

CARACTÉRISATION DE COLLUVIONS TRIASIQUES UTILISÉS DANS L'ÉLABORATION D'USTENSILES RUSTIQUES DE CUISSON, CAS DE TALATAST (RÉGION DE MARRAKECH, MAROC).

H. El Boudour El Idrissi^{1,2}, L. Daoudi¹, F. Collin³, N. Fagel²

(1) *Laboratoire de Géosciences et Environnement, Département de géologie, faculté des sciences et techniques, BP 549, Marrakech, Maroc.*

(2) *UR Argile, Géochimie et Environnement sédimentaires (AGEs), Département de Géologie B.18, Sart-Tilman, Université de Liège, Liège, B-4000, Belgique.*

(3) *Laboratoire de Géotechnologies; Département Argenco, B52, Sart-Tilman, Université de Liège, Liège, B-4000, Belgique.*

E-mail : h.e.elidrissi@gmail.com

Abstract

The raw material used in the potter site of Talatast (Morocco) is collected from Triassic colluviums. Our study aims to characterize the mineralogical and geotechnical properties of the local clayey material before and after cooking. Our results confirm that the coarse particle size, the mineralogy of the clay fraction and the rate of fondants are suitable for the cookware material production. Defects encountered during the production are mainly related to the use of traditional ovens. Understanding the origin of the main defects could be helpful to promote the local pottery production.

Key words: Clay, mineralogy, geotechnical properties, Ceramic, Marrakech.

Résumé

La matière première, utilisée dans le site potier de Talatast (Maroc), est issue de colluvions triasiques. Notre étude vise à une caractérisation minéralogique et géotechnique de ce matériel argileux local avant et après cuisson. La granulométrie grossière, la minéralogie de la fraction argileuse et le taux de fondants justifient l'utilisation de cette matière argileuse pour produire des ustensiles de cuisson. Les défauts rencontrés dans la production sont surtout liés aux fours traditionnels utilisés. Comprendre l'origine des défauts de production peut aider à promouvoir la production locale d'objets de poterie.

Mots clés : Argile, minéralogie, propriétés géotechniques, céramique, Marrakech.

1- INTRODUCTION

Les argiles et les minéraux argileux présentent un grand intérêt dans divers domaines [1][2][3][4][5]: la pédologie, la géologie, l'ingénierie, la construction, l'environnement, la pharmacie, la cosmétique, etc...

Dans le domaine de la céramique traditionnelle, les minéraux argileux ont un rôle polyvalent. Lors du façonnage, ils jouent le rôle à la fois de plastifiant et de liant pendant que les fondants et le sable quartzueux aident à maintenir la structure de la pièce. Lors du séchage, les minéraux argileux commencent à se durcir ce qui maintient la forme façonnée. Lors de la cuisson, les minéraux argileux perdent leurs structures minéralogiques initiales et se transforment irréversiblement en un état

plus résistant aux conditions de l'environnement normal. Les fondants interviennent à ce niveau en jouant le rôle de liant pour colmater les pores entre les grains et donner une plus grande résistance mécanique et une moindre porosité au tesson final.

La présence d'une quantité suffisante de dégraissant quartzueux favorise le maintien de la structure de la pièce, à la fois à l'état cru et pendant son utilisation en empêchant les fortes dilatations et retraits.

Le site potier de Talatast est localisé à 65 km au Sud-Est de la ville de Marrakech (Fig. 1). Il comporte environ 20 artisans, répartis sur 14 ateliers. Les produits confectionnés se composent essentiellement d'ustensiles rustiques utilisés pour la cuisson des aliments.

L'argile utilisée dans le site de Talatast est réputée pour ces caractéristiques intéressantes et pour la qualité des produits fabriqués. Cependant, jusqu'à ce jour, aucune étude de caractérisation n'a été effectuée sur ces argiles.

