



Utilisation des sédiments de dragage portuaire comme matière première dans la fabrication des briques en terre cuite (Utilization of dredged port sediments as raw material in production of fired brick)

Ikram Frar^{*}, Laïla Ben Allal, Mohammed Ammari, Amina Azmani

Laboratoire des Matériaux et Valorisation des Ressources (LMVR), Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, Université Abdelmalek Essaadi, BP 416 – Tanger, Maroc

Received 24 May 2013, Revised 25 Nov 2013, Accepted 25 Nov 2013

* Corresponding author. E mail: ikram.frar@gmail.com ;

Abstract

The great demand for habitats that showed an increased use of raw materials for the manufacture of building materials pushed the reflection in the line of research of alternative materials. This awareness is reflected in the recent development of bricks with waste. The objective of this work is to reuse untreated dredged port sediments of Tangier and Larache in clay building materials and more specifically in bricks. A complete characterization of dredged port sediments of Tangier and Larache was being made by chemical, physical, mineralogical and environmental. We noted the absence of metal pollution. The following study consisted in developing samples of bricks based on sediment laboratory scale. The optimum rate of substitution of clay used in the formulation of the bricks by the sediments was assessed with help mechanical testing. The parameters such as the surface area of mixtures, porosity, water absorption and apparent density influencing the behaviour of bricks were determined.

Keywords: Characterization, dredged sediment, brick, Compressive strength, Substitution.

Résumé

La grande demande en habitats qui a mis en évidence une utilisation accrue des matières premières pour la fabrication des matériaux de construction a poussé la réflexion dans la voie de recherche d'autres matériaux de substitution. Cette prise de conscience se traduit par le développement récent de briques avec déchets. L'objectif de ce travail est de valoriser les sédiments de dragage portuaire non traités des ports de Tanger et de Larache dans des matériaux de construction en terre cuite et plus précisément dans les briques. Une caractérisation complète des sédiments de dragage des ports de Tanger et de Larache a été réalisée à partir d'analyses chimiques, physiques, minéralogiques et environnementales. On a noté l'absence de pollution métallique. La suite de l'étude a consisté à élaborer des échantillons de briques à base de sédiments à l'échelle du laboratoire. Le taux de substitution optimum d'argile entrant dans la formulation des briques par les sédiments a été évalué à l'aide d'essais mécaniques. Les paramètres tels que la surface spécifique des mélanges, la porosité, l'absorption d'eau et la masse volumique apparente influençant le comportement des briques ont été déterminés.

Mots clés : Caractérisation, Sédiments de Dragage, Briques, Résistance à la compression, Substitution.

1. Introduction

Les sédiments de dragage portuaire sont le produit de l'extraction des sédiments qui se sont déposés sur les fonds notamment des darses portuaires. Ils sont appelés communément vases et sont constitués de phases minérale, organique et liquide. La gestion durable de ces sédiments de dragage demeure aujourd'hui un enjeu important, les volumes des sédiments dragués étant considérables. Au Maroc il est dragué annuellement 3,4 Mm³.

Ces sédiments constituent un véritable problème environnemental à cause de leurs contenants polluants organiques et inorganiques. Il est donc important de proposer des solutions pour l'utilisation de ces sédiments au lieu de les déposer en décharge public ou de les rejeter dans les hautes mères. Des travaux de recherches réalisés ont présenté des solutions très intéressantes quant à la valorisation de ces déchets dans le domaine de construction : technique routière [1, 2, 3], fabrication des briques [4, 5, 6], matériaux cimentaires [7], fabrication des granulats artificielles [8], béton [9].

L'objectif de notre travail est la valorisation des sédiments de dragage portuaires non traités comme matière première dans la fabrication des briques. Ainsi une étude relative au taux de substitution d'argile dans la

composition de briques en incorporant des sédiments de dragage des ports de Tanger et de Larache du nord du Maroc a été menée.

2. Généralités sur les sédiments étudiés

2.1. Lieu de prélèvement

Dans le cadre de notre étude, on s'intéresse aux sédiments qui proviennent des deux ports du nord du Maroc : Port de Larache et Port de Tanger ville (figure 1).



Figure : Représentation géographique des deux ports (Tanger ville et Larache) du nord du Maroc

Le port de Tanger ville se trouve entre l'Atlantique et la Méditerranée, il a plusieurs activités grâce à sa position stratégique (trafic des passagers, trafic du transit international routier et la pêche). Ce port est en cours de conversion en port de plaisance. Le port de Larache se localise sur la côte Atlantique à côté de l'embouchure de l'oued Loukkos, il est connu par ses activités de pêches.

