
Propriétés minéralogiques des argiles gonflantes de la wilaya de Mila

Djamel Athmania *’* — Abdelkader Benaissa ** — Mounir Bouassida *’******

**(M.A.C.C.), Faculté des Sciences de la Terre et de l’Univers, Université de Tébessa, Algérie, athmaniad@yahoo.fr*

*** (M.C), Faculté des Sciences de la Terre, Université de Constantine, Algérie, bena_kader@yahoo.fr*

**** (Professeur), in civil engineering at National Engineering School of Tunis, mounir.bouassida@fulbrightmail.org*

RESUME: Les sols qui ont un pouvoir de gonflement existent dans plusieurs parties de l’Algérie. Mila, dans le Nord-Est, est caractérisée géologiquement par une formation de schiste argileux du Miocène jusqu’au quaternaire. Le type de climat qui règne accélère le développement de ce type d’argils par la dessiccation et le déficit d’eau du schiste argileux. Notre étude a pour objectif une caractérisation du sol et sous sol, non seulement d’un point de vue physico-mécanique, mais aussi une confrontation des ces résultats obtenus à ceux de la microscopie du MEB et des méthodes XRD. Afin de donner un aperçu sur les dégâts engendré par le comportement de ces sols nous exposons ici le cas du CW52. L’effet des conditions géologiques et environnementales sur le comportement des ces sols gonflant a été aussi pris en considération.

ABSTRACT: Expansive soils exist in several parts of Algeria. Mila, in the northeast, is underlain by a shale formation of Miocene to quaternary age. Arid climate accelerates the development of expansive clays through desiccation and weathering of the shale. The expansion of the city limits extends to potential areas of swelling and urbanization increases the clay moisture content which leads to soil volume change. This causes significant damage to low-rise buildings and pavements. In this paper, the subsurface conditions and geotechnical properties of the expansive soils in Mila (CW 52) are presented. The clay type was by XRD methods. The effect of geological and environmental conditions on the swelling behaviour of expansive soils in Mila was considered.

MOTS CLES : grès, calcaire, montmorillonite, illite, kaolinite, intercalaire, vermiculite, chlorite gonflante

KEYWORDS : Sandstone; Limestone; Montmorillonite; Illite; Kaolinite; Interlayer; Vermiculite; Expansive Chlorite.

1. Introduction

Le bassin de Mila est situé au NE de l'Algérie, à cinquante kilomètres à l'Ouest de Constantine; il est limité au Nord par la wilaya de Jijel, au Sud par la wilaya de Sétif et à l'Est par la wilaya de Constantine.

La prépondérance des roches évaporitiques et sols argileux au niveau du bassin de Mila est l'une des ses caractéristiques géologiques. Il existe une relation étroite de la structuration géologique et géomorphologique du grand bassin néogène de Constantine dont fait partie le bassin de Mila, avec l'évolution géotectonique de l'Algérie du Nord.

Le bassin du Mila fait partie du domaine externe de la chaîne des maghrébides caractérisée par des dépôts laguno-continentaux d'âge Mio-Plio-Quaternaire qui sont: les argiles, le sable, le gypse et le sel gemme.

Les essais d'identification et de classification des sols selon les normes restent l'approche préliminaire et indispensable pour comprendre l'aspect mécanique des sols; mais les causes d'un mouvement de terrain sont plus profondes et leur explication implique des analyses du sol à l'échelle moléculaire et atomique. *Nous nous proposons dans ce qui suit de traiter quelques questions relatives aux minéraux argileux qui ont l'aptitude de modifier leur structure minéralogique suivant leur milieu physique, ainsi que les relations qui peuvent exister entre la géologie des formations superficielles et les problèmes géotechniques engendrés (retrait-gonflement, glissements de terrain) en fonction des propriétés minéralogiques.*

2. Hydrologie et hydrogéologie

Le bassin de Mila est traversé par deux grands oueds principaux, Oued Endja à la limite NW du bassin versant et oued El Kebir qui allonge la limite NE du bassin.

