

**CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION ET A LA VALORISATION DES
ARGILES DU CRETACE INFERIEUR DU NORD EST DE LA TUNISIE.
APPLICATION DANS LE DOMAINE DE LA CERAMIQUE**

GHARSALLI Jamel^{*1}, RKIK Rim², ZOUARI Hédi¹, TURKI Faïçal³
CHAABANE Mahmoud⁴

(1) *Laboratoire de Géoressources, CERTE – Route touristique Borj Cedria - Soliman, B.P. 273.
Soliman, 8020, Tunisie.*

(2) *Faculté des Sciences de Sfax.*

(3) *I.P.E.I.S. – Université de Sfax ; B.P. 805, 3000 Sfax.*

(4) *CTMCCV. Elwardia, Tunis.*

*Email: jamel_gharsalli@yahoo.fr.

Abstract: The present paper aims at investigating a characterization and valorisation of local clays collected from North East of Tunisia (Early Cretaceous clays in Ariana, Grombalia and Enfidha areas) for their application in the ceramics field. Indeed, geological, mineralogical, physicochemical, technological and ceramic properties of crude samples are studied. Geological investigation is based on the recognition of Early Cretaceous stratigraphy sequences containing clays materials and the realization of lithostratigraphic columns showing wide argillaceous levels. Mineralogical analysis by XRD of argillaceous samples shows that Early Cretaceous clays are primarily made up of illite, kaolinite, interstratified illite-smectite (I-Sm), with a little smectite and chlorite. The associated minerals are quartz, calcite and feldspar. The studies were carried out with three clay representative clay mixtures characteristic of these three layers. Physicochemical characterization shows the rates of major chemical elements, the content of CaCO₃ (calcimetry) and the determination of several properties (cationic exchange capacity (C.E.C), specific surface (S.S), apparent density, permeability, porosity, pH, salinity, rates of organic matter and organic carbon total). The technological study is based on the granulometry analysis, the study of plasticity degrees of these clays, the tracing of Bigot's curves and dilatometer curves. Semi-Industrial tests of manufacture of ceramic biscuits were carried out on a mixture representative of each studied argillaceous level. The analyses after cooking showed that the majority of the mixtures have a good result with the temperature of cooking about 1000°C. Finally, this study reveals that the majority of Early Cretaceous clays in North East of Tunisia can be used in manufacture of ceramic products.

Key words: valorisation, ceramics, clays, North East of Tunisia, Early Cretaceous.

Résumé : Dans un but de caractérisation et de valorisation des argiles du Nord Est de la Tunisie en vue de leur application dans le domaine de la céramique, on a réalisé une étude géologique, minéralogique, physico-chimique et technologique des argiles de Crétacé inférieur des régions d'Ariana, de Grombalia et d'Enfidha. L'étude géologique est basée sur la reconnaissance des séries stratigraphiques du Crétacé inférieur renfermant les matériaux argileux et la réalisation des colonnes lithostratigraphiques montrant l'étendu des niveaux argileux.

L'analyse minéralogique par DRX des échantillons argileux montre que les argiles du Crétacé inférieur sont constituées essentiellement d'illite, de kaolinite, d'interstratifiés illite-smectite (I-S), avec un peu de smectite et de chlorite. Les minéraux associés sont le quartz, la calcite et le feldspath. Trois mélanges argileux représentatifs et caractéristiques de ces trois coupes ont été préparés. L'étude minéralogique a été complétée par une caractérisation physico-chimique comportant le dosage des éléments chimiques majeurs, la détermination du taux de CaCO₃ (calcimétrie) et la détermination de plusieurs propriétés (la capacité d'échange cationique (C.E.C), la surface spécifique (S.S), la densité apparente, la perméabilité, la porosité, le pH, la salinité, la teneur en matière organique et en carbone organique totale). L'étude technologique est basée sur l'analyse granulométrique, l'étude des degrés de plasticités de ces argiles, le traçage des courbes de Bigot et des courbes dilatométriques. Des essais semi industriels de fabrication de biscuits de faïence ont été réalisés sur un mélange représentatif de chaque niveau argileux étudié. Les

analyses après cuisson ont montré que la plupart des mélanges ont donné de bons résultats avec la température de cuisson de l'ordre de 1000°C. Au terme de cette étude on a montré que la plupart des argiles du Crétacé inférieur du Nord Est de la Tunisie peuvent être utilisées dans la fabrication des produits céramiques.

Mots-clés: valorisation, céramique, argiles, Tunisie nord orientale, Crétacé inférieur.

1- INTRODUCTION

Le domaine d'étude est situé au Nord Est de la Tunisie, dans un contexte paléogéographique et structural régional assez complexe. Il coïncide avec la terminaison nord orientale de l'Atlas septentrional tunisien [1]. La série lithostratigraphique du Crétacé inférieur de cette région d'étude a montré de grande richesse en gisements argileux et/ou marneux. Afin de caractériser et de valoriser les matériaux argileux de ces gisements, en vue de leur application dans le domaine de la céramique, trois coupes lithologiques ont été réalisées. La première coupe est située au niveau du Jebel (J.) Kohol dans la feuille d'Enfidha, la deuxième est localisée au niveau du Jebel Ennouali dans la feuille de Grombalia et la troisième coupe a été levée au niveau du Jebel Naheli situé dans la feuille d'Ariana (fig. 1).

