
- 2.1.4. Quelles sont les hypothèses considérées en TP pour la mesure de perméabilité ?

2.2 : Approche de Klinkenberg

En 1941, Klinkenberg publie un article permettant de déterminer la perméabilité intrinsèque k_{int} [m^2] d'un matériau dont la dimension moyenne des pores est du même ordre de grandeur que le libre parcours moyen du gaz dans les conditions de pression de l'essai. Dans ce cas, l'hypothèse d'adhérence aux parois n'est plus valable. Il démontre alors analytiquement qu'en prenant une vitesse non nulle sur la paroi d'un pore assimilé à un cylindre de section constante, le débit s'écoulant dans ce pore est augmenté d'un facteur $(1+b/p_m)$. En assimilant le milieu poreux d'étude à un ensemble de capillaires parallèles au sens d'écoulement, il étend sa formule à la définition de la perméabilité d'un matériau poreux :

$$k_{app} = k_{int} (1 + b/p_m) \quad (2)$$

Où p_m [Pa] est la pression moyenne de l'essai ; k_{int} [m^2] est la perméabilité intrinsèque et b [Pa] est une constante empirique.

2.2.1. À partir de la figure 2 présentée ci-dessous, donner la valeur de la perméabilité intrinsèque k_{int} [m^2] d'après l'équation de la régression linéaire présentée sur le graphique en expliquant ce que caractérise ce paramètre.

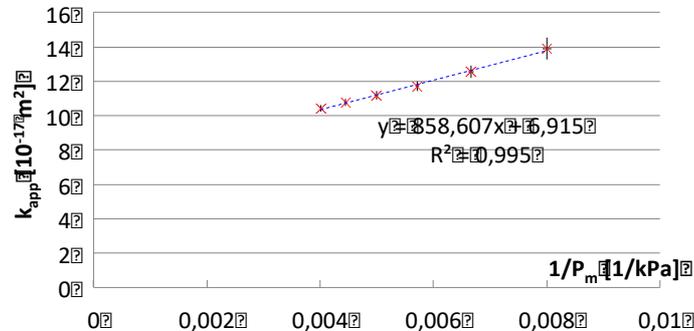


Figure. 2. Évolution de la perméabilité apparente en fonction de l'inverse de la pression moyenne

2.2.2. Toujours à partir de la figure 2, donner la valeur du coefficient b . Quelle serait son évolution suivant que la porosité d'un matériau est plus ou moins fine ?

3 Diffusion des chlorures (A. BOURDOT)

L'eau de mer présente des chlorures. Le processus de transport est la diffusion régie par la loi de Fick.

3.1. Nous nous plaçons dans la porosité du béton et considérons dans cette partie la diffusion des chlorures dans le liquide interstitiel. On suppose qu'il n'y a pas d'interaction entre les chlorures et la matrice cimentaire. Le flux d'ions J traversant une surface unité de solution interstitielle est donné par la première loi de Fick. En écrivant la conservation de la masse d'ions sur un volume élémentaire, montrez que l'on obtient la seconde loi de Fick (en uniaxial).

3.2. Nous avons vu en cours et en TP une méthode pour étudier la durabilité de matériaux cimentaires.

- Expliquer l'essai de diffusion étudié.
- Après l'essai de diffusion expliquer comment on obtient le front de pénétration ? Quelle solution applique-t-on sur l'échantillon ? Que se passe-t-il dans ce cas ?

3.3. Deux compositions de pâtes de ciment ayant un même rapport E/L (0,47) ont été testées : 1) CEM I, 2) CEM I + Laitier de haut-fourneau. Des essais de migration ont été réalisés sur les deux ciments. L'essai a duré 6h avec une différence de potentiel de 10V, à 20°C. La section de migration et l'épaisseur des chantillons sont respectivement de 10cm et 3cm.

- Calculez la profondeur de pénétration des ciments 1 et 2 à partir du tableau 1. Analyser vos résultats
- Déterminez le coefficient de diffusion des chlorures D_a à l'aide de l'équation de Nernst-Einstein ci-dessous. Concluez sur la résistance de ces matériaux vis-à-vis de la pénétration des ions chlorures.

$$D_a = \frac{R \cdot T \cdot L}{Z \cdot F \cdot \Delta E} \cdot \frac{(X_d - \alpha \cdot \sqrt{X_d})}{\Delta t} \quad \text{avec} \quad \alpha = 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T \cdot L}{Z \cdot F \cdot \Delta E}}$$

Avec X_d est le front de pénétration des chlorures (m), Δt la durée de l'essai (s), R la constante des gaz parfaits (8.314 J/mol.K), T la température (K), L l'épaisseur de l'éprouvette (m), Z la valence des ions de chlorures (1), F la constante de Faraday (96500 J/V mol), ΔE la différence de potentiel (V) and ξ une constante dépendant de la concentration en chlorures (0.764).

c) Que représente le coefficient de diffusion apparent?