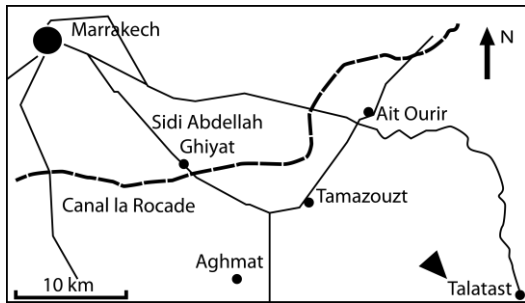


Fig. 1 : Localisation du village de Talatast
 ◀ : zone étudiée

L'objectif de cette étude, est de faire une caractérisation minéralogique et physico-chimique de cette matière première qui est également utilisée dans d'autres sites de la région de Marrakech. Aussi, nous proposerons un cycle de séchage et de cuisson qui en sont adaptés.

2- MATÉRIELS ET MÉTHODES

La matière première provient de colluvions triasiques rouges du Haut Atlas de Marrakech, dans une région située sur le versant du mont Iguiniyert (Fig. 2) (coordonnées géographiques: 31°24'15.12"N ; 7°31'15.42"O), en face duquel se trouve sur le versant opposé le site potier de Talatast. La matière collectée, utilisée sans additifs, est concassée au bâton par les artisans, tamisée à 2mm, gâchée, pétrie ensuite travaillée par tournage. L'échantillon collecté a été préparé de la même manière pour avoir des résultats de caractérisation significatifs.



Fig. 2 : vue du gisement et du village potier

Nous avons identifié les différentes fractions présentes par tamisage humide suivi d'une analyse au granulomètre laser de type Horiba

LA-300 pour la fraction inférieure à 40µm au Laboratoire de Géosciences et Environnement de l'Université Cadi Ayad (Marrakech). L'indice de plasticité a été calculé à partir des limites d'Atterberg, mesuré avec l'appareil de Casagrande pour la limite de liquidité et par la méthode du rouleau pour la limite de plasticité [1][2]. L'évolution du retrait au séchage a été suivie par la courbe de Bigot [8][9][10]. Les constituants minéralogiques ont été identifiés par un diffractomètre de type Bruker D8-Advance à l'Université de Liège. L'identification qualitative est largement décrite dans la bibliographie [11][12][13], la quantification de la roche totale [14] et de la fraction argileuse [12] est basée sur l'intensité des pics de diffraction corrigée par un facteur correctif (FC). L'analyse des éléments majeurs a été réalisée à l'Université de Liège (Laboratoire de Pétrologie Magmatique) par Fluorescence des rayons X suivant la méthode de Duchesne et Bologne [15]. La perte au feu (LOI) a été déterminée à 550°C et à 1000°C pour respectivement 4h et 1h de palier [16]. La teneur des carbonates a été obtenue par le calcimètre de Bernard [17]. La porosité a été déterminée par l'absorption d'eau [18]. Les mesures de la résistance mécanique à la compression et à la flexion ont été réalisées au laboratoire ArGEnCo (ULg).

3- RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Caractérisation de la matière première

Le concassage manuel effectué par les artisans suivi du tamisage a abouti aux résultats présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Distribution granulométrique avant et après tamisage

	graviers	sables	limons	argiles
Avant tamisage	20	35	22	23
Tamisat à 2 mm	0	43	28	29

Les limites d'Atterberg nous permettent de connaître la teneur en eau au-delà de laquelle le matériau devient liquide (limite de liquidité) et la teneur en eau au-delà de laquelle le matériau devient plastique et perd sa rigidité [7]. L'indice de plasticité (IP) est un « intervalle » de l'état plastique d'un matériau, plus long est cet intervalle plus le matériau garde longtemps son état plastique et son séchage devient difficile. L'indice de plasticité qu'on a obtenu dans notre site est de 25, ce qui signifie que nous avons un large champ de modelage pour cette pâte (Tableau 2).

Tableau 2 Limites d'Atterberg obtenues

Limite de liquidité	Limite de plasticité	Indice de plasticité
49	24	25

De plus l'état liquide n'est atteint qu'au-dessus de 49% d'eau ce qui veut dire qu'on peut gâcher la matière par l'eau sans se soucier d'atteindre rapidement l'état liquide.

