



## **Caractérisation et valorisation des sédiments marins dans la fabrication des briques (Characterization and Valorization of marine sediments in the manufacture of bricks)**

**D. Benyerou<sup>1\*</sup>, N. Boudjenane<sup>1</sup>, M. Belhadri<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Laboratoire de Rhéologie, Transport et Traitement des Fluides Complexes (LRTTFC), Faculté d'Architecture et de Génie civil, Département d'Hydraulique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO-MB) B.P. 1505 Oran-EL-M'naouer 31000, Algérie*

*Received 24 Mar 2015, Revised 27 Jan 2016, Accepted 06 Feb 2016*

*\*Corresponding: E-mail: [Djamila.benyerou@univ-usto.dz](mailto:Djamila.benyerou@univ-usto.dz) (D.Benyerou); Phone: +2135 4249 0768; Fax: +2134 156 0323*

### **Abstract**

Dredging practices are a challenge for the development and maintenance of port activities. Millions of cubic meters are regularly extracted from Algerian ports, it is necessary to value them. This study focuses on the development of marine sediments from Bethioua port for making bricks. A physicochemical characterization, mineralogical, microscopic and rheological was carried out with great care at several internal laboratories (MDS lab, microscopy and rheology laboratory) of our university (USTO-MB) and external (CTH laboratory, LAFARGE and polymer chemistry laboratory) for these marine sediments and for slip brick. The physico-chemical, mineralogical and microscopic characterization of these materials shows a similarity between these sediments. They can be a source of local raw materials very useful, particularly for the construction sector such as brick. The rheological study was conducted at different concentrations using the rheometer (RheoStress RS600 ThermoHaake) using a measurement geometry coaxial cylinder. The study of the rheological parameters of the slip brick, marine sediments and the slurry with the addition of these marine sediments allowed us to determine the composition and concentrations ideal for the manufacture of bricks. The results of the rheological parameters obtained from these marine sediments show a recovery percentage up to 15% which makes it possible to say that the sediment can be emphasized in the field of the manufacture of bricks.

*Keyword:* marine sediments; dredging; valorization; brick slip; characterization.

### **Résumé**

Les pratiques de dragage constituent un enjeu pour le développement et le maintien des activités portuaires. Des millions de mètres cubes sont extraits régulièrement des ports Algériens, il s'avère nécessaire de les valoriser. Cette étude porte sur la valorisation des sédiments marins du port de Bethioua pour la fabrication des briques. Une caractérisation physico-chimique, minéralogique, microscopique et rhéologique fine a été effectuée avec un grand soin au niveau de plusieurs laboratoires internes (laboratoire de MDS, microscopie et laboratoire de rhéologie) de notre université (USTO-MB) et externes (laboratoire de CTH, LAFARGE et laboratoire de chimie de polymère) pour ces sédiments marins et pour la barbotine de brique. La caractérisation physico-chimique, minéralogique et microscopique de ces matériaux montre une similarité entre ces sédiments. Ils peuvent constituer une source de matières premières locales très utile, notamment pour le secteur de la construction tel que la brique. L'étude rhéologique a été effectuée pour différentes concentrations à l'aide du rhéomètre (RheoStress RS600 ThermoHaake) en utilisant une géométrie de mesure cylindre coaxiaux. L'étude des paramètres rhéologiques de la barbotine de brique, des sédiments marins et de la barbotine avec ajout de ces sédiments marins nous a permis de déterminer la composition et les concentrations idéales pour la fabrication des briques. Les résultats des paramètres rhéologiques obtenus de ces sédiments marins montrent un pourcentage de valorisation allant jusqu'à 15% ce qui permet de dire que ces sédiments peuvent être valorisés dans le domaine de la fabrication de brique.

*Mot-clé :* sédiments marins, dragage, valorisation, barbotine de brique, caractérisation.

## 1. Introduction

Au cours de ces dernières décennies, la fabrication des briques a été évaluée à l'aide des sédiments marins et fluviaux à travers le monde [1-5]. La rhéologie des sédiments marins a été aussi utilisée dans ce domaine [6-7]. La caractérisation rhéologique de l'argile utilisée pour la fabrication des briques s'intéresse principalement aux effets de la concentration initiale et de l'ajout de la matière à valoriser (sédiments marins). Elle a pour but d'examiner deux axes de recherche appliquée pour réduire le tonnage des matériaux dragués et pour les valoriser dans la fabrication des briques. Elle s'inscrit bien dans une démarche de gestion globale des sédiments de dragage portuaire qui nécessite la connaissance de leur fiche d'identité avant leur valorisation [8-9]. Pour ce faire, il est au préalable indispensable de déterminer les différentes propriétés physico-chimiques, minéralogiques, microscopiques et rhéologiques des sédiments marins. La majorité des matériaux de construction sont hétérogènes. Ces matériaux peuvent accueillir différents types de déchets inorganiques traités [10-14] ou non traités [14-15]. Plusieurs études ont été effectuées, ces dernières années dans ce domaine, en ajoutant les boues des stations d'épuration et leurs cendres [16], les déchets des pierres naturelles [17-19], les mâchefers [20-26], les déchets métallurgiques [27-30] et les déblais sableux [31].

## 2. Expérimental

Les sédiments étudiés ont été prélevés au niveau du port de Bethioua (figure 1) qui se consacre aujourd'hui exclusivement aux activités pétrolières. Les matières premières utilisées pour la fabrication des briques sont constituées d'argile et de sable. Les sédiments étudiés ont été prélevés à l'aide d'une drague mécanique qui est fondamentalement une pelle mécanique montée sur un ponton dans la zone de « Bethioua ». Le matériau dragué a été conservé dans des sachets étanches propres et transférés le jour même du dragage vers les laboratoires. L'étude comporte un ensemble de propriétés physiques (paramètres d'état et de nature, teneur en eau, distribution granulaire), de propriétés chimiques (pH, conductivité, teneur en matière organique et en hydrocarbures), de propriétés minéralogiques (diffraction des rayons x), microscopiques (analyse par microscope électronique à balayage) et rhéologiques (essais d'écoulement).



