

Caractéristiques Morphopédologiques et Géochimiques des Sols Brunifiés de Anikro et de Kahankro (Centre-Sud de la Côte d’Ivoire)

Yoboué Kouadio Emile

Kouadio Koffi Patrice

UFR STRM, Département des Sciences du Sol, Université Félix Houphouët-Boigny d’Abidjan Cocody, Côte d’Ivoire, Abidjan, Côte d’Ivoire

Blé Louan Odile

UFR STRM, Département des Sciences et Techniques de l’Eau et de l’Environnement (DSTEE), Université Félix Houphouët Boigny d’Abidjan Cocody, Abidjan, Côte d’Ivoire

Yao-Kouamé Albert

UFR STRM, Département des Sciences du Sol, Université Félix Houphouët-Boigny d’Abidjan Cocody, Côte d’Ivoire, Abidjan, Côte d’Ivoire

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n3p281 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p281](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p281)

Abstract

In an ecosystem where ferrallitization is the dominant pedogenetic process, brown soils of a particular character are observed. They are dominant clay texture, very often spotted, and heavily loaded in coarse elements consisting of ferromanganic nodules and concretions. This paper focuses on highlighting the morphopedological and geochemical characteristics, determining the originality of the brown soils observed at Anikro and Kahankro, in the region of Toumodi, in Côte d’Ivoire. In the field, the toposquential approach has been adopted. Soil pits have been opened and described. The samples taken were then analyzed by the triacid method in view of the determination of the content of total elements horizon by horizon. The results obtained show that the brown soils observed at Anikro and Kahankro are generally regosols and cambisols. They are subject to phenomena of reworking and rejuvenation and were affected by a phenomenon of hydromorphy at the bottom of the slope. The oxidation-reduction spots that occur in soil profiles and which predispose them to concretion are more abundant in topographic top and bottom position. Chemical analysis shows that at Anikro, the silica content decreases as the depth increases. Also, iron (Fe_2O_3) and aluminum (Al_2O_3) have an antagonistic character on the mid-slope. While at the bottom of slope, the MgO , MnO , Al_2O_3 and Fe_2O_3 contents

increase in the B_{fe}C depth horizon, with respective values of 3.6%, 2% and 20% for each of the last two. In Kahankro soils, the antagonism exists between silica and iron. Magnesium and manganese accumulate only in the surface horizons. At the lower slopes, the highest levels of iron (30%), aluminum (20%), magnesium (1.2%) and manganese (0.4%) in the Bg horizons begin with horizon A₃. These high grades are obtained due to pseudogleyic to gleyic characters of soils located at this topographic position. The various oxides measured sometimes show a dispersed character according to the locality in relation to the nature of the rock formations whose alteration has been given to the soil. The various characteristics of the soils described reveal their particular characteristics. These soils deserve to be referred to as browned soils.

Keywords: morphopedologic and geochemical characteristics, oxides, browned soils, Toumodi, Côte d'Ivoire

Resume

Dans un écosystème où la ferrallitisation est le processus pédogénétique dominant, s'observent des sols bruns présentant un caractère particulier. Ils sont à texture argileuse dominante, très souvent tachetés et fortement chargés en éléments grossiers constitués de nodules et de concrétions ferromanganiques. L'étude vise à mettre en évidence les caractéristiques morphopédologiques et géochimiques, déterminant l'originalité des sols bruns observés à Anikro et à Kahankro, dans la région de Toumodi, en Côte d'Ivoire. Sur le terrain, l'approche toposéquentielle a été adoptée. Des fosses pédologiques ont été ouvertes et décrites. Les échantillons prélevés ont été ensuite analysés par la méthode triacide en vue de la détermination de la teneur en éléments totaux horizon par horizon. Les résultats obtenus montrent que les sols bruns observés à Anikro et à Kahankro sont généralement des regosols et des cambisols. Ils sont soumis à des phénomènes de remaniement et de rajeunissement et affectés d'un phénomène d'hydromorphie en bas de versant. Les taches d'oxydo-réduction qui s'observent dans les profils de sols et qui les prédisposent au concrétionnement sont plus abondantes en position topographique de sommet et de bas de versant. Les analyses chimiques montrent que à Anikro la teneur de silice diminue lorsque la profondeur augmente, le fer (Fe₂O₃) et l'aluminium (Al₂O₃) présentent un caractère antagoniste sur le mi-versant. Alors qu'au bas de versant, les teneurs en MgO, MnO, Al₂O₃ et de Fe₂O₃ augmentent dans l'horizon de profondeur B_{fe}C, avec des valeurs respectives de 3,6%, 2% et 20% pour chacun des deux derniers. Dans les sols de Kahankro, l'antagonisme existe entre la silice et le fer. Le magnésium et le manganèse ne s'accumulent que dans les horizons de surface. Au bas de versant, les plus fortes teneurs du

fer (30%), de l'aluminium (20%), du magnésium (1,2%) et du manganèse (0,4%) dans les horizons Bg commencent par l'horizon A₃. Ces fortes teneurs sont le fait de caractères pseudogleyique à gleyique des sols situés à cette position topographique. Les différents oxydes dosés montrent quelquefois un caractère dispersé selon la localité en rapport avec la nature des formations rocheuses dont l'altération a donné le sol. Les diverses caractéristiques des sols décrits révèlent leurs caractères particuliers. Ces sols méritent d'être désignés sous le terme de sols brunifiés.

Mots-clés: Caractéristiques morphopédologiques et géochimiques, oxydes, sols brunifiés, Toumodi, Côte d'Ivoire

Introduction

Les travaux de Yao-Kouamé (2007 et 2008) présentent les sols bruns de Kahankro et de Anikro comme revêtant des particularités liées à leur individualisation. Observés dans un écosystème où la ferrallitisation est le processus pédogénétique majeur, ces sols sont caractérisés par une texture argileuse dominante, une coloration caractéristique, passant du brun foncé au brun rougeâtre, et sont relativement profonds. L'observation macroscopique des profils de sol laisse apparaître des taches d'oxydo-réduction de diverses natures. Ce sont des sols à forte charge en éléments grossiers souvent pris en masse, évaluée à plus de 60 % pour 96 % des sols à Kahankro, et 77 % des sols à Anikro. Ce qui laisse apparaître de larges étendues latéritiques, avec de nombreux blocs de cuirasses ferrugineuses s'individualisant à la surface de ces sols bruns, comme cela s'observe dans les ferralsols auxquels ils sont juxtaposés dans la zone. Tous ces caractères soulèvent la question de leur originalité, ce qui emmena Yao-Kouamé (2008) à les désigner sous le terme de « sols brunifiés » plutôt que de véritables sols bruns. Dans le souci d'élucider les manifestations chimiques susceptibles d'influencer la genèse de ces sols, le présent article s'évertue à présenter l'évolution de certains oxydes majeurs dont l'évaluation, pour comprendre la genèse, l'évolution, l'utilisation et la classification des sols est d'un intérêt indéniable (Segalen, 1965 ; Segalen et Brion, 1981 ; Duchaufour, 1995 ; Pédro, 2004). Il s'agit en effet de présenter la dynamique verticale et horizontale des oxydes de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO selon les positions topographiques de sommet, de mi-versant et de bas de versant pour comprendre le rôle joué par ces éléments dans le processus pédogénétique qui a accompagné la formation de ces sols.

