



Available online at <http://www.ifgdg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 17(6): 2525-2535, October 2023

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Pédo-géochimie et minéralogie des sols à cuirassement sur substrat sédimentaire de Bingerville, au nord-est du district d'Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouadio Emile YOBOUE*, Bi Trazié Jérémie GALA, Marie-Paule HIEN et
Kouassi Yannick Stéphane GBOKO

*Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan Cocody.
UFR-STRM, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux.
22 BP. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.*

**Auteur correspondant ; E-mail: emileyoboue1@gmail.com / kouadio.yoboue36@ufhb.edu.ci*

Received: 08-06-2023

Accepted: 24-08-2023

Published: 31-10-2023

RESUME

Pour déterminer la dynamique pédo-géochimique du cuirassement des sols sur le bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire, des échantillons de sol et des indurations ont été prélevés à Bingerville, analysés au spectromètre à fluorescence X et au diffractomètre à rayons X. Les résultats ont révélé que les oxydes de silicium (SiO_2), de fer (Fe_2O_3) et d'aluminium (Al_2O_3) étaient les principaux constituants des sols et des formations indurées. Dans les sols et les croûtes, en plus de la silice (27-62%), il s'y observait une forte concentration de chrome (420 à 1890 ppm) dans les échantillons. Par contre dans les cuirasses, ce sont les oxydes de fer (18-57%), le nickel (80 à 108 ppm), le plomb (64 ppm) et le Cadmium (30 ppm) qui étaient les plus concentrés. Au niveau minéralogique, les sols et les indurations étaient principalement constitués du quartz (environ 70%) et d'hématite (environ 4%) pour les oxydes et de kaolinite (24-33%) pour les minéraux argileux. Les indurations observées sur substrat sédimentaire sont assimilables au niveau pédo-géochimique à celles développées sur le socle protérozoïque du Centre et du Nord de la Côte d'Ivoire mais, leurs teneurs en ETM pourraient constituer des sources de toxicité pour les populations.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Induration des sols, oxydes, ETM, diffractométrie à rayons X, spectrométrie à fluorescence X, Côte d'Ivoire.

Pedo-geochemistry and mineralogy of soil with duricrust on sedimentary substrate of Bingerville, north-east of the district of Abidjan

ABSTRACT

To determine the pedo-geochemical dynamic of soil duricrust in sedimentary basins in Côte d'Ivoire, soil samples were taken in Bingerville and analysed using an X-ray fluorescence spectrometer and an X-ray diffractometer. The results showed that oxides of silicon (SiO_2), iron (Fe_2O_3) and aluminium (Al_2O_3) were the main constituents of the soils and indurated formations. In the soils and crusts, in addition to silica (27-62%), there was a high concentration of chromium (420 to 1890 ppm) in the samples. However, in the duricrusts, iron

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

9444-IJBCS

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i6.30>

oxides (18-57%), nickel (80 to 108 ppm), lead (64 ppm) and Cadmium (30 ppm) were the most concentrated. Mineralogically, the soils and indurations were mainly composed of quartz (around 70%) and hematite (around 4%) for the oxides and kaolinite (24-33%) for the clay minerals. The indurations observed on sedimentary substrates are comparable at the pedo-geochemical level to those developed on Proterozoic bedrock in central and northern Côte d'Ivoire, but their TME content could be a source of toxicity for local populations.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords : Soils induration, oxides, TME, X-ray diffractometry, X-ray fluorescence spectrometry, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Le cuirassement est un phénomène causé par l'individualisation d'un horizon induré suite à la migration différentielle des matériaux contenus dans les sols ou les roches, par le biais des réactions physico-chimiques et biologiques caractéristiques de certains pédoclimats (Grandin et Delvigne, 1969 ; Bohi, 2010). En Côte d'Ivoire, les études antérieures faisaient observer les cuirassements que sur les sols formés sur socle cristallin (Yao-Kouamé et al., 2008 ; Koffi et al., 2016 ; Yoboué et al., 2019). Cependant suite à des récents travaux d'aménagement, des phénomènes de cuirassement ont été observés et décrits par Yoboué et al. (2021) dans la commune de Bingerville, sur des formations sédimentaires. Ces auteurs indiquent les aspects pédopaysagiques concourant au cuirassement ainsi que les caractères morpho-pédologiques des sols susceptibles de cuirasser et suggèrent des études pédo-géochimiques en vue de mettre en évidence les manifestations chimiques au cours de la formation de ces cuirasses. Il s'agit d'une étude qui prendra en compte les caractéristiques chimiques et minéralogiques des sols et des cuirasses afin d'établir une relation entre le cuirassement observé en milieu sédimentaire du Sud et celui observé sur socle protérozoïque du Centre et du Nord de la Côte d'Ivoire. Dans le souci d'apporter une réponse à ces préoccupations, le présent travail se fixe pour objectif de déterminer la composition en oxydes majeurs et des éléments traces métalliques (ETM) ainsi que la composition minéralogique des indurations et des sols observés sur le bassin sédimentaire à Bingerville, au Nord-Est du district d'Abidjan.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Zone d'étude

Bingerville est situé en zone côtière de la Côte d'Ivoire à l'Est de la ville d'Abidjan et est repérable aux coordonnées N05°21' et W03°54'. Les coordonnées des sites parcourus durant cette étude sont présentées dans le Tableau 1.

