



Contribution à l'élaboration des briques en terre cuite à base d'une boue industrielle (Contribution to the development of fired bricks made of industrial sludge)

A. Bakkali Yedri, M. Ammari, H. EL Ayadi

*Laboratoire des Matériaux et Valorisation des Ressources (LMVR),
Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, Abdelmalek Essaâdi University, Morocco*

*Corresponding Author E-mail: bakkali-fstt@hotmail.fr

Abstract

Currently in Morocco industries generate huge amounts of sludge from treatment of industrial wastewater. Untreated waste in most cases is deposited in landfills, causing a real environmental concern. This work presents an effective solution for sludge management. Therefore this work has two objectives, the first has an environmental interest and the second has economic order. The physico-chemical characterization of sludge from a sanitary ceramic industry has shown the absence of metallic contamination. The sludge was subsequently used as a substitute raw material in the preparation of bricks, for obtaining a new building material whose quality is similar to the materials made with 100% clay.

Keywords: Sludge, characterization, treatment, bricks

Résumé

Actuellement les industries au Maroc génèrent des quantités énormes des boues issues de traitement des eaux usées industrielles. Ces déchets non traités dans la plupart des cas sont déposés dans les décharges, causant ainsi une vraie préoccupation environnementale. Ce travail présente une solution efficace pour la gestion des boues. Il a par conséquent un double objectif, le premier est d'ordre environnemental et le second est d'intérêt économique. La caractérisation physico-chimique d'une boue provenant d'une industrie de céramiques sanitaires a montré l'absence d'une pollution métallique. La boue a été par la suite utilisée comme matière première de substitution dans la préparation des briques, en vue de l'obtention d'un nouveau matériau de construction dont la qualité est analogue aux matériaux fabriqués avec 100% d'argile.

Mots-clés: Boue, caractérisation, traitement, briques

Introduction

La production totale des briques au Maroc est estimée en 2007 à 5.000.000 tonnes, ce qui nécessite l'extraction d'une quantité importante d'argile servant de matière première dans les briqueteries ; ce qui représente une véritable menace vis-à-vis de la réserve naturelle de cet élément. Il est donc primordial de solutionner ce problème environnemental par la recherche des solutions efficaces et surtout écologiques.

La loi marocaine 28-00 sur la gestion des déchets [1] définit la valorisation des déchets comme toute opération de recyclage, de réemploi, de récupération, d'utilisation des déchets comme source d'énergie ou toute autre action visant à obtenir des matières premières ou des produits réutilisables provenant de la récupération des déchets, et ce, afin de réduire ou éliminer l'impact négatif de ces déchets sur l'environnement.

Plusieurs types de déchets ont été incorporés dans le procédé de fabrication des matériaux de construction à savoir : le recyclage des déchets de la trituration des olives [2], Boues issues de traitement de l'eau municipale

comme matériel de construction [3], utilisation des sédiments de dragage portuaire comme matière première dans la fabrication des briques [4], incorporation des boues issues de l'industrie textile [5], Préparation des matériaux de construction à partir des déchets miniers [6].

Le présent travail investigate la faisabilité de production des briques de construction à base des boues issues de traitement des eaux d'une industrie céramique avec des pourcentages de substitution d'argile allant de 10 à 70%.

2. Matériel et méthodes

2.1 Matériel

2.1.1 Caractérisation chimique de la boue étudiée

La présente étude concerne les boues résiduelles industrielles issues spécialement de la station d'épuration d'une industrie de la production des produits céramique sanitaires. Dans le but d'obtenir une taille homogène des particules, la boue et l'argile ont été préparés selon la norme NF X 31-101 NF ISO 11464 [7], puis broyés dans un broyeur à billes et tamisés a travers un tamis à 1mm. Les tableaux 1, 2 et 3 montrent respectivement les caractéristiques , la teneur en éléments traces de la boue en comparaison avec les valeurs limites données par le Décret français n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées et la composition chimique en éléments majeurs de la boue étudiée.

La teneur en éléments traces (métaux lourds) a été déterminée par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (ICP-MS) et la composition chimique en éléments majeurs a été déterminée par fluorescence X.

