

## **Caractérisation Physico-Chimique Et Minéralogique Des Argiles De La Carrière De Mirriah, Région De Zinder, Utilisées Dans La Poterie**

*Moussa Issaka Abdoukader*

*Issa Malam Salmanou Souleymane*

Faculté des Sciences et Techniques, Département des Sciences Géologiques en Environnementales (SGE), Université de Zinder

*Hassane Bouba*

*Abdourhamane Toure Amadou*

*Garba Zibo*

Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Université Abdou Moumouni de Niamey

*Wagani Ibrahim*

Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n3p120](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n3p120)

Submitted: 22 November 2020

Accepted: 04 January 2021

Published: 31 January 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Abdoukader M.I., Souleymane I.M.S., Bouba H., Amadou A.T., Zibo G. & Ibrahim W. (2021). *Caractérisation physico-chimique et minéralogique des argiles de la carrière de Mirriah, région de Zinder, utilisées dans la poterie*. European Scientific Journal, ESJ, 17(3),120.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n3p120>

### **Résumé**

Dans le but de contribuer à la valorisation des matériaux argileux de la Région de Zinder, les argiles prélevées à la carrière et utilisées pour la poterie de Mirriah ont été caractérisées du point de vue physico-chimique et minéralogique. Ainsi les cinq échantillons ont été prélevés et l'échantillon composite représentatif de la carrière, ont été soumis à des analyses chimiques et minéralogiques. Il ressort de l'analyse chimique que les six échantillons sont tous constitués à plus de 60 % d'aluminosilicates avec un rapport silice/alumine élevé estimé à 2,5 en moyenne. Ce rapport montre que les échantillons de cette étude sont riches en minéraux argileux ceci est en accord avec l'estimation de la fraction fine ou argileuse qui est de 39,5 % de la masse initiale de l'échantillon brut. Cette analyse chimique a aussi permis de mettre

en évidence, au niveau de ces argiles de Mirriah, une teneur importante en oxyde de fer de 32% ceci leur induit une couleur rouge brique. Les phases minéralogiques principales détectées par diffraction des rayons X dans l'échantillon brut et sa fraction fine sont de la kaolinite, une structure de mica proche de l'illite et du quartz, tous des produits d'altération du granite.

Cette caractérisation indique que les argiles exploitées à la carrière de Mirriah sont des matériaux très favorables aux formulations des produits de poterie.

---

**Mots-clés:** Argiles, Poterie, Diffraction X, Analyse Chimique, Mirriah, Zinder

## **Physico-Chemical And Mineralogical Characterization Of Clays Used In Pottery From The Mirriah's Quarry, Zinder Region**

*Moussa Issaka Abdoukader*

*Issa Malam Salmanou Souleymane*

Faculté des Sciences et Techniques, Département des Sciences Géologiques en Environnementales (SGE), Université de Zinder

*Hassane Bouba*

*Abdourhamane Toure Amadou*

*Garba Zibo*

Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Université Abdou Moumouni de Niamey

*Wagani Ibrahim*

Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi

---

### **Abstract**

In order to contribute to the valuation of clay materials from the Zinder Region, the clays taken from the quarry and used for the pottery of Mirriah have been characterized from a physico-chemical and mineralogical point of view. So the five samples were taken and the composite sample representative of the quarry were subjected to chemical and mineralogical analyzes. The chemical analysis showed that the six samples all consisted of more than 60% aluminosilicates with a high silica/alumina ratio estimated at 2.5 on average. This report shows that the samples of this study are rich in clay minerals; this is in agreement with the estimate of the fine or clay fraction which is 39.5% of the initial mass of the raw sample. This chemical analysis also made it

possible to highlight, at the level of these Mirriah clays, a significant iron oxide content of 32%, which gives them a brick red color.

The main mineralogical phases detected by X-ray diffraction in the raw sample and its fine fraction are kaolinite, a mica structure close to illite and quartz, all weathering products of granite.

This characterization indicates that the clays mined at the Mirriah quarry are very favorable materials for formulations of pottery products.

---

**Keywords:** Clays, Pottery, X-Ray Diffraction, Chemical Analysis, Mirriah, Zinder

## **Introduction**

Les argiles, en raison de leurs propriétés physico-chimiques, possèdent une grande variété d'utilisation (Diawara, 2009 ; Sorgho, 2013 ; Keita, 2014).