C'est une zone caractérisée par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses dont le maximum (700 mm) est atteint au mois de Juin avec une moyenne de 266 mm de pluie. Comme dans toutes les régions du Sud de la Côte d'Ivoire, Bingerville est en zone forestière avec la particularité d'abriter quelques étendues de savanes (Guillaumet et Adjahoun, 1971) mais de nos jours, elle subit une forte pression foncière suite à une urbanisation galopante. Le relief de Bingerville est caractéristique des hauts plateaux qui lui donne d'être principalement drainé par les lagunes Aghien et Ebrié.

La géologie de Bingerville est celle du bassin sédimentaire de la Côte d'Ivoire et est essentiellement constituée de sables argileux, des argiles noires, des argiles sableuses et des sables micros conglomératiques (Bruguière et Schmid, 1947 ; Tagini, 1971 ; Akobé et al., 2020)

Du point de vue pédologique, les grands groupes de sols observés à Bingerville sont les Ferralsols et les Cambisols, présentant quelques fois des indurations, auxquels s'ajoutent des Gleysols, des pseudo-Podzols et des Arenosols (Leneuf, 1968 ; Kouamé et Zorro, 2010 ; Yoboué et al., 2021).

Matériel utilisé

Sur le terrain, un GPS de marque Garmin a été utilisé pour le positionnement, un

couteau de pédologue et des marteaux et massettes ont servi au prélèvement des échantillons de sols et des indurations. Au laboratoire, un spectromètre à fluorescence X (XRF) de marque Niton XL3 a été utilisé pour les analyses chimiques et un diffractomètre de rayons X (DRX) de marque Siemens 5005 a été utilisé pour l'étude minéralogique. Les analyses ont porté sur un total de 30 échantillons de sols et d'indurations (croûtes et cuirasses) prélevés sur l'ensemble des 5 sites d'étude.

Méthodes

Choix des sites et échantillonnage

Le choix des sites d'échantillonnage a été basé sur la présence de tranchées conservant le mieux la structure du sol, sur l'observation de phénomènes d'induration et sur la dispersion des sites. Les sites couvrant les Ferralsols de Santai, de Marie-Thérèse et de Brégbo ainsi que, les Cambisols des cités Iris (Yoboué et al., 2021), ont été à cet effet retenus pour leur susceptibilité aux indurations et échantillonnés. Ainsi, un total de 23 échantillons de sols, de croûtes et de cuirasses a été prélevés sur les différents sites pour les analyses au XRF. Pour les analyses aux DRX, un total de 7 échantillons ont été prélevés et se composent comme suit :

- 2 échantillons à la cité Iris dont un échantillon de sol et un échantillon de croûte ;

- 2 échantillons à Brégbo dont un échantillon de sol et un échantillon de croûte ;
- 3 échantillons à Marie-Thérèse dont un échantillon de cuirasse en plus d'un échantillon de sol et d'un échantillon de croûte.

Méthodes d'analyse des échantillons

Une analyse totale au spectromètre à fluorescence X (XRF) a été effectuée sur les 23 échantillons de sols, de croûtes et de cuirasses prélevés sur les différents sites. Chacun des échantillons a subi un traitement de type Mining et de type Soil à raison de deux répétitions (R_1 ; R_2). Les teneurs de chaque élément sont obtenus en partie par million (ppm) et ensuite converties en pourcentage d'oxydes. Pour déterminer les évolutions minéralogiques qui ont prévalu au cours des indurations des sols, une analyse a été effectuée au diffractomètre de rayons X (DRX), à l'état naturel, sur les 7 échantillons composés. Ces échantillons ont subi un traitement mécanique avant d'être placés sur un porte-échantillon et introduits dans un diffractomètre pendant 45 minutes. Les valeurs de 2 θ (2Θ) et des différentes intensités liées aux piques des différents minéraux ont été enregistrées à l'aide d'un ordinateur et les minéraux caractéristiques ont été déchiffrés par le biais du logiciel Match.3.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des différents points de prélèvement par site.

| Profils | Altitudes (m) | X (UTM) | Y (UTM) |
|--------------------------------------|-----------------------|---------|---------|
| | Site Iris 1 | | |
| Profil de sol du milieu de versant | 31 | 399794 | 592405 |
| Profil de sol du bas de versant | 24 | 399814 | 592444 |
| | Site Iris 2 | | |
| Profil de sol du bas de versant | 29 | 399444 | 592059 |
| Profil de sol du haut de versant | 43 | 399457 | 592319 |
| Croûte du haut de versant | 42 | 399580 | 592124 |
| | Site de Santai | | |
| Profil du haut de versant | 56 | 401069 | 593144 |
| | Site de Marie-Thérèse | | |
| Profil du milieu de bas de versant | 18 | 400946 | 590807 |
| Profil du bas de versant | 4 | 400943 | 590656 |
| | Site de Brégbo | | |
| Profil du bas de versant | 10 | 407730 | 586811 |
| Profil du milieu de bas de versant | 13 | 407728 | 587593 |
| Cuirasse du milieu de bas de versant | 18 | 407701 | 587330 |

RESULTATS

Concentrations totales en oxydes majeurs de Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , MnO

Les teneurs relatives des sols et des indurations en oxydes de fer (Fe_2O_3), en oxyde de titane (TiO_2), en oxydes d'aluminium (Al_2O_3), en silice (SiO_2) et en oxydes de manganèses (MnO) sont traduites par les Figures 1 à 3.