Tableau 1 : Caractéristiques de la boue industrielle étudiée.

Caractéristiques	Valeurs
Humidité à 40°C (% massique)	25,83
pH	7,62
Conductivité (ms/cm) à 25°C	2,03
Taux de carbonates %	2,4
Matière organique %	5,52

Tableau 2 : Les concentrations en éléments traces dans la boue industrielle étudiée

Eléments traces (mg/Kg)	Boue étudiée	Valeurs limites dans les boues (Décret 8 décembre 1997)
Zn	2180,99	3000
Ba	333,47	-
Cr	54,54	1000
As	36,13	-
Cu	32,65	1000
Ni	31,96	200

Tableau 3 : Composition chimique en éléments majeurs de la boue industrielle étudiée

Eléments majeurs (%)	Boue étudiée
SiO ₂	59,30
Al ₂ O ₃	26,30
Fe ₂ O ₃	0,39
CaO	0,99
Na ₂ O	0,58
K ₂ O	1,16
SO ₃	0,09

L'examen des résultats du tableau 2 montre l'absence d'une pollution métallique puisque les concentrations mesurées des différents éléments métalliques sont inférieures aux seuils.

D'après le tableau 3, la boue est composée principalement de la silice et de l'alumine avec des pourcentages de 59.30 % et 26.30 % respectivement, elle contient également des faibles teneurs de CaO, Fe₂O₃ et K₂O et des traces d'autres éléments.

2.1.2 Caractérisation physique de la boue étudiée

2.1.2.1 Granulométrie de la boue

Pour préciser les différentes familles granulométriques et caractériser la distribution de taille de particules de la boue, une analyse granulométrique a été effectuée. La figure (1) montre que la boue étudiée est constituée principalement par des matériaux fins. Selon la norme NF ISO 13320[8], et dans le but de travailler dans les mêmes conditions optimales pour la fabrication des briques, le choix s'est porté sur la taille des grains de 1mm.

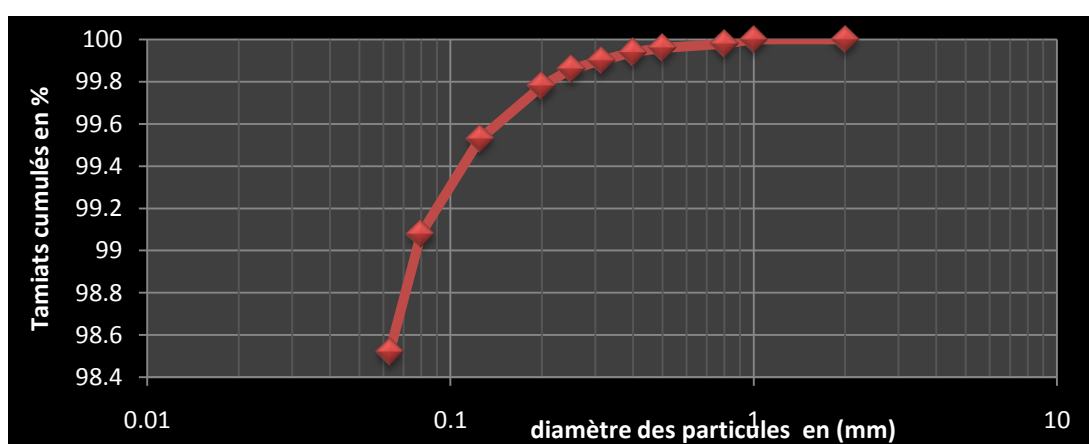


Figure 1 : Courbe granulométrique de la boue étudiée

2.1.3 Caractérisation minéralogique de la boue

2.1.3.1 Diffraction par les rayons X

Le diffractogramme résultant de l'analyse de la diffraction des rayons X de la boue en poudre est représenté par la figure (2), dont le spectre montre la présence des raies principales, quartz, Kaolinite, illite, calcite dont les formulations chimiques respectives sont : SiO₂ ; Al₂(Si₂O₅)(OH)₄ ; (K, H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ ; CaCO₃.

