

ETUDE DES PROPRIÉTÉS D'UN BÉTON À BASE DE GRANULATS DE LAITIER D'EL-HADJAR

L. Zeghichi¹, B. Mezghiche², A. Merzougui³, S. Chabi⁴

¹ Maître assistant - Université de Msila, Algérie, email : zeghichi2004@yahoo.fr, ² Maître de conférence - Université de Biskra, ³ Ingénieur chercheur,

⁴ Maître assistant - Université de Msila, Algérie.

RÉSUMÉ

L'utilisation du laitier cristallisé concassé comme granulats pour la réalisation des bétons est connue depuis fort longtemps, vu ses caractéristiques physiques et mécaniques importantes. La présente étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation du laitier du haut fourneau d'El-hadjar tout en visant :

- La détermination des caractéristiques du laitier cristallisé d'El-hadjar.

- La possibilité d'utiliser le laitier cristallisé et concassé en guise de granulat pour fabriquer des bétons identiques (ou meilleurs) aux bétons ordinaires (à base de granulats naturels). Les essais effectués sont : essais de perméabilité, porosité, absorption, compression et traction par fendage. Les résultats obtenus montrent une faible perméabilité, une faible porosité, des résistances à la compression et à la traction élevées du béton à base des granulats de laitier par rapport au béton ordinaire.

Mots Clés

Laitier cristallisé - Propriétés physiques - Propriétés mécaniques - Perméabilité - Porosité - Résistance.

1. Introduction

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction le plus utilisé au monde, offrant des réponses de très haute technicité adaptées à tous les secteurs de la construction et des travaux publics, composé essentiellement de sable et des graviers, liés par un liant hydraté.

Les granulats qui constitueront un squelette représentent 75% du volume du béton, conditionnant à la fois ses caractéristiques et son coût.

En général, les sables et les graviers naturels alluvionnaires obtenus par criblage, ou parfois par concassage sont satisfaisants, de même les roches éruptives ou sédimentaires concassées. ref [2].

Le recours à des granulats artificiels, tel que le laitier cristallisé et concassé permet d'élargir la gamme des matériaux de construction, afin de ne pas épuiser les sources naturelles, et de valoriser les laitiers qui s'entassent au sein du haut fourneau d'El-Hadjar sans considérables applications.

Le choix des granulats est indispensable, leurs qualité revêt une grande importance, non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais, selon leur propriétés, ils affecteront la durabilité et les performances structurales du béton (ils ne sont pas réellement inertes), ref [6].

Le laitier de haut fourneau cristallisé par refroidissement lent puis concassé est un granulat artificiel connu et utilisé depuis longtemps. Il se présente sous la forme d'une roche grisâtre microporeuse, après concassage et criblage, il constitue un granulat normalisé, classé suivant les mêmes classes granulaires que les granulats traditionnels.

Pour les bétons courants il constitue un excellent granulat du fait de ses caractéristiques physiques (absence des impuretés, forte adhérence au liant) ce qui donne des bétons très résistants au gel, isolants et imperméables, ainsi que sa micro porosité lui donne d'intéressantes propriétés (rugosité de surface, pouvoir élevé d'isolation). Réf [3]

2. Origine et fabrication du laitier cristallisé

Le laitier du haut fourneau est une scorie élaborée dans les hauts fourneaux au cours de la fabrication de la fonte, c'est un matériau non ferreux, composé de silicates et aluminates de chaux et d'autres bases. Le laitier surnage à l'état liquide à une

température de 1400°C à 1800°C ; on le fait couler dans les poches de 1 à 2 m³, qu'on déverse dans des fosses de 200 à 300 m de long sur 10 à 12 m de longueur et profondes de 4 m. On laisse refroidir lentement à l'air, on obtient une masse plus ou moins fissurée, véritable roche silico-calcaire analogue au basalte. Ref [7]

3. Procédures expérimentales

Dans ce paragraphe, on présente les matériaux d'étude, la méthode de la formulation du béton, ainsi que les tests effectués.

3.1. Matériaux utilisés

Le ciment : c'est un CPJ CEM II/A 42,5 provenant de la cimenterie de la région de M'sila.

Le sable : c'est un sable de dune provenant de Boussaâda (Région de M'sila).

