



## "Caractérisation des granulats de moules broyés en vue d'une formulation d'un composite à base de ciment"

"Barbachi Mohamed"<sup>1</sup>,  
 "El biriane Mohamed "<sup>1</sup>,  
 "Imad Abdellatif"<sup>2</sup>,  
 "Boudjellal Khaled"<sup>3</sup>,  
 "Bouabaz Mohamed"<sup>3</sup>

<sup>1</sup>"ENSA Agadir, E2MGC, Maroc, mohamed.elbiriane@edu.uiz.ac.ma"

<sup>2</sup>"Polytech Lille, Laboratoire de Mécanique de Lille, France"

<sup>3</sup>"Université 20 aout 1955, Laboratoire LMGHU, Algérie"

### Résumé :

Le Maroc dispose d'importants gisements coquillers le long de l'océan Atlantique et la Méditerranée. Ces coquilles sont collectées et traitées traditionnellement ou dans des usines de transformation. Cette activité génère une grande quantité de déchets qui sont, généralement, jetés dans la nature. Leur impact sur l'environnement est très néfaste : ils participent à la pollution du paysage et nuisent à l'équilibre de l'écosystème. De ce fait, il apparaît très utile de revaloriser ces déchets afin d'offrir une valeur ajoutée à caractère socio-économique pour la population locale.

Cette étude vise la caractérisation physico-chimique des granulats issus du broyage des coquilles de moule de la région de Souss Massa au Maroc, en vue de leur utilisation en tant que substituts partiels ou total des différentes composantes du béton et mortier. Pour ce faire, une prospection des principaux sites de la région a été effectuée pour faire le point sur ses potentialités en termes de types et de quantités des coquilles disponibles. Une caractérisation physique des granulats a été effectuée moyennant plusieurs essais, suivie d'une analyse chimique pour déterminer ses principales composantes. Les résultats obtenus montrent que les coquilles de moules broyées peuvent être utilisées pour la formulation d'un nouveau composite à base de ciment.

**Mots-clés :** Coquilles de moules, valorisation des coquillages, prospection, caractérisation physique, analyse chimique, X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM).

## 1. Introduction

Le béton est un matériau composite constitué essentiellement d'agrégats liés par un liant hydraulique. C'est le matériau de construction le plus utilisé sur terre vu ses caractéristiques mécaniques et son adaptation à la réalisation des différentes formes architecturales. Cette forte consommation de béton a fait augmenter la demande en granulats naturels qu'ils soient alluvionnaires ou concassés.

Le Maroc, en tant que pays en cours de développement, n'est pas exempt de cette problématique. En effet, les grands projets d'infrastructure et de superstructure déclenchés par la politique de l'Etat a fait accroître la pression sur les carrières d'extraction des matériaux de construction et les menacent d'épuisement. De nos jours, l'impact environnemental de la surexploitation des carrières est constaté lucidement à travers l'abandon de plusieurs carrières sans aménagement.

Parmi les solutions envisagées pour résoudre cette problématique, il y a le recours à l'utilisation des matériaux recyclés pour la substitution partielle ou totale des différentes composantes du béton. En effet, plusieurs recherches scientifiques ont été menées dans ce sens. L'utilisation des sous-produits coquilliers dans la formulation des bétons est l'une des alternatives qui peuvent réduire l'impact environnemental de la surexploitation des agrégats naturels. Les chercheurs ont étudié la possibilité d'utilisation des déchets des différents types de coquilles (huitre, Saint-Jacques, bigorneau, coque...) pour la substitution partielle ou totale des granulats ou comme ajouts au ciment [1][2][3][4]–[6][7]

L'objectif de ce travail est l'étude physico-chimique des granulats issus du broyage des coquilles de moule de la région de Souss Massa en vue de leur utilisation en tant que substituant des constituants de béton.

