



Full Length Research Paper

Evaluation des Relations entre les Propriétés Intrinsèques des Sols de Termitières Macrotermes sp.

Louis AHOUE^{1,2,3*}, B. Dublin MBOUSSA ELENGA¹, J. A. BOCKOU EKOCAUT¹, Sorel DZABA¹

¹Ecole Nationale Supérieure Polytechniques (ENSP), Université Marien Ngouabi – Brazzaville, Congo

²Institut Supérieur d'Architecture, Urbanisme, Bâtiment et Travaux Publics, Université Denis Sassou Nguesso – Brazzaville, Congo

³Bureau de Contrôle du Bâtiment et Travaux Publics (BCBTP), Brazzaville, Congo

Received October 2022 – Accepted January 2023



*Corresponding author. E-mail: louisahouet2@gmail.com

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License.

Résumé :

La valorisation des matériaux locaux appropriés contribue à la réduction des coûts et de l'impact environnemental des constructions. Cette étude met en place un outil de travail pour les laboratoires de travaux publics pour l'identification des matériaux de construction en phase d'études préliminaires. Pour atteindre cet objectif, les corrélations entre les propriétés fondamentales des sols sont développées à partir des modèles mathématiques ayant le coefficient de détermination (R^2) les plus élevés et le coefficient statistique (χ^2) le plus faible. Les sols étudiés sont des argiles inactives et normales de faible à Moyenne plasticité, contenant les minéraux (kaolinite, illite, montmorillonite). Le potentiel de gonflement des sols varie de faible - moyen et élevé. Les relations entre les propriétés intrinsèques des sols sont des ajustements linéaires, exponentiels et à pic unique avec des coefficients R^2 (0,503 - 0,984) et χ^2 (0,00939 - 0,0228). La relation fondamentale entre l'activité et la fraction argileuse permet de prédire plusieurs paramètres. En effet, en connaissant uniquement la fraction argileuse obtenue de l'analyse granulométrique, on peut prédire dix paramètres (LL, LP, IP, VBS, Ac, CEC, SS, AR, As, ACEC) par les relations développées.

Mots clés : Propriétés intrinsèques, limite de liquidité, indice de plasticité, sol de termitière macrotermes sp.

Cite this article:

Louis Ahouet, Brice Dublin Mboussa Elenga, Joseph Arsène Bockou Ekockaut, Sorel Dzaba. Evaluation des Relations entre les Propriétés Intrinsèques des sols de termitière Macrotermes Sp. Revue RAMReS – Sci. Appl. & de l'Ing., Vol. 4(2), pp. 1-9. ISSN 2312-8712.

1. Introduction

La construction des termitières Macrotermes sp est réalisée par les termites, qui jouent un rôle important dans la modification des propriétés et de la morphologie du sol [1]. L'activité des termites influence les propriétés du sol [2, 3]. Les termitières sont construites par les termites qui utilisent l'argile comme matériau de base avec des propriétés qui permettent aux termites de fabriquer les mortiers et les micro-bétons pour leurs unités de construction [4]. Les sols de termitières ont un impact sur les propriétés du sol de surface environnant à différents horizons. Les termitières ont une structure granulaire avec des particules de forme arrondie ou sub-arrondie, ce qui les rend différentes des zones environnantes [1]. Les propriétés du sol influencent la forme de la termitière, mais n'ont aucun impact sur la taille ou l'âge de la colonie des termites. Après le départ des termites, les termitières peuvent durer une dizaine d'années [5, 6].

La composition en espèces de la végétation autour de la termitière et l'augmentation de la biomasse sont favorisées par la présence de nutriments aquatiques et le bon drainage de la termitière [7].

La composition organique des sols des termitières diffère de celle du sous-sol environnant [8]. La présence d'une grande quantité d'argiles (smectites) dans les sols de termitières peut augmenter la capacité d'échange cationique. La présence d'argiles gonflantes (smectites) confère au sol des propriétés macroscopiques de gonflement et de retrait en fonction de leur environnement [2]. La stabilité structurelle de la termitière dépend des propriétés et de la composition organique du sol [9].

Une utilisation inappropriée des sols de termitières peut avoir des effets négatifs sur les processus écologiques. La taille des grains influence le processus écologique et la qualité du sol [2]. La mauvaise utilisation des sols de termitières (en agriculture, en construction, en poterie)

conduit à la destruction de l'écosystème de l'environnement [11]. Cette situation conduit à la recherche de solutions écologiques dans l'utilisation des matériaux locaux sans compromettre la sécurité de l'environnement [12]. Plusieurs études rapportent que les termitières ont un impact sur l'environnement en fonction de l'utilisation des sols in-situ et du genre des termites [4, 5, 10, 11, 12]. La minéralogie et l'histoire géotechnique des sédiments sont liées à l'activité d'un sol, dont l'argile < 0,002 mm [15, 16]. Les propriétés et le comportement des sols sont fortement influencés par les caractéristiques physico-chimiques des minéraux qui les composent, en fonction de leurs proportions relatives [17]. Parmi les fractions argileuses des sols de termitière *Macrotermes sp*, on peut distinguer deux fractions (active et inerte) au comportement différent. La différence de comportement des minéraux (argileux et non argileux) peut être liée à leur plasticité. En effet, les limites d'Atterberg sont une méthode largement utilisée pour caractériser, classer et prédire le comportement des sols fins cohésifs [15].