**Figure 1** : Site de prélèvement des sédiments (Port de BETHIOUA).

### 2.1 Propriétés physiques

La teneur en eau a été déterminée selon la norme NF P94-050 et la masse volumique absolue selon la norme NF P94-054. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1. L'analyse granulométrique a été effectuée par granulométrie laser (figure.2). Les courbes granulométriques des sédiments marins et de la barbotine de brique sont presque confondues. Ces courbes montrent la présence d'une fraction argileuse de l'ordre de 2%, une fraction silteuse de l'ordre de 20% et une fraction sableuse de l'ordre de 78%. Les diamètres des particules  $d_{10}$  et  $d_{95}$  sont respectivement 3  $\mu\text{m}$  et 270  $\mu\text{m}$  pour les sédiments marins et la barbotine de brique. Les limites d'Atterberg ont été effectuées selon la norme NF P94-051, les résultats donnent une limite de liquidité  $W_L = 30.2\%$  et une limite de plasticité  $W_p = 19.6\%$  pour les sédiments marins. En revanche, pour l'argile utilisée dans la fabrication des briques, ces limites sont respectivement de 50.1% et 25.2%.

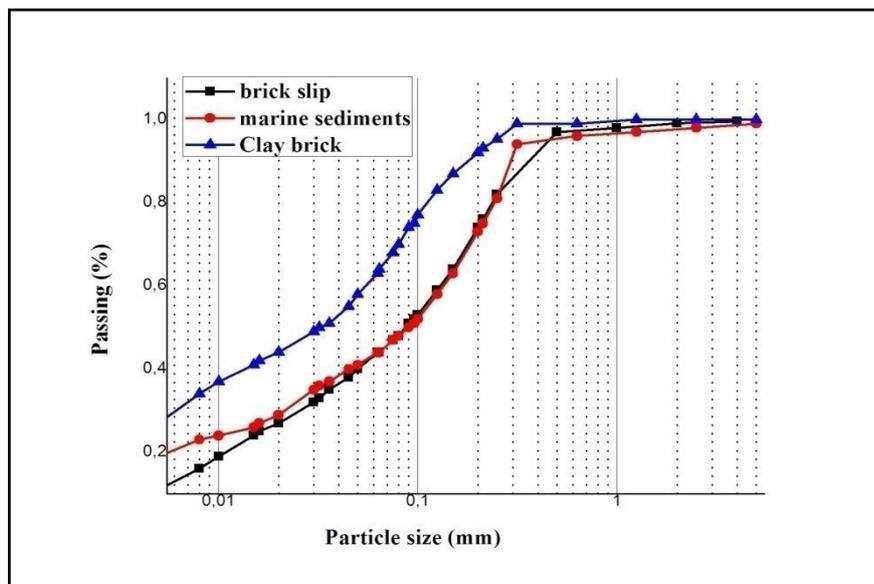
### 2.2 Propriétés chimiques

Le (tableau1) rassemble les propriétés chimiques telles que le pH, la conductivité et la matière organique. Le pH a été déterminé selon la norme NF X31-103, la conductivité électrique a été mesurée avec une cellule

conductimétrie étalonnée selon la norme NF ISO 11625, La mesure de la matière organique a été effectuée en utilisant la norme XP P94-047. Les éléments traces ont été déterminés par spectrométrie d'absorption atomique. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le (tableau 2). Ils montrent bien qu'il y a une faible présence des hydrocarbures dans les sédiments marins. Dans le cas où les résultats trouvés sont entre les niveaux de recommandation 1 et 2 (cf. tab. 2), une investigation complémentaire est nécessaire en fonction du projet considéré. Des tests sont pratiqués pour évaluer la toxicité globale des sédiments.

**Tableau 1 :** Paramètres physico-chimiques des matériaux étudiés.

Paramètres	Sédiments marins	Argile de brique
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	2.2	2.6
Fraction < 63 µm (%)	58	88
Fraction > 63 µm (%)	42	12
Wp (%)	19.6	25.2
WL (%)	30.2	50.1
VBS (%)	1.56	5.3
M O (%)	1.88	3.66
pH	8.7	8.1
Conductivité	361 ms	169 µs



**Figure 2 :** Courbes granulométriques de sédiment marin, de l'argile de brique et de la barbotine de brique.

**Tableau 2:** Niveaux relatifs aux éléments traces (en mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm), GEODE (METL & MATE) (2000).

Métaux	Unités	Sédiments marins	Argile de brique	Niveau 1	Niveau 2
Plomb (Pb)	mg/kg	< 0.01	<0.01	100	200
Mercure (Hg)	mg/kg	< 0.01	<0.01	0.4	0.8
Chrome (Cr)	mg/kg	<0.005	<0.005	90	180
Cadmium (Cd)	mg/kg	< 0.01	< 0.01	1.2	2.4
Arsenic (As)	mg/kg	< 0.05	< 0.05	25	50
Etain	mg/kg	< 0.01	< 0.01	/	/
Nitrite	mg/kg	0.00	0.00	37	74
Phénol	mg/kg	0.017	0.017	/	/
Hydrocarbures totaux	mg/kg	1.010	0.441	/	/

Pour avoir une idée plus précise sur la composition chimique des matériaux étudiés, on a procédé par la fluorescence des rayons X. Les résultats sont regroupés dans le (tableau 3) et exprimés en pourcentage massique. Cette analyse détaillée des résultats est basée sur la comparaison des teneurs pour différents oxydes. Ces résultats montrent que l'alumine ( $Al_2O_3$ ) est liée à la plasticité. On remarque que les teneurs en cet oxyde sont plus élevées dans cette argile que ceux des sédiments marins. Pour conserver la plasticité il est nécessaire de mélanger ses sédiments marins avec l'argile.

Les valeurs des teneurs en silice ( $SiO_2$ ) dans ces sédiments marins répondent aux normes de fabrication des briques. Cet oxyde correspond à la présence de quartz avec une teneur suffisante pour être utilisé comme dégraissant sans ajout d'un élément inerte tel que le sable.