3. Analyses et discussions

3.1. Caractérisation des sédiments prélevés

Une caractérisation complète des sédiments de dragage des ports de Tanger et de Larache a été réalisée : analyses chimiques, physiques, minéralogiques et environnementales.

3.1.1. Caractérisation chimique

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des analyses chimiques qui ont été réalisées selon les normes : NF ISO 11464 pour la détermination de l'humidité à 40 °C, NF X 31-103 pour la mesure du pH, NF ISO 11265 pour la mesure de la conductivité électrique, NF X 31-105 pour la détermination de la teneur en carbonates à l'aide du calcimètre de Bernard et NF ISO 14235 pour le dosage de la matière organique [10, 11, 12, 13, 14].

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques des sédiments étudiés

Sédiment	Tanger	Larache
Humidité à 40 °C (% massique)	58,6	49,4
pH	8,5	7,8
Conductivité (mS/cm ²)	6,6	6,5
Teneur en carbonates (%)	10,5	8,0
Hydrocarbures (%)	5,1	1,3
Matières organiques (%)	7,0	4,2
Sulfates (%)	1,1	0,7
Chlorures (%)	4,7	3,5

On a procédé à la mesure de l'humidité des sédiments à 40 °C. Le principe repose sur le séchage de l'échantillon dans une étuve à 40 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante selon la norme NF ISO 11464. Les mesures relatives aux sédiments (valeurs moyennes sur 3 échantillons) sont consignées dans le tableau 1. Ces valeurs dépendent fortement des conditions de dragage.

Cette élimination d'humidité entre dans le cas de la préparation des échantillons pour les analyses physico-chimiques. La température est fixée à 40 °C pour éviter toute altération de la matière organique [10].

Les sulfates ont été dosés dans les deux sédiments par gravimétrie. Le dosage des chlorures a été réalisé par la méthode de sel de Mohr.

Pour qualifier et quantifier les éléments chimiques présents dans les sédiments étudiés, on a réalisé les analyses des métaux lourds et des éléments majeurs.

La concentration des métaux lourds dans les sédiments marins peut varier dans le temps pour différents motifs : apports anthropiques directs, transfert continental par des sources fluviales et éoliennes, transport par des courants marins, dépôts atmosphériques, etc. L'objectif principal de ce dosage était de connaître les concentrations de certains métaux lourds (chrome, Arsenic, nickel, cuivre, Cadmium, Plomb et zinc) dans ces sédiments de dragage. L'analyse des métaux lourds a été effectuée sur une fraction de taille de 63 µm car la fraction fine est celle qui contient la plus haute concentration en métaux. Ce dosage a été réalisé à l'aide de l'ICP-AES (Spectromètre d'Emission Atomique Plasma à Couplage Inductif). Le plasma est un gaz (Argon) partiellement ionisé et macroscopiquement neutre. Les résultats des concentrations en métaux lourds sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Concentrations des éléments traces des sédiments en mg/kg de sédiment sec

Métaux (mg/kg)	Tanger	Larache
Arsenic (Ar)	35,09	21,01
Cadmium (Cd)	1,85	1,23
Chrome (Cr)	113,03	125,17
Cuivre (Cu)	80,14	46,22
Plomb (Pb)	87,91	27,13
Nickel (Ni)	55,04	56,90
Zinc (Zn)	380,45	187,32

Les niveaux de référence en mg/kg de sédiment sec [15] sont regroupés dans le tableau 3.

Tableau 3: Niveaux relatives aux éléments traces (en mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm) GEODE (2000)

Métaux	Niveau 1	Niveau 2
As	25	50
Cd	1,2	2,4
Cr	90	180
Cu	45	90
Hg	0,4	0,8
Pb	100	200
Ni	37	74
Zn	276	552

Niveau 1 : valeur au-dessous de laquelle l'immersion peut être autorisée sans étude particulière, mais au-dessus de laquelle des études plus approfondies que la simple analyse physico-chimique doivent être entreprises.

Niveau 2 : valeur au-dessus de laquelle l'immersion est susceptible d'être interdite s'il n'est pas apporté la preuve qu'elle constitue la solution la moins préjudiciable pour l'environnement.

La comparaison des concentrations en éléments traces des sédiments de dragage qui sont présentés dans le tableau 2 aux niveaux N₁ et N₂ de référence permet de déduire l'absence de pollution métallique pour les deux sédiments car tous les concentrations obtenue sont au-dessous de N₂.