## 2. Prospection des sites de collecte des coquilles

Une série de visites des différents sites de collecte et de traitement des coquilles dans la région de Souss Massa a été effectuée afin de connaître les utilisations locales de ces déchets et de les quantifier sommairement.

Les principaux sites prospectés dans la région sont illustrés sur la carte suivante (figure 1) :

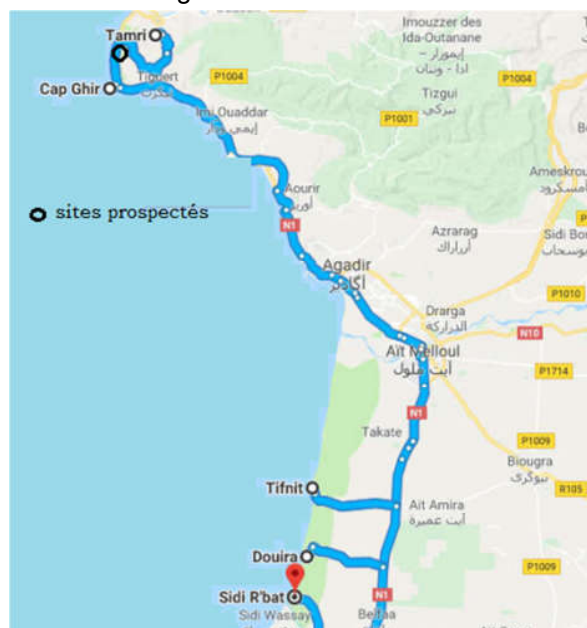


Figure 1. Sites prospectés de collecte des coquilles de moule de la région Souss Massa

A l'issue de ces visites, il s'avère que les coquilles de moules sont plus prépondérantes dans les côtes de la région à plus de 90%(figure 2b). Les déchets sont majoritairement jetés dans la nature créant ainsi des odeurs désagréables et altèrent le paysage marin (figure 2a).

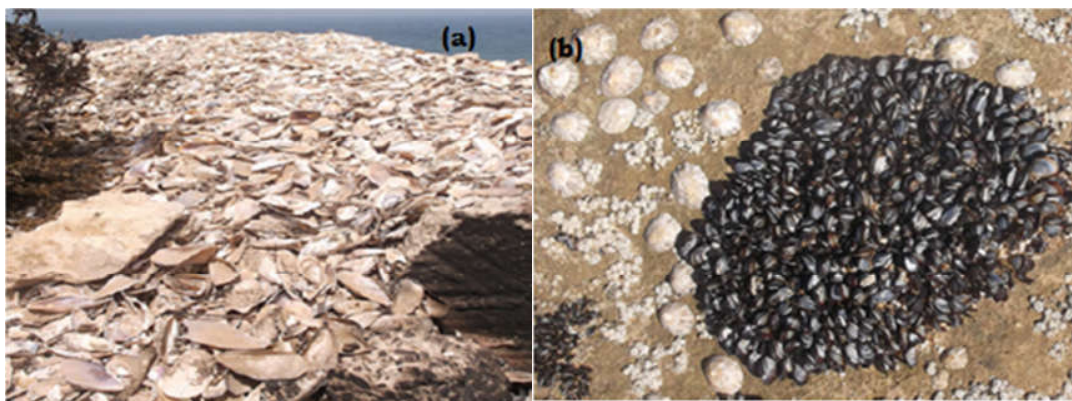


Figure 2. (a) colonie de coquille de moule (site Sidi Rbat), (b) dépôt de déchets de moule (Cap Ghir)

En revanche, nous avons constaté la valorisation de ces déchets par la population locale à travers leur utilisation :

- Pour la fabrication des agglos pour les baraques des pêcheurs dans le site de Tifnit ;
- Pour la stabilisation des pistes locales dans le site de Douira ;
- Comme éléments de décoration dans les façades (site Sidi Rbat).