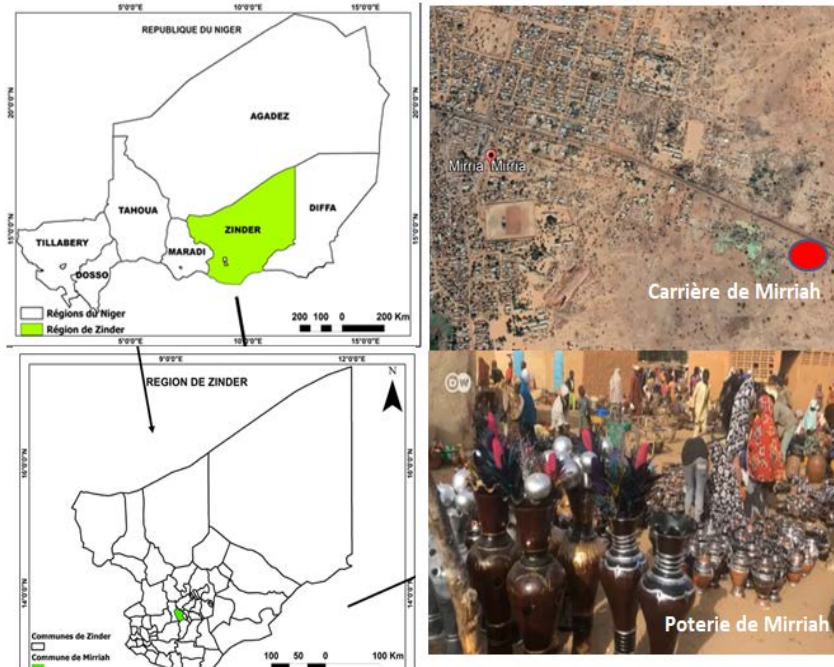
Au Niger, cependant, les domaines majoritaires d'utilisation d'argile sont la construction de maisons individuelles d'habitation et la poterie.

La commune de Mirriah est une zone potentiellement riche en argile, elle est connue pour sa poterie, dont la renommée a débordé nos frontières (Figure 1). Or pour mieux valoriser un produit la connaissance de sa matière première à travers sa caractérisation est importante. Le matériel argileux utilisé pour cette poterie de Mirriah demeure scientifiquement inconnu. Seules quelques publications, comme celle relative à l'étude des caractéristiques chimiques et minéralogiques d'une argile mixte de la région de Tahoua est disponibles dans la littérature (Sattran V. et al., 2002 ; Wenmenga U. et al 2007, Gourouza M., et al., 2013). Cette présente étude a pour objectif de présenter les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques des argiles de la carrière de Mirriah, utilisées pour la poterie.

## **Materiel Et Methodes**

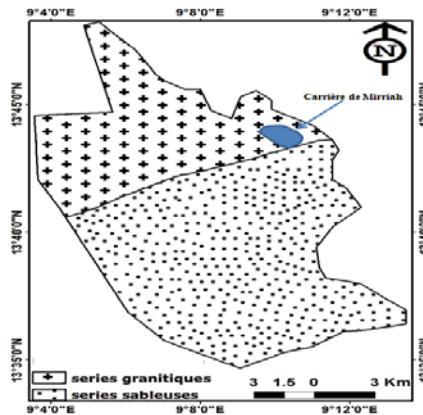
### **Matériel**

Les argiles qui font l'objet de l'étude ont été prélevés dans une carrière de Mirriah ; un Chef-lieu département dans la Région de Zinder. Cette carrière est situé à l'est de la ville de Mirriah aux coordonnées : 13 42' 32,22''N 9 10' 16,9''E. Le matériel exploité au niveau de cette carrière est utilisé pour la poterie bien connue de Mirriah. Ainsi, les matériaux prélevés ont été référencés MIR, MIR1, MIR 2, MIR 3, MIR 4 et MIR 5°(MIR pour Mirriah).



**Figure .** Situation géographique de la zone d'étude

Sur le plan géologique, le département de Mirriah se situe à cheval entre une série granitique occupant le Nord et une série sableuse au sud. La série granitique correspond aux formations granitiques du socle précambrien du Damagaram Mounio.



