

Etude des coquillages de moules de la région Souss Massa-Maroc dans le cadre de la formulation d'un béton

M. BARBACHI¹, A. IMAD², K. BOUDJELLAL³, M. BOUABAZ³, F. JEFFALI⁴

¹Equipe Matériaux, Mécanique et Génie Civil (E2MGC), ENSA, Université d'Ibn Zohr, BP 1136 Agadir, Maroc

Email: m.barbachi@uiz.ac.ma

²Laboratoire de Mécanique de Lille, Polytech Lille - Avenue Paul Langevin - 59655 Villeneuve d'Ascq cedex France.

³Laboratoire LMGHU de l'Université 20 aout 1955, Skikda, Algérie.

⁴Laboratoire de Dynamique et d'Optique des Matériaux, Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Oujda, Maroc.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des granulats locaux pour la fabrication d'un béton dit écologique. Il s'agit, en fait, d'étudier la faisabilité d'utiliser des coquilles provenant des côtes marines de la région Souss Massa (Agadir, Maroc) comme agrégats dans la confection de ce composite. L'intérêt de cette étude est de pallier aux coûts prohibitifs en énergie relative au concassage dans des carrières et d'autre part de réduire l'exploitation des gisements minéraux et préserver ainsi les ressources naturelles.

Cet article présente dans un premier temps la prospection réalisée sur les différents sites de la région concernée afin, d'une part, identifier et quantifier les différents types de déchets de coquilles disponibles et d'autre part établir une cartographie régionale de déchets maritimes. Puis un tri, suivi d'un traitement thermique a été effectué pour procéder ensuite à un broyage des coquilles collectées.

Nous avons, par la suite, effectué une caractérisation physique des différents granulats rentrant dans le cadre de la formulation d'un béton, y compris les coquilles. Une analyse granulométrique a été également réalisée. Les paramètres physiques et géométriques ainsi obtenus sont comparés à ceux du sable de dune et du sable de carrière.

Mots clés : *Prospection sites, déchets maritimes, cartographie, valorisation des coquillages, caractérisation des granulats, expérimentation.*

1. Introduction

Le béton reste et demeurera le matériau le plus utilisé dans la construction à travers le monde. Son emploi est encore plus intéressant lorsqu'il est associé à l'acier pour définir ce qu'on appelle le béton armé ou le béton précontraint.

Au Maroc, avec l'explosion que connaît actuellement le secteur du bâtiment et des travaux publics, la demande en matériaux de construction est en nette progression. Ces matériaux concernent essentiellement les granulats de différentes classes obtenus généralement suite au concassage des roches massives extraites des carrières avec un coût énergétique important et des problèmes d'environnement liés à la pollution. Cependant d'énormes quantités des déchets de coquilles sont abandonnées illégalement sur les côtes maritimes, ou se

font incinérer dans des usines, ce qui présente également une source de pollution et de destruction de l'environnement. De ce fait, il devient primordial de recourir à la valorisation de ces déchets. À cet égard, plusieurs recherches ont été effectuées afin d'étudier la faisabilité de la réutilisation des déchets de coquilles dans le domaine du génie civil comme alternative partielle ou totale des agrégats, du sable ou du ciment [1-19]. C'est dans ce cadre que se situe notre présent travail.

2. Prospection et collecte des déchets

Le Maroc étant un pays qui comporte des rives sur la mer Méditerranée d'un côté et sur l'océan atlantique de l'autre présentant une richesse maritime très importante. Sur le plan national, le Maroc présente plusieurs sites de récoltes de coquillages du nord au sud, [20].

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes focalisés sur la région de Souss Massa compte tenu de la richesse de ces différents sites. Certes la région ne disposant pas de sites d'élevage conditionné, cependant, elle dispose de plusieurs sites dont la récolte des coquilles se fait de manière traditionnelle. Parmi les principaux sites, nous citons : Cap Ghir, Imsouane, Ait Tamer, Tigrt, Tiflt, Tifnit, Massa, Aglou et Mirleft [21]. La collecte se fait tout au long du mois lors des marées basses; la récolte massive quant à elle est réalisée pendant les nuits de la pleine lune.

S'agissant de l'étude prospective, notre choix s'est porté sur le site le plus connu de la région d'Agadir, le site Cap Ghir (Coordonnées : 30° 38' Nord 9° 53' Ouest). Cap Ghir est un promontoire de la côte marocaine sur l'océan Atlantique. Il se trouve à une quarantaine de kilomètres au nord-ouest d'Agadir. Sur les lieux, des campements des pêcheurs collecteurs de coquillages sont installés ainsi que d'énormes quantités de déchets de coquilles abandonnées dans la nature, figure 1. La récolte des mollusques se fait soit directement à la main, soit à l'aide d'un marteau pour pouvoir les arracher des rochers.