Pierres concassées : se sont des roches silico-calcaires concassées, provenant de la région de M'sila, présentant les fractions suivantes : 3/8, 8/16 et 16/25.

Le laitier cristallisé : obtenu à partir d'un refroidissement lent à l'air du laitier fondu du haut fourneau d'El Hadjar (Annaba) concassé et criblé afin d'obtenir les mêmes fractions que la pierre naturelle concassée (3/8, 8/16 et 16/25).

L'eau : l'eau de gâchage est de l'eau potable.

Les compositions chimiques des différents composants sont représentées au tableau 1.

Tableau-1 Composition chimiques des composants du béton.

Composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
CPJ	20.70	4.75	3.75	62.92	1.53	1.98	0.39	0.09
Sable	89.67	0.90	0.91	5.96	0.20	0.05	0.30	0.01
Pierre concassée	40.65	8.87	3.25	40.56	3.65	0.79	0.65	0.01
Laitier cristallisé	41.26	8.98	2.98	40.89	3.40	0.59	0.60	0.01

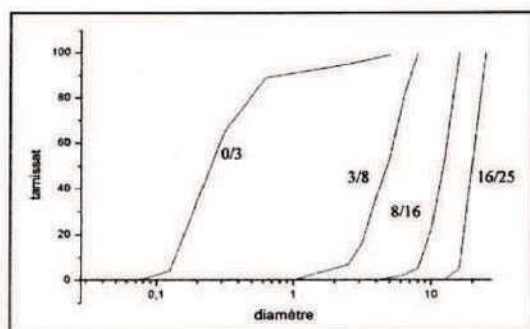
Les caractéristiques physiques et mécaniques des composants sont représentées au tableau 2.

Tableau-2 caractéristiques des granulats

Granulats	Sable	Pierres concassées			Laitier cristallisé		
Classe granulaire	0/3	3/8	8/16	16/25	3/8	8/16	16/25
Propriétés physiques							
Masse volumique absolue Kg/m ³	2.54	2.54	2.56	2.60	2.55	2.50	2.50
Masse volumique rh apparente Kg/m ³	1.54	1.34	1.37	1.39	1.27	1.15	1.17
w Porosité %	39.37	46.96	46.48	46.50	50.20	46.00	46.80
Coefficient d'absorption	2.30	0.20	0.50	0.50	1.50	1.38	1.38
Equivalent de Sable	75	-	-	-	-	-	-
Los Angeles %	-	-	-	22.87	-	-	28.55

Les granulats (naturels - laitier cristallisé) présentant les mêmes courbes granulométriques qui sont représentées à la Fig. 1.

Figure-1 courbes granulométriques du sable et pierres concassées.



3.2. Formulation du béton

La méthode utilisée pour la formulation du béton étudié est celle de Dreux-Gorisse modifiée, ref[2].

Les proportions des différents constituants sont présentées au tableau 3 :

Tableau-3 quantité des constituants des bétons.

Constituants	Béton à granulats naturels [BGN] Kg/m ³	Béton à granulats du laitier cristallisé [BGL] Kg/m ³
Ciment	355	355
Sable	590	590
Granulats 3/8	174	175
Granulats 8/16	332	325
Granulats 16/25	657	632
Eau	188	188
Masse volumique théorique	2300 Kg/m ³	2265 Kg/m ³

3.3. Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes utilisées dans cette étude sont de différentes géométries, elles ont été moulées selon le test effectué.

Éprouvettes cubiques de 10 x 10 x 10 cm confectionnées pour effectuer les essais de porosité, et de compression.

Éprouvettes cylindriques 16 x 32cm confectionnées pour effectuer les essais de : traction par fendage et de perméabilité.

Les éprouvettes sont conservées dans deux milieux : sec (au laboratoire) et humide (dans l'eau à 20°C), d'autres éprouvettes ont subi une accélération de durcissement par étuvage (à 60°C et une humidité de 95%).