Nous avons également procédé à une quantification sommaire des gisements coquillers des sites visités. Le tableau suivant présente les densités moyennes de chaque site (tableau1):

Tableau 1. Densité moyenne des gisements coquillers

Site	densité moyenne (unité/m <sup>2</sup> )
Cap Ghir -Tamri	5000
Tifnit	1000
Sidi Rbat -Douira	1500

### 3. Etude expérimentale des agrégats coquillers

#### 1. Préparation des échantillons

Nous avons procédé à la collecte des coquilles de moule à partir du site de Cap Ghir. La majorité des coquilles ont une longueur supérieure à 5 cm (figure 3). Les coquilles sont lavées pour éliminer les impuretés. Ensuite, on fait subir aux moules une cuisson dans un grand seau d'eau pour extraire la chair.



Figure 3. Les coquilles avant et après cuisson

Les coquillages sont ensuite lavés dans l'eau douce jusqu'à ce que l'eau de lavage devienne claire. Cette opération vise l'élimination du reste des impuretés et de la matière organique et la limitation des ions de chlorure [8].

#### 2. Masse volumique apparente et absolue

##### – Masse volumique apparente

C'est la masse de l'unité du volume apparent de l'échantillon qui comprend aussi bien le volume solide et le volume des vides. Sa détermination se fait à l'aide d'un récipient de volume connu ( $V_t$ ) qui sera rempli par

l'échantillon de masse sèche  $m$  (figure 4). Ainsi la masse volumique apparente est déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$\rho_{app} = \frac{m}{V_t}$$



Figure 4. Mesure de la densité apparente du sable 0/5

#### – Masse volumique absolue

C'est la masse de l'unité du volume absolu de l'échantillon qui comprend le volume solide sans tenir compte du volume des vides.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination de la masse volumique absolue. L'objectif étant la détermination du volume absolu de l'échantillon de masse sèche  $m$  par la méthode de l'éprouvette qui donne des résultats avec une précision acceptable (figure 5). Pour ce faire, il suffit de mesurer la variation du volume d'une éprouvette graduée remplie d'eau suite à l'ajout de l'échantillon :

$$\rho_{abs} = \frac{m}{\Delta V}$$

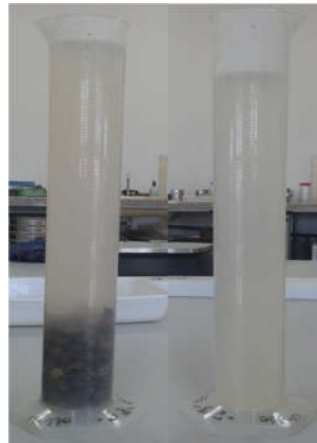


Figure 5. Mesure de la densité absolue par la méthode de l'éprouvette

#### – Interprétation des résultats

Le graphique suivant présente les résultats obtenus concernant l'échantillon de moule 0/5, du sable 0/5 et du gravier 5/20 qui sont pris à titre de comparaison (figure 6) :

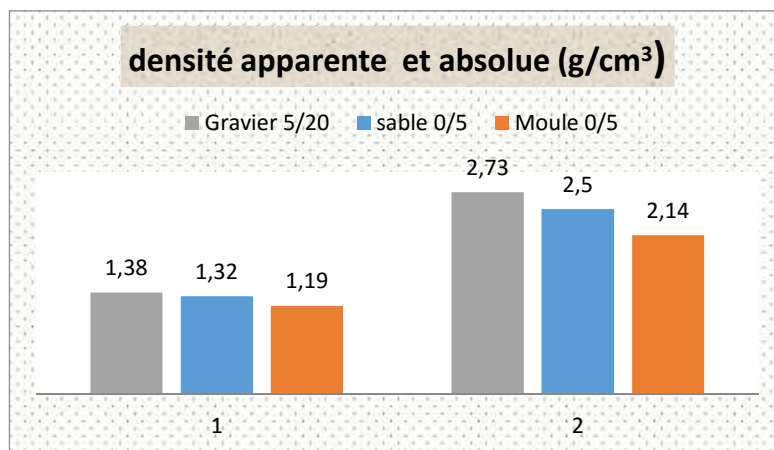


Figure 6. (1) Masse volumique apparente, (2) masse volumique absolue des échantillons