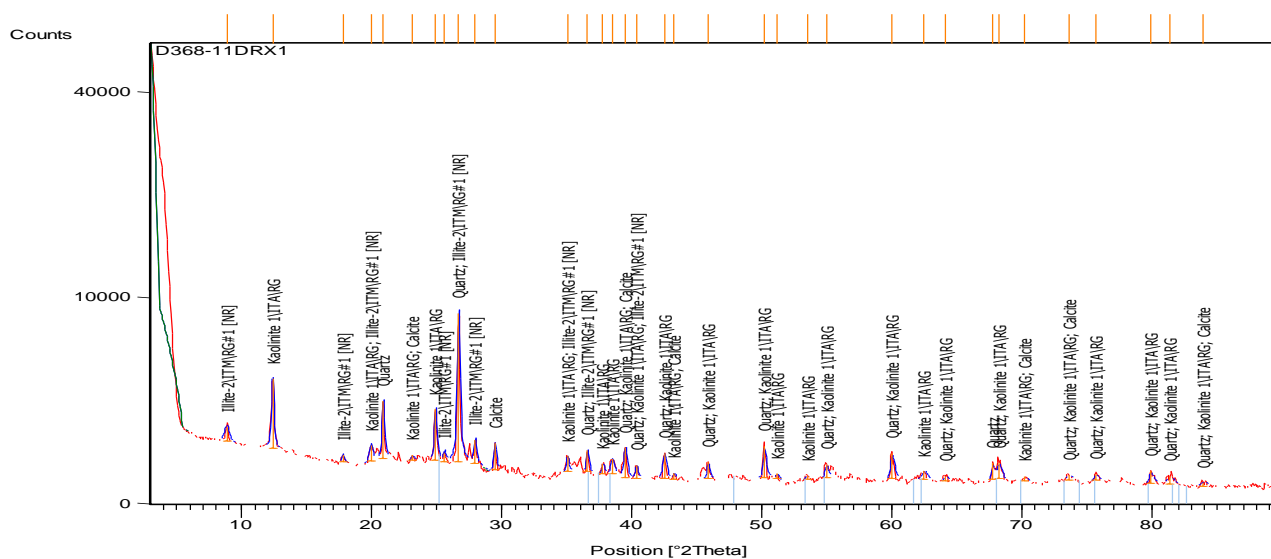


Figure 2 : Diffractogramme de la boue étudiée

2.1.3.2 Microscopie électronique à transmission MET

Les analyses par MET couplé à l'EDX de la boue étudiée ont été réalisées. La figure (3) présente le cliché MET des particules de la boue qui ont une forme hexagonale. Il s'agit d'un matériau plus au moins cristallisé.