Fig.1: Site des déchets de coquilles

A l'issue de la collecte, les coquillages sont chauffés à feu doux afin de provoquer l'ouverture des coquilles et ainsi extraire la chaire (fruit) qui est vendue soit fraîche soit séchée. Les coquilles sont ensuite laissées à l'abandon sur le site et suite au cumul des dépôts successifs, elles ont pu constituer des couches de coquilles de certaines épaisseurs. Ce qui nous conduit à conclure que les récoltes sur ce site existaient depuis un certain temps. Une étude géologique permettrait de situer l'âge exact de la formation de ces couches sédimentaires, figure 2. Les coquilles récoltées dans la région de Cap Ghir sont principalement des moules mais également des escargots de mer en faible quantité..



Fig.2 : Couches sédimentaires de coquilles

3. Etude expérimentale

La formulation d'un béton repose sur deux aspects : le choix des constituants puis la détermination de leurs proportions. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés aux caractéristiques de quelques constituants classiques utilisés dans la confection du béton pour les comparer à ceux des coquillages. Ces caractéristiques sont déterminées à partir de plusieurs essais en particulier l'analyse granulométrique, masse volumique apparente et absolue sur, d'une part deux types de sables, notamment, le sable de dune et le sable de carrière et sur, d'autre part des coquilles de moules concassées.

4.1 Préparation des échantillons

En préalable, nous avons fait subir trois lavages successifs à l'eau des coquilles de moules ramassées pour éliminer toute trace d'impureté [1], [4], [11], [12], [14], puis, après concassage des coquilles, une déshydratation à l'étuve à $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ s'impose pendant 24 h, [4], [5], ensuite un broyage et un tamisage sont effectués afin d'obtenir la taille granulométrique souhaitée.

4.2 Analyse granulométrique

Les essais ont porté sur des échantillons de coquilles et sur deux types de sables afin de procéder à une étude comparative. Ces essais consistent à tamiser les granulats sur une série de tamis à mailles carrées de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées. La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs emboîtés les uns sur les autres. Sur la partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers pour une analyse complémentaire. Un couvercle sera placé en haut de la colonne afin d'empêcher toute perte de matériau pendant le tamisage. On appellera « tamisât » le poids d'un matériau passant à

travers un tamis donné et « refus » le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des tamisât cumulés sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle arithmétique, et les pourcentages de tamisât en ordonnée, sur une échelle arithmétique. Un tamisage de 4 min et d'une amplitude de 80% a été effectué. Les trois courbes granulométriques des différents granulats (sable de dune, sable de carrière et les coquilles concassées) issues des essais sont présentées sur la figure 3. Cette figure montre que la courbe granulométrique des coquilles concassées se situe entre les deux courbes granulométriques du sable de dune et celle de sable de carrière. Le calcul des deux coefficients d'uniformité et de courbure a confirmé ce type de comportement. En effet, nous observons que les coquillages concassés ont à la fois une granulométrie étalée correspondant à la caractéristique du sable de carrière et une répartition mal graduée correspondant à celle du sable de dune.

Le tableau 1 récapitule les résultats obtenus à partir du calcul des coefficients d'uniformité et de courbure.

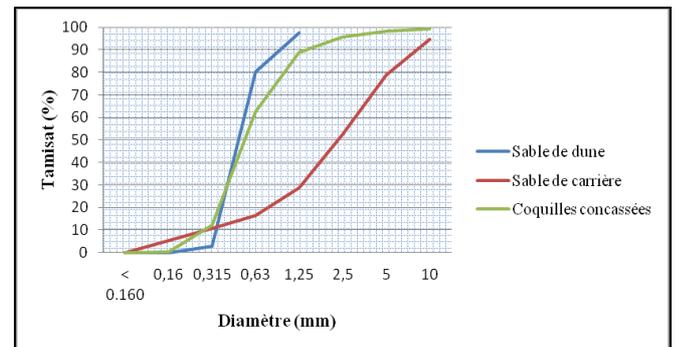


Fig.3: Courbes granulométriques des trois échantillons

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de l'analyse granulométrique

Types	Equation	Interprétations
Sable de dune	$C_u = \frac{0.55}{0.38} = 1.45$ $C_c = \frac{0.4^2}{0.55 \cdot 0.38} = 0.76$	$C_u < 2$: granulométrie uniforme ou serrée $C_c < 1$: matériau mal gradué
Sable de carrière	$C_u = \frac{3.25}{0.315} = 10.32$ $C_c = \frac{1.37^2}{3.25 \cdot 0.315} = 1.83$	$C_u > 2$: granulométrie étalée. $1 < C_c < 3$: matériau bien gradué (la continuité est bien répartie)
Coquilles concassés	$C_u = \frac{0.624}{0.29} = 2.15$ $C_c = \frac{0.4^2}{0.624 \cdot 0.29} = 0.88$	$C_u > 2$: granulométrie étalée. $C_c < 1$: matériau mal gradué (la continuité est mal répartie)

4.3 Masse volumique apparente

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et

imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. Elle est donnée par le rapport entre la masse du matériau et le volume.

Le tableau 2 présente les résultats des essais concernant les trois types de granulats étudiés. Il en ressort que la masse volumique apparente des coquilles concassées est similaire à celle des granulats légers (1200 kg/m^3) utilisés pour la fabrication des bétons dits « légers ». Ces bétons ont des caractéristiques particulières qui font d'eux des matériaux intéressants à plus d'un titre.

