

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Caractérisation géo-mécanique et classification des matériaux vertisoliques de la vallée du LOGONE au Cameroun

Caractérisation and classification of clayey vertisols of the LOGONE valley in Cameroon

Temga Jean-Pierre, Zo'o Zame Philémon et Abossolo M.

Département des Sciences de la Terre, Université de Yaoundé I, Cameroun, Email : temgajp@yahoo.fr

Balo Madi A.

Mission de Promotion des Matériaux locaux (MIPROMALO), Cameroun

Nguetnkam J.P., Bitom D.L.

Département des Sciences de la Terre, Université de Ngaoundéré, Cameroun

Basga S.D.

Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Cameroun

Résumé : Pour les différents usages dont ils pourraient être l'objet, les matériaux vertisoliques de la vallée du Logone de la région de l'Extrême nord du Cameroun, ont été caractérisés du point de vue géo-mécanique (granulométrie, minéralogie, géochimie, indices de plasticité, coefficient de gonflement, surfaces spécifiques et activités de surface des argiles) et classés. Les résultats obtenus révèlent que ces matériaux sont constitués de 52 à 93 % de fines (Passants au tamis de 80 μm). Ce sont des argiles inorganiques plastiques à très plastiques, avec un indice de plasticité supérieur à 30 % et un taux de gonflement très élevé (54 à 93 %). Leur surface spécifique varie de 218 à 282 $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$. Il s'agit de sols argileux de classe A - 7 - 5 et A - 7 - 6 dans le système AASHTO, et OH et CH dans le système USCS. Leur indice de groupe est très élevé (5 à 20). La minéralogie de la fraction argileuse y montre une nette prédominance de la smectite associée à de la kaolinite. Les éléments géochimiques à fortes concentrations sont par ordre d'importance la silice (61- 78 %), l'alumine (7- 16 %) et le fer (1,78 - 6,92 % de Fe_2O_3). Ces matériaux sont des sols sujets à de grandes variations de volume, par gonflement ou retrait, provoqués par des variations de leur teneur en eau. L'analyse en composante principale (ACP), des données numériques des différentes caractérisations, a permis d'en distinguer quatre classes.

Mots clés : Vallée du Logone, Matériaux argileux, caractérisation géo-mécanique et ACP

Abstract : For different purposes of use, vertisols of the LOGONE valley in the far North region of Cameroon has been geomechanically characterized (sieve analysis, mineralogy, geochemistry, plasticity index, swelling index, specific surface area, surface activities of clay soils, etc) and classified. The findings of this study revealed that these soils are constituted mainly of 52 to 93% of fines ($< 80 \mu\text{m}$). They are organic to inorganic clayey soils with plasticity index above 30%, and a very high swelling index situated around 54 to 93%. Their specific surfaces area between 218 to 282 $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$. They could be considered as soils of the class A-7-5 to A- 7-6 in the AASHTO classification system, or CH and CH in the USCS one. The mineralogical analysis of the clayey part of those soils shows that they are predominantly composed of Smectite associated with Kaolinite. Their geochemistry elements are silica (61- 78 %), alumina (7,08 - 15,54 %) and the iron (1,78 - 6,92 % Fe_2O_3). Those soils are therefore subject to very high variation of volume with the variation of their water content. The principal component analysis of the numerical results of the values obtained revealed for them, four classes.

1. INTRODUCTION

Les matériaux argileux constituent une matière première de base pour l'industrie de la céramique silicatée. Cependant, l'usage de ces matériaux est tributaire de leurs compositions minéralogique et chimique, de certaines caractéristiques physiques (granularité, plasticité, retrait et résistance à la rupture en flexion) et des conditions de cuisson (température, atmosphère et temps de cuisson) (Paras *et al.*, 1996 ; Strazzer *et al.*, 1997 ; Hajjaji *et al.*, 2002 ; Nyakairu *et al.*, 2002 ; Echajia *et al.*, 2003 ; Echajia *et al.*, 2005 ; Khalfoui *et al.*, 2006).