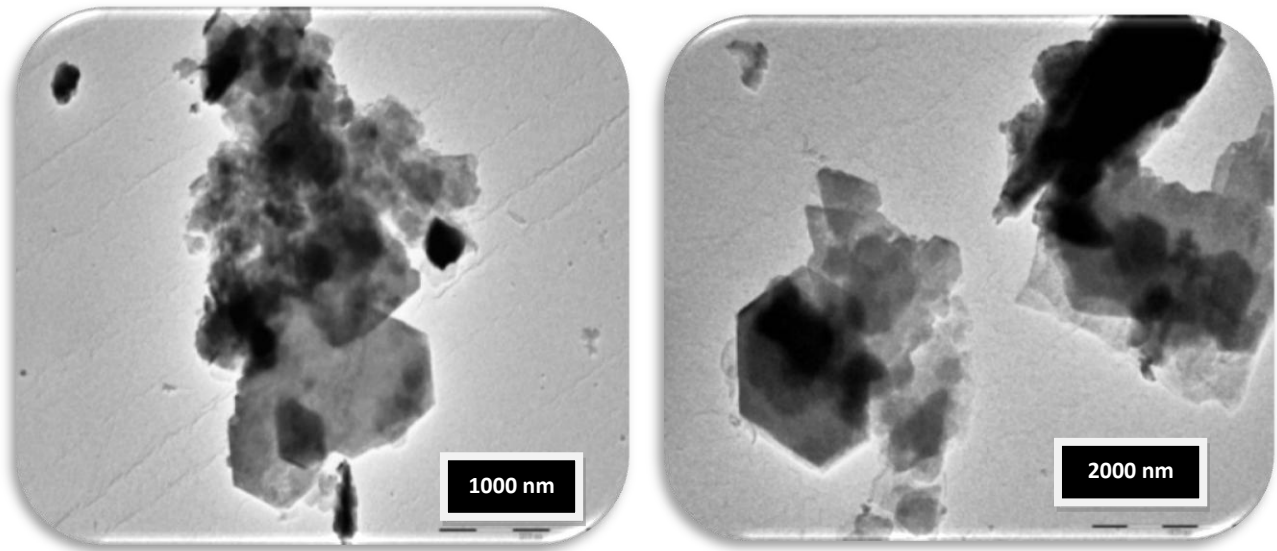


Figure 3 : Cliché MET de la boue étudiée

L'analyse élémentaire de la boue montre la présence des teneurs importantes en Oxygène (O), Silice (Si) et Aluminium (Al). Le tableau 4 montre le pourcentage atomique de chaque élément.

Tableau 4: Pourcentage atomique des éléments majeurs dans la boue étudiée

Elément	Pourcentage atomique (%)
O	49,2
Al	25,4
Si	23,4
P	0,5
S	0,1
K	1,0
Fe	0,5

Les observations réalisées par MET-EDS corroborent les résultats obtenus par DRX et par FX de la boue étudiée.

2.2 Méthode

Dans le processus de moulage des briques, différentes proportions ont été mélangées avec l'argile utilisée par les briqueteries dans un mélangeur pendant 15min. Pour expulser l'air du mélange afin d'éviter le craquage des briques au cours de processus de la cuisson, une extrudeuse a été utilisée (figure 4). Les mélanges ont été obtenus sous forme de moules cylindriques figure (5) (30 mm de diamètre et d'une longueur de 30 mm).

Après 24h de maturation suivie d'une autre période de 8h à 40°C dans une étuve sèche, les moules de mélange sont mis dans une chambre de combustion (four) à 880°C pour une période de 32h.

Selon l'exigence requise, une série de briques-échantillons est alors soumise à des tests à savoir : la porosité, absorption, masse volumique et la compression à la résistance, pour déterminer la qualité de la brique.

Suivant les critères d'évaluations selon l'échantillon témoin (100% argile), une étude comparative a été menée pour déterminer la meilleure performance mécanique.

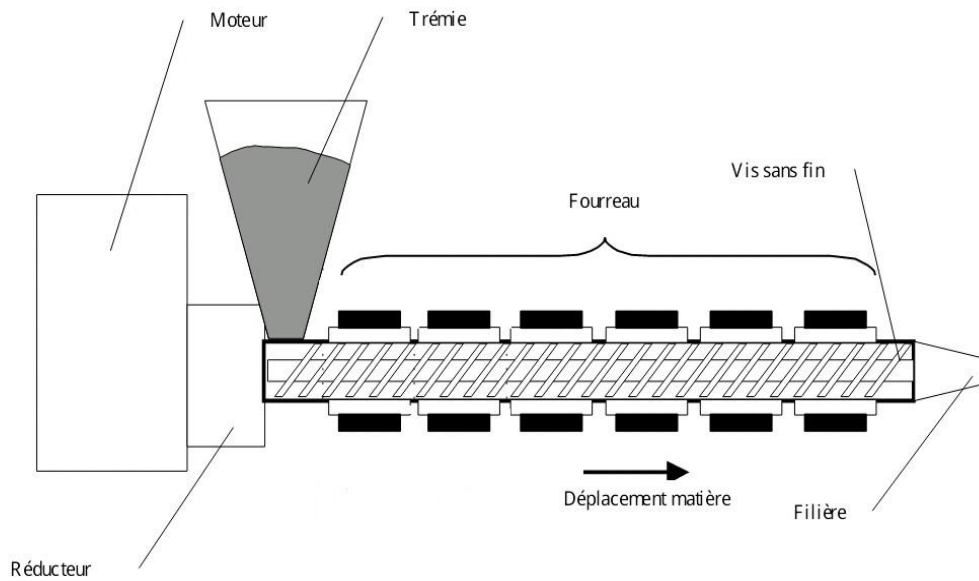


Figure 4 : Schéma de l'extrudeuse



Figure 5 : Echantillons des briques après extrusion

Le tableau 5 présente la formulation des mélanges avec différents taux de substitution.