**Figure 2.** Carte géologique simplifiée de Mirriah (Gregert J., Pougnet R. 1965)

La série sableuse correspond quant à elle aux dépôts quaternaires de sable. La carrière exploitée à ciel ouvert à Mirriah pour la poterie se situe sur la série granitique (Figure 2).

## **Echantillonnage**

Dans le cadre de l'étude, une campagne de reconnaissance de la zone de prélèvement de la carrière de Mirriah a été réalisée les 28/09/18 et 29/09/18. L'objectif est de :

- identifier le niveau prélevé pour la poterie,
- prélever des échantillons pour la caractérisation des matériaux argileux de la carrière de Mirriah en laboratoire.

Ainsi, les observations ont permis :

- d'identifier et de réaliser qu'il s'agit d'un niveau argileux qui fait objet d'exploitation dans la carrière de Mirriah pour la poterie.
- Cinq (05) points de prélèvement ont été identifiés et prélevés (MIR1, MIR 2, MIR 3, MIR 4 et MIR 5) de part et d'autres de la carrière à l'est, à l'ouest, au sud, au nord à une profondeur de 30cm et au centre à une profondeur de 53cm.
- Un échantillon représentatif (MIR) de la carrière de Mirriah a été composé à partir d'un mélange à proportions égales (500g) des cinq (05) échantillons bruts

Les six (06) échantillons ainsi prélevés ont été envoyés au laboratoire pour les analyses.

## **Méthodes expérimentales**

Les méthodes de cette étude exigent une mise en poudre du matériel. Un broyage préliminaire, effectué avec un mortier et pilon agate de 20 ml de diamètre et 70 mm de hauteur, a permis d'avoir des poudres ou fragments millimétriques, sans contamination, de tous les échantillons (MIR1, MIR 2, MIR 3, MIR 4 et MIR 5). Cette opération a été exécutée au Laboratoire d'Hydrosciences de Montpellier (HSM) en France.

Les compositions chimiques des échantillons bruts ont été déterminées par spectrométrie X-Ray Fluorescence-Philips PW 2400 XRF. Ces analyses par spectrométrie X-Ray Fluorescence (XRF), effectuées au niveau de département de chimie, Faculté des sciences de l'Université de Montpellier 2 en France, ont permis de connaître la composition chimique des échantillons. Ainsi dans cette étude, les pourcentages massiques des composés (des oxydes) et de certains éléments chimiques simples, tel que le carbone, constituant les échantillons bruts ont été déterminés.

Les compositions minéralogiques ont été obtenues à partir de la diffraction des rayons X sur poudre et sur lame mince.

La diffraction des rayons X sur poudre a été réalisée sur 20g de poudre de l'échantillon composite brut (MIR), représentatif des matériaux de la carrière de Mirriah. Le diffractomètre utilisé, ici, est de marque Philips PW3710, équipé d'un système goniométrique X'PERT et muni d'un

monochromateur arrière permettant d'éliminer la raie  $K\beta$  de l'anticathode de cuivre. La radiation émise correspond à la raie  $K\alpha$  du cuivre ( $\lambda = 1.54184 \text{ \AA}$ ).

La diffraction des rayons X sur lame mince a été réalisée, quant à elle, pour la fraction argileuse (inférieure à 2mm) extraite des 20g du précédant échantillon composite (MIR). Le diffractomètre utilisé est un appareil de marque BRUKER Advance D8 dans une configuration  $\emptyset$ - $\emptyset$ , utilisant la radiation  $CuK\alpha$  ( $\lambda=1.54\text{\AA}$ ) avec une fente de divergence fixe de  $0.3^\circ$  et une rotation de l'échantillon. Les diffractogrammes ont été enregistrés entre  $2^\circ$  et  $70^\circ$  avec le détecteur Lynxeye. L'analyse qualitative a été effectuée avec le logiciel X'Pert HighScore plus (+) (version 2.2).

### **Extraction et estimation du pourcentage de la fraction argileuse**

L'extraction de la fraction argileuse a été effectuée selon le protocole suivant. Il s'agit d'un protocole connu qui s'exécute selon les étapes suivantes est basée sur le principe de la loi stock (Laibi BA. 2008).

