

Impacts de l'exploitation du gisement de calcaires de Tabligbo du Sud-Est Togo, sur les caractéristiques physico-chimiques des sols

Aboudala SIDI ISSAH*, Minkilabe DJANGBEDJA et Thiou K. T. TCHAMIE

Université de Lomé, Département de Géographie, Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales, BP 20634 Lomé, Togo

* Correspondance, courriel : aboudalas@gmail.com

Résumé

L'exploitation du gisement de calcaires se fait à ciel ouvert au sud-est du Togo. Le processus d'exploitation a des incidences évidentes sur les sols. Il les dégrade et modifie profondément le paysage. L'ouverture des profils pédologique et leur description, dans trois zones exploitées et dans une zone témoin (de référence), ont permis d'évaluer l'impact de cette exploitation sur les caractéristiques physiques des sols. Des prélèvements d'échantillons de sol ont été effectués dans ces zones. L'analyse des échantillons a permis d'apprécier l'impact de l'exploitation sur les caractéristiques chimiques des sols. Les résultats de ces analyses ont permis d'évaluer le niveau de fertilité des sols de chacune des zones identifiées. Les résultats ont révélé que les exploitations des zones de carrières très ancienne et ancienne (Cimao et Wacem) ont entraîné une importante modification de profil pédologique de référence. L'exploitation est faite de manière non-ordonnée (non-reconstitution des couches décapées) dans ces zones. Par contre, celle effectuée, dans la zone de carrière jeune (Scantogo) est ordonnée (reconstitution des couches décapées) et a eu peu d'impact sur le profil pédologique du secteur d'étude. Les résultats ont montré également que les sols des zones témoin et Scantogo sont de même classe de niveau de fertilité (Classe II). Par contre le sol de la zone de carrière ancienne est de la classe III, donc moins fertile. Le sol de la zone très ancienne est de classe intermédiaire II-III, ceci en raison de la reconstitution progressive de ce dernier. Cela révèle que l'exploitation ordonnée a peu d'impacts physiques et chimiques sur le sol et doit être imposé aux compagnies minières afin de minimiser les impacts sur l'écosystème.

Mots-clés : *Sud Est Togo, impacts, caractéristiques physiques et chimiques, sols, carrières de calcaires.*

Abstract

Impacts of Tabligbo's limestone deposit exploitation, in southeastern Togo, on the physicochemical characteristics of soil

The exploitation of the limestone deposit is done in open pit in the south-east of Togo. The mining process has obvious impacts on soil. It degrades and deeply modifies the landscape. The opening of the soil profiles and their description, in three exploited areas and in a control (or reference) zone, made it possible to assess the impact of this exploitation on the physical characteristics of soil. Soil samples were taken in these areas. The analysis of the samples made it possible to assess the impact of the exploitation on the chemical characteristics of the soils. The results of these analyzes made it possible to evaluate the soil fertility level of each of the

identified zones. The results revealed that the exploitation of the very old and old quarries areas (Cimao and Wacem) led to an important modification of the reference soil profile. The exploitation is done in an unordered manner (non-reconstitution of stripped layers) in these areas. On the other hand, the exploitation of the young quarry area (Scantogo) is ordered (reconstitution of the stripped layers) and had little impact on the pedological profile of the study area. The results also showed that the soils of the control and Scantogo areas are of the same class of fertility level (Class II). On the other hand, the soil of the old quarry areas is class III, and therefore less fertile. The soil of the very old area is of intermediate class II-III, this because of the progressive reconstitution of this last one. This reveals that orderly exploitation has few physical and chemical impacts on the soil and must be imposed on quarrying companies to minimize ecosystem impacts.

Keywords : *Southeastern Togo, Impacts, physical and chemical characteristics, soil, limestone quarries.*

1. Introduction

Le développement de l'exploitation minière a été favorisé par celui de la technologie. Cette exploitation contribue, à son tour, au développement industriel, qui est un moteur important de la croissance mondiale. La performance du secteur minier est ainsi considérée comme un préalable au développement d'un pays et détermine sa position économique dans le commerce mondial [1]. Le Togo tire, une grande partie de ses recettes, de l'exploitation minière. L'une des plus importantes exploitations minières de ce pays est celle du gisement de calcaires au sud-est. La part du calcaire/clinker dans les exportations du Togo est passée de 2,7 % en 1998 à 40,8 % en 2006. Le clinker et le ciment représentaient, ensemble, en 2010, le premier produit d'exportation du Togo [2]. Cependant, les activités d'exploitation sont à l'origine de la dégradation du sol, de l'air, de l'eau, de la faune, de la flore [2, 3]. Les activités extractives ont des répercussions notables sur l'environnement [4 - 6]. Celles-ci sont d'autant plus remarquables sur les sols des carrières. Le processus d'exploitation, nécessite le terrassement de la partie superficielle afin d'atteindre le gisement. Celui-ci entraîne un remaniement du sol naturel qui affecte sa texture et sa structure. Sur le plan physico-chimique, l'exploitation minière a d'énormes conséquences sur le sol [6]. En effet, elle transforme les caractéristiques physiques et géochimiques originelles des sols. Ceux-ci sont alors remaniés et impropres à l'agriculture. Or, il se trouve que, l'exploitation se fait dans un milieu avec une population constituée de 84,3 % de ruraux [7] et une population à vocation agricole [8]. Il se pose avec acuité un problème de pénurie de terres ; ce qui amène les paysans à exploiter les anciens remblais accidentés dont la productivité est faible, en raison de l'absence de la végétation et de leur régénération lente [9]. Cette étude a été entreprise afin d'apporter une solution au problème de fertilité des remblais de carrières de calcaires. Les résultats qui en découlent pourraient éclairer davantage sur les éventuelles stratégies pour une exploitation minière durable, qui minimise les impacts sur le sol.