Materiel et methodes

Description des Sites D'étude

L'étude a été réalisée sur les sites de Kahankro et de Anikro (Figure 1), dans la région de Toumodi en Côte d'Ivoire. Ces sites sont localisés par les coordonnées UTM ci-après :

- Kahankro : longitudes 271000-268000 m ; latitudes 727800-729200 m ;
- Anikro : longitudes 263000-259000 m ; latitudes 729500-731500 m.

Situés dans la zone de transition forêt/savane (N'guessan, 1990), les sites sont caractérisés par un climat tropical humide de type « baouléen » avec une pluviométrie annuelle moyenne générale variant de 1000 mm à 1200 mm et à quatre saisons très influencées en raison de la situation en zone transitoire.

La végétation est dominée par une savane arborée à forte densité arbustive présentant des îlots forestiers par endroits ainsi que des galeries forestières le long des cours d'eau (Véhi, 2001; Yao-Kouamé, 2008).

L'essentiel du relief, un peu accidenté, est dominé par des collines dont les plus importantes atteignent 449 m d'altitude.

Au plan géologique, l'étude se localise dans le sillon Fêttêkro-Toumodi-Hiré dont les formations font partie de celle du complexe volcano-sédimentaire du birrimien comportant des roches vertes à caractère tufacé (Yao, 1998; Yoboué *et al.*, 2010).

La pédologie est caractérisée par une juxtaposition de sols ferrallitiques (ferralsols), de sols hydromorphes (gleysols) et de sols bruns (cambisols) associés à des sols ferrallitiques à plinthites (plinthic ferralsols).

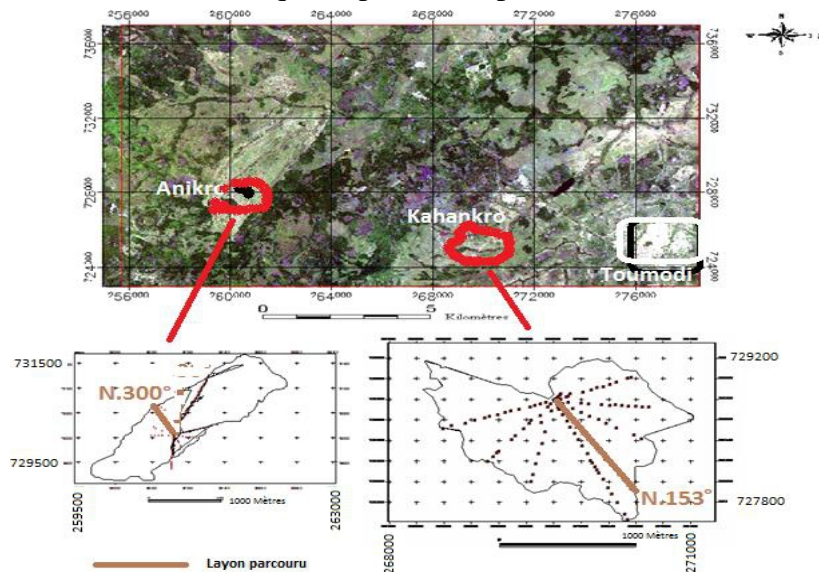


Figure 1. Localisation des sites de l'étude

Caractérisation des Sols

La prospection pédologique a été réalisée selon la méthode des toposéquences (Beaudou & Chatelin, 1977). Cette méthode consiste à étudier les sols se succédant du sommet au bas de versant d'un paysage morpho-pédologique. L'approche sur le terrain a retenu pour l'étude, des collines des localités de Kahankro et de Anikro, choisies suite à l'identification de collines de bassins versants représentatifs de la zone. Les travaux de prospection pédologique sur les sites ont débuté par la détermination, à l'aide de boussole, d'une direction azimutale, selon laquelle devrait s'ouvrir les layons. Par la suite, des layons ont été ouverts, reliant le sommet de chaque colline au talweg environnant. Ainsi, sur le site de Kahankro, la toposéquence a été orientée selon la direction N. 153°, mesurant 1050 mètres et sur celui de Anikro, elle a été orientée selon la direction N. 300° et mesurant 600 mètres. Sur ces toposéquences, les fosses pédologiques ont été ouvertes suivant les positions préférentielles de sommet, de mi de versant et de bas de versant et décrites par la suite en s'appuyant sur des critères tels que définis par le CPCS et inspirés de la méthode de Boulet *et al.* (1982) et que nous avons adapté au système WRB.

Le prélèvement des échantillons s'est fait horizon par horizon en commençant par les horizons de profondeurs jusqu'aux horizons de surface en utilisant un couteau.

Appréciation de la Distribution Verticale des Taches D'oxydo-réduction

Cette appréciation s'est faite sur le terrain par une étude horizon par horizon. Elle a consisté en l'identification des taches au sein de l'horizon et en la caractérisation de la coloration de celles-ci à l'aide du code Munsell et aussi en l'estimation de leur densité de répartition en rapport avec la surface occupée. La distribution de ces taches dans les différents profils le long de la toposéquence a été utilisée pour dresser le paysage de leur dynamique horizontale depuis le sommet de la colline jusqu'au talweg.

Analyse au Laboratoire

Les échantillons de sols ont été soumis à l'analyse géochimique au laboratoire. Cette analyse vise à déterminer les teneurs en éléments totaux (oxydes essentiellement), par attaque triacide inspirée de la méthode de Bétrémieux (1948).

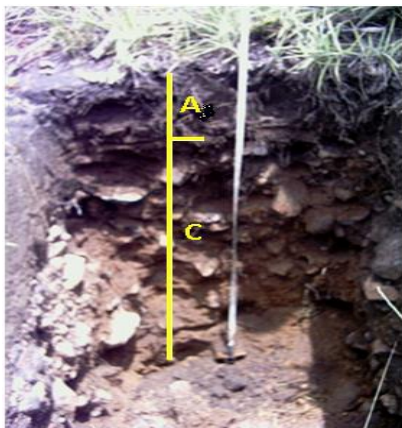
Analyse Statistique

Les données obtenues ont été traitées à l'aide des logiciels EXCEL et Statistica 7.1 avant d'être interprétées et discutées.

Resultats

Aspect Morphopédologique des Sols

A Anikro, au sommet, les sols observés sont peu évolués, de type ranker (regosol) (Figure 2), à coloration brune qui évoluent vers un sol brun (cambisol) souvent remanié et rajeuni sur le mi-versant. Les horizons de surface sont bruns (5 YR4/1 à 7,5 YR2,5/2) avec une texture limono-argileuse, tandis que ceux de profondeur sont bruns (5 YR4/1 à 2,5 YR4/3), et sont caractérisés par une texture argilo-sableuse. Ces sols comportent de nombreuses racines millimétriques, à orientation sub-horizontale, dans les horizons superficiels. Au bas de versant, ce sont des cambisols affectés d'un phénomène d'hydromorphie (gleyic cambisol). Ils sont bruns (7,5 YR2,5/1 à 10 YR5/1) en surface, avec une texture limono-sableuse ou limono-sablo-argileuse, et bruns (5 YR5/3 à 10 YR6/4) en profondeur, avec une texture argilo-sableuse.



