

CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES MATIÈRES PREMIÈRES ARGILEUSES DE LA CARRIÈRE DE THICKY (SÉNÉGAL) POUR LA FABRICATION DE BRIQUES EN TERRE

Bodian Seckou¹, Faye Mactar², Sambou Vincent¹, Séné N. Awa¹, Diaw Ibrahima², Faye Kory²

¹Université Cheikh Anta Diop, Laboratoire Eau-Energie-Environnement - Procédés Industriels (LE3PI), BP 5085,
Dakar-Fann (Sénégal), seckou.bodian@ucad.edu.sn, vincent.sambou@ucad.edu.sn

²Université Alioune Diop de Bambey, Département de Physique, BP 30, Bambey (Sénégal),
mactar.faye@uadb.edu.sn

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 26 novembre 2020

Reçu en format révisé le : 31 mai 2021

Accepté le : 04 octobre 2021

Mots-Clés : Argile, Latérite, Briques en terre
crue, Caractérisation physico-chimique

Keywords : Clay, Laterite, Clay bricks,
Physico-chemical characterization

RÉSUMÉ / ABSTRACT

L'étude porte sur la caractérisation physico-chimique des matières premières argileuses de la carrière de Thicky. Nous avons fait une étude géotechnique, minéralogique, chimique et microscopique de la latérite et de l'argile de Thicky. Les résultats de l'analyse granulométrique de nos matières premières indiquent que l'argile de Thicky est composée principalement d'une fraction de 45 % d'argile, 47 % de limon et 8 % de sable. La latérite est composée de 8 % d'argile, 20 % de limon et 72 % de sable. L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX) révèle que notre argile est constituée principalement de quartz (Q), de kaolinite (K), d'illite (I) et de calcite (C) alors que la latérite est constituée de quartz (Q), de kaolinite (K), d'hématite (H) et de calcite (C). Les résultats de la composition chimique montrent que les oxydes les plus abondants dans nos deux matières premières sont SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃ alors que K₂O, CaO, MgO, Na₂O, TiO₂ et P₂O₅ ne sont présents qu'en petites quantités. La spectroscopie infrarouge révèle la présence des bandes d'absorption relativement larges localisées vers 3500 cm⁻¹ qui sont liées à des phyllosilicates tels que la kaolinite ou l'illite. L'observation microscopique des échantillons d'argile et de latérite montre que la texture est relativement compacte, formée de plusieurs feuillets plans superposés avec un désordre turbostratique.

I. INTRODUCTION

L'utilisation d'un matériau dans la construction nécessite la connaissance de ces propriétés pour comprendre son comportement vis-à-vis des autres matériaux. La caractérisation d'un matériau d'une manière générale est l'ensemble des procédés qui permettent de déterminer les propriétés (physique, chimique, mécanique, thermique, etc.) du matériau.

L'utilisation de matériaux à base de terre dans le bâtiment nécessite une bonne connaissance de leurs propriétés physico-chimiques afin de répondre au mieux aux contraintes sévères imposées dans le secteur de la construction.

Aujourd'hui, plus que tout autre matériau, la terre constitue un matériau de base pour la construction. Sa disponibilité et sa facilité à mettre en œuvre favorisent son utilisation en tant que matériau de construction pour le futur.

La nature chimique, la forme physique, l'état de surface des différentes matières constitutives de ce matériau lui confèrent des propriétés particulières valorisables dans plusieurs secteurs industriels.

Les matières premières sont valorisées en fonction de leurs propriétés physiques et chimiques, en relation avec les procédés industriels disponibles. En fonction de l'origine des matières premières, une petite variation de l'une de ces caractéristiques peut limiter considérablement le domaine d'application [1].

Dans un contexte d'utilisation industrielle, il convient de s'intéresser à la taille, à la forme, à la masse volumique, à la surface spécifique et aux caractéristiques structurales tout en identifiant les compositions chimiques et minéralogiques des matières premières.

De nombreuses techniques de caractérisation des matériaux existent et reposent essentiellement sur différents principes physico-chimiques de base.