Tableau 1 : Mesure de la profondeur de pénétration des ciments 1 et 2

N° mesure	Echantillon 1 (m)	Echantillon 2 (m)
1	0,0138	0,0024
2	0,0123	0,0019
3	0,0126	0,0025
4	0,0161	0,0027
5	0,0160	0,0021
6	0,0155	0,0025
7	0,0150	0,0024
8	0,0144	0,0025
9	0,0132	0,0024
10	0,0127	0,0023

3.4. D'après les résultats obtenus en question 3.5. et à partir des résultats d'essais réalisés sur des bétons présentés en Figure 3 que vous pourrez décrire, discutez de l'effet du rapport E/C et de l'utilisation de laitier de haut fourneau sur la pénétration des ions chlorures.

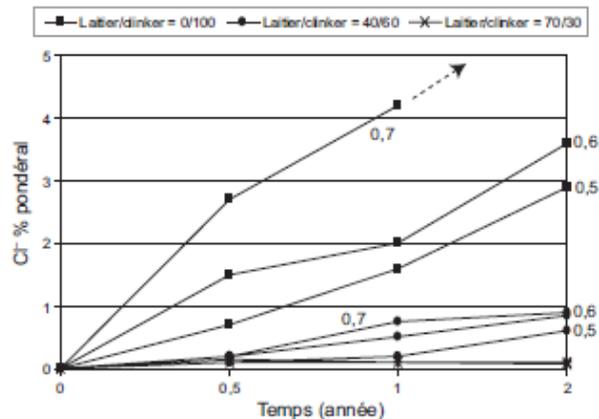


Figure 3 : Pénétration des chlorures dans des bétons en fonction de la teneur en laitier du ciment et du rapport E/C, d'après Smolczyk [SMO 80].

3.5. Comment expliquer l'effet du rapport E/C et des laitiers sur le coefficient de diffusion des bétons ? Développez.

4 Caractérisation microstructurale 3D de matériaux poreux structurés pour la thermique (K. ABAHRI)

4.1 Caractérisation 2D :

Le béton de chanvre est un matériau qui devient de plus en plus utilisé dans le domaine de la construction en raison de ses particules végétales renouvelable et non dégradables avec le temps. Il est principalement utilisé comme matériau de remplissage dans la construction d'enveloppes de bâtiment. Le béton de chanvre est un matériau hétérogène constitué de la chènevotte et du liant. Ces deux derniers présentent des comportements différents vis-à-vis des variations des conditions environnementales, susceptibles de causer des changements dimensionnels considérables au contact de l'humidité relative de l'air, notamment la fibre végétale qui est un matériau hygroscopique très sensible aux variations d'humidité relative.

Les propriétés macroscopiques de ce matériau dépendent directement de sa morphologie.

4.1.1. Expliquer en quelques mots pourquoi le comportement macroscopique du béton de chanvre dépend fortement de sa morphologie et de sa microstructure.

Dans un premier temps, l'analyse microstructurale 2D a été réalisée sur un échantillon de béton de chanvre, en utilisant le microscope optique Keyence. Le volume des granulats végétaux utilisés pour la confection du béton de chanvre étudié qui est de 55.6%.

L'observation microscopique réalisée est indiquée sur la figure 4.

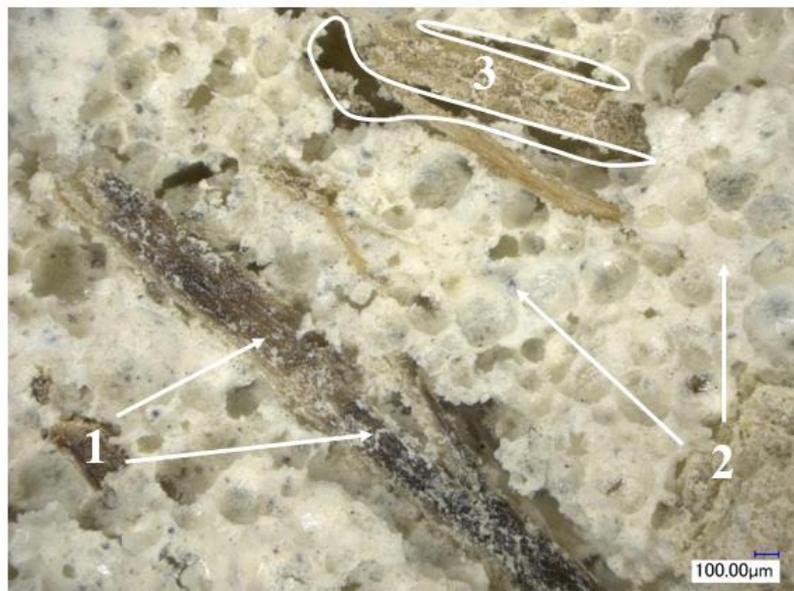


Figure 4 : Observation du béton de chanvre obtenue par microscope Keyence

4.1.2. Identifier les phases 1, 2 et 3 indiquées sur la figure 4.

4.1.3. Que peut-on dire sur la porosité de ce matériau.

4.1.4. Citer les propriétés physiques qui peuvent être déterminées de manière qualitative et quantitative pour l'étude microstructurale 2D du béton de chanvre.