Horizon A

0 – 10 cm (A) horizon brun (5YR 4/1), frais, humifère, texture limono-argileuse (sable fin à moyen) avec 10 à 15 % d'argile, 70 % d'éléments grossiers, structure grumeleuse, cohérente à pores millimétriques, nombreuses racines millimétriques à orientation sub-horizontale.

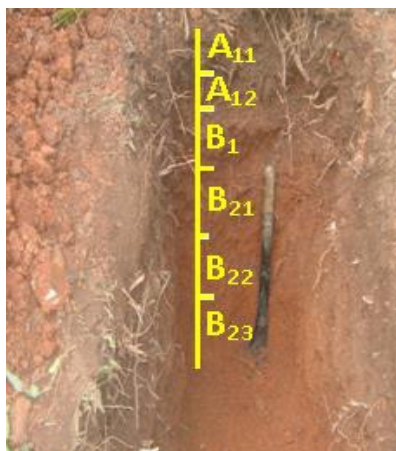
Horizon C

10 – 90 cm (C) horizon brun (5YR 5/3), frais, humifère, texture argilo-sableuse (sable moyen) avec 30 à 35 % d'argile, 80 % d'éléments grossiers, structure grumeleuse, cohérent, peu poreux, nombreuses racines millimétriques à orientation sub-horizontale.

Figure 2. Regosol de sommet ou de mi-versant à Anikro (A et C désignent les horizons de sol)

A Kahankro, les sols de sommet et du mi-versant sont des cambisols (Figure 3). Ces sols sont caractérisés par une coloration brune (7,5 YR2,5/2 à 7,5 YR3/2), avec une texture sablo-argileuse, une structure polyédrique, et par de nombreuses racines au niveau des horizons superficiels. Au niveau des horizons de profondeur, les couleurs varient du brun foncé (10 YR3/3) au brun clair (7,5 YR4/4). La texture est argilo-sableuse avec une structure polyédrique. Ce sont des horizons comportant de rares racines.

Au bas de versant, il s'agit de sols bruns, affectés d'un phénomène d'hydromorphie (gleyic cambisol). Ils sont bruns, sablo-argileux en surface et argilo-sableux en profondeur à structure massive et comportant de nombreuses racines dans les horizons de surface. Ces sols sont très souvent soumis à des phénomènes de remaniement et de rajeunissement. Cependant, ils sont beaucoup plus profonds que ceux de Anikro (Figure 4).



Horizons A : horizon organo-minéral avec des subdivisions A₁₁ et A₁₂

0 – 4 cm (A₁₁) horizon brun très foncé (7,5 YR 2,5/2), humifère, texture sablo-argileuse, structure polyédrique, très nombreuses racines millimétriques à centimétriques à orientation sub-horizontale.

4 – 15 cm (A₁₂) horizon brun très foncé (7,5 YR 3/2), humifère, texture sablo-argileuse, 57 % d'éléments grossiers, structure polyédrique sub-anguleuse, pores millimétriques, très nombreuses racines millimétriques à centimétriques à orientation sub-horizontale

Horizon B : horizon intermédiaire entre A et C, et enrichi des éléments de ces derniers

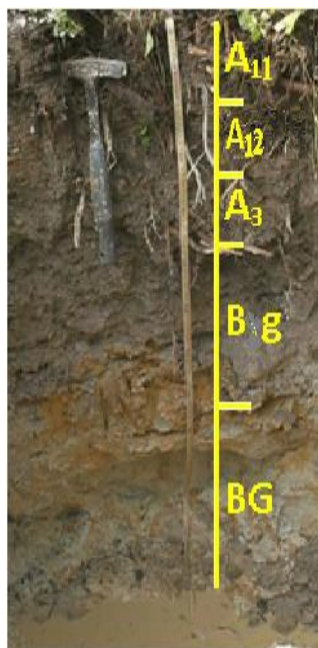
15 – 45 cm (B₁) horizon gris brun foncé (10 YR 3/3), texture argilo-sableuse, structure polyédrique, très nombreuses racines millimétriques à orientation sub-horizontale.

45 – 82 cm (B₂₁) horizon brun foncé (7,5 YR 3/3), texture argilo-sableuse, structure polyédrique sub-anguleuse, poreux, à pores millimétriques, très nombreuses racines millimétriques à orientation sub-horizontale.

82 – 103 cm (B₂₂) horizon brun foncé (7,5 YR 3/4), texture argilo-sableuse, structure polyédrique sub-anguleuse, à pores millimétriques, très nombreuses racines millimétriques, à orientation sub-horizontale.

103 – 130 cm (B₂₃) horizon brun (7,5 YR 4/4), texture argilo-limoneuse. structure polyédrique sub-anguleuse. très poreux.

Figure 3. Cambisol de mi-versant à Kahankro (A₁₁, A₁₂, B₁, B₂₁, B₂₂, B₂₃ désignent les horizons de sol)



Horizon A : horizon organo-minéral avec des subdivisions A₁₁, A₁₂ et A₃

0 – 11 cm (A₁₁) horizon tacheté (ocre 5 YR 4/6 ; gris 10 YR 4/1), humifère, texture sablo-limoneuse, structure massive, nombreuses racines millimétriques à orientation sub-horizontale

11 – 22 cm (A₁₂) horizon tacheté (ocre 5 YR 4/4 ; gris 7,5 YR 3/1 ; rouge 2,5 YR 3/4), humifère, texture sablo-argileuse, structure massive, nombreuses racines millimétriques à orientation sub-horizontale.

22 – 41 cm (A₃) horizon tacheté (ocre 5 YR 4/6 ; gris 7,5 YR 3/1), humifère, texture sablo-argileuse, structure nuciforme, quelques racines millimétriques à orientation sub-horizontale.

Horizon B à pseudo-gley

41 – 95 cm (Bg) horizon tacheté (ocre 7,5 YR 5/6 ; 5 YR 5/6 ; Gley 2,5/N), très peu humifère, texture argilo-sableuse, 70 % d'éléments grossiers avec induration, structure massive à polyédrique, cohérent, à pores millimétriques, rares racines millimétriques, à orientation sub-horizontale.

Horizon B à gley

95 – 105 cm (BG) horizon tacheté (ocre 5 YR 6/6 ; gris 5 YR 6/2 ; marron 7,5 YR 3/3 ; noir 10 YR 2/1), texture argilo-sableuse, 80 % d'éléments grossiers avec induration, structure massive à polyédrique sub-anguleux, cohérent, peu poreux, à pores millimétriques, rares racines, à orientation sub-horizontale, classe de drainage 8,5 à 9.

Figure 4. Plinthic gleyic cambisol de bas de versant à Kahankro (A₁₁, A₁₂, A₃, Bg, BG désignent les horizons de sol)

Taches D'oxydo-réduction

Sur les layons parcourus, des taches d'oxydo-réduction ont été observées dans plusieurs profils. Ces taches sont presque présentes à tous les niveaux dans les profils de la toposéquence, que ce soit à Anikro ou à Kahankro. Elles sont observées dans les profils de bas de versant, de mi-versant et de sommet, avec une distribution verticale très variée. Elles sont 2,5 YR ; 5 YR ; 7,5 YR ou 10 YR avec des variances ocre (5YR4/6), gris (7,5YR3/1 ou 10YR4/1) ou rouge (2,5YR3/4) auxquels s'ajoute le Gley 2,5/N. Les figures 5a et 5b schématisent la répartition globale de ces taches le long de la toposéquence.