Au niveau de la vallée du Logone, des argiles locales sont beaucoup employées dans les matériaux de construction et des poteries (Kamgang Kabeyene *et al.*, 2011 ; Temga *et al.*, 2015 ; Temga, 2015). Toutefois, le choix de ces matériaux argileux et les conditions de préparation des céramiques se fait en général en utilisant des techniques traditionnelles de fabrication. Par ailleurs, en dépit de l'intérêt économique que ces populations accordent à ces matériaux argileux leur configuration et les caractéristiques restent à révéler.

Dans cette étude, la détermination des caractères mécaniques, minéralogiques et géochimiques permettront de mieux connaître la configuration de ces matériaux argileux, de sélectionner et de classer les matériaux adéquats pour la production des briques cuites.

2. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

La vallée du Logone est localisée entre 6°05' et 13°50' de latitude Nord et 14° et 17° de Longitude Est (fig. 1). Sa superficie est estimée à plus de 118 065 km² et se partage entre le Cameroun (49 140 km²), le Tchad (53 969 km²), la RCA (11 449 km²) et le Nigéria (3 597 km²). Elle est limitée au Sud par le plateau de l'Adamaoua et les massifs du mont Karrés en Centrafrique, à l'Ouest par le mont Mandara, tandis qu'il s'ouvre au Nord par le Lac Tchad.

Le climat est de type soudano-sahélienne à deux saisons contrastées. La saison sèche dure sept mois. La pluviométrie moyenne annuelle s'élève à 871 mm. Les précipitations maximales s'observent en juillet, août et septembre et reçoivent les 3/4 des pluies annuelles. La température moyenne annuelle est de 27,6° C.

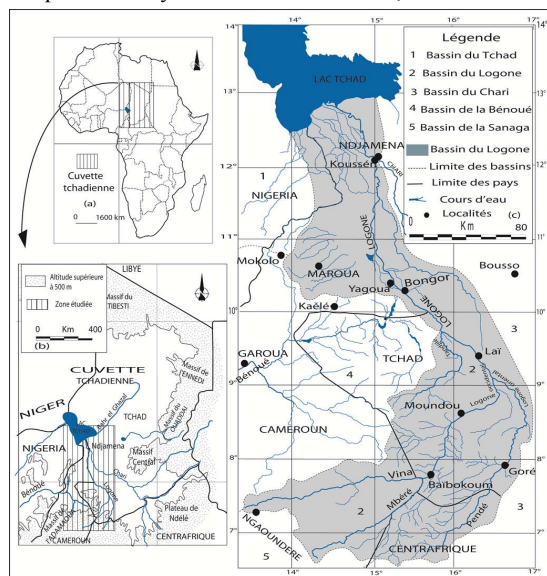


Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude : (a) cuvette du Lac Tchad, (b) zone étudiée et (c) bassin du Logone

Sur le plan géomorphologique, la vallée étudiée a un profil topographique à faible pente depuis son sommet jusqu'aux plaines basses du Lac Tchad qui la bordent. La pente générale de la plaine est estimée à l'aide des côtes d'inondation comme inférieur à 1‰. Le seul relief de ces immenses plaines alluviales est représenté par le cordon dunaire de quelques centaines de mètres de largeur et de plusieurs dizaines de longueur, qui ne dominent les plaines argileuses que de 1 à 5 mètres.

La nature lithologique de la vallée du Logone est dominée par des formations du socle Précambrien essentiellement granito-gneissique, migmatitique et volcanique au Sud et à l'Ouest et par des formations sédimentaires du Quaternaire récente. Ces formations quaternaires sont dominées par des alluvions de la série fluviale ancienne remaniée, la série fluvio-lacustre ancienne, la série fluviales récentes, la série lacustre récente et la série subactuelle à actuelle (Pias, 1970). Du Sud au Nord, on observe la succession des sols ferrallitiques, des sols ferrugineux tropicaux, des vertisols, des sols hydromorphes, des planosols et des sols à minéraux bruts (Pias, 1970).

3. MATERIAUX ET METHODES D'ETUDE

3.1. Matériaux

L'étude a pu se faire grâce à 4 puits dans quatre localités différentes (Dacheka, Lai, Yagoua and Ndiguina), complétés par des points de sondages profonds des matériaux argileux vertisoliques de la vallée du Logone. Le site DE est situé à 3 km au Nord de Datchéka et localisé entre 10°01'N et 15°16'E.