Il s'agit de caractérisations :

- géotechniques (teneur en eau naturelle, teneur en matières organiques, granulométrie, limites d'Atterberg, essai au bleu de méthylène) ;
- microscopiques ;
- chimiques (fluorescence X, spectroscopie d'absorption atomique) ;
- minéralogiques (diffraction des rayons X, spectroscopie infrarouge).

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à l'argile et à la latérite qui sont des matériaux utilisés au Sénégal dans la construction. L'objectif de notre travail est de déterminer les propriétés physico-chimiques de l'argile et de la latérite de la carrière de Thicky (Sénégal).

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Présentation du site

Le sol du Sénégal contient un grand nombre de gisements d'argiles et de latérites [2, 3]. L'argile est principalement utilisée pour la production de poteries et de tuiles, tandis que la latérite est utilisée pour la construction de routes. Malgré le grand potentiel d'extraction de l'argile, celle-ci est de moins en moins utilisée dans la construction.

L'étude a été réalisée sur un sol argileux (argile de Thicky) et de la latérite collectée dans la carrière de Thicky. Thicky est situé dans la région de Thiès, à l'Ouest du Sénégal à 14°50' N, 17°06' W. La carte géographique est représentée sur la Figure 1.

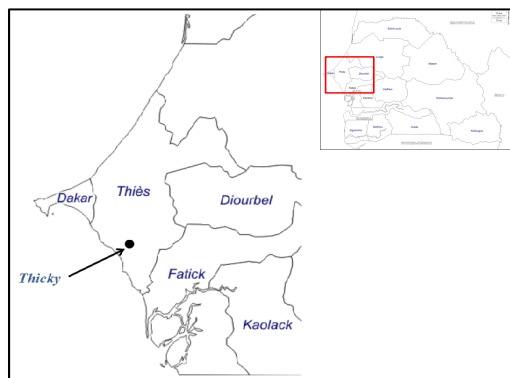


Fig. 1: Localisation de Thicky dans la région de Thiès au Sénégal

2.2. Essais d'identification géotechniques

2.2.1 Teneur en eau naturelle (W)

La teneur en eau naturelle est obtenue par passage à l'étuve à 105°C d'une quantité de sol. C'est le rapport de la masse d'eau évaporée à la masse du sol sec (grains solides).

La teneur en eau des différents échantillons a été déterminée par la méthode de la dessiccation à l'étuve, suivant la norme expérimentale [XP CEN ISO/TS 17892-1, 2005] [1]. Il s'agit de déterminer la masse d'eau libre éliminée par séchage dans une étuve à une température de 105°C. La détermination de la teneur en eau naturelle est basée sur la formule ci-après :

$$W(\%) = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

avec

m_h : la masse de l'échantillon de sol à l'état naturel;

m_s : la masse de cet échantillon de sol après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures;

$m_h - m_s$ = masse d'eau [4].

2.2.2. Teneur en matières organiques (MO)

La teneur en matières organiques (MO) contenues dans le sol est égale au rapport de la différence entre la masse initiale de l'échantillon m et la masse de l'échantillon après la réaction avec de l'eau oxygénée m' sur la masse initiale d'essai m (100 grammes) [4]. Elle est calculée par la formule suivante:

$$MO(\%) = \frac{m - m'}{m} \times 100 \quad (2)$$

2.2.3. Teneur en carbonate de calcium $CaCO_3$

La teneur en carbonate de calcium ($CaCO_3$) a été déterminée suivant la norme française [NFP94-048, 1996] [5], en utilisant le calcimètre de Bernard.

Son principe se base sur la mesure du volume V_b de dioxyde de carbone (CO_2) dégagé par action de l'acide chlorhydrique (HCl dilué à 10 %) en excès sur le carbonate de calcium ($CaCO_3$) d'une masse m d'échantillon de sol ou de roche.

Le calcul du pourcentage de $CaCO_3$ se fait en se référant à un essai témoin avec une masse m_t (0,25g) de $CaCO_3$ pur qui dégage un volume V_t de CO_2 après réaction avec de l'HCl en excès.

La teneur en $CaCO_3$ est calculée par la formule :

$$\%CaCO_3 = \frac{m_t}{m} \frac{V_b}{V_t} \frac{(\theta_t + 273)}{(\theta_b + 273)} \times 100 \quad (3)$$

Avec θ_b et θ_t : les températures de la salle d'essai, respectivement, lors de l'essai sur le matériau et lors de l'essai sur le carbonate de calcium pur, exprimées en degré Celsius.