- *Au bas de Versant*

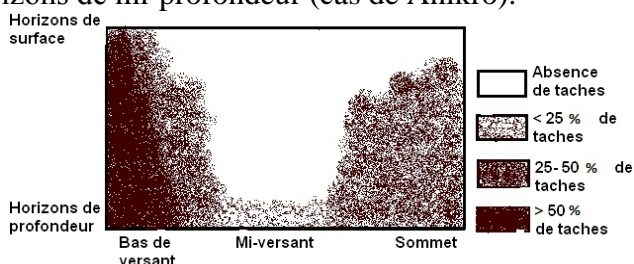
Les taches sont généralement réparties dans tout le profil, cependant, elles sont plus perceptibles jusqu'à quelques centimètres au dessous de la surface du sol. En considérant les diamètres et le nombre de ces taches, elles sont très denses lorsqu'on se rapproche du talweg.

- *A Mi-versant*

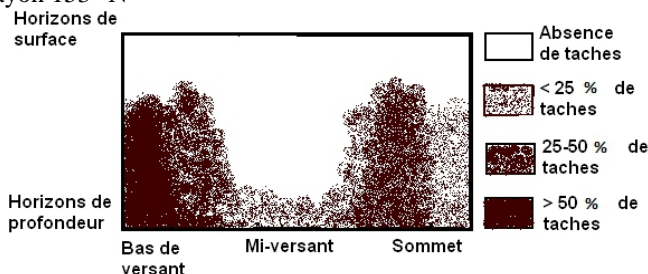
Les taches d'oxydo-réduction sont quelquefois absentes, et lorsqu'elles sont présentes, elles ne sont visibles que dans les horizons de profondeur. Elles sont de faible densité et occupent, soit les positions inférieures, soit les positions supérieures (N. 300°) de cette position topographique.

- *Au Sommet*

Dans les profils de sommet, les taches d'oxydo-réduction sont très souvent observées, elles sont plus ou moins denses et apparaissent soit dans tout le profil (cas de Kahankro), soit depuis les horizons de profondeur jusqu'aux horizons de mi-profondeur (cas de Anikro).



a - Kahankro: layon 153° N



b – Anikro : layon 300° N

Figure 5. Schémas de répartition des taches d'oxydo-réduction le long des toposéquences

Aspect Géochimique Verticale des Éléments (Oxydes) dans les Sols

Le dosage de la teneur des éléments chimiques en fonction de la profondeur permet de comprendre la dynamique verticale des oxydes SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO et MgO dans le sol.

Anikro 300° N

- Profil de sommet (à 550 m du lit du cours d'eau) : Ranker (regosol) (Figure 6).

Les courbes obtenues montrent une invariance des teneurs des différents éléments entre les horizons de la surface et ceux de profondeur. Dans ce profil, l'horizon A qui est un horizon organo-minéral, repose directement sur l'horizon C qui, lui, constitue la roche-mère du sol. Il s'agit d'un sol peu développé de type ranker (regosol) qui achèvera certainement son développement par la formation d'un sol brun. Ainsi, l'invariance des teneurs des différents éléments serait due à ce que l'horizon A formé, aurait les mêmes caractéristiques chimiques que la roche-mère du sol (horizon C). En effet, dans sa genèse, un tel sol est constamment appauvri en éléments solubles et en argiles par lessivage oblique et par érosion, si bien qu'il n'y a pas d'accumulation en tels ou tels éléments dans un horizon quelconque.

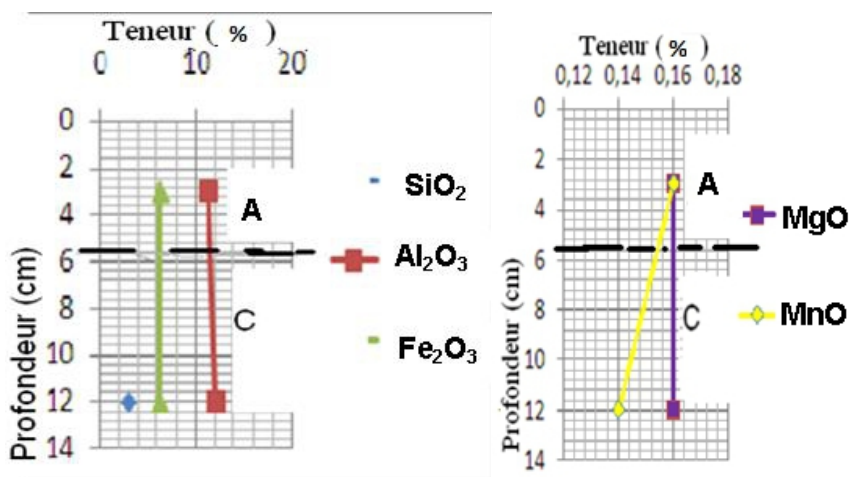


Figure 6. Dynamique verticale des éléments (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO et MnO) dans le Regosol de sommet à Anikro

- Profil de mi-versant (à 300 m du lit du cours d'eau) : cambisol (Figure 7).

Ce profil montre une très grande différence avec celui situé en amont observé précédemment. Il est plus développé, et l'horizon B qui est un horizon d'accumulation y présente différents faciès. Dans ce profil, la silice n'a pas été dosée dans l'horizon B. Cependant, vu son évolution, il est possible de supposer que la teneur de silice diminue lorsque la profondeur augmente. Le

fer et l'aluminium présentent un caractère antagoniste. La baisse de teneur de l'un étant consécutive à la l'augmentation de la teneur de l'autre. Le magnésium s'accumule dans les niveaux supérieurs de l'horizon B (B₁) (0,6 %) et quant au manganèse, sa teneur est plus élevée dans l'horizon organo-minéral A (0,3 %) et plus faible dans l'horizon d'accumulation B (0,1 %).

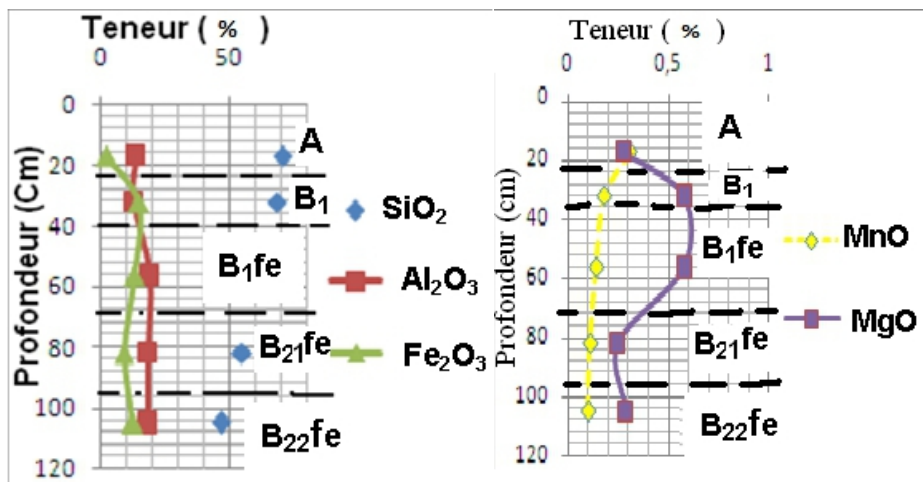


Figure 7. Dynamique verticale des éléments (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO et MnO) dans le cambisol de mi-versant à Anikro

- Profil de bas de versant (à 07 m du lit du cours d'eau) : sol brunifié, remanié, rajeuni, à faciès induré (plinthiccambisol) (Figure 8).