Au départ, deux portions de 20g de l'échantillon brut sont prélevés. Chacune est mise en suspension dans une bouteille de 125 cl, remplies d'eau distillée jusqu'au col) (Figure ???). Ceci a permis aux particules argileuses de se sédimenter. Après homogénéisation des suspensions par agitation des bouteilles à la main, ces dernières sont laissées au repos sur une table stable pendant 100 mn (1h40) ce qui correspond à la sédimentation des particules  $<2 \mu\text{m}$  sur 2 cm (Durand C., et al., 1995). Un dispositif est ainsi mis en place pour prélever les 2 cm supérieurs de la suspension (mesuré à partir de la surface du liquide) par pipetage (Figure3).

Cette suspension pipetée est recueillie dans des tubes de centrifugeuse de 50 cl (ce qui correspond au volume pipeté dans les bouteilles). Et enfin cette suspension est centrifugée à 3000 tours/mn pendant 45-60 mn afin de faire "tomber" les particules en suspension et d'obtenir un culot de centrifugation de particules  $<2 \mu\text{m}$  bien compact pour chacune des deux portions de départ. L'un des culots obtenus a été homogénéisé et étalé sur deux lames de verre, laissées sécher pour obtenir les lames orientées pour la diffraction des rayons X (DRX) et l'autre après centrifugation a été laissé au repos pendant 2h, puis séché à l'étuve à  $105^\circ\text{C}$  avant d'être pesé (Moore and Reynolds. 1989).



**Figure 3.** Dispositif d'extraction de la fraction fine

L'estimation du pourcentage de cette fraction extraite a été ainsi effectuée à partir de l'opération d'extraction de cette fraction par une règle de trois aboutissant à la formule suivante :  $P\%_{(fa)} = (M_{(fa)} \times 100) / M_{(eb)}$

$P\%_{(fa)}$  : Pourcentage fraction argileuse

$M_{(fa)}$  : Masse fraction argileuse

$M_{(eb)}$  : Masse échantillon brut

## Résultats

### Analyse chimique

Le tableau 1 présente les résultats de l'analyse chimique des éléments majeurs des échantillons MIR 1, MIR 2, MIR 3, MIR 4 et MIR 5 et MIR.

Le pourcentage massique total, des éléments chimiques constitutifs de chaque échantillon présentés dans ce tableau, est supérieur à 99% (Tableau 1). Ceci révèle que ces éléments chimiques sont bien suffisants pour caractériser ces six échantillons.

**Tableau 1.** Analyses chimiques (% massique) des échantillons bruts de la carrière de Mirriah

ECHANTILLO NS	Al2O3	Fe2O3	SiO2	C	Ti	Total
MIR1	46,001	32,358	18,626	1,081	1,741	99,807
MIR2	45,998	32,348	18,555	1,109	1,798	99,808
MIR3	45,988	32,353	18,691	1,109	1,661	99,802
MIR4	45,971	32,354	18,696	1,098	1,824	99,943
MIR5	46,091	32,381	18,576	1,107	1,847	100,002
Ecart type	0,0469	0,0129	0,0645	0,0120	0,0746	
MIR	45,796	32,401	18,606	1,203	1,801	99,807

L'analyse de ces données, montre que l'alumine ( $Al_2O_3$ ), l'oxyde de fer ( $Fe_2O_3$ ) et la silice ( $SiO_2$ ) sont les oxydes majeurs dans les six (06) échantillons. Ceci traduit que tous les échantillons sont des aluminosilicates (Tableau 1, Figure 4) avec un rapport silice/alumine élevé en moyenne de 2,5 pour ces échantillons.

Un pourcentage important d'oxyde de fer dépassant 32%, est observé au niveau des six échantillons, cela fait de ces échantillons, des aluminosilicates très riches en fer (Tableau 1, Figure 4).