Les dépôts détritiques (conglomérats, graviers et sable), qui couvrent les parties superficielles du bassin, facilitent l'infiltration et l'emménagement des eaux souterraines et le développement de nappes phréatiques. La qualité de l'eau en vue de l'A.E.P. est classée comme médiocre dont la plupart des puits et forages, car ces eaux sont généralement contaminées par des teneurs élevées en chlorures et sodium.

3. Cadre géologique

Le bassin de Mila appartient au domaine externe de la chaîne Alpine d'Algérie Nord Orientale qui est rattachée à la branche Sud des maghrébides entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest et la Sicile et la Calabre à l'Est. (Figure 1).

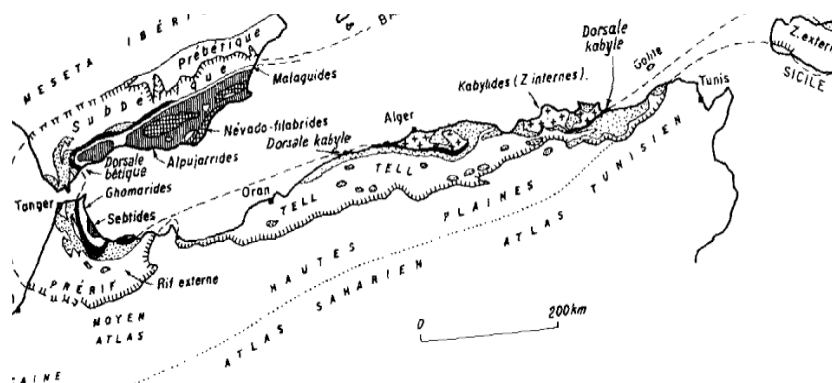


Figure 1. La Chaîne Alpine d'Algérie Nord Orientale

La partie Nord Orientale de cette branche est généralement subdivisée en deux grands domaines (Wildi, 1983 ; Durand Delga, 1969 ; Bouillin, 1977), qui sont :

- Un domaine interne, regroupant le socle kabyle et les formations des flyschs.
- Un domaine externe, correspondant aux formations telliennes et de l'avant pays.

Selon la direction Est-Ouest, le remplissage du bassin de Mila débute localement par des formations marines d'âge Burdigalien Terminal-Langhien et qui passent vers le haut à des formations continentales Miocènes et Plio-Quaternaires (Joleaud, 1912 ; Delga, 1955 et Coiffait, 1992).

4. Reconnaissances Géotechniques

Dans le but d'une identification du sol et du sous sol qui constituent à notre avis le moteur principale des glissements de terrain constaté le long des routes et chemin de wilaya, ainsi que les conséquences néfastes sur les fondations des bâtiments, comme celui des 185 logements, où les phénomènes de retrait et de gonflement des argiles se manifestent en surface et subsurface. Malgré les murs de soutènement proposé et les pieux ancrés le problème persiste et les bâtiments s'écartent de jour en jour. Un autre site non loin du précédent est aussi concerné par un glissement de terrain remarquable situé sur le chemin de la wilaya CW52.

Les argiles sombre et bariolées ont une plasticité élevée et occupent des volumes importants dans l'espace; le laboratoire des travaux publics de l'Est, représentation de Mila, a procédé à une campagne de reconnaissance géotechnique réalisée à l'aide des sondages carottés au niveau de trois sections touchées par les glissements sur le CW 52 du (PK 3 + 000 au PK 3 + 200) ; du (PK 3 + 500 au PK 3 + 600) ; du (PK 4

+ 400 au PK 4+ 600) ; (voir rapport géotechnique sur le sujet LTPE, Mila, Mai 2008 ; référence : dossier 100/DRC/RM/43/ES/68/08).