L'oxyde de fer ( $Fe_2O_3$ ) est le principal colorant dans les argiles et est responsable de la couleur rouge après cuisson.

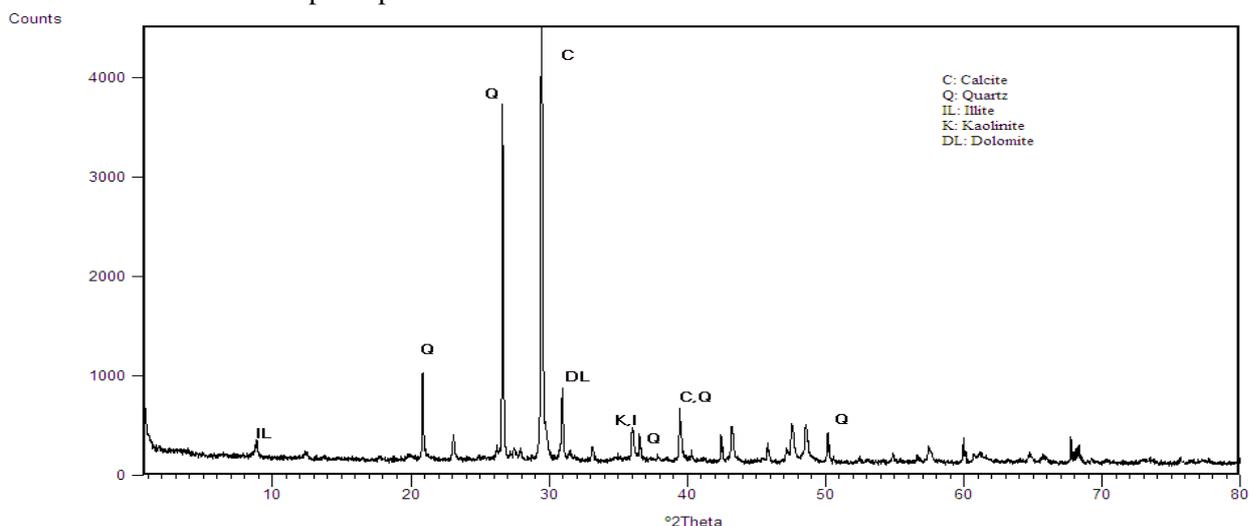
La teneur en chaux (CaO) est élevée pour les sédiments marins.

**Tableau 3** : composition chimique en éléments majeurs dans les matériaux utilisés.

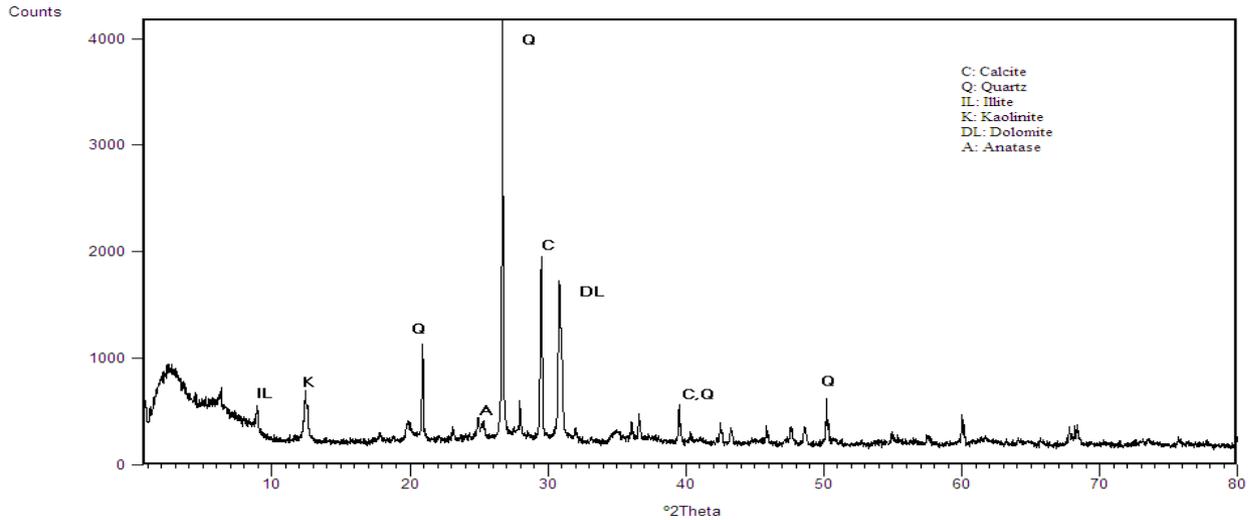
Paramètres en (%)	Symbole	Sédiments marins en %	Argile de brique en %	Barbotine de brique en %
La silice	$SiO_2$	27.9	48.4	61.0
L'allumine	$Al_2O_3$	6.1	12.2	12.1
L'oxyde de fer	$Fe_2O_3$	4.01	7.72	5.48
La chaux	CaO	29.4	10.7	9.09
La magnésite	MgO	2.71	2.50	1.76
Le sulfate	$SO_3$	0.85	0.70	0.04
Potassium	$K_2O$	0.70	2.03	1.13
L'oxyde de sodium	$Na_2O$	0.34	0.55	0.46
Le chlorure	Cl	0.02	0.05	0.13
Le phosphore	$P_2O_5$	0.11	0.21	0.11
L'oxyde de Titane	$TiO_2$	0.18	0.56	0.72
Perte au feu	PAF	28.9	16.1	7.80