2. Présentation du secteur d'étude

La présente étude a été effectuée au sud-est du Togo, dans la préfecture de Yoto (*Figure 1*). Le secteur d'étude est situé dans le bassin sédimentaire côtier du Togo [10]. Le gisement en exploitation est nommé Calcaires de Tabligbo et appartient au groupe de formations géologiques de Tabligbo d'âge Paléocène Supérieur. Les études pédologiques [10] mettent en évidence deux types d'unités du sol à savoir : les sols ferralitiques sur la terre de barre, surplombant les vallées et les dépressions et les sols hydromorphes, développés dans les vallées. Le climat est de type guinéen marqué par quatre saisons avec une moyenne pluviométrique annuelle comprise entre 800 mm et 1200 mm [12]. Le maximum des températures moyennes se situe en février avec 29,7 °C et la température minimale la plus faible enregistrée en saison pluvieuse tourne autour de 25 °C. Le secteur d'étude est recouvert de savanes arbustives, des reliques de forêts galeries et des fourrés [13].

3. Méthodologie

Dans le cadre de cette étude, des données ont été collectées et traitées. Cette collecte a consisté d'une part, à l'ouverture des profils pédologiques et d'autre part à un échantillonnage de sol et à l'analyse des échantillons au laboratoire. Elle a été faite dans différentes zones.

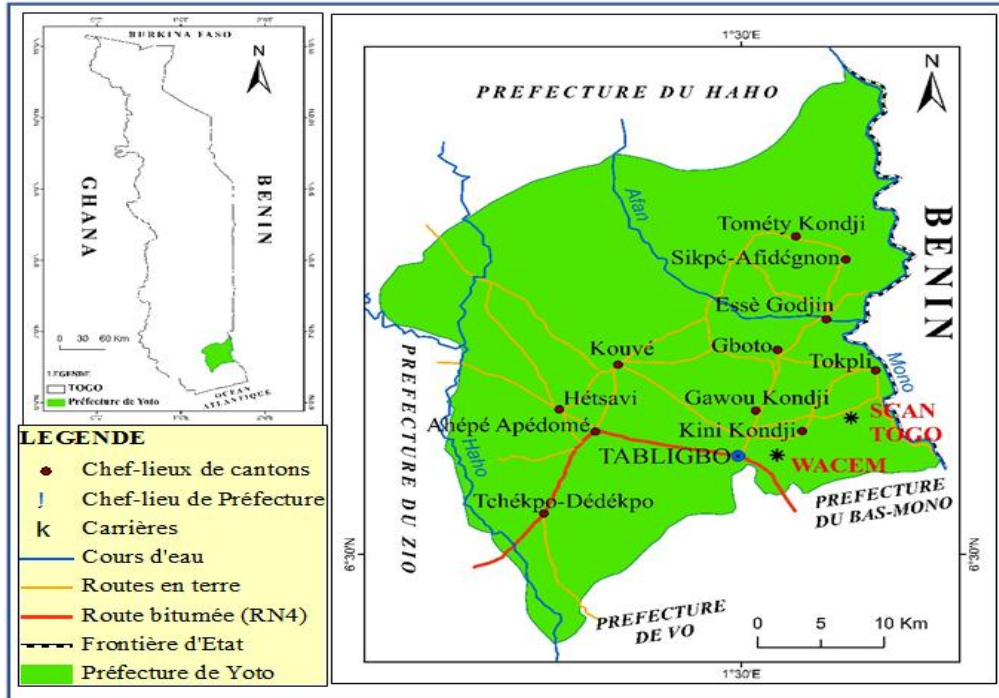


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude

Source : Fond topographique, IGN-Paris & DCNC-Lomé, 1991, au 1/200000

Les zones exploitées du secteur d'étude ont été subdivisées en trois zones conformément à l'âge du remblai de la carrière et la méthode d'exploitation du minéral. Ces zones sont :

- zone Cimao : il s'agit de la zone exploitée par la société Cimao qui a effectué son exploitation entre 1979 et 1984 et dont l'âge des remblais est compris entre 33 et 38 ans (zone très ancienne). C'est une zone où l'exploitation a été faite de manière non-ordonnée, c'est-à-dire, le remblayage des excavations n'a pas été fait suivant les couches décapées ;
- zone Wacem : il s'agit de la zone exploitée par la société Wacem qui a commencé ses activités depuis 1997 (zone ancienne). Il s'agit également d'une zone où l'exploitation a été faite de manière non-ordonnée;
- zone Scantogo : il s'agit de la zone exploitée par la société Scantogo qui a démarré ses activités depuis 2014, dont l'âge est inférieur à 5 ans (zone jeune). C'est une zone où l'exploitation a été faite de manière ordonnée, c'est-à-dire, le remblayage des excavations a été fait suivant les couches décapées (reconstitution des couches décapées) ;

Dans le souci de comparer l'écosystème des carrières à celui d'avant l'exploitation, une zone d'écosystème de référence, hors de la carrière, a été aussi définie : il s'agit de la zone non-exploitée.

3-1. Réalisation de profils pédologiques

Des profils pédologiques ont été ouverts, à l'aide de la pioche et de la pelle, lors des travaux de terrain. La profondeur moyenne de chacun des profils creusés est de 135 cm. Cette profondeur a été choisie en

référence aux travaux de [14] dans la carrière de phosphate de Hahotoé au sud du Togo. De plus, sur le terrain, il a été constaté qu'au-delà de cette profondeur, jusqu'à la roche sous-jacente (les argilites feuilletées à Attapulgate), l'horizon de profondeur décrit est le même. Chaque profil a été décrit.