Entre le premier sondage et le dernier, nous avons une différence d'altitude de 51 mètres pour une distance à vol d'oiseau de 680 mètres. Ce qui traduit une pente de 7.5%, à la fois dangereuse et inaccessible.

Tous ces sondages sont carottés et atteignent une profondeur finale de 15 mètres par rapport à la côte du terrain naturel. (Voir Figure 2).

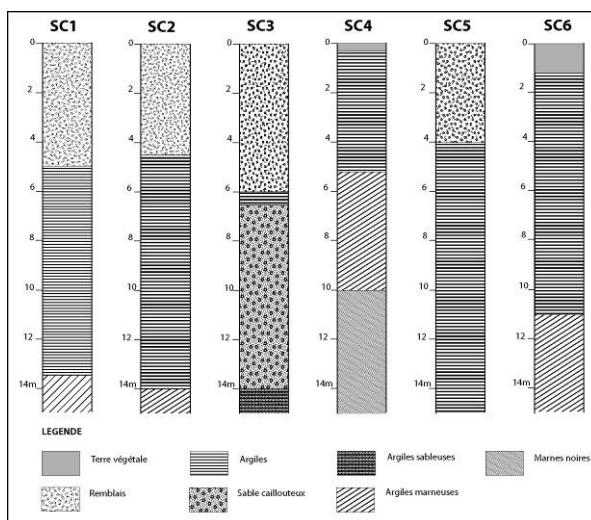


Figure 2. Logs des sondages réalisés sur le CW52 de la wilaya de Mila.

On constate aisément la présence des niveaux argileux et marneux entre deux à six mètres de couverture de terre végétale ou remblais. La coupe verticale du terrain indique qu'on est en présence d'un terrain hétérogène en espace et en profondeur, ce qui nécessite une précaution d'interprétation des résultats physico-mécaniques.

Les échantillons prélevés des différents sondages ont été soumis à des essais d'identification physiques, mécaniques, chimiques et minéralogiques.

5.1. Interprétation des essais :

Les essais d'identification physiques, (comme la granulométrie et les limites d'Atterberg), montrent un aspect d'argile plus ou moins gonflante. Le comportement mécanique basé sur l'essai oedométrique et celui de cisaillement rectiligne UU (non consolidé non drainé), à l'aide de la boîte de Casagrande ont donné un sol

surconsolidé, saturé d'eau, compressible et présentant un caractère gonflant, (indice de gonflement C_g).

Ce matériau peut être classé d'après l'abaque de Casagrande avec les argiles peu à très plastique : ($49,88 < W_{\square} < 68,64\%$; $18,57 < I_p < 41,05\%$) ; mais cette classification reste incomplète car à notre avis, la détermination des minéraux gonflants est leur pourcentage donne plus de renseignements à l'ingénieur pour mieux adapter les fondations aux sols, ou pour mieux proposer un remède de stabilisation d'un glissement de terrain.

6. Propriétés minéralogiques

Les minéraux argileux peuvent être étudiés à différentes échelles, de l'atome au paysage avec des méthodes appropriées. L'observation de lames minces permet une approche micro-morphologique qui consiste à étudier la distribution des argiles dans la roche sédimentaire ou les sols. L'agencement des particules argileuses s'étudie via la microscopie électronique à balayage (MEB) ; la morphologie des particules s'observe plutôt au microscope à transmission (MET, TEM). Le degré d'hydratation des assemblages argileux s'obtient via des analyses thermiques différentielle (ATD, DTA) ou thermogravimétrique (ATG, TGA). L'étude à l'échelle moléculaire est obtenue par spectroscopie électronique à transmission à haute résolution (HRTEM). La composition minéralogique des assemblages argileux est déduite par la diffraction des rayons X (DRX, XRD).