Dans ce profil, la silice n'a pas été dosée dans tous les horizons, cependant, sa faible teneur dans l'horizon de profondeur BfeC (49 %) se remarque aisément. Cet horizon BfeC constitue un véritable lieu d'accumulation d'éléments, puisque les teneurs des divers éléments : MgO, MnO, Al₂O₃ et Fe₂O₃ y ont augmenté. Cet horizon n'est pas véritablement riche en des éléments de la roche saine, mais plutôt en cuirasse. Ainsi, les fortes teneurs observées sont dues au fait que les horizons sus-jacents, dans ce profil, sont plus drainants et donc beaucoup plus sujets au lessivage. C'est ce qui a contribué à leur appauvrissement et à l'enrichissement des horizons sous-jacents qui présentent des cuirassements ferrugineux.

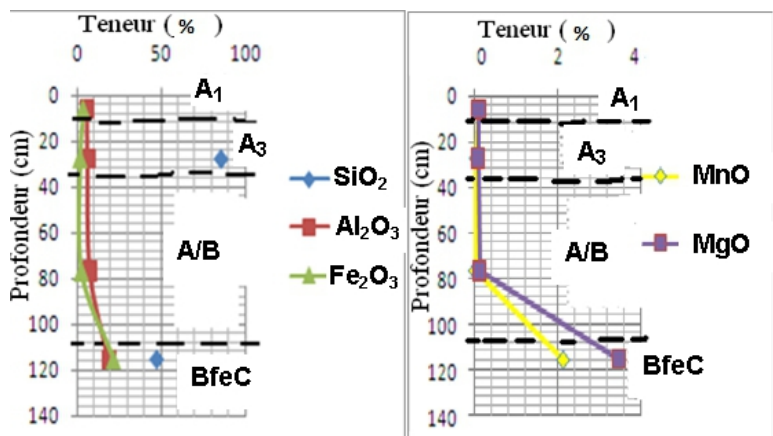


Figure 8. Dynamique verticale des éléments (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO et MnO) dans le plinthic cambisol de bas de versant à Anikro

Kahankro 153° N

- Profil de sommet (à 20 m du point de repère) : Sol brunifié, remanié, rajeuni à faible profondeur (cambisol) (Figure 9).

Les courbes d'évolution de SiO₂ et de Fe₂O₃ présentent une certaine symétrie dans leur évolution avec la profondeur. En effet, les teneurs de SiO₂ baissent dans l'horizon A₃, suivie de leur augmentation dans l'horizon A/B (55 %), qui est un horizon intermédiaire. Alors que le fer (Fe₂O₃) augmente dans l'horizon A₃ (30 %) et baisse dans l'horizon A/B (15 %). Ce qui donne l'idée d'un certain antagonisme entre ces deux éléments.

La dynamique de ces deux éléments est due au fait que, chimiquement, les fortes concentrations d'un élément contribuent parfois à une baisse de la concentration en les autres éléments. Au cours de l'altération, les différents minéraux des roches et des sols ne sont pas éliminés à la même vitesse. D'abord sont éliminés les bases (Na, K, Ca et Mg), puis les oligo-éléments (Al, Fe, Mn, Bo, Co,...) parmi lesquels l'Al est le dernier à partir.

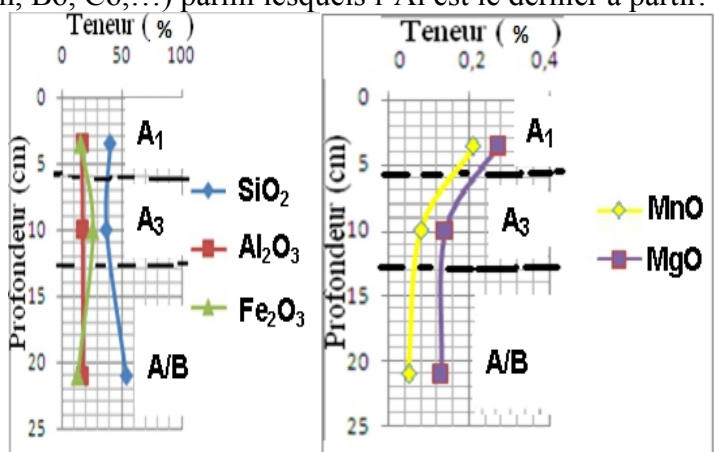


Figure 9. Dynamique verticale des éléments (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO et MnO) dans le cambisol de sommet à Kahankro

- Profil de mi-versant (à 650 m du point de repère) : sol brunifié remanié (cambisol) (Figure 10).

Dans ce profil, la dynamique des éléments est similaire à celui observé dans les profils de sommet. C'est-à-dire que le fer et la silice expriment un caractère antagoniste dans les différents horizons : lorsque la teneur de l'un augmente, celle de l'autre diminue. Les teneurs en fer diminuent légèrement de l'horizon A₁₁ à A₁₂ (49-42 %). Elles augmentent légèrement de l'horizon A₁₂ à B₁ (42-46%), et baissent progressivement dans les horizons les plus profonds (jusqu'à B₂₃) (32 %). Le fer et l'aluminium ont une tendance à l'accumulation dans l'horizon B₁, qui constitue le premier sous-horizon de l'horizon B d'accumulation. Cette accumulation proviendrait de leur élimination des horizons sus-jacents (A₁₁ et A₁₂) plus organiques. Le manganèse et le magnésium évoluent parallèlement en baisse avec la profondeur.

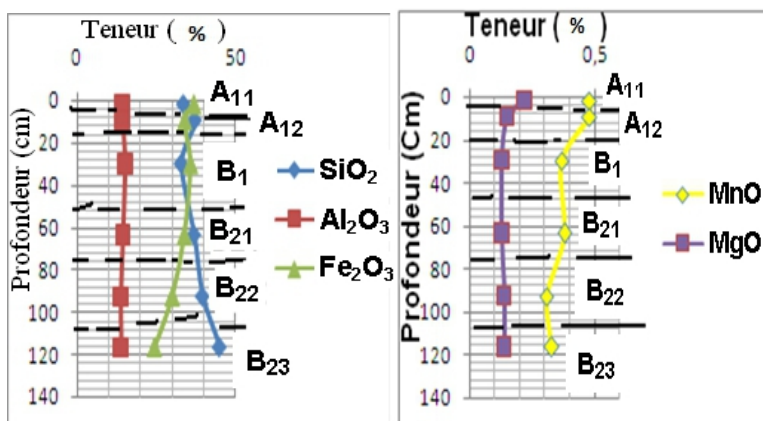


Figure 10. Dynamique verticale des éléments (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO et MnO) dans le cambisol de mi-versant à Kahankro

- Profil de bas de versant (à 1040 m du point de repère) : sol brunifié remanié, rajeuni, à faciès de gley et à début d'induration (plinthic gleyic cambisol) (Figure 11).