Nous remarquons que malgré le pourcentage relativement faible de la fraction argileuse (29%) (Tableau 3) et des minéraux argileux (36%), l'indice de plasticité (25) est moyennement élevé [19] et convient pour le façonnage. Nous notons que les interstratifiées illite-vermiculite (11%) associées à l'illite (12%) jouent un rôle crucial dans la plasticité.

Tableau 3 : Minéralogie obtenue par diffraction aux rayons X.

Qz	Mi	Plg	Hé	Ar	Ch	K	I	Int
40	18	6	2	36	5	7	12	11

Qz : quartz, Mi : microcline, Plg : plagioclase,
Hé : hématite, Ar : argile totale, Ch : chlorite,
K : kaolinite, I : illite, Int : interstratifiées illite-vermiculite.

La courbe de Bigot (Fig. 3) nous donne de nombreuses informations sur l'évolution de la pâte au cours du séchage [3][4][5]. L'eau de façonnage (FN) utilisée pour la pâte représente 27% du poids sec, l'eau colloïdale est de 17% alors que l'eau d'interposition (EI) est de 10%. Le point « DD » marque le début de déformation [8] ou du gonflement par ajout d'eau à la pâte sèche, il marque également la fin du retrait d'une pâte humide, la teneur en eau qui marque ce phénomène dans notre cas est de 7%. Entre FN et FL le retrait est rapide et les risques de fissurations sont grands d'où la nécessité d'un séchage dans une chambre humide. Après le point FL le séchage peut être accéléré par exposition au soleil ou par séchoir. Finalement la courbe de Bigot nous renseigne sur le taux de retrait au séchage pour une teneur en eau donnée, soit 7% de retrait pour une eau de gâchage de 25%.

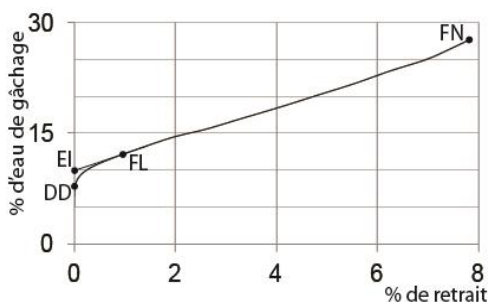


Fig. 3 : courbe de Bigot de la pâte étudiée
FN : Façonnage normal ; FL : Fin de Linéarité ; EI : eau d'interposition ; DD : début de déformation ou fin de retrait

3.2 Caractérisation en rapport avec la cuisson

La composition chimique initiale (Tableau 4) intervient surtout lors de la cuisson par la néoformation de phases nouvelles qui donnent au tesson sa propriété finale. Plus on a la production de silicates d'alumine plus on garantit une meilleure résistance aux conditions environnementales.

Tableau 4 : Résultat de l'analyse chimique par Fluorescence des rayons X

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO + Na ₂ O	TiO ₂ + CaO	P ₂ O ₅ + MnO
73	17	6.4	2.5	1.8	1.3	0.08

Le rôle de la matière organique (4.7%) se manifeste lors du processus de façonnage et lors de la cuisson. Un long pourrissage à l'eau d'une pâte riche en matière organique conduit à la formation de bactéries qui augmentent la plasticité.

Lors de la cuisson dans un milieu oxydant, la matière organique commence à se décomposer et donne comme résidus du carbone organique (C), ce dernier s'associe au dioxyde (O₂) et forme le dioxyde du carbone (CO₂) ce qui engendre une cuisson temporairement en milieu réducteur jusqu'à brûlure totale de la matière organique au-delà de 550°C. Après cette température le milieu devient relativement plus oxydant ce qui influence sur le fer et titane et donne la coloration plus ou moins rouge brune. La dernière phase de cuisson, dites phase de grand feu (température supérieur à 800°C) diffère nettement entre four électrique et four traditionnel, dans le premier cas le milieu persiste en état d'oxydation, dans le deuxième cas le milieu devient réducteur car l'oxygène est totalement brûlé par le feu et on a saturation en monoxyde de carbone qui commence à consommer l'oxygène des oxydes de fer et de titane formés précédemment dans les tessons pour former le gaz CO₂, ainsi la couleur rouge brune se perde et donne place au blanc cassé. D'où la nécessité d'utiliser des fours plus sophistiqué qui permettent de mieux maîtriser l'environnement de cuisson et remédier à l'hétérogénéité de couleur qu'on rencontre souvent dans les pièces produites dans la poterie traditionnelle.