4.2 Caractérisation 3D :

Afin d'étudier la microstructure réelle 3D du béton de chanvre, des scans tomographiques aux rayons X ont été réalisés sur un volume de $40*45*50 \text{ mm}^3$. La taille physique du voxel est de $31.8 \mu\text{m}$. Cette résolution a été choisie pour pouvoir observer la macroporosité. Le VER étudié pour dans ce cas est de $15.9*159*15.9 \text{ mm}^3$.

La distribution du dosage en chènevotte et en liant dans les trois directions (x, y, z) et présentée sur la figure 5.

4.2.1. Après analyse de la figure 5, comparez les différents dosage (proportions volumiques) des deux phases, liant et chènevotte. Commenter.

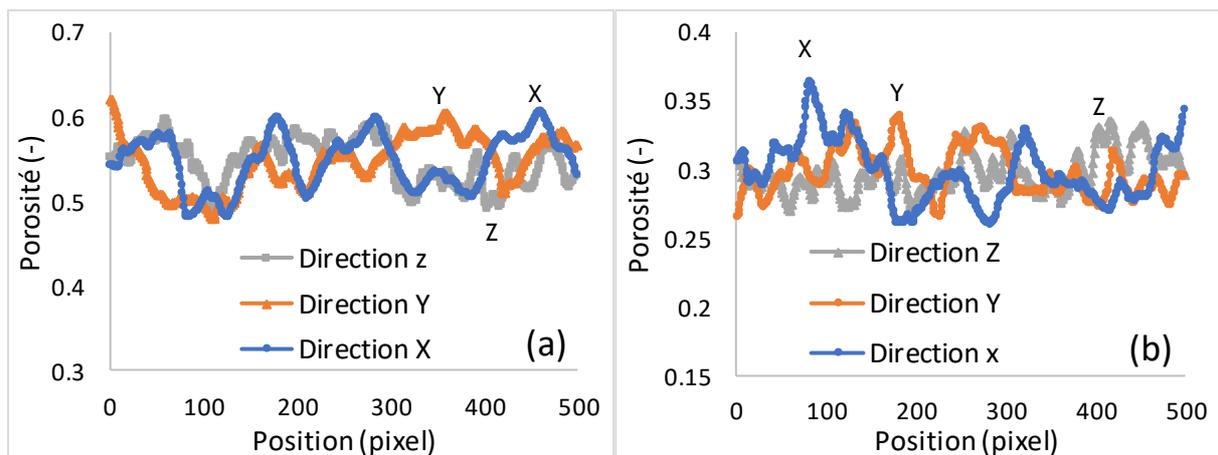


Figure 5 : Distribution du dosage (a) en chènevotte, (b) en liant dans les 3 directions

La distribution de la porosité à cette échelle dans les trois directions est aussi présentée dans ce cas dans la figure 6.

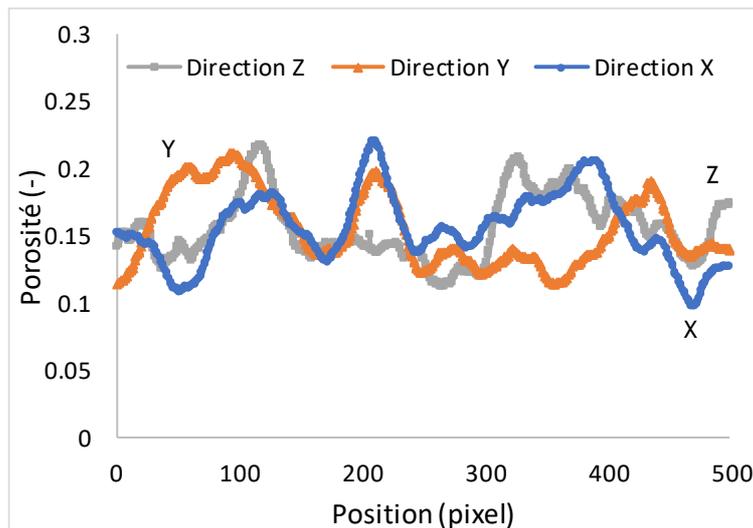


Figure 6 : Distribution du volume d'air dans le béton de chanvre dans les 3 directions (x, y, z)

4.2.2. Interpréter le résultat de la figure 6.

4.2.3. Si l'échantillon du béton de chanvre est humidifié à 89% d'humidité relative, est-ce la distribution de porosité obtenue sur la figure 6 sera la même. Argumentez votre réponse.