3-2. Échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'une tarière manuelle. Dans chaque zone il a été prélevé 10 échantillons. L'échantillonnage a été effectué dans les 20 premiers centimètres du sol. Chaque échantillon prélevé a un poids de 1 kg suffisant pour effectuer les analyses nécessaires [15]. Il est à noter que chaque échantillon constitue un échantillon composite qui a été réalisé à partir d'un plateau (*Figure 2*) de forme rectangulaire de 5 m et de 2 m de côtés, soit une surface de 10 m² ; ce qui correspond à un taux de 0,1 % d'hectare (Ha).

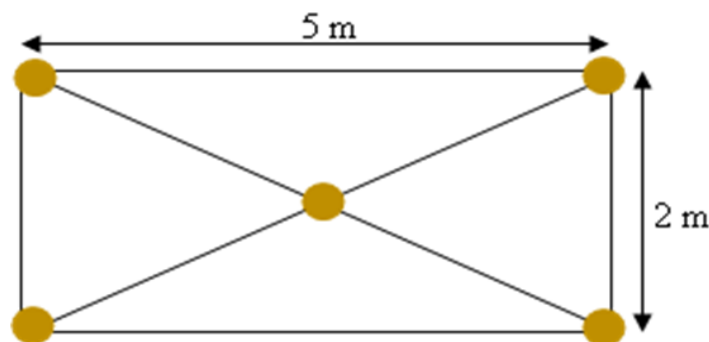


Figure 2 : Schéma d'un plateau d'échantillonnage effectué

3-3. Travaux de laboratoire

Une préparation des échantillons a été faite avant les analyses. Elle a consisté à la dessiccation, au broyage puis au tamisage des échantillons de sol directement venus du terrain.

3-3-1. La granulométrie : méthode à la pipette de Robinson

Les matières humiques du sol sont détruites par traitement à l'eau oxygénée. Les argiles et les limons sont alors dispersés par agitation mécanique en présence d'un agent dispersant (pyrophosphate de sodium). La solution a été ensuite mise au repos afin de permettre la sédimentation des particules qui se déposent à une vitesse plus ou moins grande selon leur dimension, leur forme et leur densité. En vue de l'identification de la texture du sol, il a été déterminé, dans un premier temps, le pourcentage des trois éléments suivants : argile, limon et sable. Cette détermination a permis d'apprécier le degré textural du sol. La classe texturale a été ensuite déterminée à l'aide d'un triangle, appelé triangle des textures.

3-3-2. Détermination de l'humidité du sol : méthode NF ISO 11465

Pour cette détermination, les échantillons ont été préalablement séchés à l'air, à température ambiante, puis à 105° C dans une étuve pendant 18 heures. La différence de poids avant et après le séchage renseigne sur l'humidité de l'échantillon de sol.

3-3-3. Mesure du pH des sols (pHeau et pH_{KCl}) : méthode NF ISO 10390

La mesure du pH a été faite sur une suspension de rapport W/S = 1/2,5 à partir de la terre fine. Après détermination du pHeau (pH de l'eau) de la solution aqueuse (eau bouillie pour chasser le CO₂ éventuel), on

ajoute une quantité de KCl (chlorure de potassium) nécessaire pour amener à une solution environ normale. Le KCl sature le complexe échangeable en libérant des ions chlorure (Cl^-). Le pH de la nouvelle suspension est alors mesuré.

3-3-4. Détermination des bases échangeables (complexes absorbants) : méthode d'extraction à l'acétate d'ammonium

Les bases échangeables dosés sont : le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le sodium (Na) et le potassium (K). Le sol est lessivé par une solution d'acétate d'ammonium neutre 1 M ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$, $\text{pH} = 7$). La saturation est effectuée par percolation sur entonnoir.

3-3-5. Capacité d'échange cationique (CEC) : méthode de Saturation à l'Acétate de Sodium et d'extraction à l'Acétate d'Ammonium

La capacité d'échange cationique est la quantité maximum de cations échangeables que les colloïdes peuvent retenir et qui peuvent facilement passer dans la solution du sol. Elle indique le remplissage de réservoir en éléments nutritifs capables de se libérer pour nourrir la plante. Le taux de saturation est déterminé par le produit du rapport S/T et d'un réel 100 (*Équation 1*).

$$V = 100 \left(\frac{S}{T} \right) \quad (1)$$

V étant le taux de saturation, *S* la somme des bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et *T* la capacité d'échange cationique en $\text{még}/100 \text{ g}$ de sol.

3-3-6. Détermination du phosphore assimilable (Méthode Brayl)

Pour la détermination du phosphore assimilable, la méthode de Brayl a été utilisée. L'extraction a été effectuée par un mélange de l'échantillon de sol et de la solution de Brayl puis par une agitation de ce mélange. Le mélange a été ensuite dosé au colorimètre.

3-3-7. Détermination de la composition en carbone et en matière organique : méthode Anne

La teneur en matière organique renseigne sur la fertilité et l'élaboration de la structure du sol. Elle est déduite de la détermination du carbone. Le carbone de la matière organique est alors oxydé par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique. Le pourcentage en matière organique (% MO) est obtenu par l'*Équation (2)* suivante :

$$\% \text{ MO} = \% \text{ C} \times 1,724 \quad (2)$$

MO étant la matière organique et *C* le carbone.

L'interprétation de la teneur en matière organique a été faite par un regroupement en trois classes réparties comme suit :

- teneur élevée en matière organique ($> 15 \%$) ;
- teneur moyenne en matière organique (entre 1 et $1,5 \%$) ;
- teneur faible en matière organique ($< 1 \%$)

3-3-8. Dosage de l'azote : méthode de Kjeldhal

L'azote des composés minéraux et organiques est transformé en sulfate d'ammoniaque au cours d'une attaque oxydante à l'acide sulfurique concentré et en présence d'un catalyseur au sélénium - cuivre. Le **Tableau 1** présente la grille d'interprétation de la teneur en azote. Le rapport carbone/azote (C/N) renseigne sur la richesse de l'humus en azote. Il varie suivant les sols [16] :

- à C/N élevé (15 à 25) correspond une matière organique mal décomposée ;
- à C/N voisin de 10 correspond une matière organique bien décomposée ;
- en dessous de 10, le rapport C/N indique des sols minéralisés à faible réserve de matière organique.