### 2.3 Propriétés minéralogiques

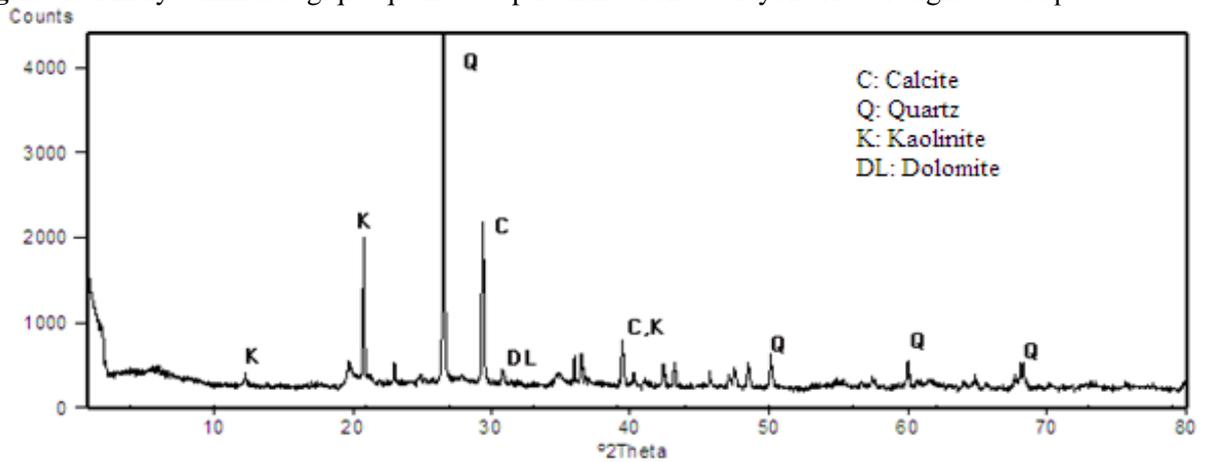
Les figures 3, 4 et 5 présentent l'identification minéralogique effectuée à partir de l'analyse qualitative par DRX à l'aide du diffractomètre Bruker D8. Ces essais ont été effectués sur une fraction broyée de l'ordre de  $80\mu m$  pour les sédiments marins, l'argile et la barbotine de brique. Les résultats obtenus montrent une présence de quartz, de calcite et de dolomite comme principaux minéraux.



**Figure 3** : Analyse minéralogique qualitative par diffraction des rayons X des sédiments marins.



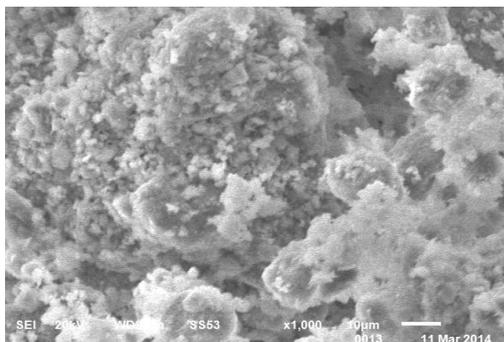
**Figure 4 :** Analyse minéralogique qualitative par diffraction des rayons X de l'argile de brique.



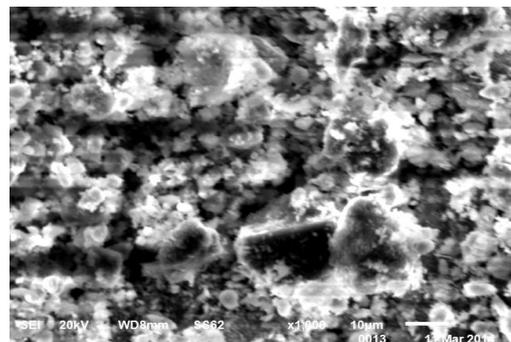
**Figure 5 :** Analyse minéralogique qualitative par diffraction des rayons X de la barbotine de brique.

#### 2.4 Propriétés microscopiques

L'observation au microscope électronique à balayage de type de JSM 6610LVL a mis en évidence la présence d'un produit blanc dans les sédiments marins. Ce produit observé peut être dû aux taux élevés en sel minéraux qui a été détecté par la valeur importante de la conductivité qui est plus élevée par rapport à celle de l'argile et de la barbotine de brique. Les grains sont souvent poreux, ils ont des formes très variables, quelques fois sphériques mais la plupart du temps irréguliers sans contours définis. On remarque aussi dans les figures 6, 7 et 8 que les grains sont de forme et de taille très variables, ils sont formés par l'agglomération des grains de plus petites tailles qui est de l'ordre de 1 µm.



**Figure 6 :** MEB de l'argile de brique.



**Figure 7 :** MEB des sédiments marins.

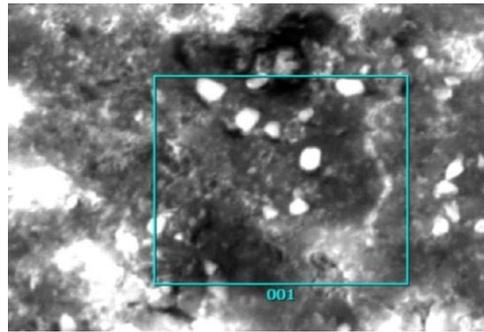


Figure 8 : MEB de la barbotine de brique.

### 2.5 Propriétés rhéologiques

Cette partie d'étude est consacrée à la caractérisation rhéologique des sédiments marins, de l'argile, de la barbotine de brique et de la barbotine avec ajout des sédiments marins pour avoir une idée sur le comportement mécanique. L'étude rhéologique a été effectuée pour différentes concentrations massiques à l'aide d'un rhéomètre (RheoStress RS600 Thermo Haake) à vitesse imposée. La géométrie cylindre coaxiaux (Z40 DIN) dont l'entrefer de 8 mm a été utilisée. Les effets perturbateurs tels que le glissement, le creusement, l'évaporation et la fracturation ont été bien contrôlés.