Tableau 5 : Formulation des mélanges

Echantillon	Témoin I	II	II	III	IV	V	VI	M7
% Boue	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
% Argile	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%

3. Analyses et discussion

3.1 Surface spécifique des mélanges

La détermination de la surface spécifique par l'essai au bleu de méthylène [9] a pour objectif de mesurer la capacité d'adsorption du bleu de méthylène afin de mesurer la surface totale externe et interne des particules[4]. Les résultats obtenus figure(6) montrent que la quantité de la boue ajoutée influe sur la surface spécifique. L'augmentation de la proportion de la boue qui conduit à un changement de taille des particules du mélange a pour conséquence une diminution de surface spécifique en comparaison avec de la surface spécifique du mélange témoin qui est de 148,6 m²/g.

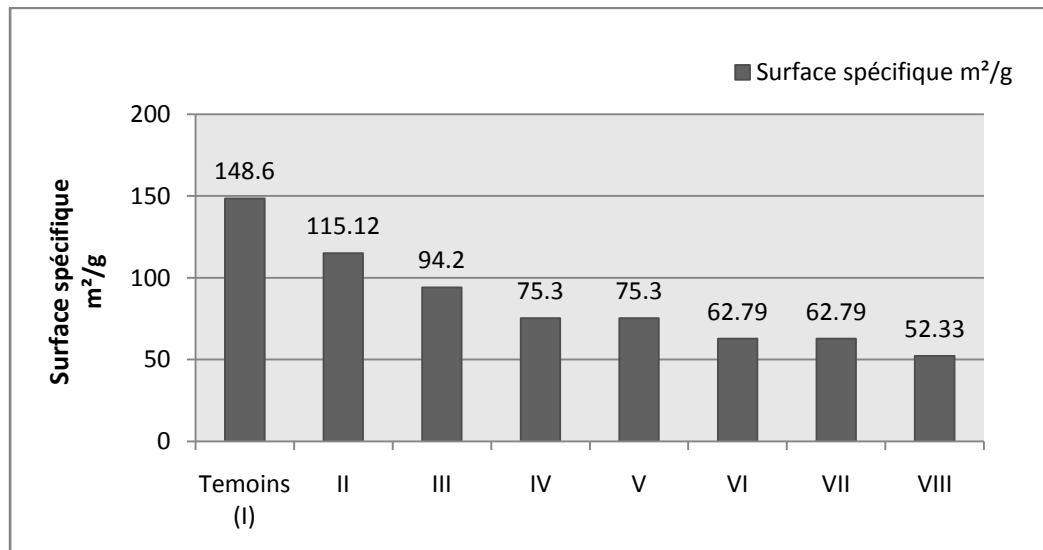


Figure 6 : Surface spécifique des mélanges

3.2 Porosité des briques cuites

Le graphe (figure 7) présente l'évolution de la porosité en fonction de l'ajout de la boue où la porosité est exprimée en pourcentage. En comparaison avec la brique témoin l'augmentation de l'ajout de la boue dans le mélange influence sur la porosité. La substitution de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% et 70% donne respectivement 19,24%, 22,27%, 24,90%, 27,82%, 29,18%, 30,69%, 33,48% de porosité, à savoir que l'échantillon témoin a une porosité de 18,9%. Ceci est expliqué par la diminution de la cohésion des mélanges et l'augmentation de la taille des pores à l'intérieur des briques, l'ajout de la boue rend la granulométrie du mélange plus grande, la porosité est liée aussi à l'évaporation de l'eau lors du séchage et la cuisson.

