

---

# L'effet du laitier de haut fourneau sur la porosité du mortier

W.DEBOUCHA<sup>1</sup>, N.LEKLOU<sup>1</sup>, A.KHELIDJ<sup>1</sup>, A.PERTUE<sup>1</sup>, M.N.OUDJIT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Nantes - IUT Saint-Nazaire, GeM, CNRS UMR 6183, Institut de recherche en Génie civil et Mécanique, France, [valid.deboucha@univ-nantes.fr](mailto:valid.deboucha@univ-nantes.fr), [nordine.leklou@univ-nantes.fr](mailto:nordine.leklou@univ-nantes.fr), [adelhafid.khelidj@univ-nantes.fr](mailto:adelhafid.khelidj@univ-nantes.fr), [arnaud.pertue@univ-nantes.fr](mailto:arnaud.pertue@univ-nantes.fr).

<sup>2</sup> Laboratoire Bâti dans l'Environnement « LBE », Faculté de Génie Civil, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Alger, Algérie, [mohnadoud@yahoo.fr](mailto:mohnadoud@yahoo.fr)

---

*RESUME.* La réduction de la pollution de l'environnement est devenue aujourd'hui un aspect important qui doit être pris en considération lors de la fabrication de béton. Par conséquent, l'utilisation des ajouts minéraux permettra d'obtenir l'aspect économique et écologique souhaité. L'objectif de cette étude est d'analyser l'évolution de la porosité totale et capillaire d'un mortier en substituant 20%, 30%, et 40% de ciment par du laitier de haut fourneau. Les résultats obtenus ont montré que la porosité totale avec ajout de laitier est plus ou moins similaire à celle du mortier sans ajout, alors que l'absorption capillaire est limitée dans le cas du mortier avec ajout de laitier.

*Abstract.* Reducing environmental pollution is becoming an important aspect that must be taken into account when making concrete. The use of mineral additives as cement replacement should achieve the desired economic and ecological aspect. Based on an ongoing experimental program, this research emphasizes on the effect of substituting cement with Blast furnace slag up to 40 % on total and capillary porosity of mortar. The results show that, as the level of blast furnace slag increased, the resulting total porosity increased slightly. While, capillary porosity decreased.

*Mots clés :* Mortier, laitier de haut fourneau, porosité totale, porosité capillaire.

*Key words:* Mortar, blast furnace slag, total porosity, capillary porosity.

---

## 1. Introduction

La porosité d'un matériau cimentaire (microstructure de la pâte de ciment) est un paramètre de premier ordre dans la durabilité du béton. Elle est habituellement utilisée pour évaluer et prédire la durabilité du béton, et représente la part de vide contenu dans le matériau à l'état durci. La porosité varie selon différents facteurs comme : le rapport E/C, la compacité du mortier à l'état frais, le volume pâte/granulats, la porosité des granulats, la présence de superplastifiant [CHE 2013], et également la porosité peut être affectée par l'inclusion d'une addition minérale.

Le but de ce travail est d'étudier l'effet du laitier de haut fourneau (BFS) en substitution du ciment sur la porosité totale et capillaire du mortier.

## 2. Matériaux et méthodes

### 2.1 Matériaux

Les différents mortiers ont été confectionnés avec un ciment CEM-I 42.5 N conforme aux exigences spécifiées dans la norme NF EN 197-1 avec une finesse de 367 m<sup>2</sup>/kg. Le laitier de haut fourneau utilisé dans ce travail a été fourni par le centre sidérurgique d'El-Hadjar (Annaba, EST Algérien), avec une surface spécifique Blaine de 500 m<sup>2</sup>/kg. Les compositions chimiques du ciment et du laitier de haut fourneau utilisés sont données dans les tableaux 1.

Les mortiers sont confectionnés avec un sable normalisé. Ce sable naturel siliceux, à grains arrondis, d'une teneur en silice au moins égale à 98 %. Il a une masse volumique réelle égale à 2.64g/cm<sup>3</sup>.

**Tableau 1.** Composition chimique du ciment et du filler calcaire utilisés.

Constituants	Ciment (%)	Laitier de haut fourneau (%)
SiO <sub>2</sub>	21.57	40.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.37	07.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.27	02.28
CaO	64.31	42.69
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.04
K <sub>2</sub> O	0.38	0.74
MgO	/	5.19
So <sub>3</sub>	1.62	01.24
P.F	0.98	0.98

### 2.2 Confection des mortiers

Afin d'étudier l'efficacité du taux de remplacement du laitier de haut fourneau, quatre mélanges ont été confectionnés ayant un rapport E/L constant de 0.5. Le mortier témoin contenant 100% ciment, tandis que les mélanges restant ont été préparés avec des dosages de 10, 20 et 40% d'addition de laitier de haut fourneau. Les dosages des constituants sont portés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Formulations des mortiers.