#### 2.5.1 Essais d'écoulement

Les trois matériaux (argile, barbotine et sédiments marins) ont été étudiés à différentes concentrations massiques de 10 à 55% à température ambiante de 20°C en utilisant un bain thermostatique de type (DC30). L'homogénéisation parfaite a été atteinte en agitant les mélanges respectifs (argile+eau, sédiments marins+eau, barbotine+eau) pendant 24 heures avec un agitateur magnétique. Une plage de vitesse de 150 à 0.02 s<sup>-1</sup> a été imposée aux échantillons en régime stationnaire. Les Figures 9, 10 et 11 montrent l'évolution de la contrainte de cisaillement ( $\tau$ ) en fonction de la vitesse de cisaillement ( $\dot{\gamma}$ ), on remarque l'augmentation de la contrainte de cisaillement en fonction de la concentration massique des échantillons. Ces courbes rhéométriques sont modélisées par Le modèle d'Herschel- Bulkley (Equation1) pour les trois matériaux.

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Avec :  $\tau_0$  le seuil d'écoulement (Pa), K : indice de consistance (Pa.s<sup>n</sup>) et n indice d'écoulement (-)

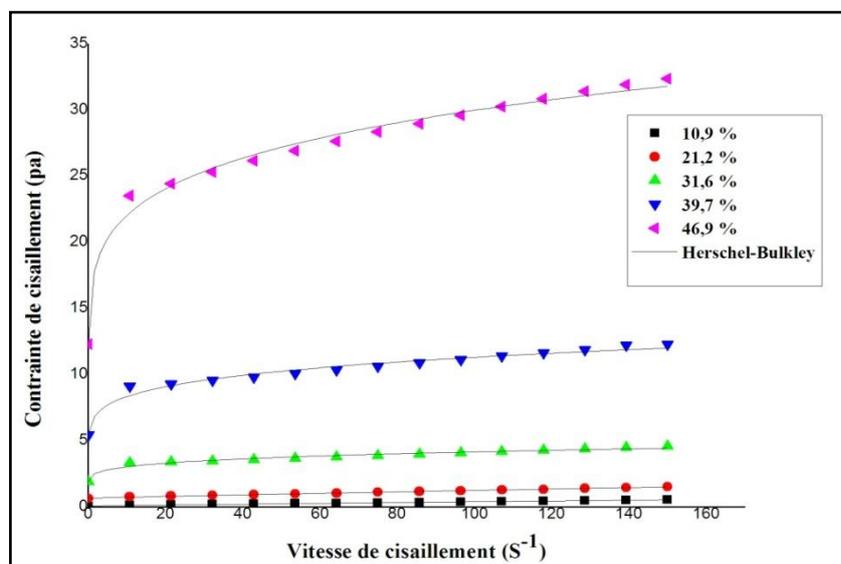
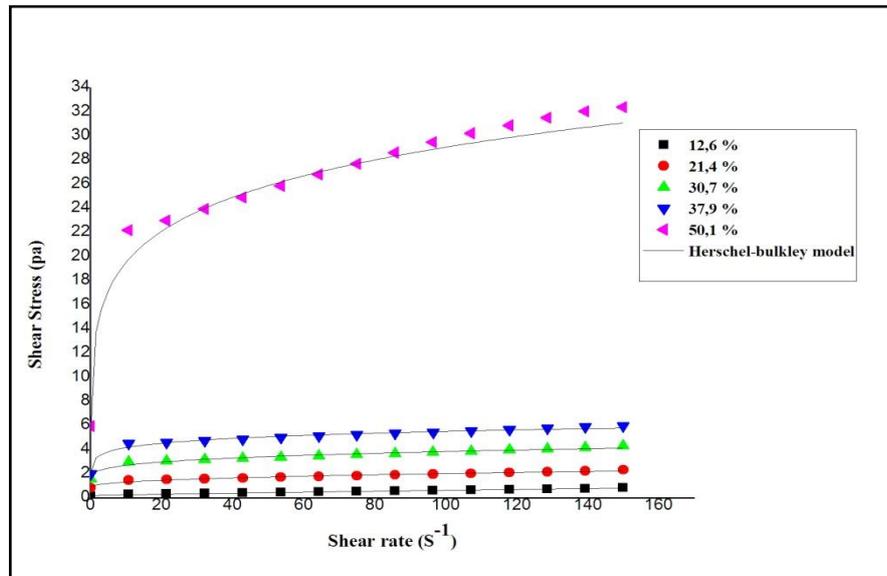
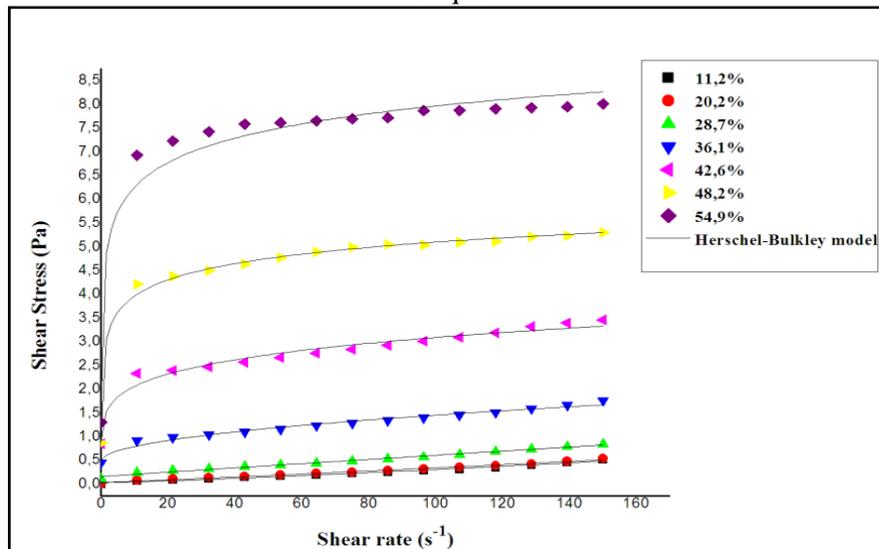


Fig. 9 : Evolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement de l'argile de brique.



**Fig. 10:** Evolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement de la barbotine de brique



**Fig. 11 :** Evolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement des sédiments marins.

## 2. Résultats et discussion

### 3.1 Evolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement sous l'effet de l'ajout des sédiments marins

Cinq concentrations massiques ont été utilisées pour effectuer les essais rhéologiques. Les cinq formulations préparées sont indiquées dans le (tableau 4).