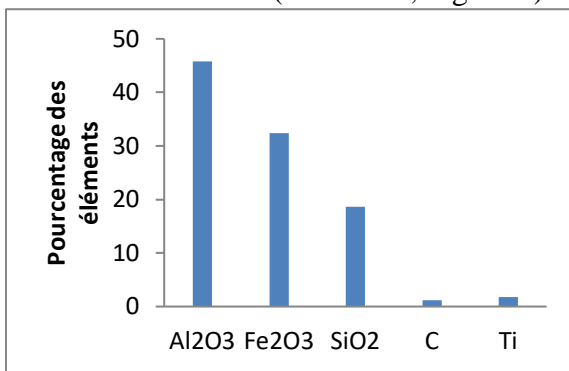


Figure 4. Pourcentage des éléments chimique dans l'échantillon MIR, représentatif de Mirriah

Les valeurs des écarts types des pourcentages massiques des éléments constitutifs majeurs est nettement négligeable (inférieur à 0,07). Cela prouve que les cinq échantillons ont des compositions très semblables, confirmant leur appartenance à la même formation géologique (Tableau1).

### Analyses minéralogiques

Les résultats de l'analyse des deux diffractogrammes de l'échantillon brut MIR (MIR raw), échantillon composite, représentatif de la carrière de Mirriah et sa fraction fine ou fraction argileuse (MIR fine fraction) extraite de l'échantillon brut sont affichés au niveau de la figure 5.

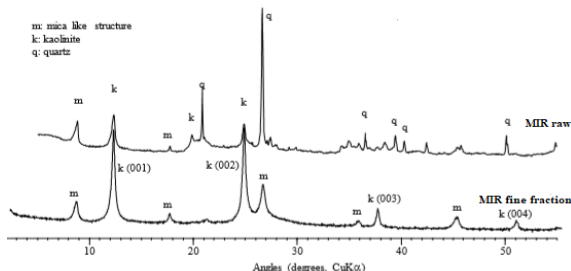


Figure 5. Diffractogrammes des échantillons MIR et de sa fraction fine

Le dépouillement du diffractogramme de l'échantillon brut de MIR (MIR raw) révèle qu'il est composé du quartz, de la kaolinite



( $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ ) et une structure de type mica, proche de l'illite ( $\text{K}_2\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}, 2\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})$ ).

L'opération d'extraction de la fraction argileuse (inférieure à  $2\mu\text{m}$ ) a concerné 20 g de l'échantillon brut. Ainsi 7,9 g de fraction argileuse (inférieure à  $2\mu\text{m}$ ) a été extraite, soit 39,5% de la masse initiale. Ceci révèle que l'échantillon MAG est riche en fraction argileuse.

La diffractométrie de rayons X appliquée sur cet échantillon de la fraction inférieure (MIR fine fraction) à 2 micromètre décèle la présence des minéraux suivants :

- kaolinite ( $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ ) et,
- une structure de type mica plus proche de l'illite ( $\text{K}_2\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}, 2\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})$ )

## Discussion

Les six échantillons de la carrière de Mirriah ont tous un taux très élevé d'alumine estimé à plus de 45%. Ainsi avec, leur pauvreté en éléments alcalins, ces échantillons de Mirriah peuvent être des potentielles matières premières pour la confection de produits réfractaires (Ledoussalh, 1985 ; Sagbo et al., 2015). Aussi leur pourcentage de plus 60% d'alumino-silicates, fait de ces échantillons des matériaux argileux pour lesquels, le rapport silice/alumine est un bon indicateur qui renseigne sur la proportion ou la teneur en minéraux argileux (Tableau 1). Ce rapport très élevé estimé à 2,5 en moyenne pour les six échantillons montre que les échantillons de cette étude sont riches en minéraux argileux (Juliano Alves de Senna. 2008). Cela est bien, en accord avec l'estimation de la fraction fine représente 39,5% de la masse de l'échantillon brut.

Aussi ce rapport estimé à 2,5 en moyenne pour les six échantillons, peut être comparé à celui des minéraux argileux de type 2:1, compris entre 2 et 4 (Jouennec, 1990 ; Konank, 2006). Ceci permet bien de rapprocher, la structure de mica mise en évidence par la diffraction x (Figure 5) de l'illite, une argile de type 2:1 (une couche octaédrique liée à deux couches tétraédriques).