2.2.4. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique présente la répartition en pourcentage des particules solides selon leurs dimensions.

Pour nos matières premières, l'analyse granulométrique a été faite selon deux techniques : la fraction plus grossière ($> 80 \mu m$) a été analysée par tamisage humide, et la fraction plus fine ($< 80 \mu m$) par sédimentométrie selon la norme [NF P 94-057, 1992] [6] (méthode basée sur la mesure du temps de sédimentation des particules solides en suspension dans une solution d'eau mélangée à de l'hexamétaphosphate de sodium comme agent défloculant).

2.2.5. Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont des essais qui permettent de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol, et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau.

Le but de ces tests est de déterminer la limite de liquidité W_L et la limite de plasticité W_p de l'argile de Thick et de la latérite.

La différence entre les limites de liquidité et de plasticité donne l'indice de plasticité I_p . Cet indice mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol peut être pétri.

2.2.6. Masse volumique apparente des matières premières

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

L'échantillon à tester est placé dans un entonnoir obturé par une plaque métallique.

On fait glisser cette plaque et on recueille les granulats dans un cylindre dont le volume est connu (100 cm^3). Après avoir arasé la matière excédentaire, on pèse le cylindre.

La masse volumique apparente est donnée par l'équation suivante :

$$\rho_{\text{app}} = \frac{m}{V} \quad (4)$$

2.3. Analyses minéralogiques des matières premières

2.3.1. Diffraction des rayons X (DRX)

La composition minéralogique des échantillons a été déterminée par la technique de la diffraction des rayons X. Cette technique permet d'identifier les différentes phases minérales cristallisées présentes dans l'échantillon. L'appareillage utilisé est un diffractomètre de modèle X'PERT Pro MPD PANALYTICAL.

2.3.2. Spectroscopie infrarouge (IR)

La spectrométrie infrarouge est l'un des méthodes les plus utilisées pour la caractérisation et l'identification des molécules organiques. Elle est utilisée pour déterminer les groupements fonctionnels présents dans le matériau. C'est une méthode de caractérisation rapide et sensible de la plupart des molécules existantes.

La spectrométrie infrarouge mesure la diminution de l'intensité du rayonnement qui traverse un échantillon en fonction de la longueur d'onde.

La méthode de la spectroscopie infrarouge nécessite l'utilisation d'un support transparent en infrarouge tel que

le bromure de potassium (KBr). La méthode consiste à broyer quelques milligrammes (0,5 à 1 mg) de l'échantillon en présence de poudre de KBr sec, dans un mortier en agate. Le mélange est ensuite comprimé dans une presse hydraulique.

2.4. Analyse chimique des matières premières

L'analyse chimique élémentaire consiste à doser sous forme atomique les différents éléments chimiques qui constituent l'échantillon.

L'analyse chimique élémentaire de nos matières premières a été obtenue par ICP-AES (Spectrométrie d'émission Atomique dans un plasma à couplage inductif). Les acides nitrique (HNO_3) (2 ml) et fluorhydrique (HF) (6 ml) ont été utilisés pour la mise en solution par voie humide dans un volume de 100 ml. Les résultats ont été obtenus sous une pression de 60 bars avec un pas de 0,8 bars/seconde, à la température de 240°C , avec une puissance de 900 W, une rampe de 20 min et un palier de 30 min.

2.5. Observations microscopiques par MEB

Le Microscope Electronique à Balayage (MEB) permet d'observer la topographie de surface d'un échantillon en balayant sa surface par un faisceau d'électrons et en recueillant l'image formée. En ce qui concerne nos échantillons, la poudre argileuse a été déposée sur une pastille carbonée. Cette pastille est ensuite métallisée en la recouvrant d'une couche fine de métal par la pulvérisation cathodique de platine pour la rendre conductrice. Une fois métallisé, l'échantillon est introduit dans la chambre du MEB pour l'analyse.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Essais d'identification géotechniques

3.1.1. Teneur en eau naturelle (W)

Les résultats de la teneur en eau naturelle de nos échantillons sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Teneur en eau naturelle des échantillons

Echantillons	Masse humide: m_h (g)	Masse sèche: m_s (g)	Teneur en eau: W (%)
Argile	99,88	95,32	4,78
Latérite	100	98,52	1,50

Les deux échantillons présentent des teneurs en eau naturelle faibles. Mais l'échantillon d'argile a une teneur en eau naturelle de 4,78 % plus grande que celle de l'échantillon de latérite dont la teneur en eau est de 1,50 %.