**Tableau 4 :** formulations avec ajout de sédiments marins de 0 à 20%.

Référence	Sédiments marins %	Argile de brique %	Sable %
Barbotine	0	75	25
Formulation 1 (F1)	5	70	25
Formulation 2 (F2)	10	65	25
Formulation 3 (F3)	15	60	25
Formulation 4 (F4)	20	55	25

La figure 12 montre l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction du gradient de vitesse pour la barbotine de brique et les barbotines avec ajouts des sédiments marins. On remarque que le modèle rhéologique reste le même pour les cinq concentrations (Herschel- Bulkley (Equation1)).

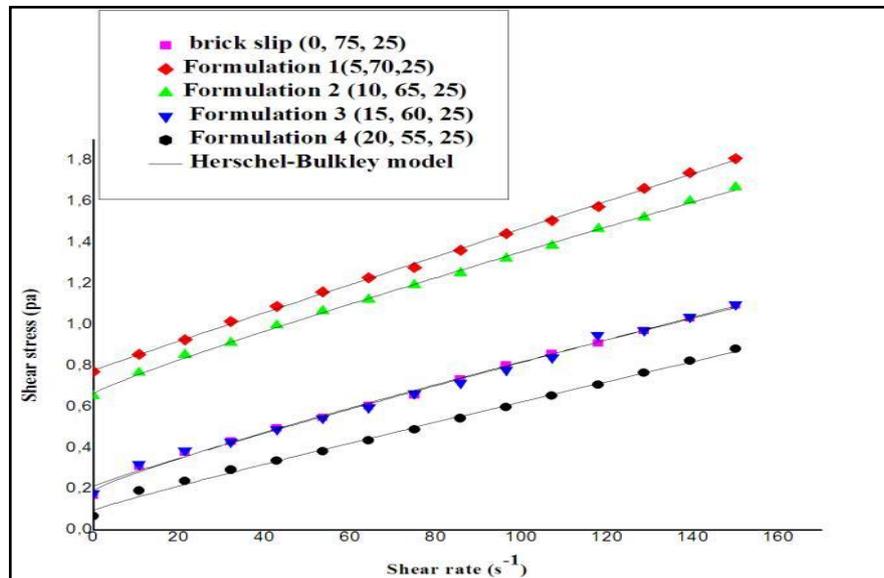


Figure 12 : Courbe d'écoulement de la barbotine de brique et les barbotines avec ajouts des sédiments marins.

### 3.2. Evolution de la contrainte seuil en fonction de la concentration massique sous l'effet de l'ajout des sédiments marins

La (figure 13) montre l'évolution de la contrainte seuil en fonction de différentes concentrations d'ajouts en sédiments marins. On remarque que les barbotines à base de 5% et 10% de sédiments marins donnent une contrainte seuil nettement plus élevée par rapport à la barbotine de référence (de l'ordre de quatre fois). Pour la concentration en sédiments marins de 20%, la contrainte seuil chute jusqu'à une valeur de quatre fois plus petite que celle de la barbotine de référence. (Y'avait une erreur avec les symboles F1, F4 mais je l'ai corrigés)

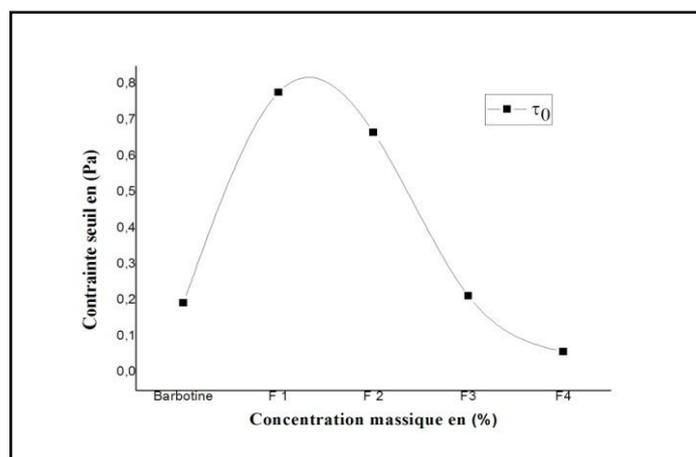
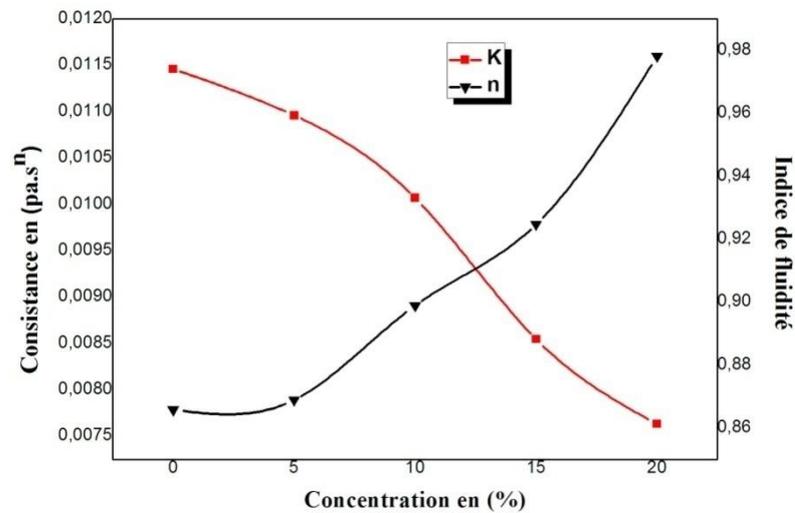


Figure 13 : Evolution de la contrainte seuil en fonction de la concentration massique.