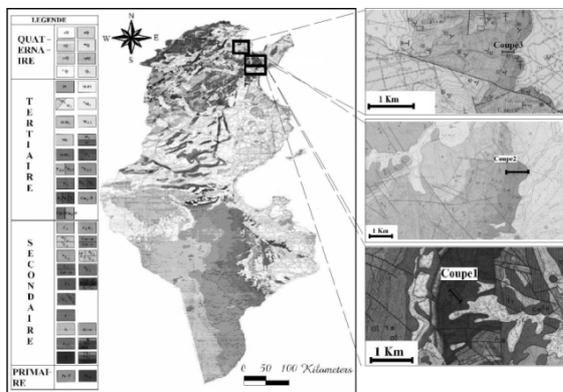


Fig. 1 - Carte géologique [2] et extraits des cartes géologiques (1/50 000) d'Enfidha, de Grombalia et d'Ariana montrant le Cadre géologique du secteur d'étude et la localisation des trois gisements étudiés.

Les échantillons prélevés à partir de ces trois gisements ont été analysés minéralogiquement par diffractométrie de rayon X. Un mélange représentatif a été préparé en homogénéisant les échantillons prélevés de chaque gisement argileux étudié. Ainsi, trois mélanges argileux caractéristiques de ces trois gisements ont été préparés. Un mélange M1 représentatif du gisement argileux

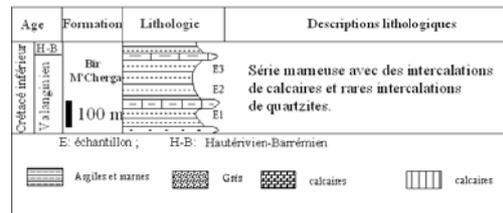


Fig. 2 - Log lithostratigraphique de la série Valanginienne de J. Kohol

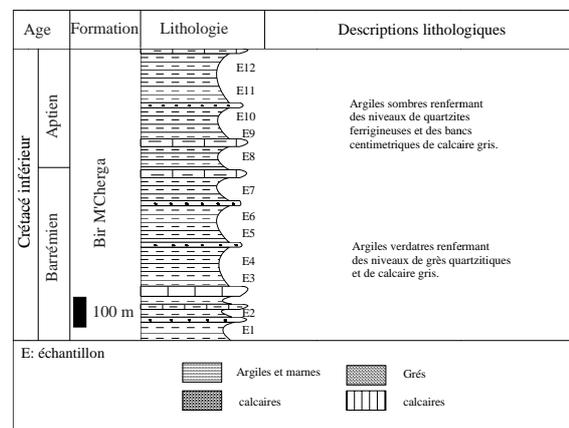


Fig. 3 - Log lithostratigraphique de la série Barrémo-aptienne de J. Ennouali

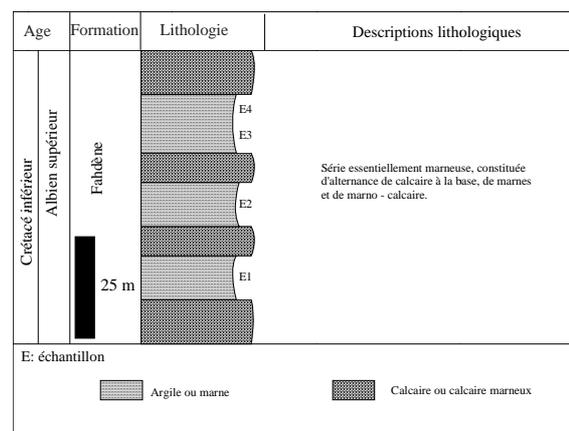


Fig. 4 - Log lithostratigraphique de la série de l'Albien supérieur de J. Naheli

attribué au Valanginien de la coupe de J. Kohol, un mélange M2 représentatif du

gisement argileux attribué au Barrémo-Aptien de la coupe de J. Ennouali et un mélange M3 représentatif du gisement argileux attribué à l'Albien supérieur de la coupe de J. Naheli. Ces trois mélanges argileux ont fait par la suite l'objet d'une série d'analyses physico-chimiques et géotechniques puis ils ont servi à la fabrication semi industrielle des carreaux de faïence.

2. METHODOLOGIE

L'étude minéralogique a été réalisée essentiellement par diffractométrie de rayon X (Philips X' Pert Pro system, Cu K α , 40 kV, 40 mA) au CERTE de Technopole de Borj Cédria en Tunisie. Pour chaque échantillon quatre essais ont été nécessaires pour le caractériser. Un essai consistant au passage aux rayons X d'une poudre afin d'évaluer les différents constituants de l'échantillon. Après un traitement préalable de chaque échantillon (décarbonatation, élimination de la matière organique et des sulfates), des lames orientées ont été préparées [3,4]. Trois essais sont suffisants pour l'estimation semi quantitative relative des constituants cristallisés : l'essai naturel, l'essai chauffé à 500°C pendant 4 heures et l'essai glucolé. Le calcul semi-quantitatif a été réalisé par la méthode de la surface des pics et des pouvoirs réflecteurs [5,6,7]. Les éléments majeurs ont été analysés par spectroscopie de fluorescence de rayons X (XRF). L'analyseur XRF utilisé est du type "PHILIPS R.W. 2400". Le taux de CaCO₃ dans l'argile (calcimétrie) est déterminé en utilisant le calcimètre de Bernard. L'étude de la plasticité a été réalisée par la méthode de Casagrande [8,9,10] qui a été choisie pour la détermination des limites d'Atterberg puisqu'elle donne des résultats plus fiables que le cône de pénétromètre, comme suggéré par différents auteurs [11,12]. La limite de liquidité (W_L), la limite de plasticité (W_P) et l'index de plasticité ont été déterminés selon les normes françaises NF P 94-051.