6.1 Effets de la bioturbation sur les propriétés géotechniques des sédiments du bassin de Mila.

La caractérisation géotechnique et microstructurale a permis d'illustrer les effets de la bioturbation sur les sédiments d'argiles. L'étude au microscope polarisant a permis d'observer les modifications sur la porosité de la matrice par la présence de structures biogènes. La bioturbation est un facteur considérable qui peut modifier les paramètres géotechniques d'un sol pris dans son contexte spatio-temporel.

L'examen des lames minces (Figure 3 et Figure 4), a révélé que l'argile présente une silification, bioturbation et grains de quartz (taille $50\mu\text{m}$), à une profondeur [8.80 – 9.20m] : l'argile marneuse se présente comme suit : échelle : 2mm

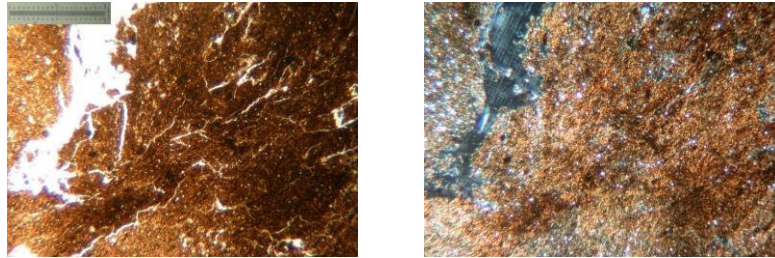


Figure 3. *Lame mince d'Argile marneuse sous microscope polarisant en Lumière naturelle et polarisée.*

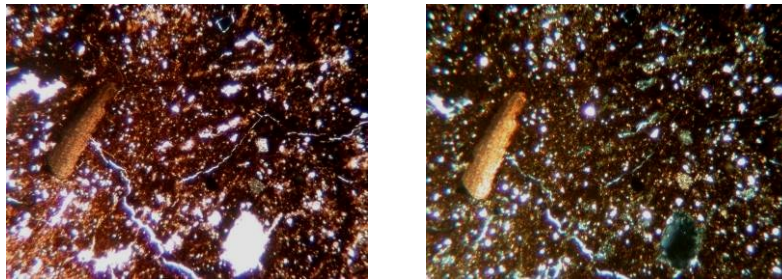


Figure 4. *À une profondeur [4.75 – 5.35m] fragments de lamellibranches et boues inclus dans une matrice argileuse.*

6.2 Observation au MEB

Les différents échantillons ont été soumis à une observation sous microscopie électronique, qui a révélé une structure d'argile formée minéralogiquement par de la kaolinite en majeure partie représentée par des formes hexagonales des feuillets de 02 à 05 μm .

L'espace interfoliaire de ces argiles peut renfermer des minéraux secondaires qui peuvent avoir des propriétés minéralogiques et mécaniques différentes de minéraux principaux, ceci nous conduit à faire appel aux méthodes de rayons X, qui peuvent après interprétation des résultats nous conduire à détecter d'autres structures.

6.3 Analyses aux rayons X

- *Echantillon brut* : à l'université de Liège en Belgique, au Laboratoire de géologie et paléoclimat et sous la direction du Pr. Nathalie Fagel, nous avons soumis les échantillons d'argile à des analyses aux rayons X. Onze échantillons représentatifs des formations traversées par ces sondages ont montré que la composition de l'argile à son état naturel (l'argile brute) est principalement *argileuse* avec la présence du *quartz*, *calcite*, *feldspaths* et *anhydrite* (voir diffractogramme et les proportions de chacun d'entre eux, Figure 5 et Tableau 1).