Tableau 1 : Grille d'interprétation de la teneur en azote (N)

Valeurs de N	Interprétations
> 3 ‰	Très riche en azote
2 à 3 ‰	Riche en azote
1 à 2 ‰	Moyennement riche en azote
< 1 ‰	Faible en azote

Source : ORSTOM, 1976

3-4. Traitement des données

Le traitement des données a été effectué essentiellement à l'aide du programme Excel 2016. Ce dernier a servi à calculer les moyennes, les minima et les maxima, et à réaliser les courbes et les histogrammes. Le test *z* de *Student* a été utilisé pour comparer les moyennes des différents paramètres du sol initial à celles des zones exploitées. Les profils des sols ont été réalisés à partir du logiciel Adobe Illustrator CS. Les cartes ont été faites à l'aide du logiciel QGIS 2.18. Les classes de limitation et les niveaux de fertilité des sols ont été déterminés.

3-4-1. Critères d'évaluation des classes de limitation

Dans le cadre de la détermination du niveau de fertilité des sols il a été fait usage du critère d'évaluation des classes de limitation des niveaux de fertilité défini par [17]. Ainsi la définition des classes ou sous-classes est basée, sur des limitations imposées par des caractéristiques précises (**Tableau 2**) et sur le degré d'intensité de ces limitations. Il est alors arrêté cinq degrés d'intensité des limitations qui suivent :

- 0 : pas de limitation : les caractéristiques chimiques du sol sont optimales ;
- 1 : limitations faibles, se référant à des situations qui pourraient légèrement diminuer les rendements sans cependant imposer des techniques culturales spéciales ;
- 2 : limitations modérées, se référant à des situations qui causent une diminution plus importante des rendements ou la mise en œuvre de techniques culturales spéciales. Ces limitations ne mettent pas la rentabilité en cause ;
- 3 : limitations sévères, se référant à des situations qui causent une diminution des rendements ou la mise en œuvre de techniques culturales qui pourraient mettre la rentabilité en cause ;
- 4 : limitations très sévères, se référant à des situations qui ne permettent plus l'utilisation de la terre pour un but précis.

Tableau 2 : Critères d'évaluation des classes de limitation des niveaux de fertilité des sols

Limitations	Faibles	Modérés	Sévères	Très sévères
MO (en %)	> 2	1-2	< 1	< 0,5
N (en %) à pH 6	> 0,08	0,045-0,08	< 0,045	< 0,03
P assimilable	> 20	10-20	< 10	< 5
K (méq/100g de sol)	> 0,4	0,2-0,4	< 0,2	< 0,1
Somme (S) (méq/100g de sol)	> 10	5-10	< 5	< 2
Saturation en base (%)	> 60	40-60	< 40	< 15
CEC (méq/100g de sol)	> 25	10-25	< 10	< 5

Source : SYS et al., 1976

3-4-2. Définition des classes des niveaux de fertilité des sols

Il a été défini, en fonction des limitations en cause et de leur degré d'intensité, les classes ou niveaux de fertilité [17]. On distingue alors les classes (ou niveaux de fertilité) suivantes :

- Classe I (Niveau de fertilité élevé) : les sols dont les caractéristiques ne présentent que de faibles limitations ;
- Classe II (Niveau de fertilité moyen) : les sols dont les caractéristiques présentent au plus trois limitations modérées éventuellement associées à de faibles limitations ;
- Classe III (Niveau de fertilité bas) : les sols dont les caractéristiques présentent plus de trois limitations modérées et associées à une seule limitation sévère ;
- Classe IV (Niveau de fertilité très bas) : les sols dont les caractéristiques présentent plus d'une limitation sévère.

4. Résultats

4-1. Impacts de l'exploitation sur les caractéristiques physiques des sols

Les résultats montrent qu'au-delà de la modification du paysage (*Photo 1*), l'exploitation minière a entraîné une modification de la morphologie du sol (*Figure 3*). L'épaisseur de l'horizon superficiel est modifiée. Cette épaisseur est très faible (3 centimètres environ) dans les remblais anciens (zone Wacem). Elle est un peu plus élevée (5 centimètres) dans les remblais très anciens, la zone Cimao où il a été observé une différenciation d'un horizon sous-jacent, preuve d'une évolution (ou reconstitution) du sol. Dans la zone jeune (zone Scantogo), les résultats montrent, par contre, une morphologie presque identique, du profil pédologique, à celui de la zone de référence.



A: Wacem



B: Scantogo

Photo 1 : Remblais post-exploitation
Cliché SIDI, 2017

Cela s'explique par la reconstitution des couches découpées lors du remblayage des excavations. Par contre, elle est différente dans les deux premières. C'est donc ce qui explique un important impact négatif de l'exploitation dans ces zones.