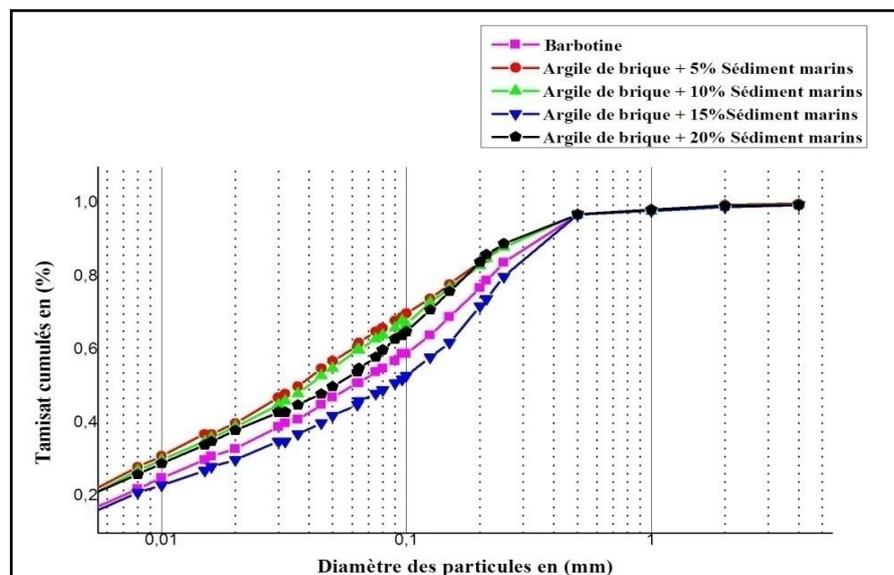
### 3.3 Evolution de la consistance et de l'indice de fluidité de la barbotine sous l'effet des ajouts en sédiments marins

La (figure 14) montre l'évolution de la consistance (K) et de l'indice de fluidité (n) de la barbotine en fonctions des concentrations en ajouts des sédiments. Les résultats obtenus montrent une augmentation significative de la consistance lorsque la concentration en ajouts augmente, en revanche une diminution de l'indice de fluidité est observée.



**Figure 14 :** Evolution de la consistance et de l'indice de fluidité de la barbotine en fonction de la concentration des ajouts en sédiments marins.

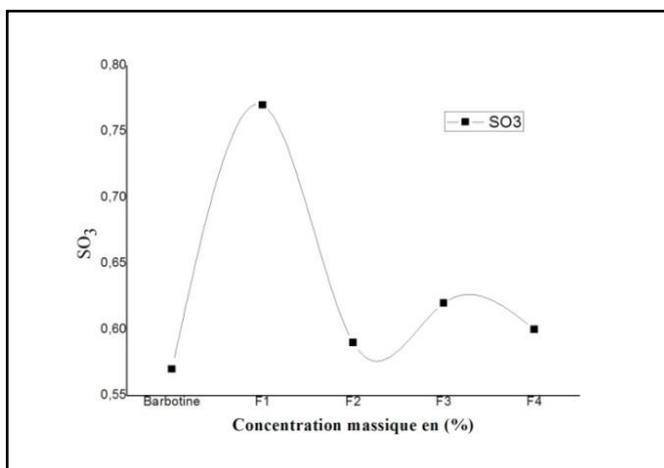
Ces résultats montrent que les sédiments marins peuvent être valorisés jusqu'à une concentration de 15%, sachant que dans ce cas les paramètres rhéologiques sont presque identiques à ceux de la barbotine de référence. Afin de donner des explications à ce phénomène, on a présenté les courbes granulométriques effectuées par un granulomètre laser d'une part (cf. fig. 15), le (tableau 5) qui présente la composition chimique en éléments majeurs ainsi que les figures qui représentent les pourcentages en alumines et en sulfates en fonctions des concentrations des ajouts en sédiments marins d'autre part (cf. fig. 16 et 17). On remarque que l'allure des distributions granulométriques de la barbotine de référence et celles avec des ajouts en sédiments marins sont semblable. Les résultats expérimentaux (cf. tab 5) peuvent être dus à une distribution des sites actifs d'adsorption sur la surface du matériau solide. La capacité d'adsorption qui correspond à une saturation maximale de la monocouche d'argile de brique en éléments majeurs dans les mélanges de la barbotine est plus importante pour un ajout de 5% de sédiments marins (F1) que pour les autres formulations (cf. tab 5). On remarque que les allures des alumines et des sulfates suivent la même variation que la contrainte seuil, il est probable que ces paramètres ont un effet direct sur la contrainte seuil.



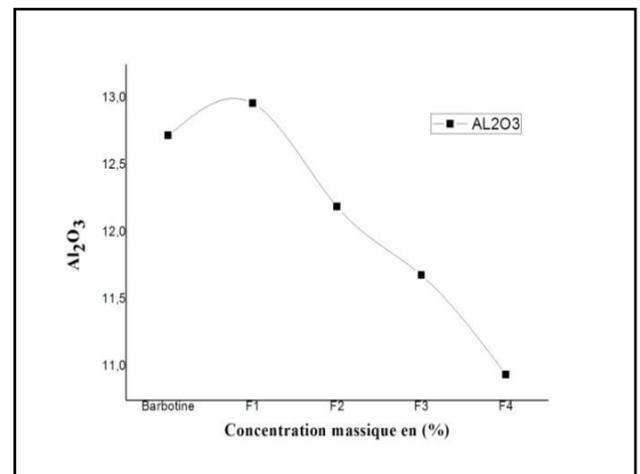
**Figure 15 :** Courbes granulométriques de la barbotine de brique et de la barbotine à base des sédiments marins.