Mortier	E/L	Liant (%)	
		Ciment	Laitier de haut fourneau(BFS)
MR	0.50	100	0
M20BFS	0.50	80	20
M30BFS	0.50	70	30
M40BFS	0.50	60	40

### 2.3 Procédures d'essais

Les mortiers ont été préparés et coulés dans des moules prismatiques (4 x 4 x 16cm). Les éprouvettes ont été stockées dans une salle de conservation à température et hygrométrie contrôlées (T = 20°C ±2°C, HR = 99%±5°C) jusqu'au jour de mesure.

#### 2.3.1 Porosité totale

La mesure de la porosité accessible à l'eau par a été effectuée par pesée hydrostatique et déterminée selon le mode opératoire décrit dans AFREM AFPC [OLL 1997].

#### 2.3.2 Absorption capillaire

L'essai d'absorption d'eau par capillarité nous permet de mesurer l'eau absorbée dans les pores du mortier. Selon la norme NF EN 13-057. Les essais ont porté sur deux demi prismes de mortier suivant la direction verticale. Le pré-conditionnement adopté consiste à sécher les échantillons par étuvage à 105°C jusqu'à stabilisation de leur masse.

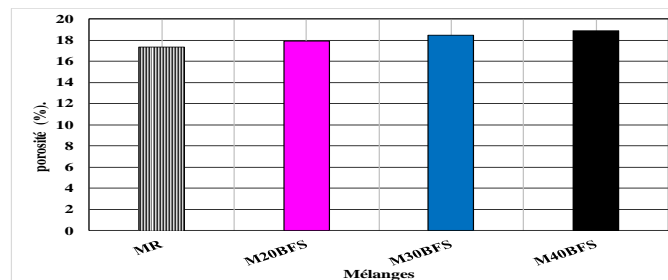
### 2.3.3 Porosimétrie par intrusion de mercure

La porosimétrie par intrusion de mercure est utilisée pour la détermination de la taille des pores, leur distribution et le volume poreux en fonction des seuils d'accès aux pores  $r_n$ . Il consiste à faire pénétrer un liquide non mouillant (mercure) dans les pores ouverts sous une pression appliquée. A l'institut de recherche en génie civil et mécanique (GeM), les essais ont été réalisés à l'aide d'un porosimètre Micromeritics Autopore 9500 series IV avec une pression maximum de 206 MPa, qui permet la mesure des rayons de pores entre 0,006µm et 360 µm.

## 3. Résultats

### 3.1 Porosité totale

La figure 1 qui présente l'évolution de la porosité totale (ouverte) obtenue par porosimétrie à l'eau pour les mortiers contenant le BFS montre que, la substitution du ciment par le laitier tend à augmenter la porosité accessible à l'eau. En effet, la substitution du ciment par 40% de BFS et pour l'échéance de mesure à 28 jours, augmente l'absorption totale de 8% par rapport au mortier de référence.

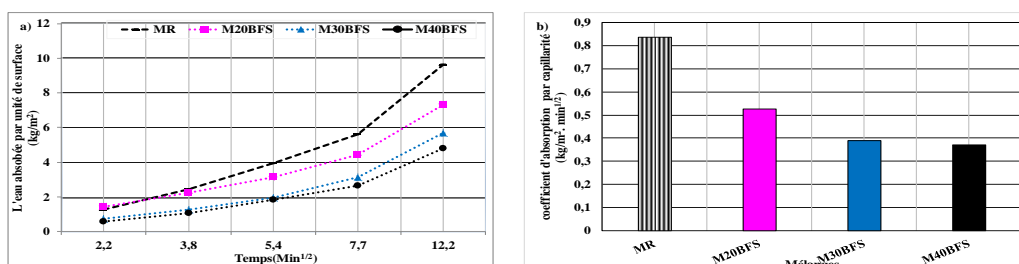


**Figure 1.** Porosité totale des mortiers fabriqués avec le BFS à l'âge de 28 jours.

Excepté le cas de mortier de référence, on note que la porosité totale augmente avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par le BFS. Les valeurs de la porosité accessible à l'eau sont 17.8%, 18.5% et 18.8% pour M20BFS, M30BFS et M40BFS, respectivement. Le plus grand taux de substitution du ciment par le BFS est de 40%, la valeur de la porosité accessible à l'eau passe de 17.3% à 18.8% (soit une augmentation de 8%), ceci indique que l'incorporation du laitier avec un taux jusqu'à 40% modifie légèrement la porosité totale du mortier. En effet, Bur[BUR 2012] a étudié l'influence de la proportion de laitier sur la porosité totale, Il a montré que la substitution du ciment par 45% ou 60% de BFS donne une porosité similaire à celle du mortier de référence.

### 3.2 Absorption capillaire

Les résultats de la quantité d'eau absorbée par unité de surface et le coefficient d'absorption des mortiers fabriqués avec le BFS à l'âge de 28 j sont illustrés dans la figure 2. On peut voir que l'absorption capillaire du mortier de référence (MR) est supérieure à celles des mortiers fabriqués avec le BFS. La substitution du ciment par le BFS a un effet significatif sur l'absorption capillaire. Lorsque le taux de substitution augmente, l'absorption capillaire diminue. Cette diminution est plus prononcée pour le mélange contenant 40% de BFS. En effet, la quantité d'eau absorbée par unité de surface du MR à 150 min est de 9,6 kg/m<sup>2</sup> contre 4.8 kg/m<sup>2</sup> pour le mortier contenant 40% de BFS.