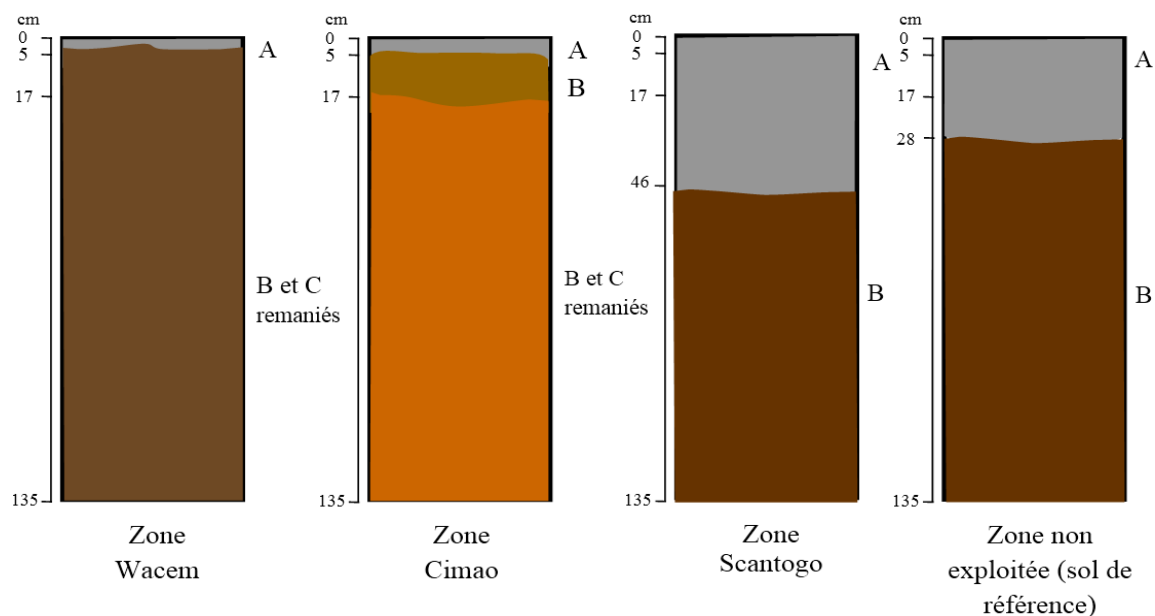
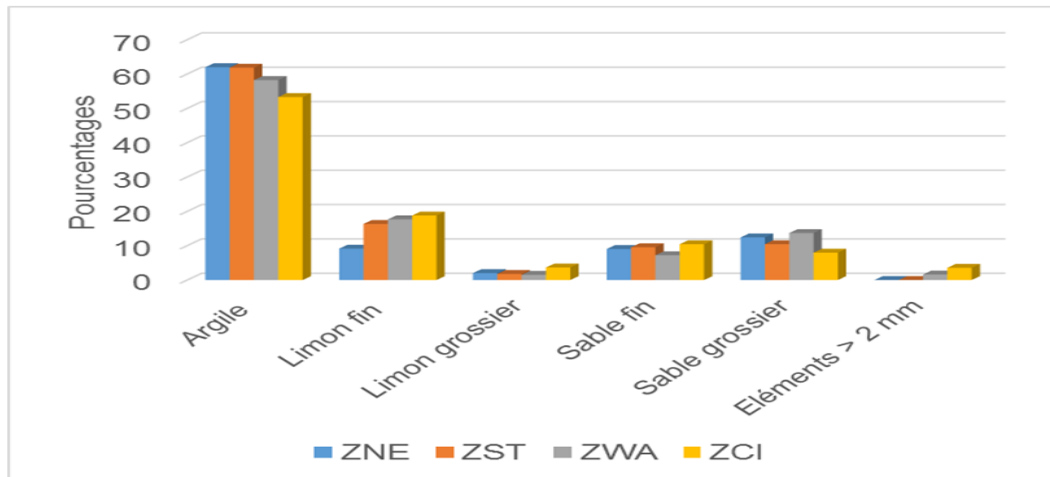


Figure 3 : Les différents profils de sols

4-2. Impacts de l'exploitation sur les caractéristiques chimiques des sols

4-2-1. Impacts de l'exploitation sur la granulométrie

Les résultats de la granulométrie montrent des proportions élevées d'argile dans les sols de toutes les zones (**Figure 4**). La détermination de la texture des sols des différentes zones a montré que ceux-ci sont tous de texture argileuse. Les résultats indiquent la présence de gros particules (de plus de 2 millimètres de diamètres) qui ne sont ni argileux, ni limoneux, ni sableux, dans les zones à exploitations non-ordonnées (Wacem et Cimaio). Ces éléments sont par contre absents dans la zone de référence et dans la zone à exploitation ordonnée. Cela signifie que l'exploitation non-ordonnée a entraîné un impact négatif sur la granulométrie du sol. Cet impact est alors minimisé dans le cas d'une exploitation ordonnée.

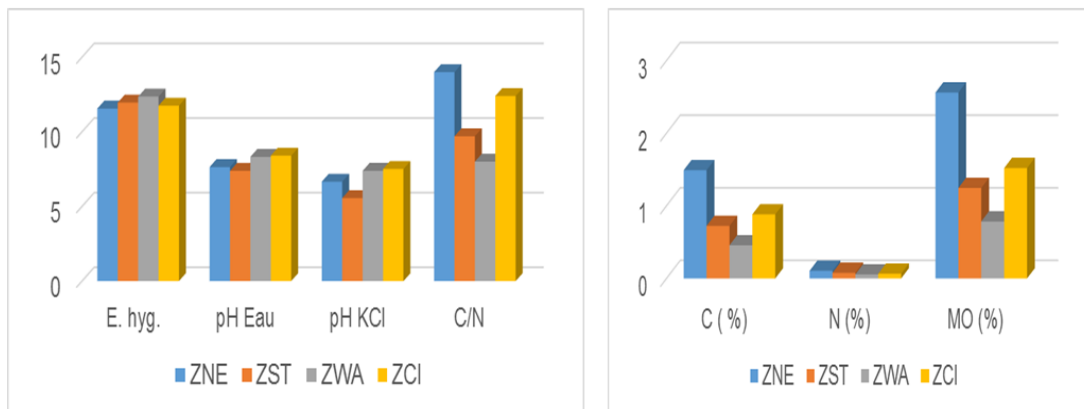


ZNE : zone non exploitée ; ZST : Zone Scantogo ; ZWA : zone Wacem ; ZCI : zone Cimao

Figure 4 : Évolution de la granulométrie du secteur d'étude

4-2-2. Impacts de l'exploitation sur l'eau hygroscopique, le pH, le carbone, l'azote et la matière organique

Les résultats indiquent des différences des valeurs de pH, de carbone, d'azote, de la matière organique et du rapport C/N, du sol de la zone Cimao et de celles du sol de référence. Ces différences sont significatives (**Figure 5**) au niveau de signification de 5 %.