L'indice de plasticité est utilisé pour décrire le comportement des sols. La surface spécifique donne un aperçu de la minéralogie, surtout lorsqu'elle est utilisée en combinaison avec la fraction argileuse [18]. En géotechnique, la distribution granulométrique d'un sol est utilisée pour le classer et définir des normes d'utilisation [15, 19], en fonction de l'environnement local [15]. Malgré la diversité des études sur l'activité des sols fins, les relations entre les propriétés intrinsèques des sols de termitière *Macrotermes sp* n'ont pas encore été rapportées. L'objectif de cette étude est de trouver des modèles mathématiques qui simulent au mieux les relations entre les propriétés intrinsèques du sol. Les modèles mathématiques seront utilisés pour la prédiction des propriétés relatives à l'identification des sols fins.

2. Matériel et méthodes



Fig.1. Sol de termitière *Macrotermes sp*

Le tableau 1 indique les endroits où les échantillons de couleur jaune ont été prélevés, pour la réalisation des essais de laboratoire.

Tableau 1. Localisation et les échantillons des sols de la termitière *Macrotermes sp*.

Localités	Echantillon	Lieu de la collecte
Bara	S1	15°54'E; 1°04'S
Bokosongo	S2	13°35'E; 4°25'S
Brazzaville	S3	15°17'E; 4°16'S
Gamboma	S4	15°51'E; 1°52'S
Lékana	S5	15°48'E; 1°54'S
Loutété	S6	13°50'E; 4°17'S
Mpouya	S7	16°11'E; 2°37'S
Ngo-Centre	S8	15°45'E; 2°29'S
Ngo-Nord	S9	15°45'E; 2°29'S
Ngo-Sud	S10	15°45'E; 2°29'S
Odziba-Mbé	S11	for the northern area
Ollombo	S12	15°55'E; 1°15'S
Yengola	S13	4°20'25"S; 13°52'25"E

Les sols sont classés conformément à la norme NF P 11-300 [20] et au diagramme de Casagrande. Le logiciel Origin Pro 2019b est utilisé pour traiter les relations entre les propriétés intrinsèques des sols de termitière *Macrotermes sp*. Le modèle mathématique retenu est celui qui présente le coefficient de détermination R^2 le plus élevé et le coefficient statistique Chi sqr (χ^2) le plus faible. Chi sqr (χ^2) - permet de tester l'indépendance entre deux variables aléatoires. L'analyse granulométrique a été réalisée par tamisage pour les grains de la taille $\phi > 80\mu\text{m}$ selon la norme NF P 94-056 [21] et par sédimentation pour les grains de diamètre $\phi \leq 80\mu\text{m}$ selon la norme NF P94-057 [22]. Les fractions argileuses, limoneuses et sableuses sont déduites des recommandations des nomogrammes, en considérant les argiles < (0,002 mm), les limons (0,002-0,06 mm) et les sables (0,06-2 mm). Les limites d'Atterberg sont déterminées selon la norme NF P94-051 [23]. L'indice de plasticité (IP) est exprimé par la relation suivante :

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

La valeur au bleu du sol (VBS) est déterminée selon la norme NF P94-068 [24].

La surface spécifique est obtenue par la formule suivante:

$$SS = 20.93 + SBV \quad (2)$$

SS (m²/g) - surface spécifique, VBS (g/100 g) - valeur au bleu du sol.

La capacité d'échange cationique CEC est déterminée par la formule :

$$CEC = \frac{SVS \cdot 1000}{374} \quad (3)$$

CEC (meq/100) - capacité d'échange cationique ; VBS (g/100g) – Valeur au bleu du sol.

L'activité "Ac" des sols est définie par l'expression définie par [15] :

$$AC = \frac{PI}{FA (\%) < 0,002mm} \quad (4)$$

Ac - activité, IP - indice de plasticité, FA - fraction argileuse.

L'activité relative AR est définie par la formule [25] :

$$AR = \frac{IP}{SS} \quad (5)$$

AR - activité relative, IP (%) - indice de plasticité, SS (m²/g) - surface spécifique.

L'activité de surface As est définie par la formule suivante :

$$As = \frac{SS}{FA} \quad (6)$$

As (m²/g*10²) - activité de surface, SS (m²/g) - surface spécifique, FA (%) - fraction argileuse.

L'activité de la capacité d'échange cationique CECA est définie par la formule suivante :

$$ACEC = \frac{CEC}{FA} \quad (7)$$

ACEC - activité de la capacité d'échange cationique, CEC (meq/100) - capacité d'échange cationique, FA (%) - fraction argileuse. L'activité surfacique (As) permet de déterminer les minérales kaolinite et illite. L'activité de capacité d'échange cationique (ACEC) permet de déterminer les minéraux illite et montmorillonite.

3. Résultats

3.1. Propriétés géotechniques des sols de termitière macrotermes sp.

La figure 2, représente la répartition des grains dans les sols de termitière Macrotermes sp.