$$(I_p = W_L - W_P) \quad (1)$$

$$\text{Avec } I_p = 0,73. (W_P - 20) \quad (2)$$

L'analyse granulométrique a été réalisée par voie humide, par sédimentation et par laser La courbe de Bigot est enregistrée à l'aide d'un baréllattographe Adamel Lhomargy. L'analyse dilatométrique et le retrait de cuisson ont été réalisés par un dilatomètre mécanique Adamel Lhomargy BI. Les argiles, utilisées dans les essais semi industrielles de fabrication des

carreaux de faïences, ont été étuvées à une température de 110°C puis finement broyées. Chaque mélange a été préparé à partir de deux kilogrammes d'argile brute associée à 7 % environ d'eau de façonnage. De ces mélanges nous avons préparé une série d'éprouvettes (42 pièces pour chaque mélange) prismatiques de dimensions 100 mm x 50 mm x 7 mm avec un pressage maximal de 250 bars. Ces carreaux séchés à l'air libre durant 36 heures, sont introduits dans une étuve à une température de 110°C. Par la suite les carreaux céramiques sont soumis à la cuisson (avec 10°C/min) de la température ambiante jusqu'aux trois températures différentes : 900, 950 et 1000°C. Le choix des trois températures provient du fait qu'on essaye de se rapprocher au mieux des conditions optimales de fabrication des carreaux à l'échelle industrielle. Les essais de résistance à la flexion ont été effectués par "le fleximètre trois points C.C.R.Di nanneti" selon la norme ISO 10545-4. Les valeurs moyennes de la résistance de la flexion ont été calculées par l'équation :

$$MF = 3FL/2bh^2 \quad (3)$$

avec: F = charge à la rupture (kg), L = la distance entre les appuis (L=29.67 mm), b = largeur de la pièce céramique (mm), h = épaisseur de la pièce céramique (mm).

La capacité d'absorption d'eau et la porosité ouverte après cuisson des pièces céramiques ont été déterminées selon la norme ISO-10543-3. On utilise un appareil de chauffage et un récipient pouvant contenir la totalité des pièces. Les pièces ont été remplies avec de l'eau et ont été chauffées jusqu'à l'ébullition pendant 2 heures. Après refroidissement et quand la température de l'eau atteint 35 - 40°C, les pièces céramiques ont été sorties de l'eau, leurs surfaces ont été séchées et elles ont été pesées. La valeur de l'absorption de l'eau (E_A) est obtenue par l'équation :

$$E_A = [(E_f - E_i)/E_i] \times 100 \quad (4)$$

Le retrait linéaire de cuisson a été évalué en utilisant la formule :

$$[(l_c - l_s)/l_s] \times 100 \quad (5)$$

Avec l_s et l_c correspondent respectivement à la longueur des pièces céramiques séchées et cuites (ISO-10545).

3- RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Analyse minéralogique

L'analyse minéralogique par DRX des échantillons argileux prélevés de la coupe de J. Kohol (fig. 5 et 6) montre que la série Valanginienne est caractérisée par une fraction argileuse essentiellement constituée de kaolinite, d'illite, d'interstratifiés illite-smectite, avec un peu de chlorite. Les minéraux associés sont dominés par le quartz et la calcite avec un peu de feldspath.

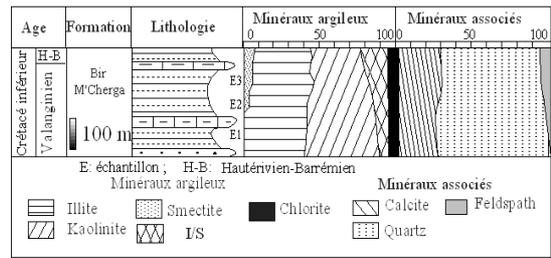


Fig. 5 – Composition minéralogique de la série Valanginienne de J. Kohol

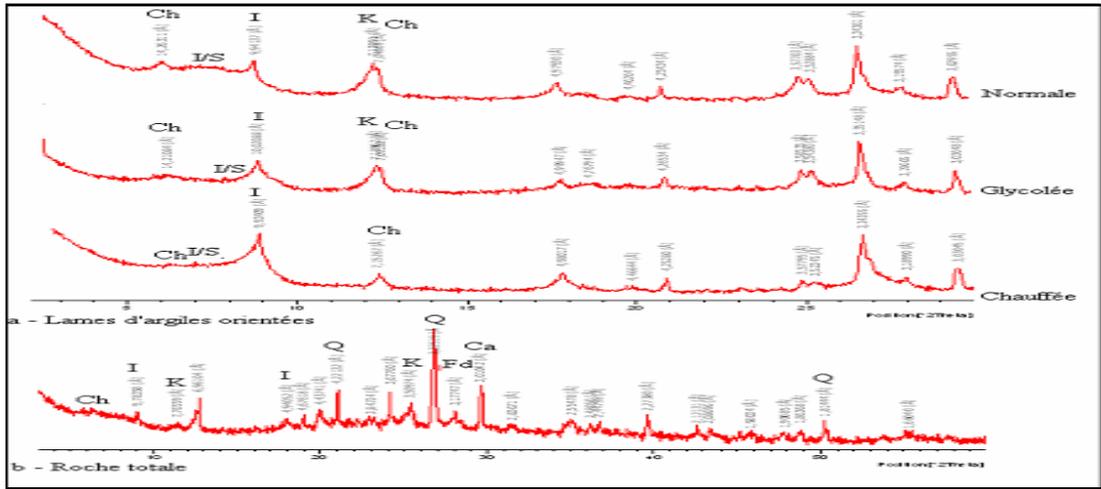


Fig. 6 - DRX d'un échantillon représentatif de la série Valanginienne de J. Kohol

Au niveau de la coupe de J. Ennouali l'analyse minéralogique (fig. 7 et 8) a montré que la fraction argileuse de la série Barrémo-aptienne est essentiellement kaolino-illitique avec la présence d'interstratifiés (I-S) et d'un peu de smectite et de chlorite. Les minéraux non argileux comprennent le quartz en abondance (60 % à 70 %) et la calcite (30 à 40 %) avec la présence d'un peu de feldspath.