E. hyg : Eau hygroscopique ; C : carbone ; N : azote ; MO : matière organique ; ZNE : zone non exploitée ; ZST : Zone Scan Togo ; ZWA : zone Wacem ; ZCI : zone Cimao

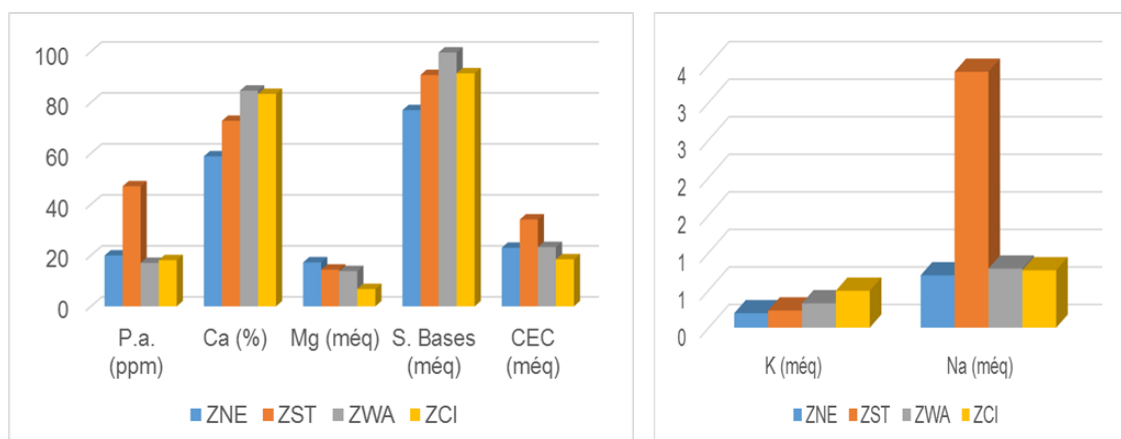
Figure 5 : Évolution de l'eau hygroscopique, du pH, du carbone, de l'azote et de la matière organique du sol du secteur d'étude

Cette différence n'est pas significative pour les valeurs de l'eau hygroscopique. L'exploitation effectuée dans la zone Cimao a ainsi entraîné un impact sur les paramètres pH, carbone, azote, matière organique, rapport C/N, du sol du secteur d'étude. Les résultats montrent une différence significative entre les valeurs de l'eau hygroscopique, du pH, du carbone, d'azote, de la matière organique et du rapport C/N du sol de la zone Wacem et celles de la zone de référence (zone non-exploitée), à un intervalle de confiance de 95 %. Cela signifie que l'exploitation du gisement de calcaires de Tabligbo a entraîné un impact sur ces paramètres du sol dans la zone Wacem. Les différences entre les valeurs, du sol de la zone Scantogo et de

celles du sol de référence, en pH, en carbone, en azote, en matière organique, du rapport C/N, sont significatives au niveau de signification de 5 %. Par contre cette différence n'est pas significative pour l'eau hygroscopique avec un risque d'erreur équivalant à 6,8 %. Ce qui indique que l'exploitation des calcaires dans la zone Scantogo a ainsi entraînée un impact sur les paramètres pH, carbone, azote, matière organique, rapport C/N, du sol du secteur d'étude. L'exploitation se fait, d'abord, par la destruction du couvert végétal et de la couche contenant les macro et micro-organismes du sol. Ce qui explique la tendance à la baisse du taux de la matière organique (et proportionnellement du taux de carbone) dans les zones exploitées. La matière organique du sol intervient aussi sur la biodisponibilité des oligo-éléments. Les seuils de risque de carence de bon nombre d'oligo-éléments sont dépendants du taux de la matière organique. Ils s'élèvent proportionnellement à ce taux [18]. Il est noté, par contre, une tendance à la hausse du pH des zones exploitées, qui ont ainsi des pH basiques.

4-2-3. Impacts de l'exploitation sur le phosphore, les bases échangeables et la CEC

Les différences des valeurs de phosphore assimilable, des bases échangeables (Calcium, magnésium, potassium, sodium) et de la capacité d'échange cationique (CEC), entre le sol de la zone Cimao et celles du sol de référence, sont toutes significatives (**Figure 6**) au niveau de signification de 5 %.



P.a. : Phosphore assimilable ; Ca : calcium ; Mg : Magnésium ; S. Bases : Sommes des bases ; K : potassium ; Na : Sodium ; ZNE : zone non exploitée ; ZST : Zone Scan Togo ; ZWA : zone Wacem ; ZCI : zone Cimao

Figure 6 : Évolution du phosphore assimilable, du calcium, du magnésium, du potassium, du sodium et de la CEC du secteur d'étude