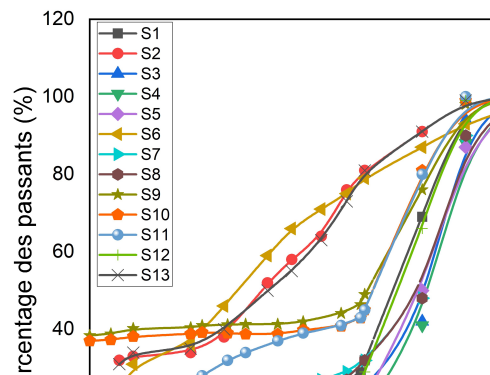


Fig.2. Distribution granulométrique des sols des termitières Macrotermes sp

De la figure 2, la fraction d'argile FA déduite est reportée dans le tableau 2.

Tableau 2. Propriétés des sols de termitières Macrotermes sp.

Soil	FA (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	VBS (g/100g)	Ac	RA	As (m ² /g*10 ²)	SS (m ² /g)	CEC (meq/100g)
S1	19	15.9	0	15.9	0.54	0.837	1.41	0.595	11.30	1.444
S2	31	42	19.9	22.1	0.71	0.713	1.49	0.479	14.86	1.898
S3	4	18.5	13.6	4.9	0.22	1.225	1.07	0.875	4.60	0.588
S4	14	21.2	8.4	12.8	0.47	0.914	1.30	0.703	9.84	1.257
S5	13	15.5	0	15.5	0.52	1.192	1.42	0.837	10.88	1.39
S6	25	38	27.6	10.4	0.41	0.42	1.22	0.343	8.58	1.096
S7	10	23.4	13.6	10.4	0.37	1.04	1.34	0.774	7.74	0.989
S8	10	24	13.6	9.8	0.33	0.98	1.42	0.691	6.91	0.882
S9	38	23.2	12	14.4	0.45	0.379	1.53	0.248	9.42	1.203
S10	37	19.6	11.4	11.8	0.42	0.319	1.34	0.238	8.79	1.122
S11	19	27.9	9	10.6	0.39	0.558	1.30	0.429	8.16	1.043
S12	21	41.31	14.9	13	0.43	0.619	1.45	0.428	8.99	1.150
S13	31	26.4	20.1	21.2	0.72	0.684	1.41	0.486	15.07	1.925

FA - fraction argileuse, LL - limite de liquidité, IP - indice de plasticité, LP - limite de plasticité, VBS – valeur au bleu du sol, Ac - activité, AR - activité relative, As - activité surfacique, SS - surface spécifique, CEC - capacité d'échange cationique.

D'après la figure 3, les sols sont classés en fonction de leur plasticité.

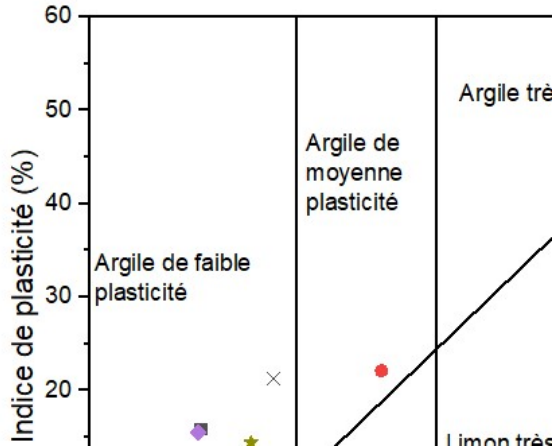


Fig. 3. Abaque de Casagrande pour la classification des sols fins

Selon l'abaque de "Casagrande", les sols (S3, S6, S8, S12) sont des limons de faible plasticité, les sols (S1, S4, S5, S7, S9, S10, S11, S13) sont des argiles de faible plasticité et le sol (S2) est une argile de plasticité moyenne.

Dans la figure 4, les sols de termitières Macrotermes sp sont classés en fonction de leur potentiel de gonflement.

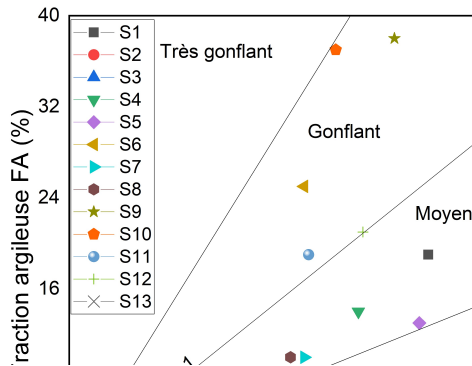


Fig.4. Potentiel de gonflement des sols de termitières Macrotermes sp.

A est le coefficient directeur qui caractérise le potentiel de gonflement (faiblement, moyennement gonflant, gonflant et très gonflant).

A cet effet, les sols (S1, S2, S4, S5, S7, S8, S13) sont modérément gonflants, les sols (S6, S9, S10, S11) sont gonflants, les sols S3 et S12 sont respectivement à la

limite du modérément gonflant à gonflant et de faiblement à moyennement gonflant.

La figure 5 représente l'activité des fractions argileuses et des minéraux (kaolinite et illite) dans les sols.