Au niveau de la coupe de J. Naheli (fig. 9 et 10), la série de l'Albien supérieur est caractérisée par une fraction argileuse largement dominée par la kaolinite avec un

pourcentage qui peut atteindre 68 %. On note aussi la présence de l'illite dont les proportions sont aux environs de 15 % à 20 % et des smectites qui peuvent atteindre un maximum de 30 % avec un peu d'interstratifiés (I-S). Les minéraux non argileux comprennent la calcite en abondance (60 % à 70 %) et le quartz (30 à 40 %) avec la présence d'un peu de feldspath.

Les résultats de cette analyse minéralogique de ces 3 mélanges argileux par DRX sont en faveur de leur exploitation dans le domaine de la céramique.

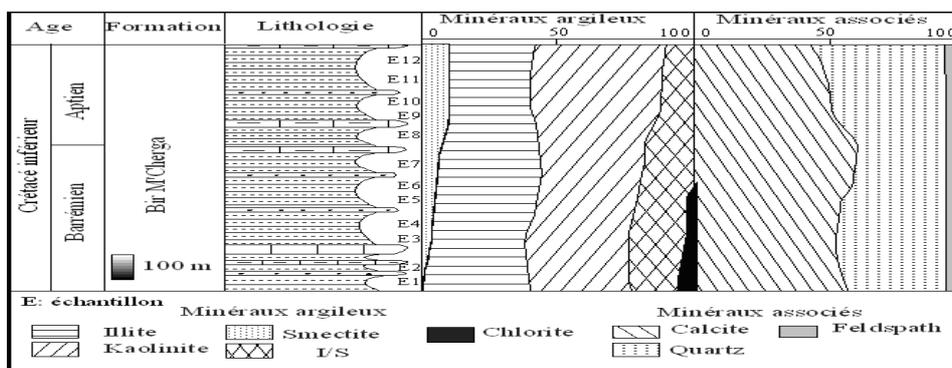


Fig. 7 – Composition minéralogique de la série Barrémo-Aptienne de J. Ennouali

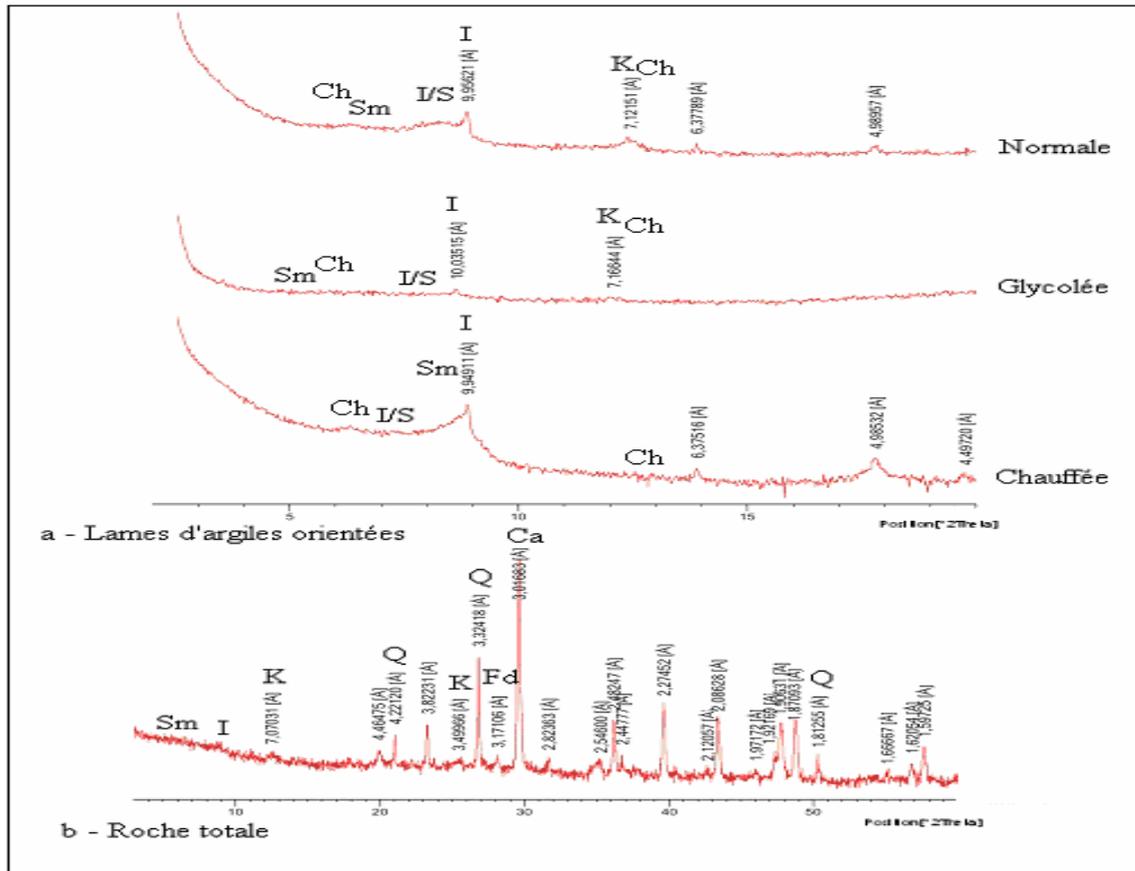


Fig. 8 - DRX d'un échantillon représentatif de la série Barrémienne de J. Ennouali