La détermination des éléments majeurs a été réalisée par spectrométrie de fluorescences X, le tableau 4 rassemble les valeurs obtenues. L'examen des résultats montre que les pourcentages en silice sont presque égaux pour les deux sédiments ; les teneurs en sulfates sont quasi égales aux valeurs obtenues par gravimétrie.

Tableau 4 : Composition chimique en éléments majeurs dans les sédiments en %.

Eléments majeurs	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Sédiment de Tanger	48,5	11,9	7,4	11,7	1,2	1,1	1,7	2,0
Sédiment de Larache	49,6	14,5	9,1	11,2	0,5	0,6	1,7	2,1

3.1.2. Caractérisation physique et minéralogique

Le tableau 5 rassemble l'ensemble des analyses physiques déterminées selon les normes : P18-555 pour les masses volumiques absolue et apparente, NF P 94-068 pour le dosage de bleu de méthylène, NF P 18-598 pour l'essai d'équivalent de sable et NF P 18-560 pour la granulométrie sur colonne [16, 17, 18, 19].

Tableau 5 : Caractéristiques physiques des sédiments étudiés

Sédiment	Tanger	Larache
La masse volumique absolue (g/cm ³)	2,28	2,20
La masse volumique apparente (g/cm ³)	1,53	1,30
La valeur Bleu de méthylène (V _{BS})	2,50	4,50
Surface spécifique totale (m ² /g)	52,32	94,18
Equivalent de sable (%)	29,86	42,50
Fraction < 63 µm (%)	41	94
Fraction > 63 µm (%)	59	6

Le dosage de bleu de méthylène s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène. L'adsorption maximale est atteinte quand une auréole bleu clair se produit à la périphérie de la tache. La valeur de bleu de méthylène V_{BS} représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules d'un sédiment. Elle s'exprime par la quantité de bleu en grammes consommée par 100 grammes de fines. Cet essai permet d'apprécier d'une manière générale l'activité de la fraction argileuse du sédiment étudié ainsi que sa surface spécifique.

On en déduit la valeur au bleu du sol V_{BS}, qui est un indicateur essentiel dans la classification des sols. Six catégories de sols sont définies en France selon la valeur de VBS [17].

Tableau 6 : Classification des différents types de sols selon leur VBS

Valeur de bleu de méthylène (VBS)	Catégorie de sol
VBS < 0,1	sol insensible à l'eau
0,2 ≤ VBS < 1,5	sol sablo limoneux, sensible à l'eau
1,5 ≤ VBS < 2,5	sol sablo argileux, peu plastiques
2,5 ≤ VBS < 6	sol limoneux-argileux de plasticité moyenne.
6 ≤ VBS < 8	sol argileux.
VBS > 8	sol très argileux.

D'après la classification des sols selon la valeur de leurs VBs (tableau 6), on peut déduire que les deux sédiments étudiés sont classés limoneux-argileux.

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un matériau. Il rend compte globalement de la quantité des éléments fins contenus dans ce matériau. Selon les résultats rassemblés dans le tableau 5 on observe que le sédiment de Larache contient plus d'éléments fins que le sédiment de Tanger. La comparaison des valeurs obtenues avec les valeurs données sur le tableau 7 permet de conclure à une nature argileuse des deux sédiments [18].

Tableau 7 : Valeurs préconisées pour l'E.S

E.S à vue	E.S	Nature et qualité du sable
E.S.V < 65	E.S < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement, problème d'adhérence, à rejeter pour les bétons de qualité.
65 ≤ E.S.V < 75	60 ≤ E.S < 70	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
75 ≤ E.S.V < 85	70 ≤ E.S < 80	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour des bétons de haute qualité (valeur optimale E.S = 75, E.S.V = 80).
E.S.V ≥ 85	E.S ≥ 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

L'analyse granulométrique a été réalisée premièrement par voie humide sur un tamis de 63 µm en raison de la nature argileuse des sédiments étudiés dans le but de séparer la fraction fine et la fraction grossière (>63 µm). Les

résultats sont présentés dans le tableau 5. Pour la partie grossière qui correspond au refus, elle a été séchée à l'étuve à 110 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante et tamisée par l'utilisation d'une série de tamis. Ce sont deux sédiments fins, cependant sur la figure 2, on observe clairement que le sédiment du port de Larache est beaucoup plus fin que le sédiment du port de Tanger.