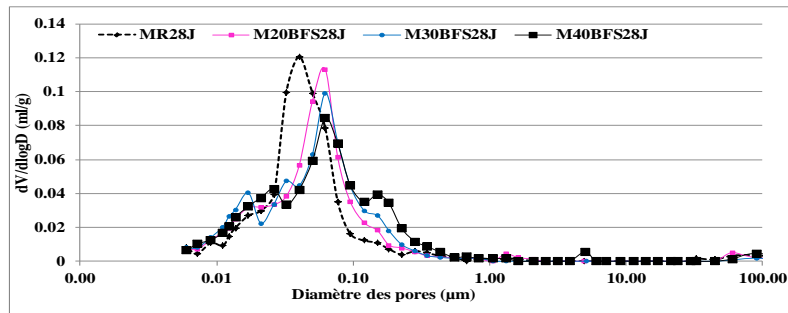
**Figure 2.** Quantité d'eau absorbée et Coefficient d'absorption des mortiers fabriqués avec le BFS.

Comme représenté dans la figure 2.b, Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité diminue également lorsque le taux de substitution augmente, i.e., le coefficient d'absorption du MR est de 0.83 kg/m<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup> contre

0.37 kg/m<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup> pour le mortier contenant 40% de BFS(M40BFS). Ces résultats sont en accord avec ceux de Hadj-sadok et al.[HAD 2011]. En effet, Hadj-sadok et al. [HAD 2011] ont constaté que la substitution du ciment par 30% et 50% de BFS diminue la valeur du coefficient d'absorption de 16% et 32% par rapport au mélange du mortier de référence. Cet effet a été prouvé par les travaux de Jiang et al. [JIA 1989], où il a été montré que la diminution d'absorption capillaire est due directement à la distribution et aux dimensions des pores capillaires. Ces derniers peuvent être affectés par la présence de laitier qui produit plus de C-S-H.

### 3.3 Porosimétrie par intrusion de mercure

La distribution porale des mortiers fabriqués avec BFS à l'âge de 28 jours est représentée dans la figure 3. Une première observation peut être tirée à partir de cette figure, le mode principal des pores (rayon critique) le plus petit a été observé au mélange de référence. La substitution du ciment par le BFS décale très légèrement le mode principal de pores vers le plus grand diamètre. Le rayon critique du mortier de référence est de 0.04μm alors que le diamètre des pores dominants du mortier fabriqué avec 40% de BFS est de 0.06μm.



**Figure 3.** Distribution porale des mortiers fabriqués avec le BFS à l'âge de 28 jours.

On note également que la quantité des pores ayant un diamètre dominant (rayon critique) pour le mortier de référence est légèrement supérieure à celles des mortiers fabriqués avec le BFS.

Indépendamment du cas du mélange de référence, les modes principaux des pores des mortiers contenant le BFS sont assez similaires. Cependant, la quantité de pores diminue lorsque le taux de substitution du ciment par le BFS augmente. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Pandey et al. [PAN 2000]. En effet, Pandey et al. [PAN 2000] ont montré que la substitution du ciment par le laitier de haut fourneau diminue le volume de pores. Cependant, le rayon critique augmente.

## 4. Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer l'effet du laitier de haut fourneau sur la porosité totale et la porosité capillaire. Les résultats montrent que le mortier fabriqué avec le laitier de haut fourneau a une porosité totale légèrement plus importante que celle du mortier de référence mais possède un degré d'interconnexion beaucoup plus faible et qui se traduit par une diminution de la porosité capillaire.

## 5. Références

- [BUR 2012] BUR N., Etudes des caractéristiques physico-chimiques de nouveaux bétons éco- respectueux pour leur résistance à l'environnement dans le cadre du développement durable. Thèse de doctorat, université de Strasbourg, 2012.
- [CHE 2013] CHEN W., Etude expérimentale de la perméabilité du béton sous conditions thermiques et hydriques variables, thèse de doctorat, école centrale de Lille, 2013.
- [HAD 2011] HADJ-SADOK A., KENAI S., COURARD L., DARIMONT A., << Microstructure and durability of mortars modified with medium active blast furnace slag >>, Construction and Building Materials, vol.25, 2011, p.1018–1025.
- [JIA 1989] JIANG S.P. and GRANDET J., <<Evolution comparée des porosités des mortiers de ciment au laitier et des mortiers de ciment Portland >>, Cement and Concrete Research, vol.19, 1989, p.487-495.
- [OLL 1997] OLLIVIER J.P., AFREM AFPC, Les résultats des essais croisés AFREM pour la détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau des bétons, Compte rendu des journées techniques AFPC-AFREM, Durabilité des bétons, Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, p.59-64, 1997, Toulouse.
- [PAN 2000] PANDEY S.P., SHARMA R.L., <<The influence of mineral additives on the strength and porosity of OPC mortar >>, Cement and Concrete Research, vol. 30, 2000, p.19–23.