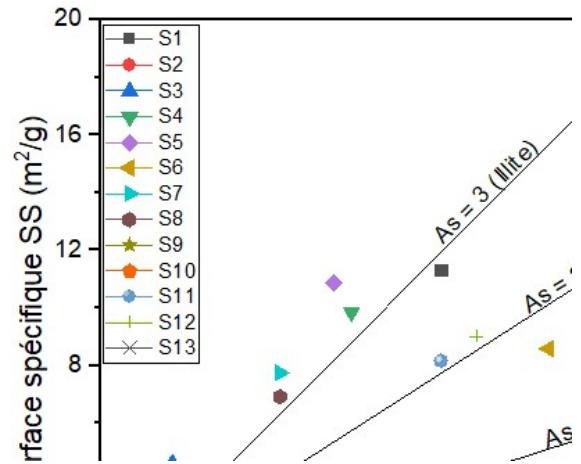


Figure 5. Activité surfacique des sols

Sur la figure 5, la plupart des sols, constitués de couches minérales mixtes, se situeraient quelque part entre les coefficients directeurs As.

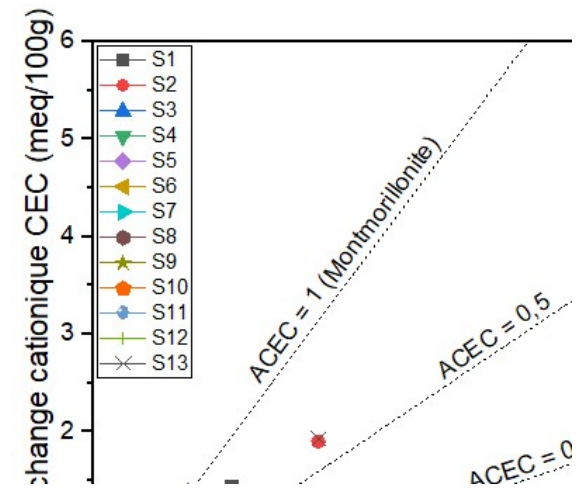


Figure 6 : Activité de la capacité d'échange cationique.

ACEC - sont les coefficients directeurs des droites délimitant les zones des formations minéralogiques (illite, montmorillonite).

Les figures 5 et 6 ont permis de déterminer la nature des minéraux contenus dans les différents sols et définit selon l'ordre kaolinite – illite – montmorillonite [15].

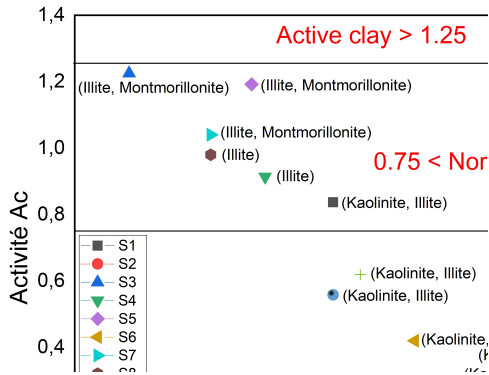


Fig.7 Activité des sols de la termitière Macrotermes sp

Les sols (S2, S6, S9, S10, S11, S12, S13) sont des argiles inactives contenant les minéraux (Kaolinite, Illite). Le sol (S1) a une activité normale et contient les minéraux (Kaolinite Illite). Les sols (S3, S5, S7) sont des argiles gonflantes à activité normale et contiennent les minéraux (Illite, Montmorillonite). Les sols (S4, S8) contiennent le minéral (Illite).

3.2. Relations entre les propriétés intrinsèques des sols de termitière Macrotermes sp.

La figure 8 représente la corrélation entre la valeur au bleu du sol VBS et la limite de liquidité LL.

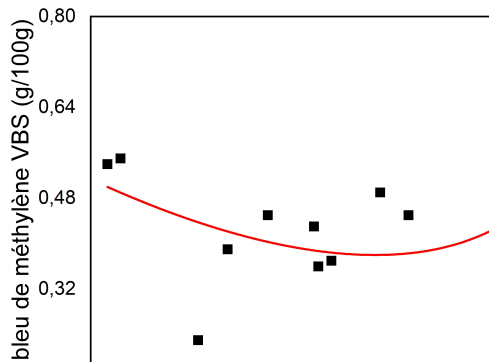


Fig.8. Valeur au bleu du sol en fonction de la limite de liquidité

La corrélation choisie entre la valeur au bleu du sol et sa limite de liquidité est un modèle d'ajustement exponentiel Exp3P2 :

$$Y = \exp(a + b * X + C * X^2) \quad (8)$$

$$a = 0.68903 \pm 0.73577$$

$$b = -0.12679 \pm 0.05532$$

$$c = 0.00243 \pm 9.27309E - 4$$

$$Chi - Sqr (X^2) = 0.00939$$

$$R^2 = 0.50344$$

R^2 - coefficient de détermination, LL - limite de liquidité, VBS – valeur au bleu du sol, χ^2 - coefficient statistique

La figure 9 représente les corrélations entre l'indice de plasticité et la valeur au bleu d'un sol en fonction de la surface spécifique.