**Tableau 5 :** composition chimique en éléments majeurs dans les mélanges de barbotine.

Paramètres en (%)	Symbole	Barbotine	F 1	F 2	F 3	F 4
La silice	$S_iO_2$	54.8	50.5	50.9	50.6	49.9
L'alumine	$Al_2O_3$	12.7	12.9	12.2	11.7	10.9
L'oxyde de fer	$Fe_2O_3$	5.41	5.36	5.12	5.17	5.03
La chaux	CaO	9.86	11.8	12.9	13.2	14.4
La magnésite	MgO	2.45	2.46	2.41	2.37	2.29
Le sulfate	$SO_3$	0.57	0.77	0.59	0.62	0.60
Potassium	$K_2O$	2.04	2.08	1.94	1.97	1.89
L'oxyde de sodium	$Na_2O$	0.55	0.56	0.58	0.58	0.58



**Figure 16 :** Evolution de  $SO_3$  en fonction de la concentration massique.



**Figure 17 :** Evolution de  $Al_2O_3$  en fonction de la concentration massique.

## Conclusion

La caractérisation physique des sédiments marins du port de Bethioua montre que les courbes granulométriques de ces sédiments et de la barbotine de brique sont presque identiques.

La caractérisation chimique des sédiments a permis d'évaluer leur potentiel de valorisation avec la nécessité à mélanger ces sédiments marins avec l'argile de briques pour garder la plasticité. Ces sédiments de dragage du port de Bethioua présentent un taux faible en hydrocarbures et une absence de pollution métallique-La caractérisation minéralogique a montré la présence majoritaire de quartz et de calcite dans les sédiments marins. Ces résultats montrent une similarité entre l'argile utilisée et les sédiments marins. Cela montre que la valorisation des sédiments dans les briques constitue une opportunité-La caractérisation rhéologique montre que l'introduction de 5, 10 et 15% des sédiments marins dans la barbotine de brique donnent une contrainte seuil comparable avec la barbotine de brique. Les paramètres rhéologiques obtenus montrent que ces sédiments marins peuvent être valorisables jusqu'à 15%. Ces sédiments peuvent constituer des matériaux locaux économiques. Finalement, on peut conclure que les briques produites avec les ajouts de sédiments marins possèdent des propriétés physiques, chimiques, minéralogiques et rhéologiques très satisfaisantes répondants aux normes de fabrication de ces dernières.

**Remerciements**-Les auteurs expriment leurs sincères remerciements à tous les membres du Laboratoire LRTTFC du département d'Hydraulique de l'USTO-MB.

## Références

1. Hamer K., Karius V., *Waste Managemen.* 22 (2002) 521-530.
2. Lafhaj Z., Samara M., Agostini F., Boucard L., Skoczylas F., Depelsenaire G., *Construction and building materials.* 22(2008)755-762.
3. Samara M., Lafhaj Z., Chapiseau C., *Journal of Hazardous Materials.* 163(2009)701-710.
4. Yang x., Changhong Y., Baotian X., Xiaohong R., Zhi W., *Ceramic international.* 40(2014) 8833-8840.
5. Romero M., Andres A., Alonso R., Viguri J., Rincon J., *Ceramic international.* 34(2008)1917-1924.
6. Sépouv K., Besq A., Guillou S., *Revue Paralia* (2010). CFL. DOI:10.5150/jngcgc.062-P.
7. Benamar A., Brasselet S., Pantet A., *Revue Paralia* (2012). DOI : 10.5150/jngcgc.108-B.
8. Levachie D., Sanchez M., Duan Z., Liang Y., *Revue paralia.* (2011).004. vol.4, pp.1-4.20.doi ; 10,5150.
9. Ben allal L., Ammari M., Frar I., Azmani A., Belmoukhtare N., *Revue Paralia* (2011). vol4, pp5, 1-5.13.
10. Marie L.C., Thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon (2012), France.
11. Thanh B. N., Thèse de doctorat, université de TOULOUSE(2008), France.
12. Pierre Y. S., Thèse De Doctorat, L'école Centrale De Lille (2008), France.
13. Vincent D., Thèse de doctorat, L'école nationale supérieure des mines de Douai(2006), France.
14. Samara M., Thèse de doctorat, L'école centrale de Lille(2007), France.
15. Julie L., Thèse de doctorat, L'école nationale supérieure des Mines de Paris(2004), France.
16. Lin K., Chiang K., Lin D., *J. Hazard. Mater.* 128(2-3) (2006) 175-181.
17. Acchar W., Viera F., Hotza D., *Mater. Sci. Eng.* 419 (2006) 306-309.
18. Menezes R., Ferreira H., Neves G., *J. Eur. Ceram.Soc.* 25 (2005) 1149-1158.
19. Blanco G., Rodas M., Sanchez L., Dondi M., Alonso J., *Appl. Clay Sci.* 28(1-4) (2005) 283-295.
20. Lin K., *J. Hazardous. Mater.* 137 (2006) 1810-1816.
21. Olgum A., Erdogan Y., Ayham Y., Zeybek B., *Ceram. Int.* 31 (1) (2005) 153-158.
22. Xu L., Guo W., Wang T., yang N., *Constr. Build. Mater.* 19 (2005) 243-247.
23. Cheeseman C., Monteiro D., Sollars C., *Wast. Manag.* 23 (2003) 907-916.
24. Dondi M., Ercolani G., Gaurini G., Raimondo M., *Eur.Ceram. soc.* 22 (2002) 1729-1735.
25. Dondi M., Guarini G., Raimondo M., Venturi I., *J. Eur Ceramic: sos.* 22 (2002) 1737-1747.
26. Yoo J., Jung J., Kin H., wastes. *Mater.sci.* Forum 486/487 (2005) 403-406.
27. Vieira C., Andrade P., Maciel G., Vernilli F., *Mater. Sci. Eng.* 427 (2006) 142-147.
28. Shih P., Wu Z., Chiang H., *Waste Manag.* 24 (2004) 1043-1047.
29. Valle F., Rivera E., Rincon J., *Revue de métallurgie.* CIT/Science et génie de matériaux (mai) (1995) 681-768.
30. Dominguez E., Ulmann R., *Appl. Clay Sci.* 11(1996) 237-249.
31. Jérôme F., Thèse de doctorat, Centre d'étude Techniques Maritimes et Fluvial de Nantes (2005), France.
32. METL., MATE., Arrêté du 14 juin, Journal Officiel n° 184 du 10 août 2000, texte n° 24, pp 12415-12416.

(2016); <http://www.jmaterenvirosci.com>