Les compositions minéralogiques révèlent que l'échantillon brut MIR et sa fraction fine, représentatifs de la carrière de Mirriah sont constitués de la kaolinite ( $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ ), du quartz, et une structure de type mica, proche de l'illite ( $\text{K}_2\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}, 2\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})$ ). La kaolinite présente dans cette argile exploitée pour la poterie de Mirriah, est un minéral important dans sa composition puisqu'il ne favorise pas un phénomène de retrait/gonflement lors de séchage et de la réhumidification. C'est aussi une espèce minérale réfractaire qui limite le fluage à haute température (Bouhyyaoui F., 1996). Elle constitue le premier choix des potiers, à cause de

sa ténacité, sa dureté, son élasticité, sa supraconductivité et sa faible ductilité Juliano Alves de Senna. 2008).

Le quartz, quant à lui, est une source de silice dégraissant de la kaolinite (Wetshondo OD. 2012). Le MIR avec cette proportion de quartz, serait donc comparable aux compositions favorables aux formulations des produits céramiques tels que les carreaux (Yurdakoc et al., 2008).

Les valeurs très négligeables des écarts types des pourcentages massiques des éléments constitutifs majeurs de ces cinq échantillons (MIR1, MIR 2, MIR 3, MIR 4 et MIR 5), montrent qu'il s'agit des matériaux identiques appartenant certainement à la même formation géologique. Et cette composition minéralogique (Kaolinite, quartz et mica/ illite) et la nature du matériel prouvent que MIR est un produit d'altération d'un granite à mica qu'on retrouve dans le Damagaram (Gregert J., Pougnet R. 1965).

Ainsi, c'est dans ces conditions d'altération de ce granite, que la kaolinite proviendrait de l'altération des feldspaths dans un milieu suffisamment drainé et les micas, minéraux ferro-magnésiens, quant à eux libèreront beaucoup du fer sous la forme d'oxyde ferrique (El Quandil M. 2007).

Ceci est en accord avec le pourcentage important de plus 32% observé d'oxyde de fer dans le matériel de poterie de Mirriah. Cette teneur particulièrement élevée en  $Fe_2O_3$  (plus de 32%) induit une couleur rouge brique au matériel. La coloration intense est un atout pour cet échantillon car il peut être utilisé comme colorant naturel pour les éléments de poterie (Amoha, 2006).

## **Conclusion**

L'utilisation d'un matériau exige la maîtrise de ses propriétés physiques, chimiques et minéralogiques. C'est pour cela que les matériaux utilisés pour la poterie de Mirriah ont été soumis à une série de caractérisation. Les résultats de la caractérisation chimique indiquent que les six échantillons (MIR1, MIR2, MIR 3, MIR 4, MIR 5 et MIR) de la carrière de Mirriah contiennent sensiblement les mêmes éléments chimiques avec des proportions presque identiques. Ils renferment majoritairement l'alumine ( $Al_2O_3$ ) et la silice ( $SiO_2$ ) et une proportion d'oxyde de fer ( $Fe_2O_3$ ) importante qui leurs confèrent une couleur rouge brique.

Les résultats de la caractérisation minéralogique ont permis d'identifier et de confirmer les minéraux contenus dans l'échantillon composite MIR et sa fraction fine. Ainsi, le quartz, la kaolinite et une structure de mica proche de l'illite sont les minéraux contenus dans l'échantillon MIR et sa fraction fine.

Toutes ces caractéristiques font de ces matériaux de la carrière de Mirriah, très favorables aux formulations des produits de la poterie voir de la céramique au sens large.