4. Résultats et discussions

4.1. Perméabilité du béton à l'eau

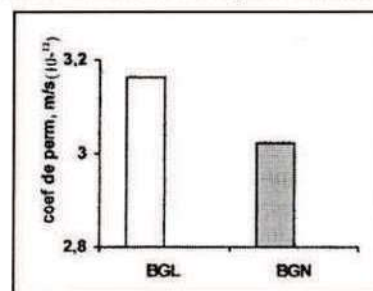
Généralement, la perméabilité de la pâte durcie exerce la plus grande influence sur la perméabilité de béton.

Les granulats peuvent contenir des pores, mais habituellement ceux-ci ne sont pas interconnectés, de plus les granulats sont enrobés par la pâte de ciment de sorte que les pores des granulats ne participent pas à la perméabilité du béton ref.[6].

Ce qui explique les résultats obtenus.

La perméabilité est estimée par le calcul du coefficient de perméabilité à partir de la loi de Darcy. La perméabilité du béton confectionné à partir de granulats naturels est presque du même ordre que celle d'un béton à base des granulats du laitier cristallisé ce qui est représenté à la Fig 2.

Figure-2 Perméabilité des bétons après 5 mois de durcissement.



La faible perméabilité du béton à base des granulats de laitier est due à la qualité élevée de l'interface pâte-granulats ce qui empêche l'écoulement autour des granulats.

4.2. Porosité du béton

Le béton est constitué par différents granulats fins et gros et de ciment avec des proportions par masse et un rapport eau / ciment par masse.

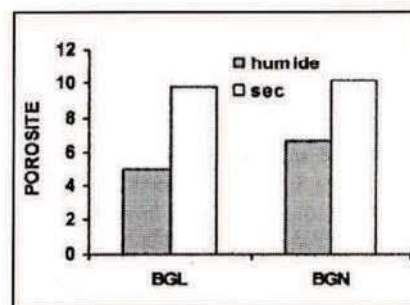
Le volume total des pores est la somme des porosités des gros granulats, du sable, de la pâte de ciment ainsi que le volume d'air entraîné dans le béton. Ref. [5]

Plusieurs méthodes sont utilisées pour estimer la porosité : l'intrusion du mercure, où par la méthode de déplacement (le méthanol ou l'hélium)...

La méthode utilisée dans ce test est celle établie par ASTM désignation C642 (standard test methods specific gravity, absorption and voids in hardened concrete). Ref[1]

La porosité est estimée après 28 jours de durcissement dans deux milieux : humide et sec. Les résultats sont représentés à la Fig. 3.

Figure-3 porosité des bétons après 28 jours de durcissement.



Le mode de conservation influe considérablement sur la porosité du béton.

Pendant la période des essais, le béton conservé dans l'eau garde son humidité, l'évaporation de l'eau de gâchage étant évitée. L'hydratation se poursuit et le développement des hydrates est favorable. Par contre le béton conservé à l'air perd une grande partie de son eau avant l'âge de 28 jours ce qui limite la formation des hydrates en influant ainsi sur la structure interne du béton.

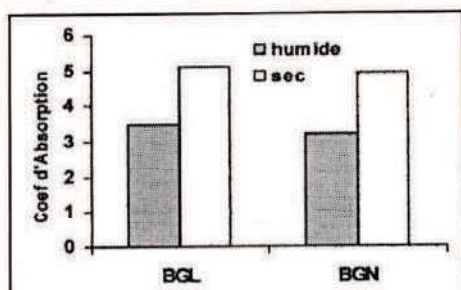
La porosité du béton conservé à l'air est plus grande de 45% de celle du béton humide, du fait que le béton conservé à l'air est plus sensible à la création des pores et des pores connectés.

Le béton à base de granulats de laitier cristallisé présente moins de pores qu'un béton à base de granulats naturels ce qui est expliqué par la qualité élevée de l'interface pâte-granulats. (en général, la porosité dans le béton couant est plus élevée à l'interface pâte granulats). Ref.[4]

3.3. Absorption

Et pour mieux estimer la qualité des bétons on a calculé le coefficient d'absorption de l'eau. Les résultats sont représentés à la Fig. 4.

Figure-4 Coefficient d'absorption après 28 jours de durcissement.