Dans ce profil, le fer et la silice ont des comportements identiques à ceux observés au niveau du sommet et du mi-versant : l'augmentation de la teneur de l'un entraînant la baisse de la teneur de l'autre. Ici, la très forte baisse de la teneur en SiO₂ dans les horizons A₃ et Bg est consécutive à l'augmentation de la teneur des autres éléments tels Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO et MgO dans ces horizons. Les bases, ainsi que le Fe₂O₃ et l'Al₂O₃, ont été drainés des horizons sus-jacents vers les horizons sous-jacents, pour s'accumuler dans les horizons A₃ et Bg.

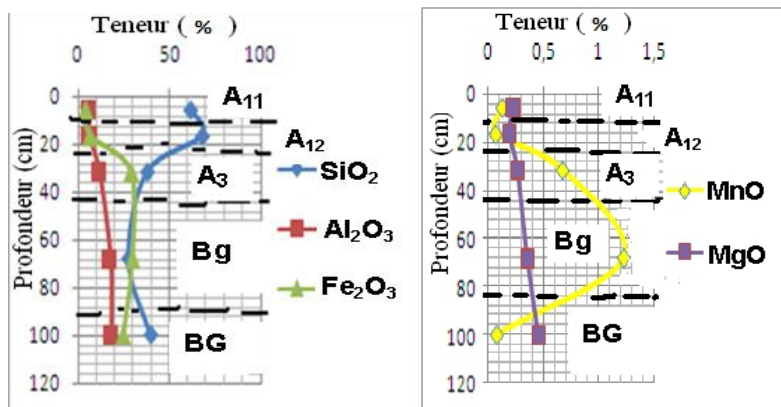


Figure 11. Dynamique verticale des éléments (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO et MnO) dans le plinthiclycambisol de bas de versant à Kahankro

Aspect Géochimique Latéral des Éléments dans les Sols Suivant la Localité

L'évolution latérale des éléments dans les sols est traduite par le tableau ci-après.

Ce tableau montre que dans les sols de sommet, le MnO et le MgO présentent des différences significatives dans les deux localités avec des moyennes respectives de 43,54 et 20,30 à Anikro contre 24,32 et 3,06 à Kahankro. Au niveau du mi-versant, c'est seulement Al_2O_3 qui présente une différence significative avec une moyenne de 13,19 à Anikro contre 20,93 à Kahankro. Au bas de versant, tous les éléments ont des moyennes significativement différentes sauf le MnO qui donne des valeurs rapprochées à Anikro (67,39) et à Kahankro (59,75). Ces particularités géochimiques montrent que les sols brunifiés de Anikro et de Kahankro ont des caractéristiques chimiques ou minéralogiques très voisines lorsqu'on se situe au sommet ou en mi-versant. Par contre au bas de versant, beaucoup plus confiné, où viennent s'accumuler éventuellement les matières organiques et minérales issues de la dégradation mécanique et/ou chimique des niveaux plus élevés, seul le MnO présente des proportions presque identiques dans les deux localités.

Tableau 1. Evolution des éléments (oxydes) dans le sol selon le niveau topographique

Sources de Variation		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO
Sol sommet	A	31,52b	20,83b	31,28b	43,54a	20,30b
	K	30,92b	21,69b	26,89b	24,32b	3,06a
Sol mi-versant	A	34,8 b	13,39a	21,65b	32 b	18,14a
	K	30,86b	20,93b	26,69b	27,41b	12,27a

Sol bas versant	A	67,49c	42,76c	61,33c	67,39c	45,32b
	K	34,42b	17,45b	28,4b	59,75c	5,90a
F		201,03**	267,21**	342,71**	865,58**	16745444
P		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Les moyennes suivies d'une même lettre, dans une même colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,01$, selon la méthode de Tukey (Wolff et Visser, 2005) * significative ; ** hautement significative (A=Anikro ; K=Kahankro)

Discussion

Aspect Morphopédologique et Taches D'oxydo-réduction

Les sols observés dans les localités de Kahankro et de Anikro sont essentiellement des sols brunifiés (Cambisol). Bien que des travaux antérieurs font état des formations pétrographiques complexes (Yoboué, 2010), les sols issus de l'altération des roches sont pratiquement les mêmes. Il est donc possible d'affirmer, avec Duchaufour (1977), Veyret et Vigneau (2002), que sous un climat donné, une même pédogenèse peut se développer sur des matériaux différents ou des pédogenèses différentes, sur un matériau semblable.

Les taches d'oxydo-réduction sont liées à la présence temporaire ou permanente d'eau dans le sol. Dans le cas des sols observés, l'hydromorphie est plus ou moins permanente, suite aux fluctuations du niveau de la nappe phréatique (cas des profils de bas de versant et de mi-versant) ou à un mauvais drainage, due à la taille et à la quantité des pores (cas des profils de sommet). Quel que soit le type d'hydromorphie, l'eau présente dans le sol, qui entraîne un déficit d'oxygène, favorise la libération du fer qui se présente sous sa forme ferreuse (Fe^{2+}). C'est cette forme du fer qui est mobilisable, et qui migre dans le sous-sol en période humide. Mais, lorsque les conditions microclimatiques du sol deviennent arides (sèches), et que le sol s'enrichit à nouveau en oxygène, le fer (Fe^{2+}) s'oxyde en prenant une forme amorphe qui se traduit par la présence de taches.

En effet, selon Assa (2005), lorsque le fer préalablement mobilisé et entraîné précipite, il forme d'abord un gel amorphe d'hydrate ferrique ($Fe(OH)^{2+}$ ou $Fe(OH)_2^+$), qui n'est plus associé à l'argile, mais plutôt à la silice colloïdale et aux acides fulviques, dont il favorise l'insolubilisation et la polymérisation en acide humique. Cette forme de fer, comparable aux allophanes dans le cas de l'aluminium, caractérise les horizons spodiques et les taches rouilles (pseudogley) dans les cas d'hydromorphie temporaire. Selon Schwertmann (1965), cette forme du fer, riche en matière organique, forme des flocons ou des granules facilement friables (peu durcis). Si la proportion de matière organique baisse par suite d'une augmentation de la

proportion d'oxyde ferrique, le fer amorphe évolue vers une forme cristalline à la faveur des phases de dessiccation du sol (forte insolation). Le fer amorphe durcit pour donner des concrétions dans lesquelles dominent la goethite et les alios ferrugineux.