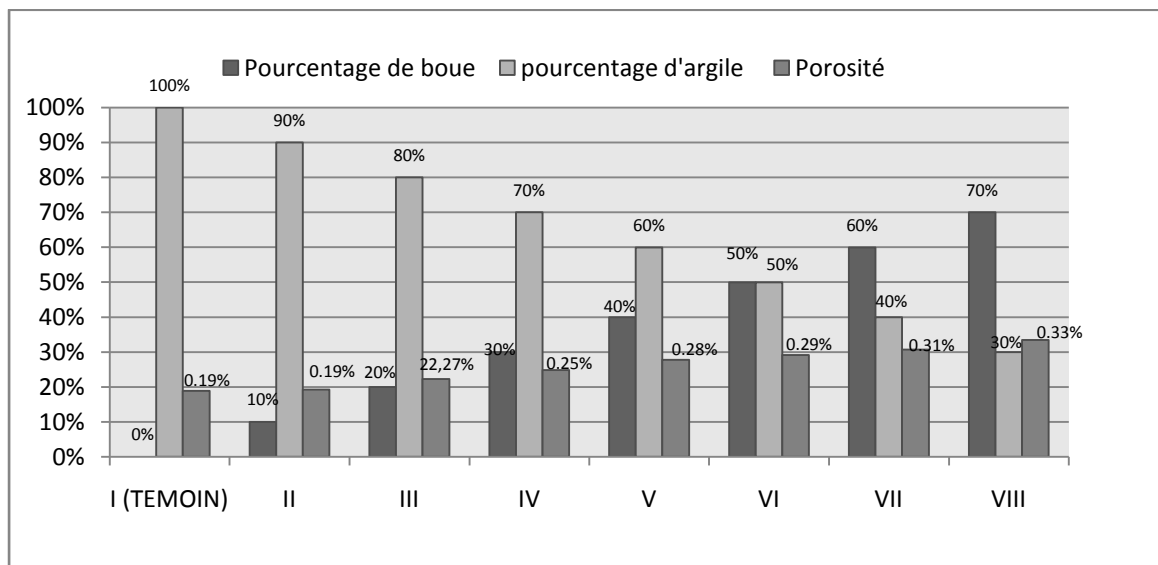


Figure 7 : Mesure de la porosité des briques

3.3 Absorption des briques cuites

Le résultat d'absorption est lié à la porosité qui influence sur la résistance à la compression [10,11]. L'absorption a été réalisée selon la norme (ASTM C 67-03a) [12] : test de 24 heures de submersion dans de l'eau déminéralisée. Le résultat obtenu figure (8) corrobore le test de la mesure de la porosité : l'absorption augmente avec la proportion de la boue ajoutée dans le mélange.