### References:

1. Alzouma K.1994. Fluctuations du niveau marin au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque dans le bassin intracratonique du Iullemenden, Niger, Afrique de l'Ouest. *Africa Geosciences Review*. Vol 1, no 2. P 131-281.
2. Amoha BK. 2006. Coloration des blocs d'argile ciment (CIMARG). DEA Sciences de la terre, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. p. 99.
3. Bouhyaoui F., 1996. Etude géologique, minéralogique et technologique des marnes Miocène Supérieur à Pliocène inférieur de la région de Fès-Meknes et de Rabat-Salé. Thèse de 3eme cycle, Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat, 233p.
4. Camille M. 2010. Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un éco matériau de construction à base d'agroressources. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse. p. 189.
5. Diawara SO. 2009. Caractéristiques géotechniques, chimiques et mécaniques des matériaux argileux utilisés dans la construction de l'actuelle cité de Djenné : essais de renforcement. Thèse de l'Université de l'université de Bamako, Mali. p. 187.
6. Durand C., Forsans T., Ruffet C., Onaisi A., Audibert A. 1995. Influence of clays on borehole stability: a literature survey, part one : occurrence of drilling problems, physico-chemical description of clays and of their interaction with fluids, *Revue IFP*, vol. 50, n°2.
7. El Quandil M. 2007. Recherche et valorisation des matériaux de constructions et des argiles industrielles dans les provinces nord centrales du Maroc ; possibilités d'exploitation et problèmes environnementaux. Thèse d'Etat. Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat, 340p.
8. Juliano Alves de Senna. 2008. Characterization of clay used in the ceramic manufacturing industry by reflectance spectroscopy ; An experiment in the Sao Simao ball-clay deposit, Brasil, *Applied clay sciences* 14(2008) 85-98.
9. Gourouza M.; Zanguina A., Natatou I., Boos A. 2013. Caractérisation d'une argile mixte du Niger. *Rev. CAMES – Sciences Struct. Mat.* Vol. 1, p 29-39.
10. Guerraoui F, Zamama M, Ibnoussina M. 2008. Caractérisation minéralogique et géotechnique des argiles utilisées dans la céramique

- de Safi (Maroc). *African Journal of Science and Technology, Science and Engineering*, 9(1): 1-11.
11. Guide du terrassement routier. 1992. Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme. . Fascicule I, principes généraux,.
  12. Gregert J., Pougnet R. 1965. Carte géologique de la République du Niger au 1/2 000 000, BRGM ed, Paris France.
  13. Keita I. 2014. Géomatériaux argileux du Mali pour la construction. Propriétés mécaniques, durabilité et rôle des tanins. Thèse de Doctorat, Université des Sciences Techniques et Technologiques de Bamako ; Université de Limoges. p. 209.
  14. Sagbo E, Laibi A, Senou M, Josse R, Mensah J, Borschneck D, Noack Y. 2015. Physico-Chemical and Mineralogical Characterization of some Clays from
  15. Coastal Sedimentary Basin of Benin used in Ceramic. *Res.J.chem.sci.*, 5(12): 1-19
  16. Soi S. 2003. Influence des ions fer sur les transformations thermiques de la kaolinite. Thèse de Doctorat Unique, Université de Limoges, France. p. 199.
  17. Sorgho B. 2013. Caractérisation et valorisation de quelques argiles du Burkina Faso : application au traitement des eaux et aux géomatériaux de construction. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou. p. 177.
  18. Laibi BA. 2008. Caractérisation physicochimique et minéralogique de quelques échantillons d'argile du bassin sédimentaire côtier du Bénin. Mémoire de DEA, Université d'Abomey Calavi. p. 99.
  19. Ledoussalh. 1985. Les produits réfractaires. Paris: Société française de céramique.
  20. Sattran V., Wenmenga U., Czech Geological Survey, Geology of Burkina Faso, 2002. p 66-82
  21. Moore and Reynolds. 1989. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press.
  22. Wenmenga U., Journal- Geological Society of India. 2007. Geology Mineralogy and Geochemistry of the Kaolin Deposits of Ouahigouya Area Burkina Faso, (2007) 70, (6), 1015-1020.
  23. Wetshondo OD. 2012. Caractérisation et valorisation des matériaux argileux de la province de Kinshasa (RD Congo). Thèse de Doctorat Unique de l'Université de Liège (Belgique). p. 199.
  24. Wolters, F., Emmerich, K, .2007. Thermal reactions of smectites — relation of dehydroxylation temperature to octahedral structure. *Thermochimica Acta* 462; 80–88.

25. Yah OH, Fripiat JJ. 1979. Data handbook for clay minerals and other non-metallic minerals. Pergamon Press.
26. Yurdakoc., M., Akçay, M., Tonbul, Y., Ok, F., Yurdakoc., K.,2008. Preparation and characterization of Cr- and Fe-pillared bentonites by using CrCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub>, Cr(acac)<sub>3</sub> and Fe(acac)<sub>3</sub> as precursors. Microporous and mesoporous materials (ISSN: 1387- 1811) vol. 111; 211–218.