Le profil ND est situé à Ndiguina à 5km au nord de Waza et localisé entre 11°49' N et 14°06'E avec 299 m d'altitude. Il est décrit dans un puits de 2,5 m où on observe les alluvions de la série lacustre récente et organisé en en trois horizons.

Le profil ZE est localisé entre 10°30' N et 15°29' E et se situe à 9 km de Yagoua au bord du Logone. Il a été observé dans un puits de 2 mètre de profondeur. Les caractères des matériaux sont similaires au précédent.

3.2. Techniques de laboratoires

Les analyses géotechniques ont été effectuées dans le laboratoire de MIPOMALO (Mission de Promotion des Matériaux Locaux) Régional de Garoua. Les limites Atterberg sont déterminées à partir de l'appareil de Casagrande sur la fraction inférieure à 400 µm. Les limites utilisées sont la limite de liquidité (WL) et la limite de plasticité (Wp). A partir de ces résultats, on détermine l'indice de plasticité (Ip), qui définit l'étendue du domaine plastique entre les limites de liquidité et de plasticité :

$$(1)$$

L'indice du groupe fournit des précisions sur la performance du sol utilisé comme matériau d'infrastructure routière et de bâtiment. Il se calcule comme suit :

$$I_g = (F - 35)(0,2 + 0,005(WL - 40)) + 0,01(F - 15)(Ip - 10) \quad (2)$$

$$Ip = WL - Wp. \quad \text{La surface spécifique totale est déduite par la}$$

$$\text{formule } \left(\frac{V_0}{100}\right) \times \left(\frac{N}{373}\right) \times 130 \times 10^{-2V} = 21Vb. \quad (3)$$

Le coefficient de gonflement a été mesuré par une méthode dérivant de celle de Robert et Tessier (1974), en utilisant un verre gradué en volume. On introduit dans le tube un volume V₀ de l'échantillon séché à 105°C et broyé à 2 mm ; puis, on y ajoute progressivement de l'eau distillée de façon à éviter la formation des bulles d'air.

Après 24 h, on note le volume V_1 de l'échantillon imbibé au-dessus duquel l'eau surnage. Le coefficient de gonflement C_g est calculé par la relation :

$$C_g = \left(\frac{V_1 - V_0}{V_0} \right) \times 100 \quad (4)$$

La granulométrie a été réalisée en deux étapes : d'abord par tamisage humide pour les particules supérieures à $80\mu\text{m}$ et ensuite par laser pour les particules inférieures à $80\mu\text{m}$. Le tamisage humide, selon la norme NF P 94-056, permet d'accéder au tamisat à $80\mu\text{m}$. L'échantillon est ensuite passé dans une étuve à 105°C jusqu'à ce que son poids devienne constant. L'essai consiste à passer l'échantillon dans une série de tamis dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon est placé dans le tamis supérieur et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. Les fractions inférieures à $80\mu\text{m}$ sont déterminées à l'aide d'un système Laser.

Les analyses minéralogiques ont été déterminées par diffractométrie de rayons X (DRX) des poudres désorientées des échantillons totaux et des fractions argileuses en lame orientée normale (N), traitée à l'éthylène glycol (EG) et chauffé à 550°C pendant 1 heure (CH) selon la méthode de Robert et Tessier (1974). L'analyse géochimique a été effectuée au CRPG (Nancy, France) par spectrométrie de fluorescence X couplé ICP-AES pour les éléments majeurs (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , TiO_2 and Na_2O) sur la fraction totale. A partir de ces données chimiques, l'indice d'altération minéralogique (MIA) a été déterminé pour quantifier l'altération des matériaux des vertisols étudiés. Il se calcule en appliquant la formule suivante :

$$\text{MIA} = 2[(\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})) \times 100] - 50 \quad (6)$$

Le traitement statistique des données des caractéristiques des matériaux argileux a été réalisé par une analyse en composantes principales (ACP) à partir du logiciel XLSTAT.