Le risque d'erreur, pour tous ces paramètres, est inférieur à 0,01 %. L'exploitation effectuée dans la zone Cimao a ainsi entraîné un impact sur ces paramètres du sol du secteur d'étude. Dans la zone Wacem, les résultats ont montré que les valeurs moyennes du phosphore assimilable, de calcium, de magnésium, du potassium et du sodium du sol sont significativement différentes de celles de la zone non-exploitée à un intervalle de confiance de 95 %. Les risques d'erreurs, pour ces paramètres sont tous inférieurs à 0,01 %. Ce qui signifie que l'exploitation effectuée dans la zone Wacem a entraîné un impact sur le phosphore assimilable, le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium du sol dans la zone Wacem. Par contre, il est observé une différence non-significative entre les valeurs moyennes de la CEC des sols des zones Wacem et non-exploitée. Cela montre que l'exploitation minière n'a pas entraîné un impact sur la CEC du sol dans cette zone. Les valeurs de phosphore assimilable, des bases échangeables (Calcium, magnésium, potassium, sodium) et de la capacité d'échange cationique (CEC) du sol de la zone Scantogo sont

significativement différentes de celles du sol de référence au niveau de signification de 5 %. Les risques d'erreurs, pour tous ces paramètres, sont inférieurs à 0,01 %. L'exploitation effectuée dans la zone Scantogo a ainsi entraînée un impact sur ces paramètres du sol du secteur d'étude. L'examen de la **Figure 6** révèle une tendance à la hausse des teneurs en bases échangeables dans les zones exploitées. Ce qui confirme la diminution des ions H^+ dans ces zones, donc des pH basiques observées dans les sols de celles-ci.

4-2-4. Niveau de fertilité des sols des carrières du gisement de calcaires de Tabligbo

Le **Tableau 3** indique que les sols des zones non exploitée et Scantogo sont de classe de fertilité II car ayant au plus trois limitations modérées associées à des limitations faibles (**Tableau 3**). Cela signifie que l'exploitation ordonnée, qui consiste en une reconstitution des couches décapées dans les zones de remblais cause peu d'impacts négatifs sur la fertilité du sol.

Tableau 3 : Limitations et classes de fertilité des sols du secteur d'étude

Paramètres	Zone non exploitée	Zone Cimao	Zone Wacem	Zone Scantogo
MO (en %)	Faible	Modéré	Sévère	Modéré
N (en %)	Faible	Modéré	Modéré	Modéré
P assimilable	Faible	Modéré	Modéré	Faible
K (méq/100g de sol)	Modéré	Faible	Modéré	Modéré
Somme (S) (méq/100g de sols)	Faible	Faible	Faible	Faible
Saturation en base (%)	Faible	Faible	Faible	Faible
CEC (méq/100g de sol)	Modéré	Modéré	Modéré	Faible
Classes	II	II-III	III	II

Le sol de la zone Cimao possède plus de trois limitations pour être classé au niveau II (4 au total) et n'a pas de limitation sévère pour être classé au niveau III. Ce sol est alors de classe intermédiaire II-III. Le sol de la zone Wacem, ayant plus de trois limitations modérées associées à une limitation sévère, est de classe III. De ce qui précède, on déduit que l'exploitation non-ordonnée, qui consiste en un remblayage pêle-mêle des couches décapées dans la zone de remblais cause beaucoup d'impacts négatifs sur la fertilité du sol. C'est donc ce système d'exploitation qui est à la base de la forte dégradation de la fertilité des sols dans les zones Wacem et Cimao.

5. Discussion

Du point de vue méthodologique, les impacts de l'exploitation du gisement de calcaires de Tabligbo sur les sols ont été déterminés à travers l'ouverture de profils pédologiques, l'échantillonnage de sols et l'analyse des échantillons prélevés au laboratoire. Ainsi le secteur d'étude a été subdivisé en quatre zones sur les critères suivant : l'âge des remblais ou la période d'exploitation (effectuée par différentes entreprises), le type d'exploitation (reconstitution ou non des couches décapées dans les zones de remblais) et la nature exploitée ou non d'une zone (zone non-exploitée et les zones exploitées). Les auteurs des références [19, 20] ont également procédé aux analyses aux laboratoires d'échantillons de sols pour montrer l'impact des actions anthropiques sur les sols du milieu, respectivement au sud-est du Togo et au nord-ouest du Bénin. Ils ont utilisé, de façon globale, les mêmes méthodes que ceux utilisés dans le cadre de cette étude, qui a, en plus, apporté des informations sur l'impact sur la morphologie des profils pédologiques. L'exploitation du gisement de calcaire de Tabligbo a des impacts négatifs sur les sols du secteur d'étude. Ces impacts se

traduisent en termes de modification des caractéristiques physico-chimiques de ces sols. Les auteurs [3, 19, 20] ont abouti également à cette conclusion. Les résultats de cette étude ont montré que l'exploitation du gisement de calcaires de Tabligbo a conduit à la dégradation des sols. Cette dégradation contribue à l'accentuation du manque de terres cultivables dans la zone d'étude. Les terres exploitées ont perdu plusieurs de leurs caractéristiques agronomiques. Ils se sont donc appauvris. Les travaux des auteurs [3, 19] ont indiqué que cette exploitation a modifié la structure des sols dans la carrière de Wacem. Cette étude a montré que le système d'exploitation ordonné (exploitation permettant de reconstituer les différentes couches de sol décapées dans les zones de remblais) réduit considérablement les impacts de l'activité minière sur les caractéristiques physico-chimiques du sol. Il s'agit d'une bonne technique d'exploitation-restauration. L'exploitation des terres sans l'utilisation des techniques de restauration et de conservation adaptées amène indubitablement à la dégradation totale des sols [21, 22].