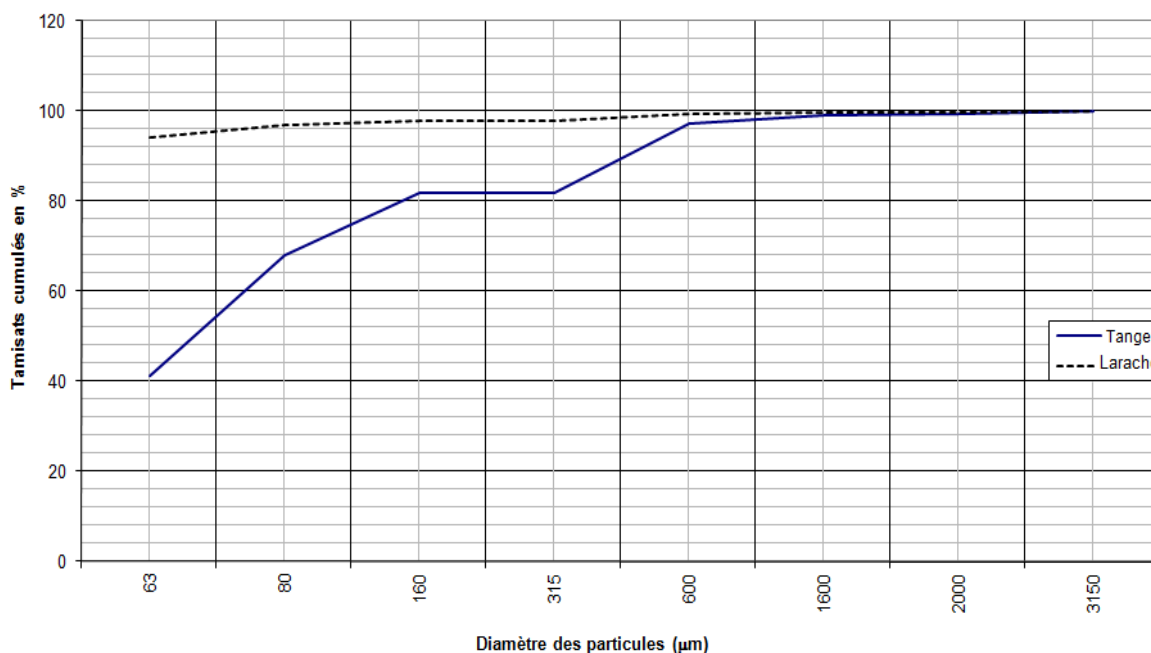


Figure 2 : Courbes granulométriques des sédiments étudiés

Une analyse minéralogique des sédiments étudiés a été effectuée à partir d'analyses qualitatives par DRX qui ont été réalisées sur une fraction broyée de l'ordre de 80 µm pour les deux sédiments à l'aide d'un appareil Spinner PW 3064. Il en résulte que la calcite CaCO_3 , le quartz SiO_2 et la kaolinite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ sont présents pour les deux sédiments.

3.1.3. Caractérisation environnementale

La caractérisation environnementale de sédiments bruts a été réalisée à l'aide de l'essai de lixiviation.

La lixiviation est une technique d'extraction de produits solubles, elle consiste à faire passer lentement un liquide à travers un solide en poudre. Le liquide produit après cette opération s'appelle le lixiviat. Pour obtenir une extraction complète, on fait un mouvement rotatif au sédiment broyé par l'eau (solvant) pendant 24 heures en utilisant un rapport de L/S = 10 selon la norme EN 12457, cette extraction est accompagnée de la dissolution des matières solides qui y sont contenues [20].

Tableau 8 : Teneur en chlorures et en sulfates (mg/kg)

Sédiment	Tanger	Larache
Teneur moyenne en chlorures (mg/kg)	1020	940
Teneur moyenne en sulfates (mg/kg)	1268	885

Les chlorures sont dosés par titrage par le nitrate d'argent. Pour les sulfates, ils sont dosés par spectrophotométrie UV. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 8.

Après la comparaison de la teneur en chlorures avec les normes de lixiviation [21], on constate que les sédiments de dragage des ports de Tanger et Larache ne sont pas dangereux. La comparaison de la teneur en sulfates avec les mêmes normes permet de déduire que le sédiment du port de Tanger est dans la classe des déchets inertes et le sédiment du port de Larache est dans la classe des déchets non dangereux.

3.2. Valorisation des sédiments de dragage portuaire dans les matériaux de construction en terre cuite

La composition chimique des sédiments des ports de Tanger, Larache et de l'argile témoin (briqueterie Al Andalous) (tableau 9) a été comparée aux normes existantes [22, 23].