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Analyses géotechniques et classification des matériaux argileux

La teneur en argile des matériaux argileux étudiés est élevée (10 à 40 %). Ces résultats sont conformes aux observations de Ekodeck (1976) et Nguetnkam (2004). Les matériaux des vertisols développés sur la série lacustre récente sont plus argileux (10 à 40 % d'argile), suivi de ceux formés sur la série fluviale récente (9 à 39 %). Ceci est dû probablement à la richesse des sédiments qui ont conduit à leurs formations (Pias, 1970). Les échantillons récoltés dans la série fluvio-lacustre sont moins riches en argile (5 à 33 % d'argile). Ekodeck, 1976 explique que cette teneur est due à la proximité du socle. La limite de liquidité est élevée en surface (50 – 65 % et 25 – 35 %) et diminue à la base de chaque profil. Ces résultats concordent avec de nombreux travaux (Calvet, 1971 ; Ekodeck, 1976 ; Capdecombe, 1980 ; Lautrin, 1989 ; Djoufac *et al.*, 2006 ; Azinwi *et al.*, 2011 ; Azinwi, 2012 ; Temga *et al.*, 2013). Ces auteurs ont observé que les valeurs de la limite de liquidité sont d'autant plus élevées que les sols contiennent de fortes teneurs en argiles, et que ces argiles sont actives.

Les valeurs de l'indice de plasticité des vertisols étudiés se situent entre 8 et 32 %. Ces résultats sont conformes aux travaux effectués dans le Nord Cameroun (Ekodeck, 1976 ; Nguetnkam, 2004 ; Djoufac *et al.*, 2006 ; Azinwi *et al.*, 2011 ; Azinwi, 2012 ; Temga *et al.*, 2014).

La surface spécifique totale est déduite de l'essai au bleu de méthylène. Les valeurs obtenues des matériaux

argileux étudiés varient entre 167 à $293 \text{ m}^2/\text{g}$ et corroborent avec les résultats de Tran (1980) et Lautrin (1989). Ces travaux ont montré que la valeur de la surface spécifique est d'autant plus élevée que le taux d'argile contenu dans le sol est important.

Les résultats obtenus montrent un taux de gonflement libre important. La moyenne arithmétique est de 68 % dans le profil LA, 74 % dans le profil NA et de 69 % dans le profil ZE. Ces résultats font ressortir une variation de coefficient de gonflement des matériaux en fonction de la profondeur dans chaque profil. Dans le profil LA, le coefficient de gonflement diminue de la surface vers 150 cm (72 à 54 %), puis augmente vers la base du profil (54 à 78 %). Dans les profils NA et ZE, le coefficient de gonflement augmente progressivement de la surface vers la base des profils ; leur valeur varie respectivement entre 66 à 82 % et 68 à 70 %. Ces valeurs, très élevées, indiquent l'ampleur des phénomènes de gonflement que l'on observe dans les vertisols Ekodeck (1976).

Les matériaux argileux étudiés sont classés dans le groupe A-6 et A-7 (système AASHTO) ou sous la dénomination CH et CI (système USCS), c'est-à-dire des argiles inorganiques moyennement plastiques à très plastiques. Ces matériaux subissent des variations de volume importantes en partant de l'état sec à l'état humide et vice-versa, et sont à l'état sec, caractérisés par des fissures de retrait. Ce phénomène peut s'expliquer par la présence des smectites contenus dans ces matériaux argileux.