Dans les sols brunifiés de Kahankro et de Anikro, la dynamique des taches d'hydromorphie observées dans les profils de sol (Figure 5) permet de dire que le phénomène de concrétionnement n'est pas direct. C'est-à-dire que le fer issu de l'altération de la roche mère n'est pas trop excessif pour qu'il prenne une forme précipitée ou concrétionnée, sans passer par une mobilisation préalable à l'état soluble ou pseudo-soluble. Le concrétionnement proviendrait donc, dans ce cas, des gels amorphes qui ont cristallisé lorsque le microclimat du sol s'est asséché. Il s'agit donc d'une cristallisation progressive telle que décrite par Duchaufour (1977). Les concrétions observées dans les sols de Kahankro sont arrondis, à surfaces lisses, mates ou brillantes (type plomb de chasse), donnant l'aspect de concrétions dites véritables selon Assa (2005). Alors qu'à Anikro, les concrétions sont souvent angulaires, à surface rugueuse, très caractéristiques de débris de zone d'accumulation absolue ou relative indurée, comme si elles provenaient du démantèlement de cuirasses anciennes, et pourtant, le cuirassement qui s'y observe est souvent autochtone comme l'a signalé Yao-Kouamé (2008).

L'observation du paysage de répartition des taches d'oxydo-réduction (Figure 5) révèle que ces dernières ne sont pas réparties de la même manière sur le long de la toposéquence. Elles apparaissent beaucoup plus en position topographique de sommet et de bas de versant qu'en position topographique de mi-versant. Sur le terrain, il est observé que les sols en position de mi-versant étaient les plus utilisés par les paysans pour leurs différentes cultures. Ainsi, il est possible de dire, en accord avec Yu *et al.* (2008), que cette répartition du paysage des taches d'oxydo-réduction, en rapport avec l'écoulement des eaux de drainage, est aussi fonction de l'utilisation des sols.

Dynamique Verticale des Oxydes dans les Sols

Dans les sols de Anikro les teneurs en oxyde de silicium diminuent lorsque la profondeur augmente (Figures 7 et 8); ce qui, selon Quantin *et al.* (1979), est un prélude à un sol peu lessivé, dans lequel le processus d'illuviation n'est pas poussé. Cela soutient l'idée selon laquelle les sols de Kahankro seraient plus évolués puisque dans ces derniers, les teneurs de silice sont élevées dans les horizons de profondeur.

Le fer (Fe_2O_3) et l'aluminium (Al_2O_3) présentent un caractère antagoniste dans le profil de mi-versant à Anikro (Figure 7). Pendant que l'organisation structurale sur le terrain fait prétendre à l'existence d'horizon B présentant des faciès ferrugineux, les données analytiques montrent plutôt des

teneurs plus élevées en Al_2O_3 . Deux cas pourraient se prêter à l'explication d'une telle situation:

- premier cas : le fer et l'aluminium provenant de l'altération des horizons sus-jacents ont migré dans les horizons sous-jacents et s'y sont accumulés dans des proportions où l'aluminium est dominant. Mais, le caractère ferrugineux observé sur le terrain serait dû au fait que c'est le fer qui colore les éléments structuraux du sol (Segalen, 1973);

- deuxième cas : le fer se serait accumulé en plus grande quantité, mais, les phénomènes de substitution isomorphique du fer par l'aluminium, notamment les oxydes de fer, sont très intenses, au point que l'aluminium est maintenant plus concentré que le fer.

La première hypothèse semble la plus plausible, puisque le phénomène de substitution évoqué n'a lieu que quand le phénomène d'altération est très poussé. Or, les faibles teneurs en silice observées dans les horizons de profondeur montrent que le phénomène d'altération est lent. Les plus fortes teneurs en oxyde d'aluminium par rapport à celles du fer traduisent donc le fait que lorsque le fer et l'aluminium sont libérés, l'aluminium migre plus vite et se retrouve dans les horizons plus profonds selon Assa (2005). C'est pourquoi, dans ces horizons de profondeur à faciès ferrugineux, la teneur en aluminium paraît supérieure à celle du fer. Mais dans le profil de bas de versant (Figure 8), les plus fortes teneurs en MgO , MnO , Al_2O_3 et Fe_2O_3 dans l'horizon de profondeur BfeC sont dues aux cuirassements observés par suite du phénomène d'oxydation qui a lieu dans ce profil à caractère hydromorphe. Cela est en accord avec les travaux de Espiau et Pedro (1980) selon lesquels, le cuirassement fait suite à la mobilisation et à la concentration de ces éléments par le moyen des jeux successifs des saisons pluvieuses et des saisons sèches.

La dynamique des différents éléments traduit le fait que ces éléments ne sont pas libérés dans le sol à la même vitesse, par suite de l'altération différentielle. De plus lorsque les éléments sont libérés, ils ne sont pas tous dotés des mêmes capacités de mobilité. Certains étant plus mobilisables ou bénéficiant d'un transport facilité par d'autres facteurs comme la matière organique.

Dans le profil de sommet de Kahankro (Figure 9), les fortes teneurs en Fe_2O_3 dans l'horizon A_3 traduisent le fait que le fer subit un processus de migration dans les horizons de surface, plus riches en matière organique, et est entraîné dans les horizons sous-jacents. Ceci est en conformité avec les études de Eyrolle *et al.* (2007). En effet, ces auteurs ont montré qu'en présence de matière organique, la migration du fer était plus accélérée par rapport à celle de l'aluminium. La baisse des teneurs en Fe_2O_3 dans l'horizon AB est due au fait que le fer n'a pas encore suffisamment migré dans ce profil, et pourrait par cela, soutenir l'idée d'un sol qui n'est pas suffisamment drainant. C'est ce que traduisent les nombreuses taches d'hydromorphie observées dans les profils

situés à cette position topographique de sommet. L'idée d'un sol peu drainant est encore soutenue par la dynamique de l'aluminium, caractérisée par une faible évolution. Cet élément a des teneurs presque invariables de la surface vers la profondeur. Or, l'aluminium, lorsqu'il est libéré, évolue plus vite que le fer, et a tendance à s'accumuler dans les niveaux plus profonds (Assa, 2005).

Dans le profil du bas de versant à Kahankro (Figure 11), les fortes teneurs en Fe_2O_3 dans les horizons A_3 et B_{1g} sont dues au caractère rédoxique de ces horizons, suite aux fluctuations du niveau de la nappe phréatique. C'est d'ailleurs cette fluctuation qui induit le caractère rédoxique manifesté par l'apparition de taches rouille dans l'horizon B_{1g} . La présence d'eau dans les horizons B_{1g} et B_g serait à la base de l'augmentation des teneurs en Al_2O_3 et en MnO , depuis les horizons superficiels jusqu'aux horizons profonds. En effet, la présence d'eau dans le sol crée un milieu anaérobique à caractère réductique favorable à la libération de l'aluminium échangeable (Al^{3+}) et du manganèse. Cet aluminium échangeable, très toxique pour les plantes (tout comme le manganèse), va subir, à la faveur de la fluctuation du niveau de la nappe selon les périodes de l'année, un phénomène d'oxydation, et donc la concentration de ces oxydes va augmenter dans les horizons à pseudogley et à gley comme montré par les études de Espiau et Pedro (1980).

Les plus fortes teneurs de MnO et de MgO , souvent observées dans les horizons de surface, pourraient s'expliquer par le fait que ces derniers sont apportés par la décomposition de la matière végétale tel que montrée par les travaux de Yangyusheng (2001).