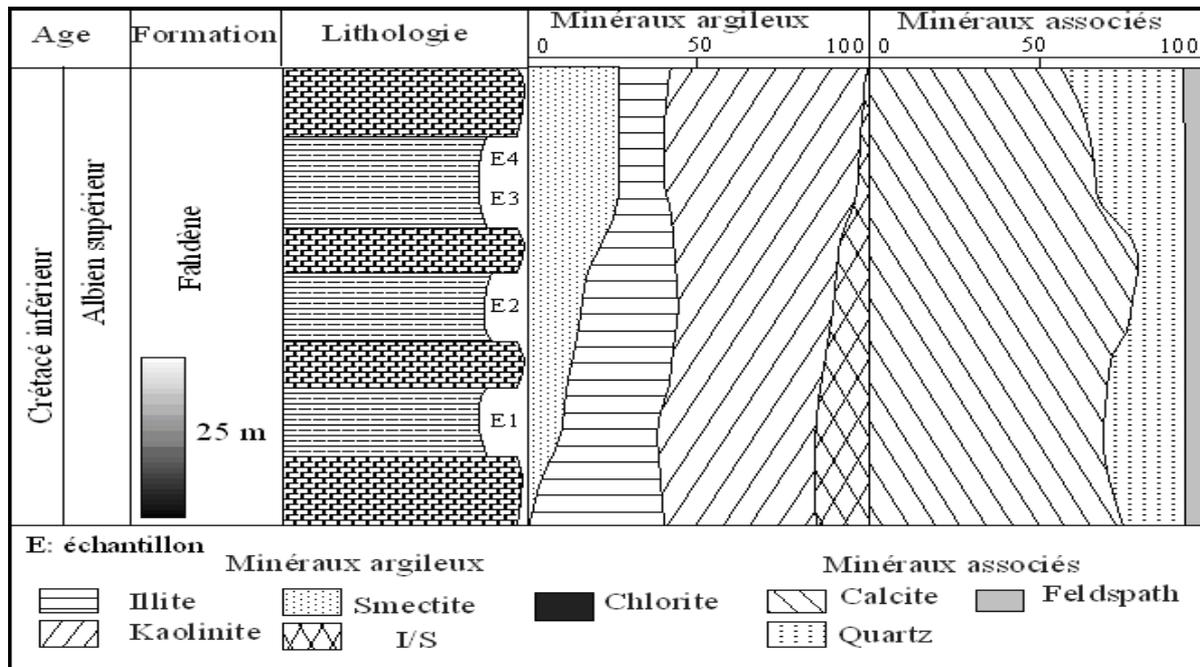


Fig. 9 - Composition minéralogique de la série de l'Albien supérieur de J. Naheli

Tab. 1 - Tableau récapitulatif des caractéristiques physico-chimiques des trois matériaux argileux étudiés M1, M2 et M3.

Paramètres		M1	M2	M3
Composition minéralogique (%)	Minéraux argileux (fraction < à 2 µm)	39	41	41
	Calcite	20	20	39
	Quartz	40	39	20
	Feldspath	1	1	1
Minéraux argileux (fraction < à 2 µm) (%)	Illite	45	40	15
	Kaolinite	40	40	55
	Smectites	0	7	25
	Interstratifiés I/Sm	10	10	5
	Chlorite	5	3	0
	CaCO ₃	6,9	17	36,22
Composition chimique (%)	SiO ₂	52,7	50,1	38,23
	Al ₂ O ₃	20,4	18,9	10,36
	CaO	6,7	8,9	24,04
	Fe ₂ O ₃	8,0	7,3	4,20
	K ₂ O	3,1	4,1	1,88
	MgO	0,3	0,3	0,56
	SO ₃	0,4	0,4	0,33
	Perte au feu	10,21	12,34	21,17
Propriétés physico-chimiques	M.O (matière organique) (%)	0,025	0,02	0,45
	C (carbone organique totale) (%)	0,029	0,026	0,33
	Perméabilité k (m/s)	10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	10 ⁻⁹
	Porosité (%)	35,44	36,74	38,06
	Da (densité apparente)	1,72	1,68	1,64
	pH	8	8	8,03
	CE (Conductivité électrique) (µs/cm)	1,18	1,2	1,32
	CEC (capacité d'échange cationique) (méq/l)	12	14	23,5
	Surface spécifique (S.S) (m ² /g)	101	105	178

Tab. 2: Composition granulométrique par sédimentation des 3 mélanges argileux

3.3. Etude technologique

3.3.1. Analyse granulométrique

3.3.1.1. Analyse granulométrique par sédimentation

On a pu démontrer la nature texturale de ces 3 matériaux argileux en faisant la projection des différents pourcentages de leurs constituants minéraux qui ont été déterminés par la méthode de sédimentation à savoir : l'argile, le limon et le sable, sur le triangle textural USA (fig. 11).

L'analyse granulométrique (Tab. 2) montre que la fraction dégraissante (fraction sableuse) malgré qu'elle varie d'un mélange à un autre est considérée comme suffisante pour être utilisée comme dégraissant. Ceci nous amène à supposer que ces trois mélanges sont auto dégraissés. Leur utilisation sans l'ajout de dégraissant dans le domaine de la céramique est possible.

	% Sable	% Limon	% Argile	Triangle USA
M1	48,58	11,00	46,00	Argile sableuse
M2	30,50	33,50	35,00	Argile limoneuse
M3	26,27	27,00	51,50	Argile fine

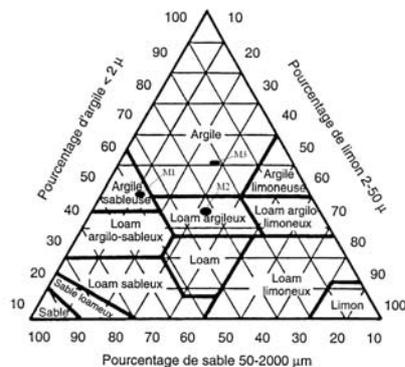


Fig. 11 : Triangle de textures USA

3.3.1.2. Analyse granulométrique par Laser

Pour les produits en céramique, une attention particulière devrait être donnée à la fraction plus fine (fraction inférieure à 2 µm). silteuses et peuvent ainsi être utilisables dans le domaine de la céramique.