Les variations de teneurs en eau naturelle peuvent être liées à la quantité d'éléments fins ou argileux contenus dans les échantillons analysés.

3.1.2. Teneur en matières organiques (MO)

Les résultats de la teneur en matières organiques de nos échantillons sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Teneur en matières organiques des échantillons

Echantillons	Masse initiale d'essai: m (g)	Masse après la réaction: m' (g)	Teneur en matières organiques MO (%)
Argile	100	95,09	4,91
Latérite	100	98,54	1,46

Les résultats montrent que l'Argile est faiblement organique (MO = 4,91 %) alors que la Latérite est non organique (MO = 1,46 %) [7].

Donc leur effet négatif dans les procédés de fabrication des briques (stabilisation ou cuisson) est, de ce fait, négligeable.

3.1.3. Teneur en carbonate de calcium (CaCO_3)

Les résultats de la teneur en carbonate de calcium de nos échantillons sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Teneur en carbonate et classification des différents échantillons

Echantillons	Teneur en Carbonate en %	Classification
Argile	5	Non marneux
Latérite	1,25	Non marneux

L'analyse des résultats montre que les deux échantillons sont classés comme des matériaux non marneux, puisque la teneur en carbonate de calcium ne dépasse pas 10 %.

3.1.4. Analyse granulométrique

La distribution granulométrique de nos matières premières est illustrée à la Figure 2.

Les résultats obtenus indiquent que l'argile de Thicky est composée principalement d'une fraction de 45 % d'argile, 47 % de limon et 8 % de sable. La latérite est composée de 8 % d'argile, 20 % de limon et 72 % de sable [8].

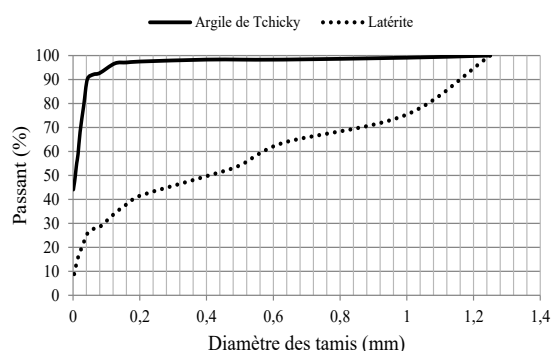


Fig. 2. Courbes granulométriques des matières premières (argile et latérite) [8].

3.1.5 Limites d'Atterberg

La limite de liquidité de l'argile est de 41,8 % et celle de la latérite est de 38 %.

La limite de plasticité de l'argile est de 24,3 % alors que la limite de plasticité de la latérite est de 21,9 %. Les indices de plasticité de l'argile et de la latérite sont respectivement 17,5 % et 16,1 % [8]. Ces résultats montrent que l'argile de Thicky et la latérite sont modérément plastiques [9].

3.1.6. Essai au bleu de méthylène d'un sol

La surface spécifique de l'argile $S_s(\text{Argile}) = 83,25$ montre que notre argile contient de l'illite.

La surface spécifique de la latérite $S_s(\text{Latérite}) = 22,76$ montre la présence de la kaolinite [8].

Les résultats de la granulométrie pourraient aussi confirmer ces valeurs obtenues de la surface spécifique car l'argile de Thicky contient plus de fraction fine ($< 2 \mu\text{m}$) que la latérite. Plus l'argile est fine plus sa surface spécifique est grande. De même, ces valeurs de surface spécifique laissent supposer que l'argile de Thicky et la latérite pourraient contenir des minéraux argileux tels que de l'illite et de la kaolinite.