SONDAGE N°1 :

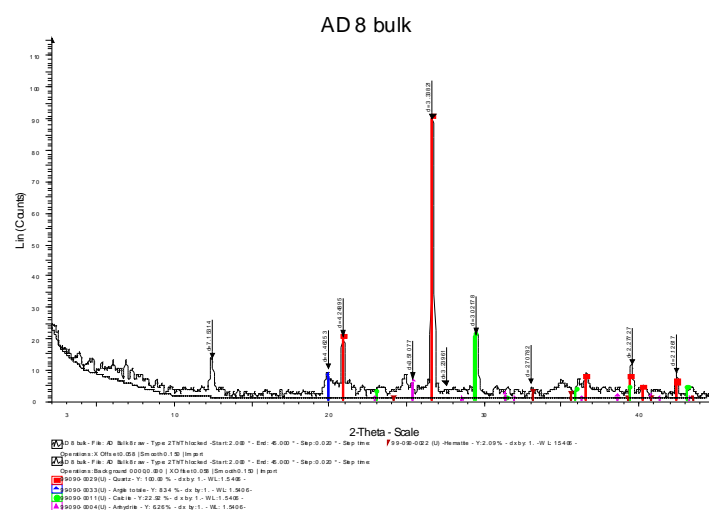


Figure 5. Analyse de l'argile totale aux rayons X.

Profondeur [10.80 – 11.20m] : Argile marneuse, échantillon (code 8) :

Poudre	Identification	Intensité	Facteur correctif	% relatif
d=4.46Å	Argile totale	0.8	20	52.63
d=3.34Å	Quartz	9.2	1	30.26
d=3.02Å	Calcite	2.1	1.65	11.38
d=3.21 – 3.26Å	Feldspaths-K	0.3	4.3	4.24
d=3.46 – 3.52Å	Anhydrite	0.5	0.9	1.48

Tableau 1. Dépouillement des proportions minéralogiques dans l'échantillon brut.

Ces résultats nous donnent déjà une idée sur le comportement du sol vis-à-vis des contraintes physiques et mécaniques ; un tel comportement résulte de la réaction combinée et de l'agencement de ces différents minéraux. Notons que chaque minéral pris à part possède une résistance intrinsèque qui le caractérise. Dans ce qui suit nous allons prendre la fraction argileuse seulement.

- *Minéraux de la fraction argileuse CW52* : L'analyse DRX de La fraction argileuse inférieure à 2 microns (réalisée sous la forme d'agrégats orientés après extraction du matériau global) fournit cependant une bonne estimation à la fois qualitative et semi-quantitative des divers composants argileux, qu'il s'agisse de minéraux simples et/ou interstratifiés présents grâce à l'application de trois tests diagnostiques classiques : séchage de l'agrégat orienté (passage au diffractomètre à l'état dit naturel ou normal, N), après solvatisation aux polyalcools (avec l'éthylène glycol, EG, ou le glycérol, GI) et enfin après chauffage (500°C). Prenons l'exemple du sondage SC N°1, (Figure 6 et Figure 7).

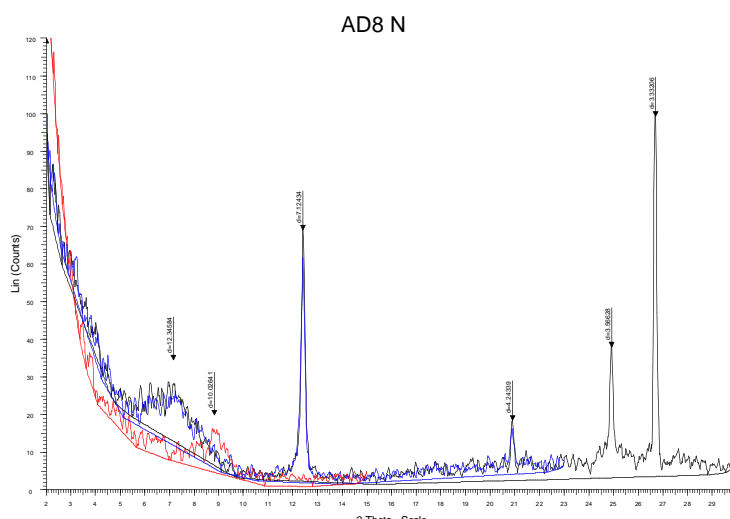


Figure 6. Analyse de la fraction argileuse « SC1 » aux rayons X.