La matière inorganique est de 2%, elle indique une faible proportion de volatils comme le CO₂. Dans ce cas les volatils sont issus d'autres sources que les carbonates (0,2% de carbonates selon la calcimétrie). La matière inorganique comporte entre autres l'eau de

constitution des argiles et les volatils issus de traces éventuelles de sulfures.

Considérant que le point « E1 » (Fig. 3) présente une mesure de la porosité [10] de la brique, on peut dire que la porosité initiale avant la cuisson est de 10%. La mesure de la porosité à l'eau et de la dilatation-retrait en fonction de la température de cuisson (Fig. 4) a montré que pour notre pâte on a :

- Augmentation de la porosité entre 105 et 400°C ;
- Légère diminution de la porosité entre 400°C et 550°C accompagnée d'une dilatation ;
- Légère augmentation de la porosité entre 550°C et 750°C sans variation dimensionnelle ;
- Une forte diminution de la porosité accompagnée d'un fort retrait entre 750°C et 1050°C, avec un maximum de 2,25%.

On note que cette courbe (Fig. 4) varie selon la nature granulométrique et minéralogique de la pâte étudiée.

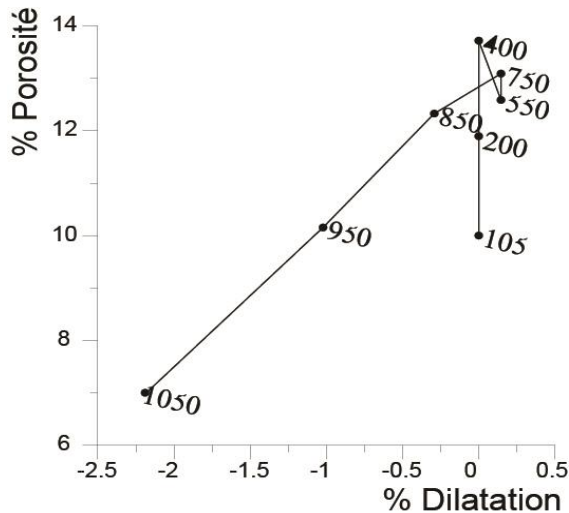


Fig. 4 : Evolution de la porosité à l'eau en fonction de la température de cuisson.

Note : 105 à 1050 présentent les températures de cuisson en Celsius

Le comportement mécanique a montré qu'une forte résistance mécanique à la compression (36Mpa) a été enregistrée pour les pièces cuites à 950°C. La plus forte résistance mécanique à la flexion (~7Mpa) reste presque stable entre 950°C et 1050°C.

Nos expériences de laboratoire ont montré que les matériaux supportant leur utilisation en tant qu'ustensiles de cuisson ont généralement une granulométrie grossière mais avec une résistance mécanique relativement faible, c'est le cas de notre tesson. Des grains plus grossiers nécessitent plus de fondant pour pouvoir colmater efficacement le réseau poral.

Les 24% de feldspath restent insuffisants pour colmater tous les sables et limons (Tableau 1) du tesson. La résistance de ces ustensiles au feu est logique, car plus les grains sont grossiers et de nature silicatée moins on aura de dilatation-retrait pendant la cuisson aux réchauds.