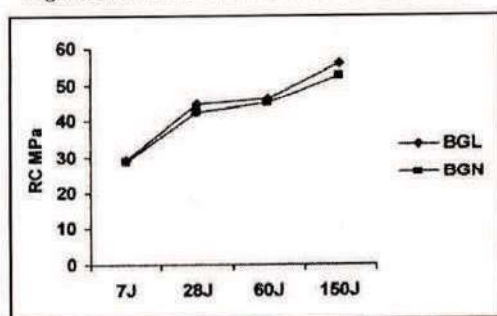


3.4. Résistance mécanique des bétons

3.4.1 Résistance mécanique à la compression

La résistance est estimée après 7 jours, 28 jours, 60 jours et 150 jours de durcissement en milieu humide, et après 28 jours de durcissement en milieu sec. Les résultats obtenus sont représentés à la Fig. 5.

Figure-5 Evolution de la résistance des bétons



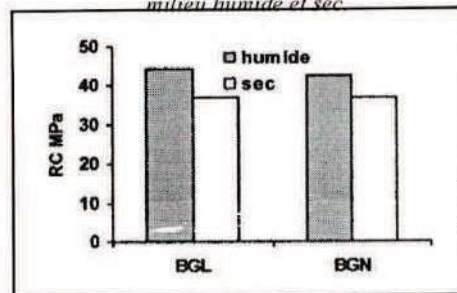
Le béton de laitier cristallisé présente des résistances meilleures aux différents âges de durcissement qu'un béton à base de granulats naturels, ceci revient à la bonne adhérence entre les granulats de laitier et la pâte de ciment hydraté, plusieurs facteurs expliquent ce phénomène :

- La rugosité superficielle des granulats.
- L'eau absorbée par les granulats au moment de malaxage devient disponible avec le temps pour hydrater les grains de ciment anhydre.

a. L'influence du mode de conservation sur la résistance.

Le mode de conservation influence la résistance mécanique (voir la porosité). Les résultats sont représentés à la Fig. 6.

Figure-6 résistance mécanique après 28 jours de durcissement en milieu humide et sec

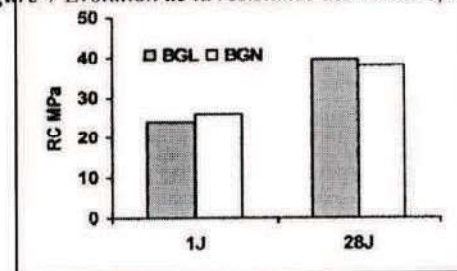


b. L'influence de l'accélération du durcissement sur la résistance.

Pendant l'étuvage, le rôle de la vapeur d'eau est de conserver l'eau à l'intérieur du matériau, ce traitement thermique a pour but d'accélérer le durcissement sans provoquer des anomalies sur les propriétés du béton.

Les résultats obtenus sont représentés à la Fig. 7.

Figure-7 Evolution de la résistance des bétons après étuvage.



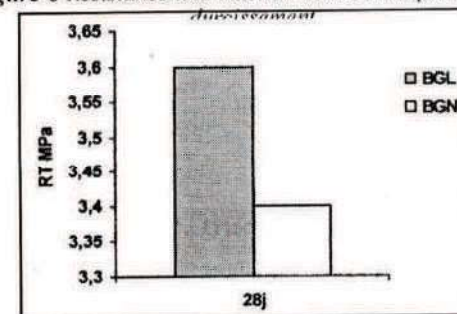
Les résistances obtenues sont presque du même ordre dans les deux types de béton soit après un jour de durcissement par étuvage ou après 28 jours.

4.4.2. Résistance à la traction par fendage

La résistance à la traction permet d'estimer la charge qui entraînera la fissuration, afin d'assurer la durabilité des structures. Grâce aux caractéristiques physico-chimiques du granulat de laitier cristallisé, son angularité, sa propreté, il assure aux bétons des résistances en traction élevée et une très bonne tenue en fatigue aux sollicitations alternes. Ref.[3]

Les résultats obtenus par fendage des éprouvettes cylindriques confirment la meilleure adhérence entre les granulats de laitier et la matrice de ciment. (Fig. 8).

Figure-8 Résistance à la traction des bétons après 28 jours de durcissement



Le fendage des éprouvettes cylindriques a permis d'obtenir des images de la structure des bétons qui sont présentées à la Fig. 9. et la Fig. 10.