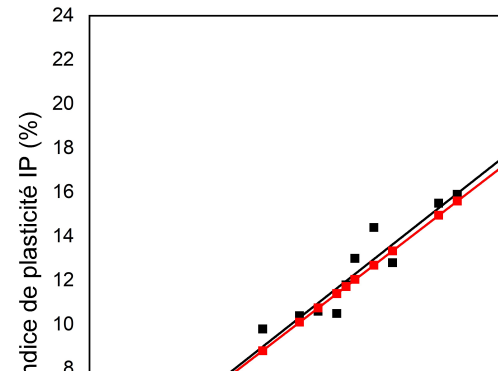


Fig.9. Relation entre l'indice de plasticité IP, la valeur au bleu du sol VBS et la surface spécifique SS

Les relations entre l'IP, la VBS en fonction de SS des sols sont des ajustements linéaires :

Pour la capacité d'échange cationique CEC :

$$CEC = a + b * IP \quad (11)$$

$$a = 0.18194 + 0.05279$$

$$b = 0.07878 \pm 0.00376$$

$$R^2 = 0.97332$$

Pour la surface spécifique :

$$SS = a + b * IP \quad (12)$$

$$a = 1.42195 \pm 0.41318$$

$$b = 0.61686 \pm 0.02944$$

$$R^2 = 0.97334$$

R^2 - coefficient de détermination, CEC - capacité d'échange cationique, SS - surface spécifique, IP - indice de plasticité.

La figure 10 représente les corrélations entre la valeur au bleu du sol et l'indice de plasticité.

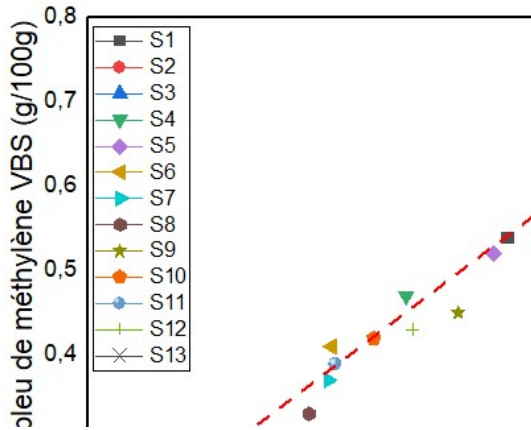


Fig.10. Relation entre la valeur au bleu du sol et l'indice de plasticité [5].

La relation entre la valeur au bleu du sol et l'indice de plasticité est un ajustement linéaire, pour tous les sols :

$$BVS = a + b * IP \quad (13)$$

$$a = 0.06812 \pm 0.01973$$

$$b = 0.02946 \pm 0.00141$$

$$R^2 = 0.97336$$

R^2 - coefficient de détermination, VBS – Valeur au bleu du sol, IP - indice de plasticité.

La corrélation entre l'activité et l'activité de surface est représentée dans la figure 11.

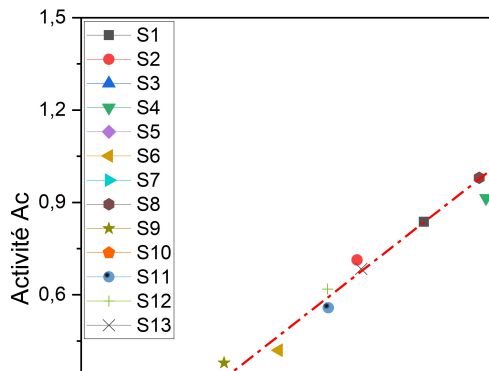


Fig.11 : Relation entre l'activité et l'activité surfacique

La relation entre l'activité et l'activité surfacique est un ajustement linéaire :

$$Ac = a + b * As \quad (14)$$

$$a = -0.00133 \pm 0.0294$$

$$b = 1.3889 \pm 0.05043$$

$$R^2 = 0.98441$$

R^2 - coefficient de détermination, Ac - activité, As - activité surfacique.

La figure 12 représente la relation entre l'activité et la fraction argileuse.

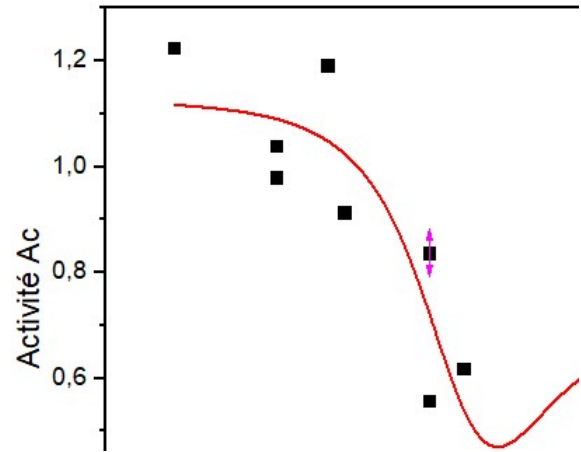


Fig.12. Relation entre l'activité et la fraction argileuse

$$A_c = Y_0 + \frac{A}{\left(1 + \frac{A_1 * (2 * (CF - X_c))}{W}\right)^2} + A_2 * \left(\frac{2 * (CF - X_c)}{W}\right)^4 + A_3 * \left(2 * \left(\frac{CF - X_c}{W}\right)^6\right) \quad (15)$$

$$Y_0 = 1.12762 \pm 0.11232$$

$$X_c = 48.06611 \pm 32.32097$$

$$W = 7.09893 \pm 5440811.247$$

$$A = -137.38348 \pm 145844.247$$

$$A_1 = 27.54093 \pm 4.22162E7$$

$$A_2 = -0.85503 \pm 2621261.9902$$

$$A_3 = 0.00775 \pm 35632.7992$$

$$X^2 = 0.0228$$

$$R^2 = 0.74741$$

R^2 - coefficient de détermination, χ^2 - coefficient statistique, Ac - activité, FA - fraction argileuse.