4- CONCLUSION

La caractérisation de la matière première étudiée permet d'approuver l'utilisation à laquelle elle est destinée, vue sa plasticité (25) qui permet un façonnage facile malgré la granulométrie assez grossière ; sa richesse en silice (73%) et alumine (17%), constituants fondamentaux des matériaux réfractaires ; et sa teneur en grains de quartz qui limite la dilatation-retrait lors de l'utilisation en tant qu'ustensiles de cuisson. Ces propriétés confirment la qualité et la résistance des produits confectionnés. Nous estimons qu'une cuisson jusqu'à 950°C est suffisante par soucis d'économie d'énergie et pourra atteindre 1050°C pour un maximum de densification, un palier de 20 min à la température maximale conduira à la cuisson totale jusqu'au cœur du tesson et limitera la fragilité de ce dernier.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] J. Gharsalli, R. Rkik, H. Zouari, F. Turki, and M. Chaabane, "Contribution à la caractérisation et à la valorisation des argiles du Crétacé Inférieur du Nord Est de la Tunisie. Application dans le domaine de la céramique," *Verres, Céramiques Compos.*, vol. 1, no. N°2, pp. 4–15, 2011.
- [2] G. M. Reeves, I. Sims, and J. C. Cripps, *Clay Materials Used in Construction*. 2006, p. 525.
- [3] H. Baccour Zaghal, M. Medhioub, and T. Mhiri, "Caractérisation physicochimique et mécanique de matériaux céramiques obtenus à partir des argiles tunisiennes," *Verres, Céramiques Compos.*, vol. 1, no. 2, pp. 25–33, 2011.
- [4] C. C. Harvey and G. Lagaly, *Handbook of Clay Science*, vol. 5. Elsevier, 2013, pp. 451–490.
- [5] J. Poirier, "Les céramiques réfractaires de l'élaboration aux propriétés d'emploi," *Verres, Céramiques Compos.*, vol. 1, no. 2, pp. 28–42, 2011.

- [6] A. Casagrande, "Classification and identification of soils. American Society of Engineers, 73, 783–811." 1947.
- [7] "Limites d'Atterberg (Norme)," *Méthodes d'essai LPC*, no. 19, 1987.
- [8] M. Kornmann, "La courbe de Bigot revisitée, New explanation of the Bigot curve.," *L'industrie céramique & verrière*, no. N° 1005, pp. 44–54, 2006.
- [9] M. A. A. Bigot, "Retrait au séchage des kaolins et des argiles.," *Mémoires Commun. des membres des Corresp. l'Académie des Sci.*, pp. 755–758. 56p, 1921.
- [10] L. Alviset, "Matériaux de terre cuite," *Tech. l'ingénieur*, p. 19, 1994.
- [11] J. Thorez, *Practical identification of clay minerals*, pp. 90, (G. Lelotte, editor), Liège. 1976.
- [12] T. Holtzapffel, *Les minéraux argileux, préparation, analyse diffractométrique et détermination*. Soc. Géol. Nord, n°12, 135p. 1985.
- [13] D. M. Moore and R. C. Reynolds, *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford Univ Press (2nd edn), Oxford. 1997.
- [14] H. E. Cook, P. P. D. Johnson, J. C. Matti, I. Zemmels, and M. J.C., *Methods of sample preparation and x-ray diffraction data analysis, x-ray mineralogy laboratory*. Pp. 999–1007 In: *Init. Repts. DSDP (Hayes D. E., Frakes L. A. et al.)*, 28. Washington (U.S.Govt. Printing Office). 1975.
- [15] J. C. Duchesne and G. Bologne, *XRF major and trace element determination in Fe–Ti oxide minerals*. *Geologica Belgica*, 12, pp. 205–212. 2009.
- [16] W. E. Dean, *Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods*. *Journal of Sedimentary Petrology* 44: 242-248. 1974.
- [17] G. Muller and M. Gatsner, *Chemical analysis*. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*, 10, pp. 466–469. 1971.
- [18] K. Meyer, P. Lorenz, B. Böhl-Kuhn, and P. Klobes, *Porous solids and their characterization*. *Crystal Research and Technology* 29, pp. 903-930. 1994.
- [19] P. D. S. Santos, *Ciência e Tecnologia de Argilas*, 2d ed., edited by Edgard Blucher, Vol. 1; São Paulo, Brazil. 1989.