Tableau 9 : composition chimique des sédiments de dragage et de l'argile de la briqueterie (%)

Eléments majeurs en %	Sédiment de Tanger	Sédiments de Larache	Argile Al Andalousse	Argile pour briques [22]
SiO ₂	48,5	49,6	58,1	35 – 85
Al ₂ O ₃	11,9	14,5	16,9	8 – 25
Fe ₂ O ₃	7,4	9,1	3,73	2 – 8
CaO	11,7	14,5	5,38	0 – 15

Il est intéressant de constater que:

- la teneur en silice SiO₂ est bien conforme aux normes.
- l'alumine Al₂O₃, liée à la plasticité, permet l'utilisation de ces deux sédiments pour la fabrication de briques puisqu'elle se situe à la limite inférieure autorisée.
- la teneur en Fe₂O₃ est très acceptable et permet de considérer les deux sédiments comme une argile à teneur moyenne en oxyde colorant.
- la teneur en chaux CaO ne dépasse pas la limite supérieure tolérée.

Par conséquent, Des mélanges (argile + sédiments) ont été préparés pour la confection des échantillons de briques. L'optimum de substitution a été déterminé par la mesure des résistances mécaniques sur des briques-éprouvettes. La surface spécifique des mélanges, de l'argile de la briqueterie et des sédiments a été déterminée par la méthode de l'adsorption du bleu de méthylène. La porosité, l'absorption d'eau et la masse volumique apparente des échantillons de briques ont été mesurées. Un test de lixiviation sur les briques-éprouvettes a été réalisé selon la norme EN 12457 [20] pour évaluer le potentiel de relargage des métaux lourds vers le milieu naturel.

3.2.1. Préparation des mélanges

La confection des éprouvettes de briques de forme cylindrique (30 mm de diamètre et d'une longueur de 30 mm) a été faite pour des mélanges de sédiments et d'argile avec différents taux de substitution (tableau 10) : 0%, 20%, 40% et 70% à l'aide d'une extrudeuse (voir figure 3a). Le sable jouant le rôle de dégraissant [22] n'a pas été ajouté au mélange car la teneur en silice dans l'argile de la briqueterie est suffisante. La quantité d'eau utilisée pour la confection du briques témoin est de 10 %, pour les autres échantillons la quantité varie entre 14 et 31 %.

Les deux composants (sédiments-argile de la briqueterie) ont été bien mélangés à sec pendant 15 minutes. La quantité d'eau ajoutée donne une plasticité pour les mélanges semblable à celle de la pâte des briques témoins [24] et facilite l'opération de façonnage. Cette opération se fait à l'aide d'une extrudeuse qui nous donne la forme des échantillons des briques (figure 3b). La figure 3c montre la forme des briques- éprouvettes avant la cuisson. Elles sont d'abord séchées à l'aide d'un séchoir puis subissent ensuite un système de cuisson dans un four tunnel de la briqueterie jusqu'à 930 °C pendant 48 heures. La forme des briques cuites est représentée sur la figure 3d.

Tableau 10 : Formulation des mélanges pour la préparation des briques-éprouvettes.

	Sédiments	Argile
Témoin	0 %	100 %
Mélange 1	20%	80%
Mélange 2	40%	60%
Mélange 3	70%	30%

3.2.2. Surface spécifique des mélanges

La surface spécifique des sédiments, de l'argile utilisée par la briqueterie Al Andalous ainsi que celle des mélanges, a été déterminée par la méthode d'adsorption du bleu de méthylène. Cette technique permet de mesurer la surface totale externe et interne des particules. Les résultats sont donnés sur la figure 4.

Nous constatons que la surface spécifique des mélanges diminue avec l'ajout des sédiments quel que soit le port d'origine. Les mélanges contribuent à faire chuter la surface spécifique de l'échantillon Témoin. La substitution de l'argile par les sédiments crée donc une augmentation de la taille des particules au sein des mélanges.



Figure 3: Confection des briques-échantillons au niveau de laboratoire.