Ces résultats montrent que l'échantillon de moule 0/5 a une densité plus faible par rapport aux granulats alluvionnaires (sable et gravier). En effet, l'échantillon de moule a une densité absolue plus faible par rapport au sable à raison de 14.4 %. Ainsi, un composite formulé avec des agrégats coquillers serait plus léger, ce qui va réduire les charges admissibles sur les éléments porteurs d'une structure.

### 3. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour objectif l'étude de la répartition granulaire d'un granulat. Les coquillages lavés sont séchés dans une étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Ils subissent, ensuite, un concassage dans un concasseur dédié à cette opération (figure 7a). L'opération est répétée trois fois afin de réduire la taille des agrégats. L'échantillon obtenu est tamisé dans le tamis 5 mm afin d'en extraire la fraction sableuse de classe granulaire 0/5. L'échantillon sera noté moule 0/5.

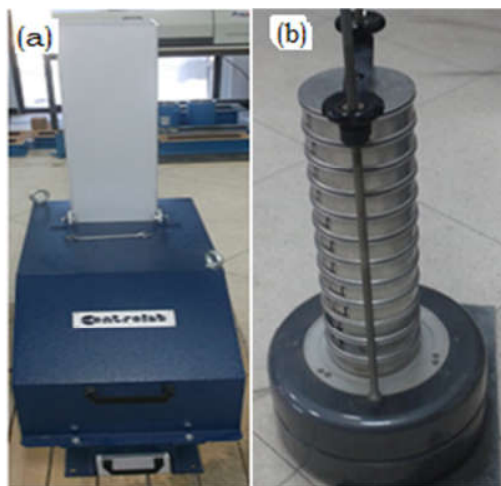


Figure 7. (a) Concasseur à mâchoires (b) Tamiseuse électrique

L'analyse granulométrique est réalisée conformément à la norme NF P 94-056 en utilisant une tamiseuse électrique (figure 7b). L'échantillon de coquillage de moule (0/5) soumis à l'essai a une masse sèche de 1024 g. La mesure des refus des différents tamis (figure 8) a permis de relever les résultats mentionnés dans le tableau 2 :





Figure 8. Refus de quelques tamis

Tableau 2. Analyse granulométrique de l'échantillon moule 0/5

tamis	refus (g)	Refus cumulé	refus (%)	tamisât (%)
5	0,00	0,00	0,00	100,00
2,5	597,00	597,00	58,30	41,70
1,25	249,00	846,00	82,62	17,38
0,63	105,00	951,00	92,87	7,13
0,315	42,40	993,40	97,01	2,99
0,16	16,00	1009,40	98,57	1,43
0,08	7,00	1016,40	99,26	0,74

Le tableau précédent permet d'obtenir la courbe granulométrique de l'échantillon (figure 9):