Dynamique Latéral des Oxydes dans les Sols

Les différences observées entre les deux localités au niveau des teneurs des oxydes MgO , MnO et Al_2O_3 , respectivement au sommet et au mi-versant sont dues au caractère dispersé des teneurs en ces différents oxydes. En effet au niveau du sommet, pendant que les valeurs de MgO et de MnO varient très peu à Anikro (0,14-0,16 %), à Kahankro, ces teneurs sont très variables et donc très écartées (0,04-0,28 %). A Anikro, Al_2O_3 varie très peu ($\approx 0,12$ %) alors que à Kahankro, les teneurs sont très variables et les valeurs vont de 0,10 % à 0,2 % Ces différences de teneur pourraient s'expliquer par la nature géochimique et minéralogique des roches observées dans les deux localités ; sachant qu'elles sont variables d'un site à l'autre et très enchevêtrées selon (Yoboué *et al.*, 2010).

Au niveau du bas de versant, les différences observées seraient dues au fait que le bas de versant est un lieu de réception et donc influencés des apports d'éléments situés plus en amont. Eléments qui sont d'ailleurs différents chimiquement selon la roche originelle de chaque localité.

Conclusion

Il ressort des travaux effectués sur les sols à coloration brune de Anikro et de Kahankro que ces sols sont variables et très souvent remaniés et/ou rajeunis. Les profils de sols développés sur les roches montrent une prédisposition à la formation de nodules et de concrétions manifestées par la présence de taches d'oxydo-réduction à certains niveaux de la toposéquence. Les analyses chimiques montrent que les oxydes dosés ont des teneurs variables. Ces éléments évoluent différemment en fonction de la profondeur et selon la position topographique. Excepté le bas de versant où ils paraissent très dispersés, ces oxydes présentent un caractère presque similaire dans les deux localités.

References:

1. Assa, A.D. (2005). Précis de pédologie. A l'usage des étudiants du premier cycle des études universitaires. Editions Sciences, EDUCI n°7226, 94 p.
2. Betremieux, R. (1948). Méthodes aux réactifs triacides. In : Brumel (Ed) : << Traité pratique de chimie végétale >>, Tome II, : 87-102.
3. Beaudou, A.G. & Chatelin, Y. (1977). Méthodologie de la représentation des volumes pédologiques : typologie et cartographie dans le domaine ferrallitique africain. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, 15 (1): pp. 3-18.
4. Boulet, R., Chauvel, A., Humbel, F.X. & Lucas, Y. (1982). Analyse structurale et cartographie en pédologie. I Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., Vol.19, n°4 : 309-321.
5. Duchaufour, P. (1977). Pédogenèse et classification. Tome 1, Paris New York Barcelone Milan, collection Masson, Paris : 289-323.
6. Duchaufour, P. (1995). Pédologie. Sol, végétation, environnement. Abrégés Masson 4e édition, 324 p.
7. Espiau, P. & Pedro, G. (1980). Caractérisation du complexe d'échange des sols acides. Le taux d'acidité d'échange et sa signification pédologique sous climat tempéré. Ann. Agron., vol 31, n°4, 20 p.
8. Eyrolle, F., Lucas, Y., Melfi, A. J. & Patel-Sorrentino, N. (2007). Fe, Al and Si species an organic matter leached off a ferrallitic and podzolic soil system from Central Amazonia. Geoderma, volume 137, n° 3-4 : 444-454.
9. N'guessan, K.E. (1990). Etude de l'évolution de la végétation du « V Baoulé » (contact forêt/savane en Côte d'Ivoire) par télédétection. Télédétection et sécheresse. Ed. AUPELF-UREF, John LibbeyEurotext, Paris : 181-196.

10. Pedro, G. (2004). Caractéristiques des chapeaux de fer en milieux latéritique cuirassé. *Compte rendu géosciences*, Volume 336 : 1473-1480.
11. Quantin, P., Fernandez, C. & Tegedor, S. (1979). Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Ténérife (Île Canaries). 1ere partie : Caractéristiques morphologiques et physico- chimiques. *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., vol. XVII, n°1 : 37-46.
12. Schwertmann, U. (1965). Sur la formation de goethite et hématite à partir d'hydroxyde ferrique amorphe. In *bulletin bibliographie ORSTOM*. Tome XIII, fasc. 4-4e trimestre, 47p.
13. Segalen, P. (1965). Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale 2ème partie, les sols de la zone intertropicale humide et la genèse des produits alumineux. *Cah. ORSTOM*, Sér. Pédol., III (3) : 179-194.
14. Segalen, P. (1973). L'aluminium dans les sols. *Init.Docum.Tech. ORSTOM*, n° 22, 281 p.
15. Segalen, P. & Brion, J.C. (1981). Pédochimie. Deuxième partie. Les méthodes d'étude et d'identification des constituants minéraux des sols. *ORSTOM*, 177 p.
16. Vehi, T. (2001). Rapport annuel 2000. Direction régionale des lacs, Yamoussoukro (Tiébissou, Toumodi, Yamoussoukro), 93p.
17. Veyret & Vigneau (2002). Géographie physique. Milieu et environnement dans le système terre. A. Colin, 145 p.
18. Wolff, M. & Visser, W. (2005). Méthodes et outils pour analyse des verbalisations: Une contribution à l'analyse du modèle de l'interlocuteur dans la description d'itinéraires. *Activités*, 2 : 99 -118.
19. Yace, I. (1982). Etude géologique du volcanisme Eburnéen dans les parties centrales et méridionales de la chaîne précambrienne de Fêttékro, République de Côte d'Ivoire, Ministère des Mines, Direction de la Géologie, 150 p.
20. Yangyushen, G. C. (2001). Soil fertility in Agroforestry System of Chinese Fir and Villous Amomum in Subtropical China. *Pedosphere* 11 (4) : 341-348.
21. Yao, D.B. (1998). Lithostratigraphie et Pétrologie des formations birimiennes de Toumodi-Fêttékro : Implication pour l'évolution crustale du Paléoprotérozoïque du Craton ouest-Africain. Doctorat, Université Orléan, 191 p.
22. Yao-Kouame, A. (2007). Caractérisation physique des sols brunifiés dérivés des formations volcano-sédimentaires de Kanhankro (Toumodi) en moyenne Côte d'Ivoire. *Revue CAMES*, série A, volume 5, pp. 62-78.

23. Yao-Kouame, A. (2008). Etude des sols brunifiés dérivés des matériaux du complexe volcano-sédimentaire de Toumodi en moyenne Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'état ès-sciences Naturelles.Université de Cocody/UFR STRM,219 p.
24. Yoboue, K. E., Yao-Kouame, A. & Alui, K. A. (2010). Evolution Pédogéochimique et Minéralogique au Cours de l'altération des Formations du Complexe Volcano-sédimentaire d'Anikro et de Kahankro (Toumodi) dans le Centre-Sud de la Côte d'Ivoire. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.40 No.1 : 60 -72.
25. Yu, D.S., Shi, X.Z., Wang, H.J., Zhang, X.Y. & Weindorf, D.C. (2008). Function of soils in regulating rainwater in southern China: Impact of land uses and soils. *Pedosphere* 18 (6) :717-730.