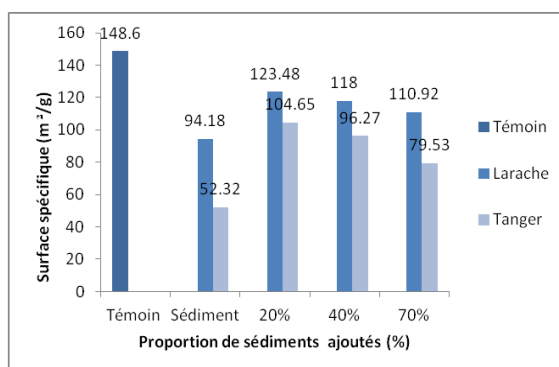


Figure 4 : Variation de la surface spécifique des mélanges

3.2.3. Test de qualification des briques réalisés

Les briques produites au niveau de laboratoire ont subi une série d'essais (Porosité, Absorption d'eau, Masse volumique apparente et la résistance mécanique) pour bien connaître les propriétés de ces briques. Pour évaluer le caractère polluant des briques, un test de lixiviation a été effectué.

3.2.4. Porosité et absorption d'eau

La porosité est déterminée par le rapport du volume total des vides ouverts du matériau au volume apparent. Elle a une influence importante sur la résistance mécanique, l'absorption d'eau et la perméabilité de la brique [25, 26]. Elle a été mesurée sur les briques-échantillons par la méthode de la pesée hydrostatique. Le test d'absorption d'eau

a été réalisé selon la norme ASTM C67-03a [27]. Les valeurs déduites des mesures sont représentées sur la figure 5. La porosité ouverte à l'eau des briques augmente en fonction du taux de substitution ainsi que le coefficient d'absorption d'eau. L'ajout de sédiments augmente par conséquent la taille des pores dans les briques. La porosité est d'autant plus grande pour les briques incorporant le sédiment de Tanger.

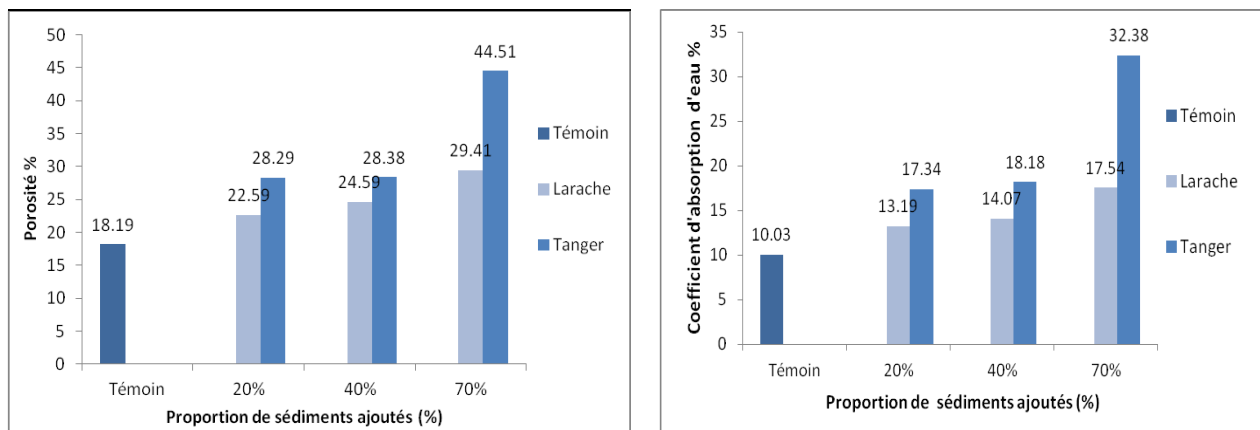


Figure 5 : Mesure de la porosité et du coefficient d'absorption d'eau des briques testées.

3.2.5. Masse volumique apparente

Les résultats de la mesure volumique apparente sur les briques-échantillons sont donnés sur la figure 6. Nous constatons que la masse volumique apparente des briques diminue avec l'augmentation du taux de substitution de sédiments en bon accord avec les porosités et coefficients d'absorption mesurés. L'incorporation des sédiments rend les briques plus poreuses alors moins denses.

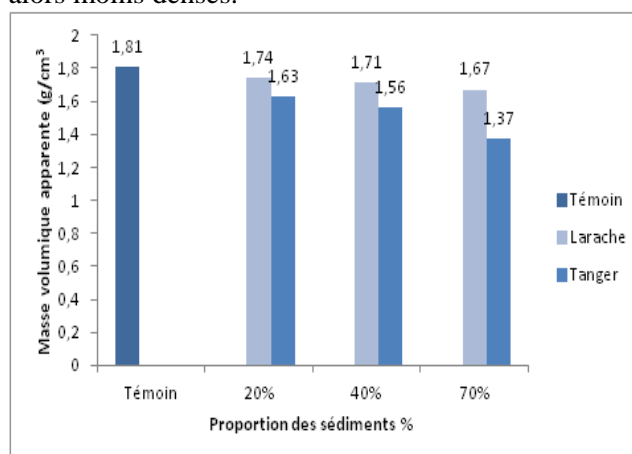


Figure 6 : Masse volumique apparente (g/cm^3).