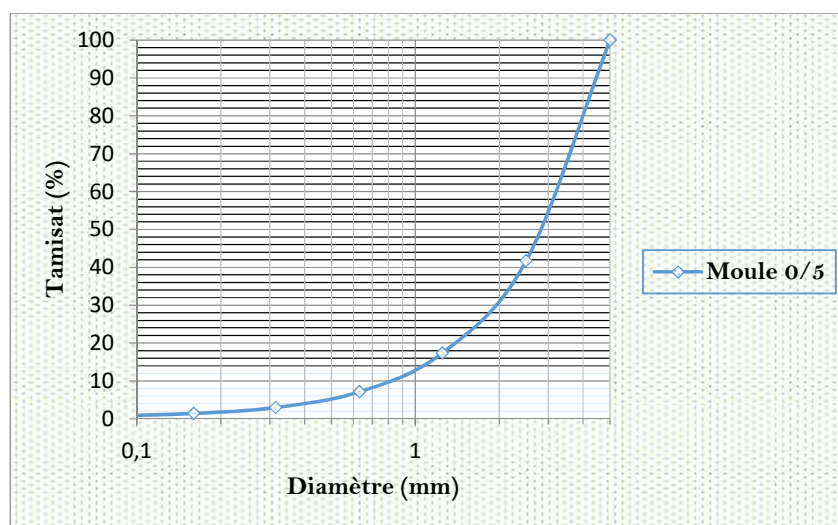


Figure 9. Courbe granulométrique de l'échantillon de moule 0/5

L'exploitation de la courbe granulométrique permet d'extraire les résultats du tableau 3:

Tableau 3. Interprétation de la courbe granulaire de l'échantillon de Moule 0/5

Granulat	Dx		Cu	Cc	Interprétation des résultats
Moule 0/5	D10	0,89	3,60	1,27	Cu>2 et 1<Cc<3 : granulat bien gradué à granulométrie étalée
	D30	1,9			
	D60	3,2			

L'échantillon de moules concassés est un granulat bien gradué, c'est-à-dire, il contient des grains ayant un diamètre qui s'étale sur tout l'intervalle granulaire 0/5. Cette caractéristique est préconisée pour la formulation de béton car elle permettra de réduire les vides au sein du squelette granulaire du béton.

La courbe granulométrique permet également de déterminer le module de finesse (MF). Ce paramètre permet d'apprécier la granularité globale d'un sable. Plus le module est petit, plus le sable est fin.

Selon la norme NF P 18-540, le module de finesse est égal 1/100 des refus cumulés en pourcentage de la série de tamis : 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5 mm.

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulés}(0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5 \text{ mm})$$

$$MF = \frac{1}{100} (58.3 + 82.62 + 92.87 + 97.01 + 98.57) = 4.29$$

Le module de finesse est supérieur à 3.2, l'échantillon de moule 0/5 est donc pauvre en éléments fins. Ceci aura pour conséquence la réduction de l'ouvrabilité du composite à formuler.

#### 4. Analyse chimique

Nous avons procédé à l'analyse chimique des coquilles à l'aide de la méthode de diffraction par les rayons X (DRX). L'analyse des spectres a permis de déterminer la composition de l'échantillon des coquilles de moules (tableau 4) :

Tableau 4. Composition chimique de l'échantillon de moule.

<b>Matière organique</b>	5.07 %
<b>Humidité</b>	0.674 %
<b>Carbonates</b>	94.42 %
<b>SiO<sub>2</sub></b>	1.22 %

<b>Composants</b>	<b>Concentration %</b>
<b>Na</b>	1,622
<b>Mg</b>	0,208
<b>Al</b>	0,031
<b>S</b>	0,141
<b>Cl</b>	0,247
<b>Ca</b>	77,029
<b>Fe</b>	0,020
<b>Zn</b>	0,003
<b>Br</b>	0,025
<b>Sr</b>	0,262
<b>Zr</b>	0,001
<b>Cd</b>	0,067

Les résultats obtenus montrent que l'échantillon de moule est majoritairement composé de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>), ce qui révèle que ce matériau peut être candidat pour substituer partiellement le ciment. Ce résultat est confirmé par plusieurs recherches scientifiques [9][10].

Les granulats obtenus à partir du broyage des coquilles contiennent 0.247 % de chlore. Cette valeur est supérieure aux résultats obtenus par P. Lertwattanaruk, N. Makul, and C. Siripattarapratvat [9] (Entre 0,01 et 0,02%). La présence des chlorures dans le béton à une quantité non maîtrisée favorise la corrosion des armatures et fait diminuer la force portante des éléments porteurs. Les chlorures participent également à la perturbation de la prise et du durcissement du béton.