La fraction inférieure à 2 µm est élevée (39 % pour M1, 41 % pour M2 et 41 % pour M3) (Fig. 12). Cette distribution de dimension particulière est favorable pour des usages dans le domaine de la céramique. Le problème de la présence des particules supérieures à 50 µm peut être résolu simplement par le broyage et par le tamisage. Ainsi, en raison de la taille de distribution, les matières premières (M1, M2 et M3) sont classées en tant qu'argiles

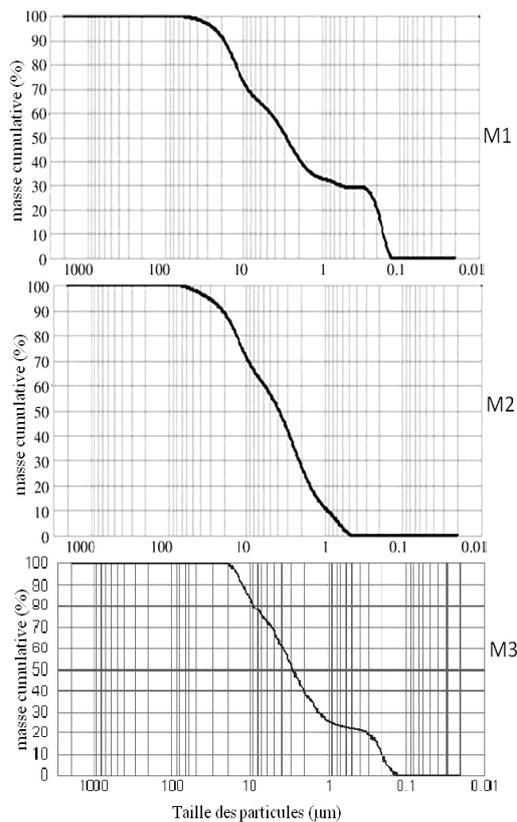


Fig. 12 – Distribution granulométrique des particules des mélanges étudiés par Laser

3.3.2. La plasticité

L'évaluation de la plasticité (Tab. 3) a été réalisée selon la méthode des limites d'Atterberg [8]. La classification des trois mélanges dans le diagramme de Casagrande [9] (fig. 13) montre que les trois mélanges sont situés dans le domaine des argiles peu plastiques de type illito-kaolinitique avec la présence de la smectite. Par conséquent, ces mélanges s'adaptent au séchage rapide et peuvent être utilisés dans l'industrie céramique.

Tab. 3 - Calcul des indices de plasticité des trois mélanges argileux étudiés

Mélanges	Limite de liquidité (%)	de W_L	Limite de plasticité (%)	de W_P	Indice de plasticité (%)	de I_P
M1	34,25		23,85		10,40	
M2	36		24,32		11,68	
M3	38		24,86		13,14	

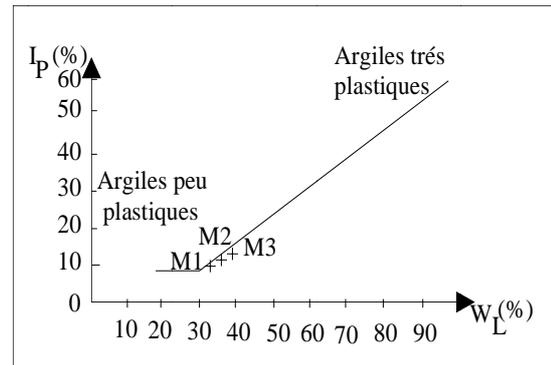


Fig. 13 - Classification des trois mélanges étudiés dans le diagramme de Casagrande

3.3.3. Courbes de Bigot

En examinant l'allure des courbes de Bigot des trois mélanges argileux (fig. 14), on peut constater qu'ils présentent une teneur en eau totale qui varie de 14 à 15 %, une humidité résiduelle oscillante entre 5 et 6 %, une eau d'interposition qui varie entre 8 et 9 % et un retrait de séchage qui varie entre 3 et 3 % (Tab. 4).

Tab. 4 – Résultats des courbes de Bigot des trois mélanges argileux étudiés

Mélanges	Retrait de séchage R_S (%)	Eau totale E_T (%)	Eau d'interposition E_I (%)	Eau colloïdale E_C (%)
M1	3,11	14,06	8,86	5,2
M2	3,14	15,95	9,94	6,01
M3	3,85	14,55	8,93	5,62

Ainsi les trois mélanges argileux sont faciles à sécher, auto-dégraissés et par conséquent ils s'avèrent d'un intérêt considérable dans le domaine de la céramique.

3.3.4. Analyse dilatométrique

En examinant l'allure des courbes dilatométriques des trois mélanges argileux (fig. 15), on peut constater les phénomènes suivants :

- De la température ambiante jusqu'à environ 180°C, apparaît une légère dilatation due à la présence de smectite [15] suivie d'un léger retrait relatif au départ de l'eau d'humidité.