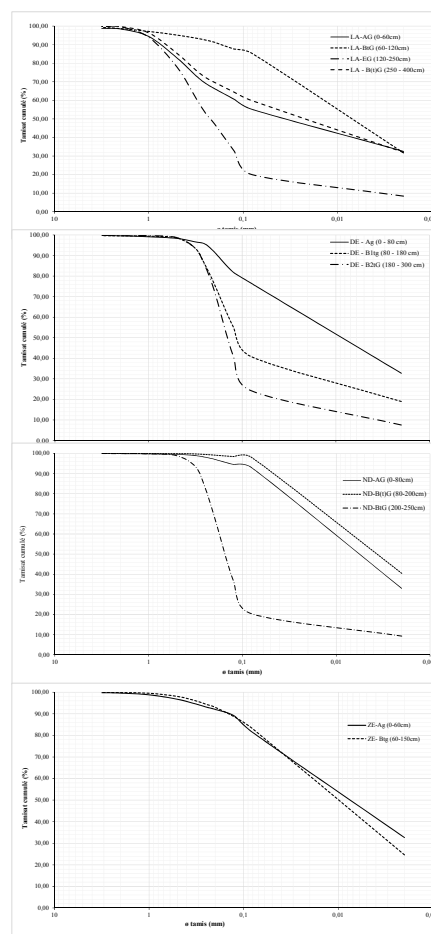


Figure 3 : Courbes granulométriques cumulatives des matériaux argileux

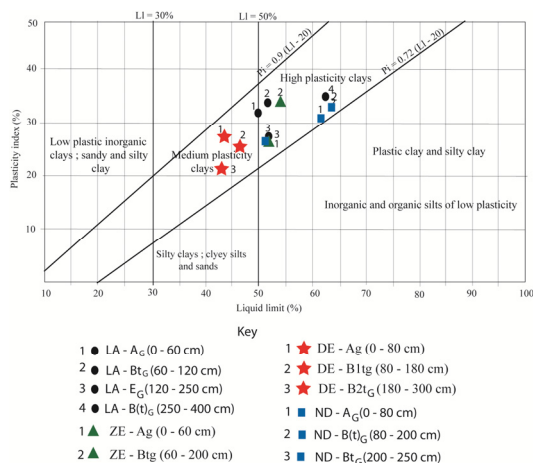


Figure 4 : Position des matériaux argileux dans le diagramme de plasticité (Casagrande, 1948 et Howard, 1977).

4.2. Caractéristiques minéralogiques et géochimiques

Les cortèges minéralogiques, déterminés par diffraction des rayons X, sont constitués majoritairement des smectites, de kaolinite, d'illite, de quartz et feldspaths (fig. 5). Aydinalp, 2001 et Nguetkam, 2004 ont signalé que le cortège minéralogique des vertisols développés sur des alluvions est caractérisé par l'abondance de la smectite, de kaolinite et d'illite.

L'abondance de la smectite résulte soit par transformation cristalochimique à partir des minéraux micasés ; soit par néoformation à partir des ions libérés par hydrolyse (Paquet, 1969 ; Bocquier, 1973 ; Duchaufour, 1977 ; Rossignol, 1983).

Les éléments géochimiques à fortes concentrations des vertisols étudiés sont par ordre d'importance la silice (61,07 - 77,78 % de SiO₂), l'alumine (7,08 - 15,54 % Al₂O₃) et le fer (1,78 - 6,92 % Fe₂O₃) (tab. 3). Ces matériaux comportent également un peu de calcium (1,06 - 3,71 % CaO) et de faibles quantités de potassium (0,33 - 1,58 % K₂O), de titane (0,16 - 1,46 % TiO₂), de magnésium (0,01 - 0,29 % MgO) et de sodium (0,06 - 0,46 % Na₂O). La perte au feu est de l'ordre 2,53 - 15,06 % (tab. 3). Ces résultats sont en accord avec plusieurs travaux (Azinwi et al., 2011 ; Kamgang Kabeyene et al., 2011 ; Azinwi, 2012). La richesse et la présence des bases traduisent un milieu très peu filtrant et bisiallitissant (Bocquier, 1973).

Les teneurs en silice, relativement élevées (64 à 72 % SiO₂) se rapprochent des argiles sédimentaires très plastiques (Fabbri et Fiori, 1985 ; Manning, 1995 ; Reeves et al., 2006). Les teneurs en alumine (Al₂O₃) relativement significatives (13 à 19 %) confirment la présence des smectites obtenus par DRX. Le rapport Si/Al dont la valeur est comprise entre 3,2 et 5,2, est en accord avec le caractère silico-alumineux des profils et révèle ici un milieu bisiallitissant (Pédro, 1966 ; Ruxton, 1968). La présence des alcalins et alcalino-terreux (Na₂O, K₂O, CaO et MgO) pourrait indiquer l'existence d'un milieu bisiallitissant (Bocquier, 1973 ; Righi et al., 1998).