4. Discussion

Du tableau 1, les argiles inactives ont une activité A_c (0,319-0,713) et une activité de surface A_s (0,238-0,486). Les argiles normales ont une activité A_c (0,837-1,192) et une activité de surface A_s (0,595-0,875). La plage de teneur en eau dans laquelle le sol présente un comportement plastique caractérise l'indice de plasticité. En d'autres termes, pour deux sols (S2, S13) avec la même fraction argileuse FA (31%), le sol (S2) a le minéral le plus actif (illite) Figure 5, avec la plus grande activité A_c (0,713) et l'indice de plasticité IP (22,1%) le plus élevé. Les sols (S1, S11) ont la même fraction argileuse FA (19%), le sol (S1) a le minéral le plus actif (illite) Figure (5), avec l'activité et l'indice de plasticité les plus élevés, respectivement A_c (0,837) et IP (15,9%). De même, les sols (S7, S8) ayant la même fraction argileuse FA (10%), le sol (S7) a le minéral le plus actif (montmorillonite) Figure 6, a la plus grande activité et l'indice de plasticité respectivement A_c (1,04) et IP (10,4%) [6, 18, 26].

L'activité relative définit le rôle que joue la surface spécifique sur la plasticité du sol [24]. En d'autres termes, pour deux sols (S6, S7) ayant le même indice de plasticité IP (10,4%), mais des teneurs en argile FA (25%, 10%) différentes, les deux sols ont des surfaces spécifiques SS (0,343 m^2/g , 0,774 m^2/g) différentes, en fonction de leur minéralogie [6]. Les sols (S6) et (S7) contiennent les minéraux (kaolinite, Illite) et (Illite, Montmorillonite) respectivement [6, 18, 26]. De la figure 7, les sols (S2, S9, S10, S11, S13) sont des argiles inactives [15], avec une plasticité faible à moyenne (figure 3) et un gonflement faible à moyen (figure 4). Les sols (S1, S4, S5, S7, S8) ont une activité normale (Figure 7) [15], une plasticité faible (Figure 3), ils sont gonflants (Figure 4).

Les argiles inactives des sols (S2, S9, S10, S11, S13) contiennent les minéraux (kaolinite, illite) (Figure 5) et ont des surfaces spécifiques SS (8,16-15,07 m^2/g), Tableau 1. Les argiles normales des sols (S5, S7) contiennent les minéraux (illite, montmorillonite). Les sols (S4, S8) contiennent le minéral (illite), le sol (S1) contient les minéraux (kaolinite, illite) (Figure 5) et leurs surfaces spécifiques sont de SS (6,91-11,30 m^2/g), Tableau 1. Les sols ayant une surface spécifique SS (10 - 40 m^2/g) sont généralement des sols non gonflants, caractéristiques du sol contenant le minéral kaolinite [18, 27, 29].

Il existe une relation linéaire entre la valeur au bleu du sol et l'indice de plasticité pour tous les sols (Figure 10) [6] et entre l'activité et l'activité de surface (Figures 13-14). Il existe une relation linéaire entre l'indice de plasticité et la surface spécifique [28, 29].

La présence de la kaolinite dans ces sols est d'une grande importance, notamment pour la fabrication des briques pleines. En effet, l'argile agit comme un mortier qui a un rôle dans l'amélioration de la résistance mécanique des briques [30]. L'illite favorise le frittage à une température relativement basse, c'est-à-dire que ce minéral est important dans la composition des sols, notamment pour l'argile cuite (briques, tuiles et poteries) [31]. La présence de

kaolinite et d'illite dans ces sols peut justifier leur utilisation dans la fabrication de produits céramiques.

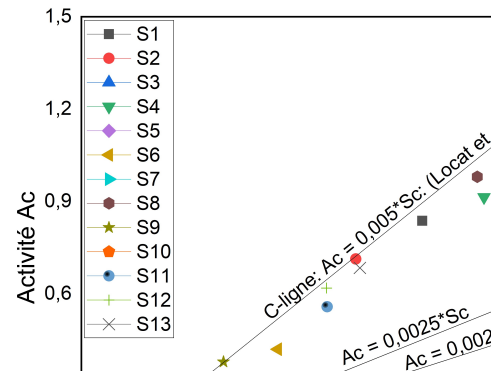


Fig.13. Activité des sols en fonction de l'activité surfacique.