3.1.7. Masse volumique apparente des matières premières

La masse volumique apparente de l'argile est 1297 kg/m^3 et celle de la latérite est 1366 kg/m^3 . Les deux matériaux ont des masses volumiques apparentes du même ordre de grandeur. Mais l'argile a une masse volumique apparente inférieure à celle de la latérite. Donc l'argile est moins dense que la latérite.

3.2. Analyses minéralogiques des matières premières

3.2.1. Diffraction des rayons X (DRX)

Les diffractogrammes des deux échantillons brutes sont présentés à la Figure 3.

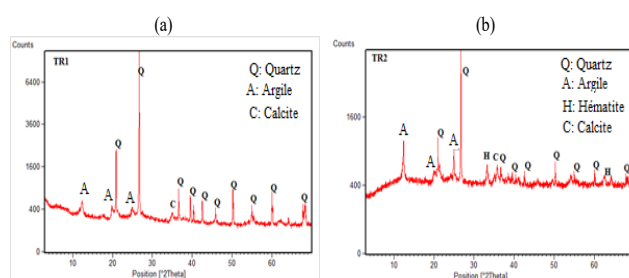


Fig. 3. Diffractogrammes des rayons X des poudres d'argile (a) et de latérite (b) avant utilisation des lames à agrégats orientés.

Les résultats montrent que l'argile de Thicky (TR1) et la latérite (TR2) sont essentiellement composés de quartz et d'argile.

Pour différencier les argiles, il est donc nécessaire de faire le test des lames d'argile.

Ainsi, nous avons effectué divers traitements visant à modifier l'espace inter-feuillets : chauffage, acidification, remplacement du cation interfoliaire. Deux de ces traitements ont été appliqués successivement à savoir la saturation par un polyalcool (Éthylène-Glycol : E.G) et le chauffage à 500°C sur les préparations orientées déjà analysées dans les conditions naturelles. On peut donc reconnaître l'argile en regardant l'évolution des pics de diffraction aux faibles angles selon le traitement.

Les résultats de la DRX des lames à agrégats orientés (normales, traitées avec l'éthylène glycol et chauffées à 500°C pendant 2 h) sont présentés sur la Figure 4.

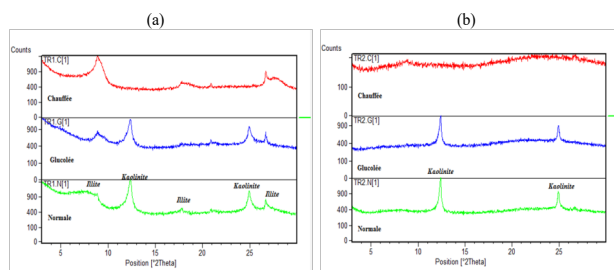


Fig. 4. Diffractogrammes des rayons X : (a) des lames à agrégats orientés de l'argile et (b) de la latérite.

Les diffractogrammes des lames à agrégats orientés montrent que l'argile de Thicky (TR1) est constituée de kaolinite (7,13 Å) et d'illite (10 Å) alors que la latérite (TR2) est constituée de kaolinite (7,13 Å).

La Figure 5 présente les diffractogrammes des deux matières premières étudiées.

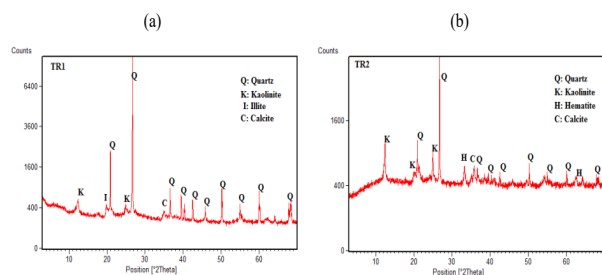


Fig. 5. Diffractogrammes des rayons X : (a) des poudres d'argile et (b) de la latérite.

Les résultats de la DRX montrent que l'argile de Thicky est constituée principalement de quartz (Q), de kaolinite (K), d'illite (I) et de calcite (C) alors que la latérite est constituée de quartz (Q), de kaolinite (K), d'hématite (H) et de calcite.