Les valeurs de MIA sont supérieures 50 % dans tous les profils (tab. 3) ; elles augmentent de 61,09 - 67,71 %, de 51,15 - 77,19 % et de 46,64 - 55,83 % respectivement pour DE, LA et ND (tab. 3). Les valeurs de MIA des vertisols de la vallée du Logone sont pour l'essentiel comprises entre 50,75 et 76,63 % ; ce qui suggère que les matériaux sont très altérés (Voicu et Bardoux, 2002 ; Price et Velbel, 2003). Ces valeurs indiquent également l'abondance d'argile minéralogiques et l'absence des

feldspaths dans les matériaux (Nesbitt et al., 1996 ; Nyakairu et Koeberl, 2001)

4.3. Géostatistiques des caractères des matériaux argileux : mise en évidence des corrélations

Les fortes et moyennes corrélations positives sont observées entre la teneur en la granulométrie (a_m) et Ig (0,971), C_g (0,665), SSF (0,691), I_p (0,671), W_l (0,633) et W (0,598). En outre, certains paramètres se corrént entre eux, MO/CO (1,00), S/S/CEC (0,876), W/W_l (0,958), W/W_p (0,759), W/I_p (0,812), W_l/W_p (0,740) et I_p/I_g (0,707).

Des fortes corrélations positives existent entre l'argilosité avec l'indice de groupe, le coefficient de gonflement, la surface spécifique, l'indice de plasticité, la limite de liquidité et la teneur en eau (fig. 5). Ce qui indique que ces paramètres sont directement influencés par la teneur en argile comme précisé par Yerima et al., (1989) et (2009). D'après Moujahid (2007), la qualité physique et physico-chimique des sols est étroitement liée à leurs teneurs en argiles et en matière organique.

Une forte corrélation négative apparaît entre a_m/A (-0,782) et SSF/A (-0,748) (tab. 3). Ce qui indique que l'activité de surface des argiles est opposée à sa teneur et sa surface spécifique. On observe également une moyenne et faible corrélation négative entre SiO₂/Al₂O₃ (-0,676), Fe₂O₃/SiO₂/Al₂O₃ (-0,509), SiO₂/MIA (-0,512), C/N/Mg/Ca (-0,487) et CEC/S/CEC (-0,424) (tab. 3). Il existe une forte corrélation négative entre l'activité de surface, la teneur en argiles granulométrique et leur surface spécifique (fig. 5). Ce qui indique que la quantité et la surface spécifique d'argile ont des effets opposés sur l'activité des argiles. Ces résultats sont en conformité avec de nombreux travaux (Tran, 1980 ; Yerima et al., 1989 ; Touhtouh et al., 2014). Ces auteurs ont remarqué qu'il existe une corrélation entre la minéralogie des argiles et leurs activités de surface. Les activités les plus basses sont obtenues pour les kaolinites (Tran, 1980 ; Lautre, 1989).

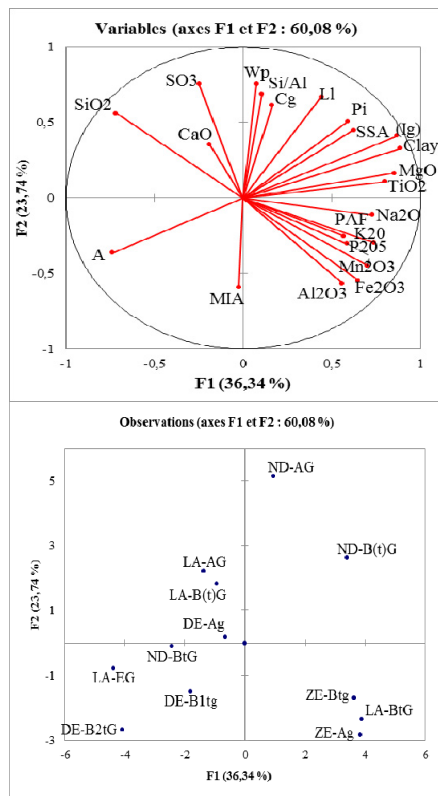


Figure 5: Cercle de corrélation des variables des matériaux argileux de la vallée du Logone.