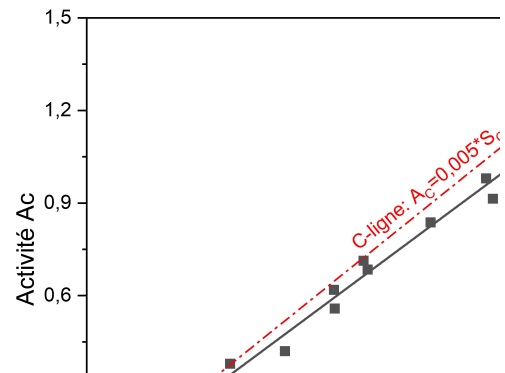


Fig.14. Relation entre l'activité et l'activité surfacique des sols de termitière *Macrotermes sp.*

Les sols (S2, S9) sont respectivement deux argiles de faible à moyenne plasticité (Figure 3) et de gonflement qui varie de faible à moyen (Figure 4). Les sols (S2, S9) sont composés de minéraux (kaolinite, illite) (Figure 5), situés sur la ligne C [28]. La ligne C [28], suggère que les argiles (S2, S9), qui ont une minéralogie composée de la kaolinite et illite, présentent une relation linéaire entre l'activité et l'activité surfacique comme les argiles marines illitiques [28] (Figure 13).

D'après les figures 13 et 14, la relation entre l'activité et l'activité de surface des sols de termitière *Macrotermes sp* est un ajustement linéaire avec R^2 (0,984).

5. Conclusion

La classification des sols et le potentiel de gonflement sont utilisés pour déterminer les normes d'utilisation des sols en géotechnique. Sept sols sont modérément gonflants, quatre sont gonflants et deux sols sont à la limite du modérément gonflant à gonflant et de faiblement à moyennement gonflant. Quatre sols sont des limons à faible plasticité, deux sols sont des argiles de faible plasticité et un sol est une argile à plasticité

moyenne. Les sols sont composés des minéraux kaolinite - illite - montmorillonite. La relation entre la valeur au bleu du sol et la limite de liquidité est un modèle d'ajustement exponentiel Exp3P2, avec R^2 (0.50344) et χ^2 (0.00939). La valeur au bleu du sol en fonction de l'indice de plasticité est un ajustement linéaire pour tous les sols. Les relations entre les propriétés fondamentales (CEC, SS) et l'indice de plasticité sont des ajustements linéaires, avec R^2 (0.97332 - 0.97334), respectivement. La relation entre l'activité et l'activité surfacique est un ajustement linéaire avec R^2 (0.984). Deux sols situés sur la ligne de Locat et al. 2003 sont des sols de faible plasticité avec un potentiel de gonflement moyen et sont constitués de minéraux (kaolinite, illite). La relation entre l'activité et la fraction argileuse est fondamentale pour prédire les propriétés intrinsèques des sols argileux inactives et d'activité normale. Les corrélations développées permettent, de prédire dix propriétés intrinsèques des sols. Les laboratoires de travaux publics peuvent utiliser ces relations pour identifier les sols argileux en phase d'étude sommaire. Ces corrélations permettent de réduire la quantité de matériaux à transporter et le nombre d'essais à réaliser en laboratoire.