3.2.6. Résistances mécaniques

La résistance à la compression est une caractéristique déterminante pour la capacité d'un matériau à être employé dans la construction.

La figure 7 représente les valeurs des résistances à la compression de différents taux de substitution de sédiments, les valeurs montrent que le sédiment de Larache permet de réaliser une brique aux caractéristiques mécaniques voisines de celles du témoin pour un taux de substitution allant jusqu'à 40%. Pour un taux de substitution de 70% nous obtenons une valeur de 25,76 MPa, soit une diminution de 22%. La brique renfermant le sédiment de Tanger voit ses caractéristiques mécaniques décroître dès lors que l'on ajoute des sédiments, la meilleure valeur est obtenue pour un ajout de 20%. Au-delà de cette valeur, la résistance diminue. Ce résultat peut être attribué à la grande quantité de la matière organique présente dans le sédiment (7%) qui brûle pendant la cuisson et crée des pores dans le produit fini. La brique devient ainsi plus poreuse, plus légère et moins résistante [28].

Cette étude montre bien que la résistance à la compression est influencée par la quantité et la nature du sédiment incorporé dans la brique.

Les deux sédiments peuvent donc être utilisés comme matière première dans la fabrication des briques, mais à des taux différents et préférentiellement celui de Larache.

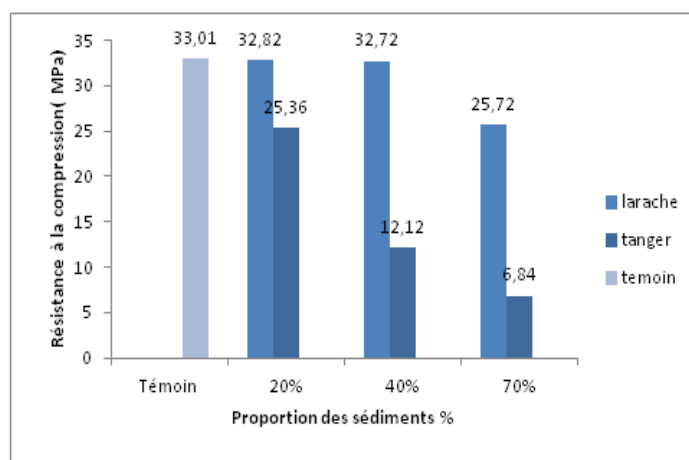


Figure 7 : Effet de la substitution des sédiments sur la résistance à la compression.

3.2.7. Lixiviation des briques :

Les briques cuites sont concassées, broyées et agitées dans l'eau pendant 24 heures avec un rapport (L/S) égal à 10 selon la norme EN 12457 [20]. Après filtration, les lixiviats sont analysés par la technique ICP. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Concentrations en éléments traces dans les lixiviats (mg/l) des briques-échantillons cuites

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn
Larache20%	≤0.01	≤0.005	0.075	0.04	0.057	≤0.008
Larache40%	≤0.01	≤0.005	0.085	0.04	0.058	≤0.008
Larache70%	≤0.01	≤0.005	0.077	0.04	0.028	≤0.008
Tanger20%	≤0.01	≤0.005	0.106	0.04	0.036	≤0.008
Tanger40%	≤0.01	≤0.005	0.099	0.05	0.026	≤0.008
Tanger70%	≤0.01	≤0.005	0.123	0.04	0.03	≤0.008

L'examen du tableau montre que les concentrations en métaux lourds sont inférieures aux valeurs limites autorisées dans les décharges [21]. Ce résultat est dû à la stabilisation des métaux lourds dans la matrice céramique lors du processus de frittage.

3. Conclusion

La caractérisation chimique des sédiments nous a permis d'évaluer leur potentiel polluant. On a noté l'absence d'une pollution métallique. Le sédiment de dragage du port de Tanger présente un taux élevé d'hydrocarbures en raison de la nature d'activité du port.

La caractérisation physique des sédiments de dragage des ports de Tanger et Larache nous a montré que ces sédiments sont généralement des matériaux fins. Leurs principaux constituants sont les argiles, limons et sable fin. L'impact sur l'environnement, évalué au travers d'essais de lixiviation, montre une teneur modérée en chlorures et en sulfates dans les deux sédiments en comparant aux valeurs seuils d'acceptation dans les centres de stockage.