5. CONCLUSION

Les matériaux argileux vertisoliques de la vallée du Logone ont été caractérisés du point de vue géo-mécanique et classés. On retient que :

- 1) Ces matériaux sont constitués pour l'essentiel des fractions inférieures à 80 μm ;
- 2) Ce sont des argiles inorganiques plastiques à très plastiques, avec un indice de plasticité et un taux de gonflement très élevé ;
- 3) Les sols argileux peuvent être regroupés dans la classe A-7-5 et A-7-6 dans le système AASHTO, et OH et CH dans le système USCS ;
- 4) La minéralogie de la fraction argileuse révèle une nette prédominance de la smectite associée à de la kaolinite et les éléments géochimiques à fortes concentrations sont par ordre d'importance la silice, l'alumine et le fer.

Bibliographie

Ambassa-Kiki R., Aboubakar Y. and Boulama T. (1996). – Zero-tillage for rice production on Cameroonian vertisols. *Soil and Tillage research*, n°39, 75 – 77.

Aydinalp C. (2001). – Caracterisation of some vertisols in North Western Turkey. *1st International Conference on Archeology*, Szazhalombata, Hungary, 72 – 176.

Azinwi P. T. (2012). – Petrological, physic-chemical and mechanical study of the Benue watershed vertisols (Nord Cameroon) : spatial analysis and agricultural potential evaluation. *Th. Doc. Ph.D.* Fac. Sc. Univ. Yaoundé I, 183 p.

Azinwi P. T., Djoufac W. E., Bitom D., Njopwouo D. (2011). – Petrological, physic-chemical and mechanical characterization of the topomorphic vertisols from the Sudano-sahelian region of Nord Cameroun. *Open Geology Journal*, 5, 33 – 55.

Bocquier G. (1973). – Genèse et évolution de deux toposéquences des sols tropicaux du Tchad. Interprétation Biogéochimique. *Th. Mém. ORSTOM*, Paris, n° 62, 350 p.

Chittleborough D.J. (1991). – Indices of weathering for soils and paleosols formed on silice rocks. *Australian Journal of Earth Sciences* 38, 115 – 120.

Desta B. (1987). – Soil fertility research on some Ethiopian vertisols, Proc. Conf. ILCA, Addis-Ababa Ethiopia, Eddited by S.C. Jutzi, I. Haque, J. Mc Intire and J.E.S. Stares, 225 p

Djordjevic A., Golubovic S., Zorica T., Velimir A., Natasa N., Olivera J. (2012). – The origin of montmorillonite in vertisols from the Southern Serbian Peinja District. *African Journal of Agricultural Research*, V 7(20), 3034 – 3044.

Duchaufour Ph. (1977). – Pédogenèse et classification des sols. Eds. Masson, Paris-New York-Barcelone-Milan, 492 p.

Dudal R. (1967). – Sols argileux foncés des régions tropicales et sub-tropicales. *Coll. F.A.O., Cah.* N°83, 172 p.

Echajia, M., Hajjaji, M., Kacim, S., 2003. Mineralogy, technological properties and firing structural changes of a clay pottery of Safi (Morocco). *Sil. Ind.*, 68, 61-66.

Ekodeck G.E. (1976). – Nature et comportement géochimique des formations superficielles gonflantes du Nord-Cameroun. *Th. 3^e cycle*, Univ. de Grenoble, 182 p.

Nguetnkam J. P. (2004). – Les argiles des vertisols et des sols fersiallitiques de l'Extrême Nord du Cameroun : genèse, propriétés cristalochimiques et texturales, typologie et application à la décoloration des huiles végétales. *Th. Doc. D'Etat*, Univ. Yaoundé I, 216 p.

Nordt L. C., Lawrence P. W., Warren C. L., Corey C. C. (2004). – Vertisol genesis in a humid climate of the coastal plain of Texas, U.S.A. *Geoderma* 122, 83 – 102.

Nyakairu G. W. A., Koeberl C. (2001). – Mineralogical and chemical composition and distribution of rare earth elements in clay-rich sediments from central Uganda. *Geochemical Journal*, Vol. 35, pp. 13 – 28.

Temga J. P. (2015). – Etude pétrologique et mécanique des vertisols de la vallée du Logone dans la zone sahélo-soudanienne : essais de valorisation en vue de la production des briques. *Th. Doc.Ph.D.* Fac. Sc. Uni. Ngaoundéré, 214p.