References

- [1] Dipankar Bera, Sudip Bera, Nilanjana Das Chatterjee (2020). Termite mound soil properties in West Bengal, India. *Geoderma Regional*, Volume 22, September 2020, e00293. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00293>
- [2] P. Jouquet, N. Guilleux, L. Caner, S. Chintakunta, M. Ameline, R. R. Shanbhag (2015). Influence of soil pedological properties on termite mound stability. *Geoderma*, Volume 262, 15 January 2016, Pages45-51. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.020>.
- [3] Holt John A., and Michel Lepage. "Termites and soil properties" *Termites Evolution Sociality Symbioses Ecology*, 2000.
- [4] Boyer, P. (1982). Aspects of the action of termites on the clay soil. *Clay Minerals* 17, 453462. [doi: https://doi.org/10.1180/claymin.1982.017.4.08](https://doi.org/10.1180/claymin.1982.017.4.08)
- [5] Jouquet L., Mamou M., Lepage B., Velde (2002). Effect of termites on clay minerals in tropical soils: fungus-growing termites as weathering agents, *Eur. J. Soil Sci.* 53 (2002) 1–7.
- [6] Louis Ahouet, Mondésire Odilon Ngoulou, Sylvain Ndinga Okina, Sorel Dzaba (2022). Geotechnical Characterization of Termite Mound Soils of Congo. *Open Journal of civil engineering*, Vol.12 No.3, September 2022, [doi: 10.4236/ojce.2022.123021](https://doi.org/10.4236/ojce.2022.123021)
- [7] Arshad, M.A. (1982). Influence of the termite *Macrotermes michaelseni* (Sjost) on soil fertility and vegetation in a semi-arid savanna ecosystem. *Agro-Ecosystems* 8, 47–58.
- [8] Arshad, M.A. (1981). Physical and chemical properties of termite mounds of two species of *Macrotermes* (Isoptera, Termitidae) and the surrounding soils of the semiarid savanna of Kenya. *Soil Science* 132, 161–174.
- [9] Garnier-Sillam, E. and Harry, M. (1995). Distribution of humic compounds in mounds of some soil-feeding termite species of tropical rainforests: its influence on soil structure stability. *Insectes Sociaux* 42, 167–185. <https://doi.org/10.1007/BF01242453>
- [10] Isabel C. Vinhal-Freitas, Gilberto F. Corrêa, Beno Wendling, Lenka Bobulská, Adão S. Ferreira (2017). Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. *Ecological Indicators*, Volume 74, March 2017, Pages 182-190 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.020>
- [11] Lobry de Bruyn and Conacher (1990). The role of termite and ants in soil modification a review. *Soil Research*, 28 (1), 55-93.
- [12] Enagbonma, B.J., Babalola, O.O.(2020). Unveiling Plant-Beneficial Function as Seen in Bacteria Genes from Termite Mound Soil. *J Soil Sci Plant Nutr* 20, 421–430 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00124-w>
- [13] Bignell D.E., Eggleton P. (2000). *Termites in Ecosystems. Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*, (Eds) Springer, Dordrecht, pp 363-387, https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_17
- [14] Trapnell C.G., Friend M.T., Chamberlain G.T. and Birch H. F. (1976). The effect of fire and termites on a Zambian woodland soil. *Journal of Ecology*, Vol. 64, No.2, pp. 577-588. <https://doi.org/10.2307/2258774>.
- [15] Skempton AW (1953). The colloidal "Activity" of clays. *Proceedings of the 3rd International Conference of soil Mechanics and foundation Engineering*, 1953. (1) 57-60.
- [16] Mustapha Amrani, Yassine Taha, Abdellatif Elghali, Mostafa Benzaazoua, Azzouz Kchikach, Rachid Hakkou. "An experimental investigation on collapsible behavior of dry compacted phosphate mine waste rock in road embankment", *Transportation Geotechnics* 2021, volume 26. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100439>
- [17] Dolinar, B., Trauner, L. (2004). Liquid Limit and Specific Surface of Clay Particles. *Geotechnical testing journal*, 2004 -astm.org, Volume 27, Issue 6. ASTM International. doi: 10.1520/GTJ11325.
- [18] Cerato A, Lutenege AJ (2005). Activity, relative activity and specific surface area of fine – grained soils, *Proceedings of the 16th International Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ICSMGE)*, 2. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-656-9-325>
- [19] Ahouet L., Ngoulou M.O., Ndinga Okina S., Kimbatsa F.T. (2022). Study of the relationship between the fundamental properties of fine soils and those of mathematical models of particle size distribution and geotechnical quantities. *Arabian Journal of Geoscience* (2022) 15:1173. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10378-x>
- [20] NF P 11-300 (1992) French standard. Execution of earthworks. Classification of materials for use in the construction of embankments. Execution of earthworks. Classification of materials for use in the construction of embankments, AFNOR, 3-21
- [21] NF P 94-056 (1996) French standard. Soils: recognition and tests. Analyse granulométrique. Method by dry sieving after washing, AFNOR, 5–15
- [22] NF P94-057 (1992) French standard. Soils: recognition and tests. Granulometric analysis. Sedimentation method, AFNOR, 4–17
- [23] NF P94-051 (1993) French standard. Soils: recognition and tests. Determination of Atterberg limits. Limit of liquidity at the cup - limit of plasticity at the roller. AFNOR, 4–14.

- [24] NF P94-068 (1998). French standard. Soils: Investigation and testing – Measuring of the methylene blue adsorption capacity of a rocky soil. Determination of the methylene blue of a soil by means of the strain test, October 1998.
- [25] Quigley R.M., Sethis A.J., Boonsinsuk P., Sheeren D.E and Yong R.N. (1985). Geologic controls on soil composition and properties, Lake Ojibway Clay Plain, Matagami, Quebec. *Canadian Geotechnical Journal* (22) 491-500.
- [26] Louis Ahouet, Sorel Dzaba, Brice Dublin Mbossa Elenga, Sylvain Ndinga Okina, Fabien T. Kimbatsa. Characterization of the activity, mineralogy and correlations between the properties of clayey soils. *JMMCE*, Vol. 10 No. 5, September 2022, DOI : 10.4236/jmmce.2022.105029
- [27] Mitchell JK (1976) *Fundamentals of soil behavior*. John Wiley and Sons, New York.
- [28] Locat L, Tanaka H, Tan TS, Desari GR, Lee H (2003). Natural soils: geotechnical behavior and geologic knowledge. *Charact Eng Properties Nat Soil* 1:3–28.
- [29] Yeliz Yukselen-Aksoy, Abidin Kaya. “Method dependency of relationships between specific surface area and soil physicochemical properties”, *Applied Clay Science*, 2020. Volume 50, issue 2.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.07.020>
- [30] Millogo et al. 2011. Microstructure, physical and mechanical properties of clayey material from termite mound: a stabilized material for adobe building, 1-20.
- [31] SIE Kam et al. (2009). Clay ceramics from Burkina Faso used in building construction.
- [32] Delgado M.C.J., Guerrero I.C. 2007. The selection of soils for stabilized earth building: A normative review. *Construction and Building Materials*, 21, p. 237–251.