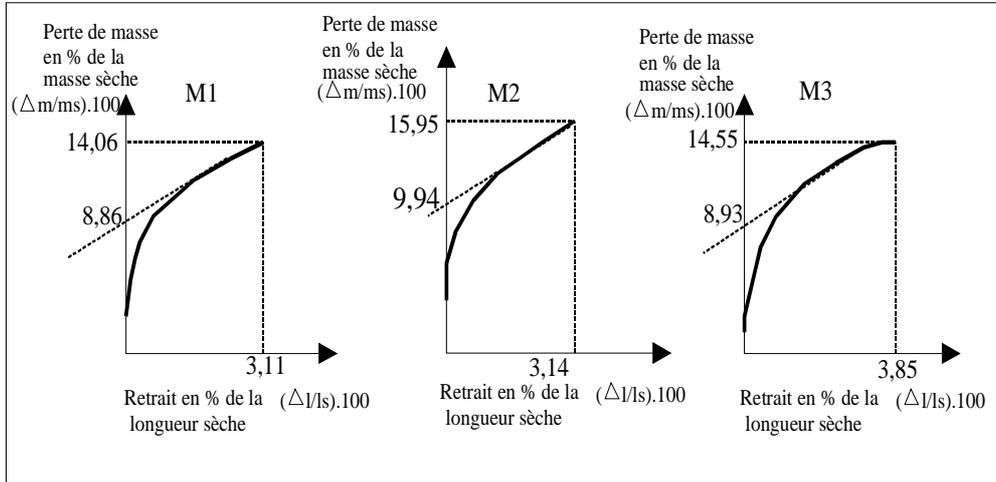


Fig. 14 - Courbes de Bigot des trois mélanges argileux étudiés

- Comme il est typique des argiles [16], une expansion se produit entre 600°C et 700 °C en raison de la remise en ordre microstructurale qui s'accroît pendant la décomposition des carbonates [17,18],
- Le maximum de dilatation est de l'ordre 0,61 % pour M1, 0,75 % pour M2 et 1,1 % pour M3. Il a été atteint vers 600°C pour M1 et M2 et vers 700°C pour M3,
- Au-delà, apparaît un retrait faible devenant plus rapide aux alentours de 800°C. Ceci correspond au début de frittage des produits dû à la vitrification. La présence de FeO₃ et de K₂O accélère la vitrification.
- Lors du refroidissement, le crochet lié à la transformation allotropique inverse du quartz β en quartz α s'effectue aussi aux alentours de 575°C [15],
- La température adéquate de cuisson est située aux alentours de 810°C pour M1, 722°C pour M2 et 780°C pour M3, Le retrait final de cuisson est de l'ordre 1,88 % pour M1, 1,75 % pour M2 et 1,5 % pour M3. Ces valeurs sont satisfaisantes pour l'industrie céramique.

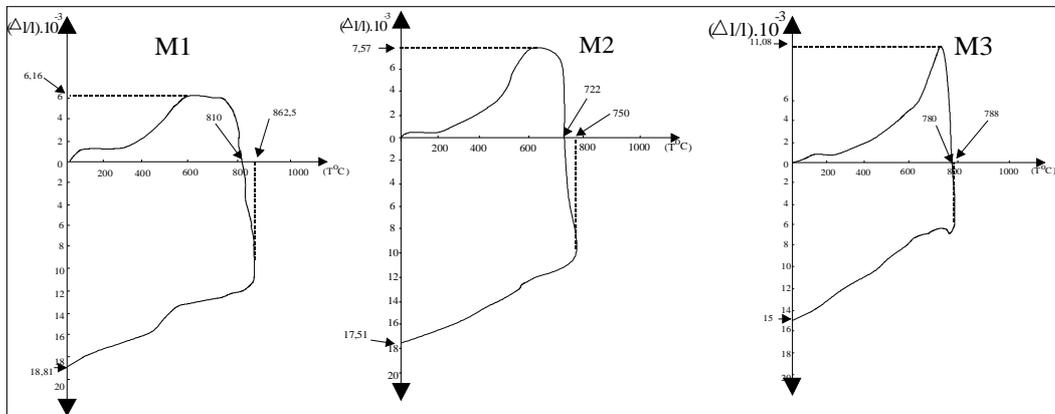


Fig. 15 - Courbes dilatométriques des trois mélanges argileux étudiés

3.4. Essais semi industriels de fabrication des carreaux de faïence

Les résultats des études minéralogique, physico-chimique et technologique de ces trois mélanges (composition minéralogique illito-kaolinique, retrait de séchage faible, granulométrie fine) nous oriente vers des applications semi industrielles de fabrication des carreaux de faïences (fig. 16). Selon [19,20], la fabrication des produits en céramiques dépend beaucoup de la matière première. La température de cuisson, le rétrécissement linéaire de cuisson, la perte au feu, la porosité et la résistance à la flexion sont essentielles pour juger la qualité de produit en céramique.

En examinant les résultats présentés dans le tableau 5, on peut constater que :

- Le retrait de cuisson, la perte au feu, la porosité et la résistance à la flexion sont variables en fonction de la température.
- La couleur de cuisson obtenue est rouge brique homogène pour les carreaux des mélanges M1 et M2 (fig. 16). Ceci est dû à la teneur relativement élevée en fer. Alors que celle de M3 est beigeâtre traduisant la nature carbonatée de ce mélange (fig. 16).
- Le retrait de cuisson augmente avec la température pour les trois mélanges. Ce retrait est dû au rapprochement des particules des pièces cuites suite à l'élimination de l'eau de constitution. Ceci est confirmé par la porosité décroissante en augmentant la température.
- Les valeurs de la porosité, supérieures à 10 % pour les trois mélanges, répondent au groupe BIII de la norme française N.F.EN. 159 (1991) [21].
- Les valeurs plus importantes de la perte au feu des pièces M3 par rapport à celles de M1 et de M2 sont dues probablement à la nature carbonatée du mélange M3 et à cause de sa plasticité élevée (riche en smectite).
- Les valeurs moyennes de la résistance mécanique à la flexion, à 1000°C de M1 (16,3 N/mm²) et de M2 (20,99 N/mm²), répondent à la norme française N.F.EN. 100 (1982) [22] qui est de l'ordre de 15 N/mm². Alors que celle de M3 (10,91 N/mm²) ne répond pas à cette norme.