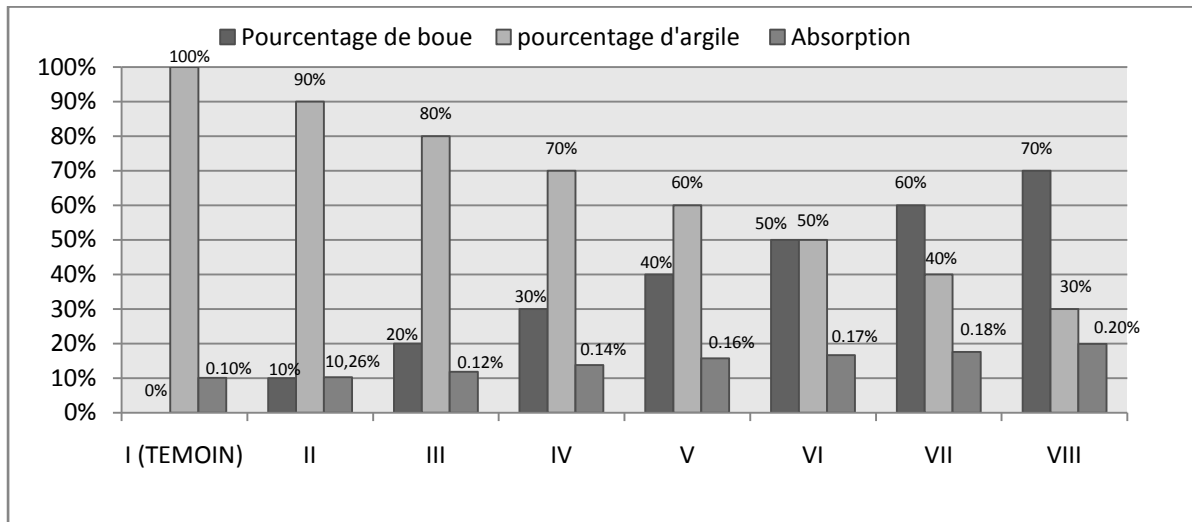


Figure 8 : l'absorption de l'eau en fonction du pourcentage de substitution

3.4 Masse volumique apparente des briques cuites

La masse volumique d'une brique en terre cuite est un paramètre important pour son utilisation dans la construction. Les résultats du test en question apparaissent sur la figure 9, où la masse volumique diminue progressivement jusqu'à $1,68 \text{ g/cm}^3$ en fonction de la substitution de la boue dans les briques. Ces résultats sont cohérents avec les valeurs de la porosité et de l'absorption de l'eau. L'augmentation du taux de substitution de l'argile par la boue donne une brique poreuse et par conséquent plus absorbante et moins dense.

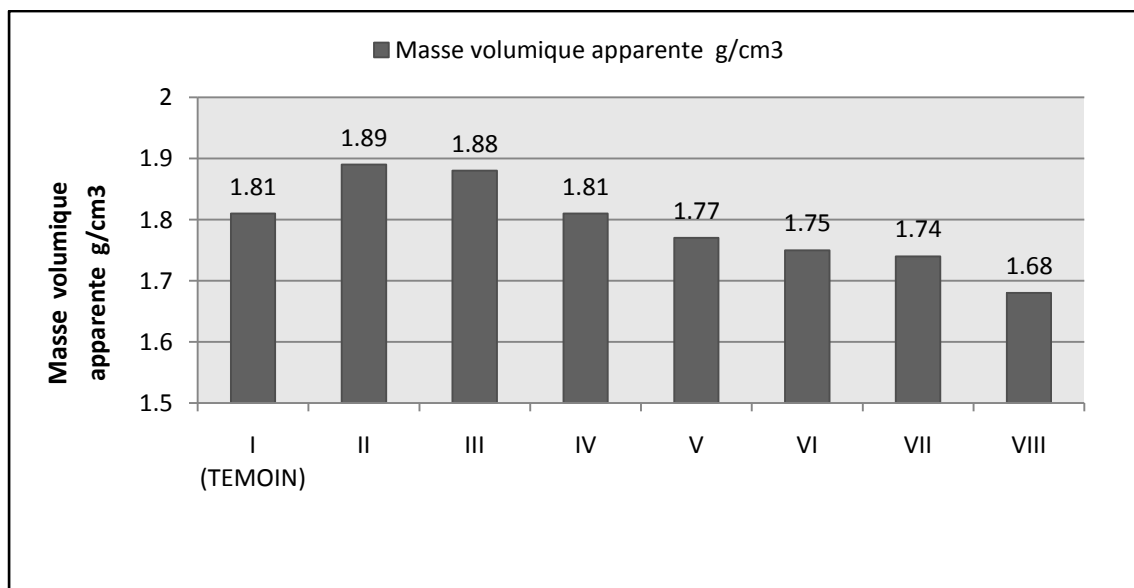


Figure 9 : Masse volumique apparente des briques cuites

3.5 Résistance mécanique des briques cuites

Le test de la résistance est le plus important test pour prévoir la qualité de la brique. La figure 10 montre l'évolution de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de l'argile par la boue. D'après les résultats obtenus, et en comparaison avec la brique témoin, la résistance mécanique augmente jusqu'à $21,83 \text{ MPa}$ pour le cas de la proportion de 10%, et diminue jusqu'à $16,52 \text{ MPa}$ pour le taux de substitution de 50%. Pour les pourcentage 60% et 70% une diminution importante est observée. Ceci confirme les résultats du

test de la porosité et de l'absorption. En effet, plus le taux de substitution est élevé, plus la brique devient poreuse et moins dense ce qui cause une diminution de la résistance mécanique [13].