3.2.2. Spectroscopie infrarouge (IR))

Dans le cadre de notre étude, les spectres infrarouges de l'argile et de la latérite présentés sur la Figure 6 sont obtenus grâce à un appareil de type Nicolet 6700 FT-IR sur un intervalle d'enregistrement compris entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1} domaine du moyen infrarouge.

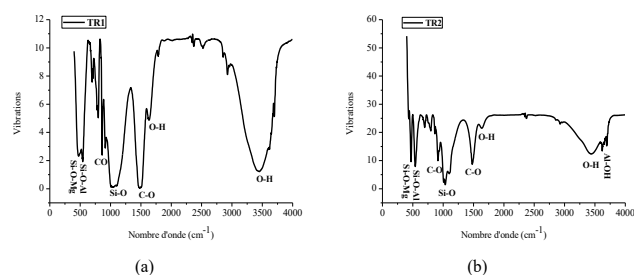


Fig. 6. Spectres infrarouges IR : (a) de l'argile et (b) de la latérite.

Il ressort de ces spectres deux groupements essentiels : les groupements OH et H₂O (bandes de 1640 cm^{-1} et 3456 cm^{-1}) caractérisant respectivement des vibrations de déformation et d'élongation ; et le groupement Si-O (bande large, intense centrée vers 1027 cm^{-1}) correspondant à la vibration de valence de liaison dans les minéraux argileux.

Les bandes d'absorption relativement larges localisées vers 3500 cm^{-1} sont liées à des phyllosilicates tels que la kaolinite ou l'illite.

La bande d'absorption vers 1640 cm^{-1} peut être due à la présence de l'eau interfoliaire.

Dans l'ensemble, les allures similaires des spectres IR confirment les informations fournies par la diffraction des rayons X. Toutefois, l'analyse chimique élémentaire aidera à approfondir ces informations en fournissant la quantité en oxyde de chaque élément chimique.

3.3. Analyse chimique des matières premières

La composition chimique des échantillons a été déterminée par Bodian et al. [8].

Les résultats ont montré que les oxydes les plus abondants dans les deux échantillons sont: SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃ alors que K₂O, CaO, MgO, Na₂O, TiO₂ et P₂O₅ ne sont présents qu'en petites quantités. Le rapport SiO₂/Al₂O₃ relativement élevé de l'échantillon d'argile (6,09) est une indication de la grande quantité de kaolinite dans le matériau.

La quantité relativement élevée de SiO₂ dans l'argile indique une présence plus importante du quartz dans l'argile que dans la latérite [8].

Un autre aspect important par rapport à la composition chimique est la faible quantité de K₂O dans l'argile. Ceci indique une faible teneur en illite dans l'argile.

3.4. Observations microscopiques par MEB

La microstructure des échantillons a été observée et analysée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) JSM-5400.

Les figures 7 et 8 montrent les images microscopiques des différents échantillons.

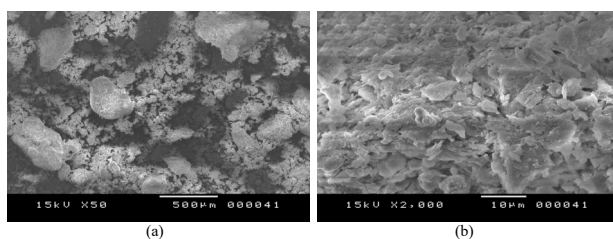


Fig. 7. Images de l'argile par MEB.

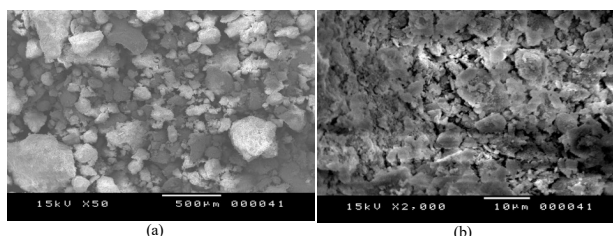


Fig. 8. Images de la latérite par MEB.

L'observation microscopique des échantillons d'argile et de latérite montre que la texture est relativement compacte, formée de plusieurs feuillets plans superposés avec un désordre turbostratique (combinaison aléatoire de rotations et de translations).

On observe la présence de quartz dans les deux échantillons et que la matrice de l'échantillon de latérite est plus dense que celle d'argile. On note aussi la présence de quelques pores et de microfissures.