La composition chimique (% en éléments majeurs) des deux sédiments bruts et la composition chimique de l'argile utilisée pour la fabrication des produits de terre cuite sont comparables.

Les briques confectionnées à partir du sédiment du port de Larache à l'échelle du laboratoire présentent des performances mécaniques analogues aux briques de référence jusqu'à un taux de substitution de 40% ce qui n'est pas le cas pour le sédiment de Tanger. Ce sédiment présente une quantité de matière organique importante (7%)

qui brûle pendant la cuisson et crée des pores dans le produit fini. La brique devient ainsi plus poreuse, plus légère et moins résistante.

Les très faibles concentrations en métaux traces dans les lixiviats des briques-éprouvettes sont dues à l'immobilisation de ces éléments dans la matrice céramique pendant la cuisson.

L'influence d'autres paramètres sur les propriétés inhérentes aux briques reste à étudier, Comme celles relatives à l'humidité, au retrait gonflement, à l'efflorescence pour établir une fiche technique complète de ces briques élaborées à base de sédiments.

Les résultats obtenus sont très encourageants pour l'utilisation des sédiments de dragage portuaire comme matière première dans la fabrication de briques à l'échelle industrielle mais encore faut-il déterminer les dosages optimaux ?

Références

1. Kamali S., Bernard F., Abriak N.E., Degrugilliers P. *Waste Management*, 28 (2008) 919-928.
2. Zentar R., Dubois V., Abriak N.E. *Conservation and recycling*, 52 (2008) 947-954.
3. Duan Z., Lafhaj Z., Bel Hadj A. I., Ducellier S. *Revue Paralia*, 6 (2013) 5.1-5.12.
4. Lafhaj Z., Samara M., Agostini F., Boucard L., Skoczylas F., Depelsenaire G. *Construction & Building Materials*, 22 (2008) 755-762.
5. Samara M., Lafhaj Z., Chapiseau C. *J. Hazardous Materials*, 163(2009) 701-710
6. Mezecevova A., Yeboah N. N., Burns S. E., Kahn L. F., Kurtis K. E. *J. Environmental Management*, 13 (2012) 128-136.
7. Agostini F., Skoczylas F., Lafhaj Z. *Cement and Concrete Composites*, 29(2007) 270-278.
8. Brakni S., Abriak N.E., Gregoire P., Zentar R. *25^e rencontre de l'AUGC*, (2007) 23-25 mai.
9. Samara M., Rozière E., Khokhar M.I.A., Loukili A., Skoczylas F. *26^e Rencontres Universitaires de Génie Civil*, (2008) 4-6 juin.
10. NF X 31-101 NF ISO 11464. Prétraitement des échantillons pour analyses physico-chimiques (1994).
11. NF X 31-103. Détermination du pH dans l'eau (1988).
12. NF ISO 11265. Détermination de la conductivité électrique spécifique (1995).
13. NF ISO 10693. Détermination de la teneur en carbonates. Méthode volumétrique (Indice de classement : X31-105) (1995).
14. NF ISO 14235. Qualité du sol. Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique (1998).
15. GEODE. Arrêté du 14 Juin, relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire (2000).
16. NF P 18-555. Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables (1990).
17. Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, Paris, LCPC, SETRA (1992).
18. Callaud M.A.J.M., Les matériaux de construction. Ecole Inter-états des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural (2003).
19. NF P 18-560 (1990). Analyse granulométrique par tamisage (1990).
20. NF EN 12457 (2002). Caractérisation des déchets. Lixiviation. Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues (2002).
21. CUE (2003) Conseil de l'Union Européen 2003/33/CE : Décision du conseil du 19 Décembre 2002, établissement des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE.
22. AFNOR (1983). NF P13-304. Briques pleines ou perforées et blocs perforés en terre cuite (1983).
23. Alviset L., Matériaux de terre cuite. Techniques de l'ingénieur (1994).
24. Samara M., Valorisation des sédiments fluviaux pollués après inertage dans la brique cuite. Lille (2007).
25. Handisyde C.C., Haseltine B.A. Bricks and brickwork. London. (1976).
26. Ross K., Butlin R.N., Durability tests for building stone. Garston, Watford, U.K. (1989).
27. ASTM C 67-03a. Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile (2003).
28. Demir I. *Waste Management*, 28 (2008) 622-627.

(2014); <http://www.jmaterenvirosci.com>