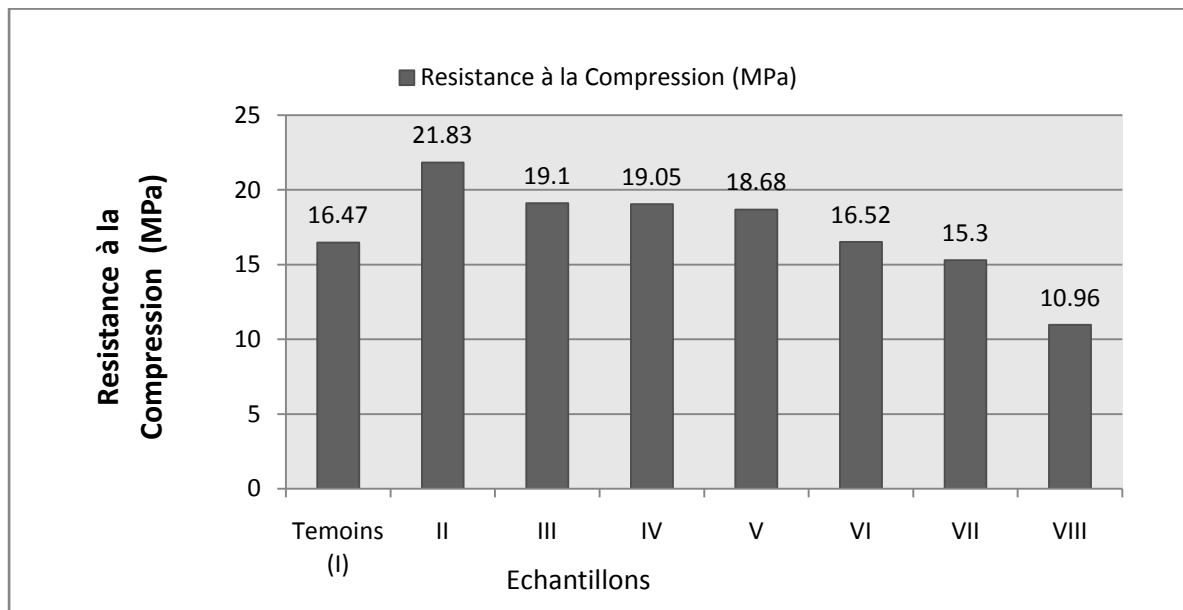


Figure 10 : Résistance à la compression des briques

Conclusion

A partir des résultats de ce travail il est désormais possible de produire des briques cuites à base de déchets . Afin d'étudier la qualité et les propriétés physico-mécaniques de la brique, différentes proportions de la boue étudiée ont été incorporées à savoir : 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% et 70%. L'évaluation des performances mécaniques des briques nous a permis de conclure qu'il est possible d'élaborer des briques à base de la boue industrielle étudiée avec un taux de substitution allant jusqu'à 50%.

Ce travail est une contribution à la recherche de nouvelles sources d'approvisionnement en matières premières secondaires dans le domaine de la construction.

Références

1. Loi 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination.
2. Mekki H., Ammar E., Anderson M., Ben Zina M., *Ann. Chim. Sci. Matér.*, (2003) 109-127.
3. Tay J.H, Show K.Y., *Resources, conservation and recycling*, (1992) 191- 204
4. Frar I., Ben Allal L., Ammari M., Azmani A., *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (2) (2014) 390-399.
5. Herek L. C. S., Hori C. E., Reis M. H. M, Mora N. D, Tavares C. R. G, Bergamasco R, *Ceram. Int.*, 38 (2) (2012) 951-959.
6. Yellishetty M., Karpe V., Reddy E.H., *Ressour Conserv Recycl*, 2008, 1983-1989.
7. NFX 31-101 NF ISO 11464. Prétraitement des échantillons pour analyses physico-chimiques (1994).
8. ISO 13320 Analyse granulométrique (1999).
9. NQ 2560-255. Essai au bleu de méthylène, 1986, 257-262.
10. Handisyde C.C., Haseltine B.A. *Bricks and brickwork*. London (1976).
11. Ross K., Butlin R.N., *Durability tests for building stone*. Garston, Watford, U.K. (1989).
12. ASTM C 67-03a. Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile (2003).
13. Chen Y., Zhang Y., Chen T., Zhao Y., Bao S., *Construction and Building Materials* , 25 (2011) 2107-2111.

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