Tableau 2 : Masses volumiques apparentes des granulats étudiés

Type d'échantillon	Sable dune	Sable carrière	Coquilles de moules concassées
Masse volumique apparente Kg/m^3	1489	1574	1241

4.4 Masse volumique absolue

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Elle est calculée par la méthode de l'éprouvette graduée.

Le tableau 3 synthétise les résultats de calculs des masses volumiques absolues. De l'analyse de ces résultats, il ressort que la masse volumique absolue des coquilles concassées est proche à celles des deux sables étudiés.

Tableau 3 : Masses volumiques absolues des granulats étudiés

Type d'échantillon	Sable dune	Sable carrière	Coquilles de moules concassées
Masse volumique apparente Kg/m^3	2616	2626.9	2597.2

4. Conclusion et perspectives

Cette étude avait pour objectif la caractérisation physique des granulats, notamment ceux issus des déchets maritimes de type coquilles de la région d'Agadir, dans la perspective d'élaborer la formulation d'un béton. Dans ce cadre, nous avons examiné à la fois les caractéristiques des différents constituants classiques du béton (deux types de sables) et celles des coquilles concassées. En préalable, nous avons conduit une prospection dans la région de Souss Massa sur le site de Cap Ghir. Après exploration, il apparaît que seules les coquilles de moules sont fortement présentes sur le site, d'où le choix de notre étude pour ces coquilles. A l'issue de quelques essais effectués (analyse granulométrique, masse volume apparente et absolue), nous avons pu conclure que les coquilles de moules concassées peuvent être candidates comme constituant d'un béton dit léger. Les résultats obtenus par calcul du pourcentage du vide ont montré que les coquillages concassés présentent une faible compacité par rapport aux sables étudiés.

Comme perspective, il serait indispensable d'étudier la confection d'un béton basé partiellement ou totalement sur les granulats issus des coquilles des moules broyées à différentes tailles granulométriques en cherchant le meilleur compromis entre les propriétés physiques et mécaniques.

Références

- Ballester P., Mármol I. Morales J. Sánchez L., Cement and Concrete Research 37 (2007) 559.
- Lertwattanaruk P., Makul N., Siripattaraprat Ch.; Journal of Environmental Management 111 (2012) 133.
- Umoh A.A., Olusola K.O., Civil Engineering Dimension. Vol. 15, No. 2 (2013) 96.
- Yoon Hyunsuk, Park Sangkyu, Lee Kiho, Park Junboun, Waste Manage Res. 22 (2004) 158.
- Eun-Ik Yang, Seong-Tae Yi b, Young-Moon Leem, Cement and Concrete Research 35 (2005) 2175.
- Eun-Ik Yang, Myung-Yu Kim, Hae-Geun Park, Seong-Tae Yi, Construction and Building Materials 24 (2010) 758.
- Her-Yung Wang, Wen-Ten Kuo, Chih-Chung Lin, Chen Po-Yor, Construction and Building Materials. 41 (2013) 532.
- Wen-Ten Kuo, Her-Yung Wang, Chun-Ya Shu, De-Sin Su, Construction and Building Materials 46 (2013) 128.
- Brahim Safi, Mohammed Saidi, Abdelhakim Daoui, Ahmed Bellal, Ali Mechekak, Kamel Toumi, Construction and Building Materials 78 (2015) 430.
- Woon Chin-Peow, Shek Poi-Ngian, Mahmood Md Tahir, Ahmad Kueh, Beng Hong, Applied Mechanics and Materials 727-728 (2015) 167.
- Falade F., Building and Environment 30 (1995) 573.
- Adewuyi A. P., Adegoke T., Journal of Engineering and Applied Sciences 3 (2008).
- Osarenmwinda J.O., Awaro A.O., Advanced Materials Research 62-64 (2009) 39.
- Dang Hanh Nguyen, Nassim Sebaibi, Mohamed Boutouil, Lydia Leleyter, Fabienne Baraud, International Journal of Civil, Architectural Science and Engineering 7 (2013).
- Dang Hanh Nguyen, Mohamed Boutouil, Nassim Sebaibi, Lydia Leleyter, Fabienne Baraud, Construction and Building Materials 49 (2013) 151.
- Hector Cuadrado, Nassim Sebaibi, Mohamed Boutouil, Bertrand Boudart, Conférence Matériaux 2014, Colloque Eco-matériau, Montpellier, France, Collection Ecomatériau (2014).
- Jerry M. Paris, Justin G. Roessler, Christopher C. Ferraro, Harvey D. DeFord, Timothy G. Townsend, Journal of Cleaner Production 121 (2016) 1.
- Cheng-Chih Fan, Ran Huang, Howard Hwang, Sao-Jeng Chao, Construction and Building Materials 112 (2016) 708.
- Derrick J. Anderson, Scott T. Smith, Francis T.K. Au, Construction and Building Materials 117 (2016) 20.
- Etude de l'état des lieux de l'aquaculture et identification des marches aquacoles cibles et leurs conditions d'accès. FENIP-9 juillet 2010- Département de COFREPECHE MAROC.
- <https://www.google.com/maps/place/Agadir>.