Mélanges	Température cuisson (°C)	Retrait de cuisson (%)	Perte au feu (%)	Porosité (%)	Résistance à la flexion (N/mm ²)
M1	900	1,8	10,35	16,22	13,23
	950	1,9	11,88	15,32	13,89
	1000	1,98	12,67	13,98	16,3
M2	900	1,7	11,98	21,14	18,78
	950	1,75	12,66	20,55	20,84
	1000	1,9	13,45	19,35	20,99
M3	900	1,5	24,56	36,71	8,45
	950	1,6	28,77	36,27	8,65
	1000	1,7	31,33	36,25	10,91

Tab. 5 - Résultats des essais réalisés sur les carreaux de faïences des mélanges étudiés



Fig. 16 – Carreaux céramiques fabriqués à partir des trois mélanges M1, M2 et M3

4. CONCLUSION

La caractérisation minéralogique, physico-chimique et géotechnique met en évidence un caractère essentiellement kaolino-illitique relativement ferrique pour les deux mélanges M1 et M2 associés au quartz, à la calcite et à de faibles proportions de feldspath. Le caractère est essentiellement kaolino-illitique avec la présence de smectite pour le mélange M3 associé à la calcite, au quartz et à de faible proportion de feldspath. Ces trois mélanges argileux sont considérés comme auto dégraissés, peu plastiques et s'adaptent bien au séchage rapide. La faible plasticité et le retrait de séchage faible chez les trois mélanges peuvent être corrigés par l'ajout d'argiles plastiques. Les valeurs moyennes de la résistance mécanique à la flexion de M1 et de M2 répondent à la norme française [22], alors que celle de M3 ne répond pas à cette norme. Au terme de cette étude on a montré que les matériaux argileux du gisement Valanginien de J. Kohol (M1) et du gisement Barrémo-aptien de J. Ennouali (M2) pourraient être utilisés directement dans la fabrication des biscuits de faïence. Il est possible d'obtenir également des carreaux de faïence à partir

des matériaux argileux de l'Albien supérieur de J. Naheli (M3), mais il serait convenable de diminuer la teneur élevée en carbonate ou d'augmenter la température de cuisson.

REFERENCES

[1] Turki, M. M., (1985), Polycinématique et contrôle sédimentaire associé sur la cicatrice Zaghouan-Nebhana, Thèse es-Sciences, Univ. Tunis et Rev. Sc. Terre de l'U.S.T. (INRST), Tunis, 7, (1988), 262

[2] Ben Haj Ali, M., Jedoui, Y., Dali, T., Ben Salem, H. et Memmi, L., Carte géologique de Tunisie à l'échelle 1/ 500 000 de la Tunisie, Serv. Géol. Tunisie, (1985).

[13] Mahmoudi, S., Etude physico-chimique des argiles Apto-Albiennes du Jebel Oust et leurs utilisations industrielles, Mastère, Fac. Sci. Tunis, (2004), 76p.

[14] Talbi, R., Etude géologique et géochimique des faciès riches en matières organiques d'âge Albien du bassin de Bir M'Cherga, Thèse de Doctorat de troisième Cycle, Fac. Sci. Tunis, (1991), 223p.

[15] Jamoussi F., Les argiles de Tunisie : étude minéralogique, géochimique, géotechnique et

[3] Sordon, J., Morgan, D. J., Elsinger, E. V., EberL, D. D., & Karlinger, M. R., Chemistry of illite/smectite and end-member illite, Clays Clay Miner., (1986), 34, 368-378.

[4] Cuadros, J. & Linares J., Some evidence supporting the existence of polar layers in mixed – layer illite / smectite. Clays, Clay Miner. (1995), 43, 467 – 473.

[5] Millot, G., Géologie des argiles : Altération, sédimentologie, géochimie, Ed. Masson et Cie, Paris, (1964), 499p.

[6] Brindley G.W. & Brown G., Cristal structure of clay minerals and their X-ray identification, Mineralogical Society. Monograph, 5, (1980), 495 p.

[7] Caillere, S., Henin, S. & Rautureau, M., Minéralogie des argiles, ed. Masson. (1982).

[8] LCPC, Limites d'Atterberg, limite de liquidité, limite de plasticité, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, N° 19, (1987).

[9] Casagrande, A., Plasticity chart for the classification of cohesive soils, Transactions of the American Society of Civil Engineers 113, (1948), 901–930.

[10] Atterberg, A., Die Plastizität der Tone. Internationale Mitteilungen fuer Bodenkunde 1, (1911), 10–43.

[11] Christaras, B., A comparison of the Casagrande and fall cone penetrometer methods for liquid limit determination in marls from Crete, Greece, Engineering Geology, 31 (2), (1991), 131–142.

[12] Grabowska-Olszewska, B., Modelling physical proprieties of mixtures of clays: example of two-component mixture of kaolinite and montmorillonite, Applied Clay Science, 22, (2003), 251–259.

utilisations industrielles, Thèse es-Sciences, Fac. Sci. Tunis, (2001), 437 p.

[16] Santos, P.S., Ciencia e tecnologia de argilas, 3rd edition. Edgard blucher/tda, S. Paulo (1997).

[17] Assal, H.H., El- Didamony, H., Ramez, M., Mossalamy, F.H., The role of lime inclusions on the properties of fired clay articles. Ind. Ceram., 19, (1999), 82–92.

[18] Thomas, H., Peer, G., Mineral rawmaterials in the brick and tiles industry-important parameters

in the daily practice of geoscientist, part 2. Z. I. 12, (2001), 20–26.

[19] Carretero, M.I., Dondi, M., Fabri, M., Raimondo, M., The influence of shaping and firing technology on ceramic properties of calcareous and noncalcareous illitic–chloritic clays, *Appl. Clay Sci.* 20, (2002), 301–306.

[20] Correi, S.L., Hotza, D., Segadae, S.A., Simultaneous optimization of linear firing shrinkage and water absorption of triaxial ceramic bodies using experiments design, *Ceram. Int.* 30, (2004), 917–922.

[21] Norme Française N. F. EN. 159, Carreaux et dalles céramiques pressés à sec à absorption d'eau $E > 10 \%$, groupe B III, (Décembre 1991), 8p.

[22] Norme Française N. F. EN. 100, Carreaux et dalles céramiques. Détermination de la résistance à la flexion, (Octobre 1982), 7p.