Figure-9 Béton à base de granulats de laitier

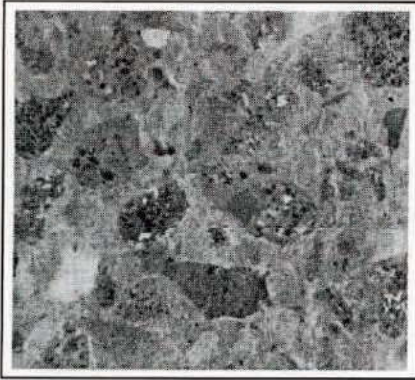
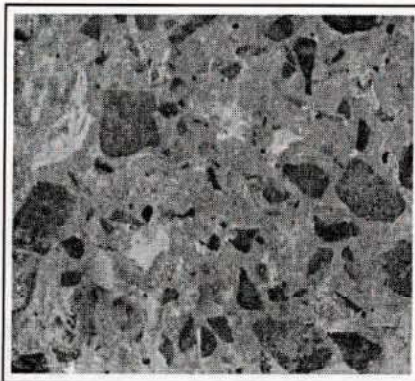


Figure-10 Béton à base de granulats naturels.



Conclusion

Les objectifs visés par cette étude sont atteints :

- Le laitier concassé se situe dans la bonne moyenne des granulats naturels du point de vue caractéristiques mécaniques et au dessus de la moyenne du point de vue caractéristiques chimiques, son état de surface et son angularité.

- Le béton à base de granulats de laitier présente une perméabilité faible par rapport au béton ordinaire, de même, il présente un volume de vide moindre qu'un béton ordinaire.

- Les résistances obtenues sont meilleures aux différents âges [et en particulier à long terme] par rapport au béton ordinaire, de même, la résistance à la traction, ce qui reflète la bonne adhérence entre les granulats du laitier et la matrice du liant.

En conclusion, le laitier cristallisé est compétitif avec les granulats naturels comme matériau de viabilité, comme granulat de béton.

Références

[1] Bencheikh, M, et Baâli, L. *La perméabilité, la porosité et la résistance d'un béton à base de matériaux locaux comme critères de sa durabilité*, séminaire international Geomat 02 M'sila - Algérie, 2003.

[2] Dupain, R et Lanchon, R. *Granulats, sol, ciment et bétons*. ENTPE Aléas, Lyon, 2000.

[3] Landry, L. *Laitiers de haut fourneau*, revue N° 39, 1^{er} trimestre, (France).

[4] L. A. Larbi. *Microstructure of the interfacial zone a round aggregate particles in concrete*, heron, 38, N° 1, 69 PP. 1993.

[5] Mellas, M. *Quelques aspects de la qualité du béton in situ par le microscope électronique à balayage*. Biskra, Thèse de doctorat en génie civil, 2004.

[6] Neville, AM. *Propriétés des bétons*. Eyrolles - Paris. 2000.

[7] Venuat, M. *La pratique des ciments, mortiers et bétons*, Editions moniteur, Paris, 1989.

دراسة خواص خرسانة مكونة من حصى خبث الأفران العالية للجدار.

ملخص :

إن استعمال خبث الأفران المتبلور و المكسر كحصى في إنجاز الخرسانة معروف منذ القديم نظرا لخصائص الخبث الفيزيائية و الميكانيكية العالية.

إن الدراسة التالية تدخل في إطار تقييم خبث الأفران العالية بمصنع الحجار (عنابة)، و هذا بالتركيز على :

- تعيين خصائص الخبث المتبلور لمصنع الحجار.

- دراسة إمكانية استعمال الخبث المتبلور و المكسر كحصى لإنجاز خرسانة مطابقة (أو أحسن) من الخرسانة العادية (المكونة من حصى طبيعي).

التجارب التي أجريت هي : المسامية - النفاذية - الامتصاص - مقاومة الضغط - مقاومة الشد.

النتائج المتحصل عليها بينت أن الخرسانة المكونة من حصى الخبث أعطت مسامية ضعيفة، نفاذية ضعيفة، و مقاومة للضغط و للشد عالية مقارنة مع الخرسانة العادية.

كلمات مفتاحية :

الخبث المتبلور - الخصائص الفيزيائية - الخصائص الميكانيكية - النفاذية - المسامية - المقاومة.