kaolinite	35,97%
Vermiculite	28,74%
V-Cg	35,28%

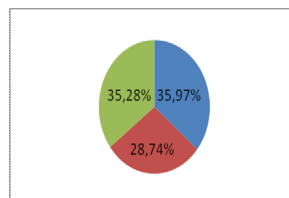


Figure 7. Analyse de l'argile totale « SC1 » aux rayons X d'une Argile marneuse, profondeur [8.80 – 9.20m].

7. Synthèse

les résultats obtenus des propriétés physico-mécaniques déterminées au laboratoire des travaux publics (LTPE, Constantine) en Algérie qui classent le sol parmi ceux surconsolidés gonflants restent incomplètes pour une étude détaillée des argiles; nous avons effectués des analyses par les méthodes spécifiques aux argiles en Belgique à l'université de Liège ; la confrontation des résultats obtenus montre que ces aspects de comportement de l'argile résultent d'un agencement bien déterminé et d'une composition minéralogique adéquate. Le pouvoir de gonflement constaté pendant les essais mécaniques est bien décelé lors des analyses minéralogiques, car la présence de la vermiculite et des minéraux interstratifiés comme le chlorite gonflant de type C-V (chlorite-vermiculite) ou V-C_g (vermiculite-chlorite gonflante), peuvent contribuer notablement au gonflement des argiles et constituent le moteur des mouvements de terrain et instabilités des fondations.

8. Conclusion

Les résultats obtenus par microscopie, ont révélés que la vermiculite, la chlorite gonflante et les interstratifiés, sont des minéraux doués d'un pouvoir de modification de volume, leur étude à cette échelle est indispensable pour une bonne appréciation du vraies causes du comportement physique et mécanique d'un sol argileux. Chaque minéral argileux pris à part possède des propriétés et un comportement qui lui appartient, mais dans la nature, la combinaison de ces minéraux en plus des impuretés et des inclusions peuvent conduire à des aspects de plus en plus complexe. *L'intérêt de cette méthodologie consiste à des investigations plus performantes qui donnent l'image réelle et l'interprétation convenable des résultats obtenus à partir des essais physico-mécaniques et minéralogiques de l'argile.*

9. Bibliographie

- Coiffait Ph.-E. (1992): Un bassin post-nappes dans son cadre structural : l'exemple du bassin de Constantine (Algérie nordorientale).Thèse ès Sciences, Université H. Poincaré, Nancy I, France, 502 p.
- Cook, H.E., Johnson, P.D., Matti, J.C. and Zemmels, I., 1975. Methods of sample preparation and x-ray diffraction analysis in x-ray mineralogy laboratory, In: Kaneps A.G. et al. (Eds.), Init. Repts DSDP XXVIII, Print. Office, Washington DC, 997-1007.
- Durand Delga M. (1955) : Etude géologique de l'Ouest de la chaine numidique (Algérie). Thèse Sciences Paris et Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2 série, N° 24, 533p.
- Mebarki A. (2005): Hydrologie des bassins de l'Est Algérien. Ressource en eau, aménagement et environnement. Thèse d'état, Université de Constantine, Algérie 360 p.

- Marmi R., GUIRAUD R. (2006): End Cretaceous to Recent Polyphased compressive tectonics along the « Môle Constantinois » and foreland (NE Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 45, 123-136.
- Moore, D.M. and Reynolds, R.C., Jr. (1977) *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford New York, Oxford Univ. Press, 378 pp.
- Vila J.M. (1980): La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens I.II.III thèse Es-sciences Paris, pp 139-174.
- Wildi W. (1983): La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie), structure stratigraphique et évolutions du Trias au Miocène *Rev. Géol. Dyn.* pp 201-297.