6. Conclusion

La présente étude permet de faire la lumière sur l'impact de l'exploitation du gisement de calcaires de Tabligbo sur les caractéristiques physico-chimiques des sols. Les observations des profils pédologiques indiquent que l'exploitation a entraîné une modification (donc un impact négatif) de la morphologie du sol. L'épaisseur de l'horizon superficiel est modifiée. Cette épaisseur est plus faible dans les zones anciennes (Wacem et Cimaio) où l'exploitation est faite dans la non-reconstitution des couches (ou horizons). Il est également constaté une différenciation d'un horizon dans la zone Cimaio, preuve d'une modification du sol dans les zones exploitées. Par contre l'exploitation ordonnée (reconstitution des couches décapées) réalisée dans la zone jeune (Scantogo) minimise l'impact de cette activité minière sur la morphologie du sol. Les résultats d'analyses géochimiques des échantillons de sols aux laboratoires révèlent une évolution de la composition géochimique du sol du secteur d'étude. Ainsi observe-t-on que le taux d'argile dans la zone non-exploitée (sol de référence) est de 62 % contre 61,87 % dans la zone Scantogo, 58,25 % dans la zone Wacem et 53, 25 % dans la zone Cimaio. Les taux de carbone, de matière organique et d'azote sont plus élevés dans la zone non-exploitée. Les résultats indiquent que les sols des zones non exploitée et Scantogo sont de classe de fertilité II alors que ceux des zones Wacem et Cimaio sont respectivement de la classe de fertilité III et de la classe de fertilité II-III. Le sol de la zone Wacem prendra alors des décennies avant de se retrouver dans une même classe de fertilité que le sol de référence, sans pour autant retrouver les caractéristiques intégrales de ce dernier. Ainsi l'exploitation ordonnée, qui consiste en la reconstitution des couches initiales décapées, dans la zone de remblais, a peu d'impacts sur la fertilité du sol. C'est donc une méthode à promouvoir dans les sites d'exploitation de minerais, à ciel ouvert.

Références

- [1] - L. DIALLO, Industrie minière: enjeux et perspectives de développement durable en Afrique Subsaharienne : cas de la République de Guinée. Thèse de doctorat, Université Hassan 1er, Maroc, (2013) 448 p.
- [2] - MERF, Rapport national du Togo pour la dix-huitième session de la commission de développement durable des nations unies (CDD-18), Direction de la planification, Togo, (2010) 44 p.
- [3] - M. DJANGBEDJA, Dynamiques végétales et stratégies de restauration dans les carrières abandonnées de phosphates et de calcaire au Sud du Togo. Thèse de doctorat, Université de Lomé, Togo, (2011) 189 p.
- [4] - UNEP, Mining and sustainable development II : Challenges and perspectives, *Industry and environment*, Vol. 23, (2000) 1 - 96

- [5] - T. M. AKABZAA, J. S. SEYIRE & K. AFRIYIE, *Les effets de l'exploitation minière sur la ville d'Obuasi et ses communautés environnantes*, Third World Network -Africa, Accra, Ghana, (2007) 1 - 119
- [6] - J. A. COOKE & M. S. JOHNSON, *Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals : a review of theory and practice*, NRC in Research Press, Canada, (2001) 41 - 71
- [7] - DGSCN, Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat : résultats définitifs, Togo, (2011) 1 - 57
- [8] - DSID, Recensement National Agricole au Togo : résultats définitifs, Togo, (2015) 1 - 109
- [9] - Y. L. KOGBE, *Diagnostic environnemental pour un suivi à long terme de la mine d'exploitation des phosphates de Hahotoé —Kpogamé au sud-est du Togo*, mémoire de DESS, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, (2007) 1 - 98
- [10] - P. AFFATON, J. SOUGY & R. TROMPETTE, The Tectono-stratigraphic relationship between the upper Precambrian and Lower Palaeozoic Volta basin and the Pan-African Dahomeyides orogenics belt (West Africa), *Am. J. Sci.*, 280, (1980) 227 - 248
- [11] - M. LAMOUROUX, Carte pédologique du Togo au 1/1.000.000. Notice explicative n°34, Paris, France, (1969) 99 p.
- [12] - T. C. ADDRA, A. K. FAHEM, A. K. & T. DE JONG, *Atlas du développement régional du Togo*, PNUD/DTC/DGPD/DNCN, Lomé, Editogo/CARSEUC, (1994) 207 p.
- [13] - K. KOKOU, "Les mosaïques forestières au sud du Togo : biodiversité, dynamique et activités humaines", Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, (1998) 140 p.
- [14] - B. TOSSAH, A. TAMELEKPO, Contribution d'un système agroforestier à la restauration de la fertilité des sols de remblai de Hahotoé. INS, Togo, (1989) 1 - 15
- [15] - AFNOR, Qualité du sol. Détermination de la distribution granulométrique des particules de sol : NF X31-107. *Propriétés physiques des sols*, (2003) 1 - 20
- [16] - SDDEEMC, Mémento de l'agronome. Techniques rurales en Afrique, France, (1993) 1 - 1635
- [17] - C. SYS, E. RANST VAN, J. DEBAVEYE, F. BEERNAERT, Land evaluation, part III crop requirements, Agricultural publications-N°7, General Administration for Development Cooperation. Place du Champ de mars 5 bté 57-1050 Brussels-Belgium, (1976) 67 - 147
- [18] - D. BERTRAND, H. DANIEL & H. DJILALI, Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sol, *Terra*, (2013) 1 - 13
- [19] - E. A. TEBIE, Contribution au suivi environnemental du site du projet d'exploitation du calcaire au sud-est du Togo, Mémoire DEA, FDS. Univ. Lomé, Togo, (2012) 1 - 61
- [20] - P. D. Kombienou, O. Arouna, A. H. Azontondé, G. A. Mensah et B. A. Sinsin, Caractérisation du niveau de fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord-ouest du Bénin, *Journal of Animal & Plant Sciences*, Bénin, Vol. 25, (2015) 3836 - 3856
- [21] - R. LAL, Soil erosion on alfisol in Western Nigeria, *Geoderma*, 16 (1976) 363 - 441
- [22] - H. A. AZONTONDE, Dégradation et restauration des Terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilosableux) au Bénin. La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), *Cahiers Orstom, Série.Pédologie*, Vol. 28, N° 2, (1993) 217 - 226