La teneur en Cl<sup>-</sup> est réglementée pour de nombreux produits en béton armé. La norme NF EN206-1 établit des teneurs maximales en ions Cl<sup>-</sup> rapportée à la masse du ciment suivant l'utilisation du béton. Cette teneur maximale est de 0,20% pour les bétons contenant des armatures de précontrainte en acier, de 0,40% pour les bétons contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées et de 1% pour les bétons ne contenant ni armatures en acier ni pièces métalliques noyées [11].

La teneur en soufre de l'échantillon de coquilles est de l'ordre de 0.141%. Cette valeur est acceptable pour la formulation du béton. En effet, Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre totale, S, n'excède pas 0,4% en masse. Les sulfures peuvent se transformer en sulfates générant ainsi le gonflement des armatures. Ils perturbent également la prise du béton et perturbent l'action des adjuvants [12].

## 5. Conclusion

Cette étude est une étape préliminaire pour aborder la formulation d'un béton incorporant des agrégats coquilliers. L'échantillon de moule concassé 0/5 a une granulométrie étalée et bien graduée avec un module de fesse relativement élevé, ce qui nécessite un broyage plus fin. L'examen de la densité apparente et absolue a pu mettre en évidence la légèreté des agrégats coquilliers par rapport au sable alluvionnaire à raison de 14.4%.

L'analyse chimique des coquillages de moule a révélé la dominance du carbonate de calcium. La teneur en chlore et en soufre est respectivement de 0.247 et 0.141%, ce qui est acceptable par les normes en vigueur.

A l'issue de cette étude préliminaire, les granulats coquilliers peuvent être candidats pour remplacer partiellement l'une des constituants du béton. Vu que ces granulats coquilliers se présentent sous forme de feuillets de faibles épaisseurs, il serait intéressant et pratique d'utiliser la fraction fine 0/2 comme ajout pour améliorer les propriétés du béton.

## 6. Bibliographie

- [1] H. Y. Wang, W. Ten Kuo, C. C. Lin, et C. Po-Yo, « Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar », *Constr. Build. Mater.*, vol. 41, p. 532-537, 2013.
- [2] E. I. Yang, M. Y. Kim, H. G. Park, et S. T. Yi, « Effect of partial replacement of sand with dry oyster shell on the long-term performance of concrete », *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, n° 5, p. 758-765, 2010.
- [3] H. Cuadrado, N. Sebaibi, M. Boutouil, et B. Boudart, « Properties of concretes incorporating crushed queen scallops for artificial reefs », *Proc. RECIF Conf. Artif. reefs from Mater. to Ecosyst.*, 2015.
- [4] Umoh A.A. et O. K.O., « Performance of Periwinkle Shell Ash Blended Cement Concrete Exposed to Magnesium Sulphate. », *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 15, n° 2, p. 96-101, 2014.
- [5] a P. Adewuyi et T. Adegoke, « Exploratory Study of Periwinkle Shells As Coarse Aggregates In Concrete Works », *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 3, n° 6, p. 1-5, 2008.
- [6] F. Falade, « An investigation of periwinkle shells as coarse aggregate in concrete », *Build. Environ.*, vol. 30, n° 4, p. 573-577, 1995.
- [7] C. Paper, « Cockle Shell in Artificial Reef Construction », n° February, 2016.
- [8] D. H. Nguyen, M. Boutouil, N. Sebaibi, L. Leleyter, et F. Baraud, « Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers », *Constr. Build. Mater.*, vol. 49, n° February 2016, p. 151-160, 2013.
- [9] P. Lertwattanaruk, N. Makul, et C. Siripattarapavat, « Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering », *J. Environ. Manage.*, vol. 111, p. 133-141, 2012.
- [10] M. R. R. Hamster, P. S. Balzer, et D. Becker, « Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene », *Mater. Res.*, vol. 15, n° 2, p. 204-208, 2012.
- [11] C. Page, « NF EN 206-1 Béton », vol. 1, n° avril 2004, p. 1-81, 2010.
- [12] C. Béton, « Les constituants des bétons et des mortiers », 2005.