Les deux échantillons présentent une texture ouverte dont les feuillets n'ont pas de disposition préférentielle. L'orientation aléatoire laisse apparaître des vides dans la structure des échantillons, et par la suite l'apparition d'un réseau de discontinuités.

IV. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons déterminé les caractéristiques physico-chimiques des matières premières argileuses de la carrière de Thicky.

Nous avons déterminé la teneur en eau, la teneur en matières organiques et la teneur en carbonate de calcium CaCO_3 des matières premières. Les résultats de la teneur en eau montrent que les deux échantillons présentent des teneurs en eau naturelle faibles.

Les résultats de la teneur en matières organiques montrent que l'argile de Thicky est faiblement organique ($\text{MO} = 4,91\%$) alors que la latérite est non organique ($\text{MO} = 1,46\%$). Donc l'effet négatif des matières organiques dans les procédés de fabrication des briques (stabilisation ou cuisson) est, de ce fait, négligeable.

Les résultats de la teneur en carbonate de calcium montrent que les deux matières premières sont classées comme des matériaux non marneux, puisque la teneur en carbonate de calcium ne dépasse pas 10% .

Les deux matériaux ont des masses volumiques apparentes du même ordre de grandeur.

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX) révèle que notre argile est constituée principalement de quartz (Q), de kaolinite (K), d'illite (I) et de calcite (C) alors que la latérite est constituée de quartz (Q), de kaolinite (K), d'hématite (H) et de calcite.

Les résultats de la composition chimique montrent que les oxydes les plus abondants dans nos deux échantillons sont SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 alors que K_2O , CaO , MgO , Na_2O , TiO_2 et P_2O_5 ne sont présents qu'en petites quantités.

Les résultats de l'infrarouge révèlent la présence des bandes d'absorption relativement larges localisées vers 3500 cm^{-1} qui sont liées à des phyllosilicates tels que la kaolinite ou l'illite.

L'observation microscopique des échantillons d'argile et de latérite montre que la texture est relativement compacte, formée de plusieurs feuillets plans superposés avec un désordre turbostratique (combinaison aléatoire de rotations et de translations).

REMERCIEMENTS

Nous remercions les chercheurs du Laboratoire de Génie Civil de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis (LGC-ENIT) et du Laboratoire d'Energétique Appliquée de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar (LEA-ESP) pour tous les échanges.

REFERENCES

1. P. Blanchart, Les céramiques silicatées. Article Techniques de l'Ingénieur 7200038948 – Université de Limoges // 164.81.216.75, le 20 février 2015.
2. J. Roger, O. Banton, J. P. Barusseau, P. Castaigne, J. C. Comte, C. Duvail, P. Nehlig, B. J. Noël, O. Serrano and Y. Travi, Notice explicative de la cartographie multi-couches à 1/50 000 et 1/20 000 de la zone d'activité du Cap-Vert. Ministère des Mines, 2009
3. M. Ndiaye, « Contribution à l'étude de sols latéritiques du Sénégal et du Brésil », Thèse de Doctorat en Cotutelle entre l'Université Paris Est et l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Septembre 2013.
4. D. W. Osomba, « Caractérisation et valorisation des matériaux argileux de la province de Kinshasa (RD Congo) », Thèse de Doctorat de l'Université de Liège, Juin 2012.
5. [NFP94-048], « Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en carbonate - Méthode du calcimètre », Octobre 1996.
6. [NFP94-057], « Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique des sols- Méthode par sédimentation », AFNOR, Mai 1992.
7. K. Meftah, « Cours et Exercices de Mécanique des sols », Septembre 2008.

8. Séckou Bodian, Mactar Faye, Ndeye Awa Sene, Vincent Sambou, Oualid Limam, Ababacar Thiam, «Thermo-mechanical behavior of unfired bricks and fired bricks made from a mixture of clay soil and laterite», *Journal of Building Engineering* 18 (2018) 172–179.
- [9] H. Mahtali, « Identification du potentiel de gonflement d'un sol de la région de Souk-Ahras », Colloque International Sols Non Saturés et Environnement « UNSATlemcen09 » Tlemcen, 27 et 28 Octobre 2009.