Sur le site de Iris 1 les teneurs des sols en SiO_2 , en Fe_2O_3 et en Al_2O_3 sont observées avec des proportions respectives de 47,05% ; 36,37% et 14,27%. Les teneurs en TiO_2 et en MnO sont les plus faibles et évaluées à 1,92% et 0,39% (Figure 1). A Iris 2, les teneurs en oxydes sont aussi plus élevées dans les sols en SiO_2 (54,50%) et en Al_2O_3 (15,83%) que dans les croûtes ($\text{SiO}_2= 42,77\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3=13,27\%$) où le Fe_2O_3 (42,38%) est plus élevé que dans le sol (26,66%) (Figure 1).

A Santai, les teneurs en SiO_2 (62,70%) sont plus élevées dans les sols que celles en Fe_2O_3 (18,85%) et en Al_2O_3 (15,06%) qui elles-mêmes sont plus élevées que les teneurs en TiO_2 (2,91%) et en MnO (0,48%). Dans les croûtes, c'est plutôt la teneur en Fe_2O_3 (41,39%) qui est plus élevée, suivie de celle en SiO_2 (36,91%), en Al_2O_3 (18,87%), en TiO_2 (2,29%) et en MnO (0,53%) (Figure 2). Les variations des teneurs en oxydes observés à Brégbo sont similaires à celles observées à Santai. Les sols et les indurations sont très riches en silice et en oxydes de fer qu'en oxydes d'aluminium, de titane et de manganèse (Figure 2). On assiste dans tous les cas à une augmentation du taux de fer lorsqu'on passe des sols aux croûtes (18,85 à 41,39% à Santai et 32,54 à 48,35% à Brégbo).

Les résultats obtenus à Marie-Thérèse présentent, respectivement dans les sols, les croûtes et les cuirasses, des teneurs très variables en silice, en fer et en aluminium.

Dans les sols, le taux de silice (62,7%) enregistré est supérieur à celui des formations indurées de croûtes (41,2%) et de cuirasses (27,93%). Alors que les teneurs en fer dans les formations indurées de croûtes (41,75%) et de cuirasses (57,73%) sont très élevées et

largement au-dessus de celles contenues dans les sols (18,85%) (Figure 3).

Sur l'ensemble des sites, on remarque un enrichissement en fer dans les indurations au dépend de la silice.

Éléments traces métalliques (Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Zn)

Dans les sols et les formations indurées de Iris et de Santai, les teneurs en chrome (Cr) observées sont plus élevées que celles des autres éléments tels que le nickel (Ni), le zinc (Zn) et le plomb (Pb). Les teneurs des autres ETM (Cd, Cu) y sont beaucoup plus faibles voire nulles. A Santai, les croûtes sont beaucoup plus riches en chrome (610 ppm) que les sols dont les teneurs sont estimées à 420 ppm (Figure 4).

A Marie-Thérèse, les teneurs en ETM sont similaires à celles observées à Iris avec des teneurs plus élevées en chrome (Cr) que le nickel (Ni), le zinc (Zn) et le plomb (Pb) dans les sols et dans les croûtes. Cependant dans les cuirasses, il est constaté une absence du chrome (Cr) avec des teneurs assez importantes en plomb (64 ppm), en cadmium (30 ppm) et en nickel (108 ppm). A Brégbo, les sols contiennent des ETM dont la teneur la plus importante observée est celle du Chrome (690 ppm). Par contre, les cuirasses observées dans cette zone ne contiennent que du nickel (80 ppm) (Figure 5).

Nature minéralogique des sols et des formations indurées

L'étude minéralogique appliquée aux sols et aux croûtes des Cambisols et Ferralsols observés sur les sites, présente principalement, le quartz (SiO_2), l'hématite (Fe_2O_3), la goethite (FeHO_2) et la kaolinite ($\text{Al}_2\text{H}_4\text{O}_9\text{Si}_2$). Le quartz est caractérisé par sa raie principale $3,34\text{\AA}$ à 2θ égal à 26,64 degrés. Mais aussi, par les raies $4,25\text{\AA}$ à 2θ égal à 21 degrés, $2,46\text{\AA}$ à 2θ égal à 36,5 degrés, $2,28\text{\AA}$ à 2θ égal à 39,5 degrés, $1,82\text{\AA}$ à 2θ égal à 50,2 degrés et $1,52\text{\AA}$ à 2θ égal à 60 degrés. L'hématite est identifiée par les raies $2,29\text{\AA}$ à 2θ égal à 33,30 degrés, la raie $2,51\text{\AA}$ à 2θ égal à 36 degrés, la raie $1,69\text{\AA}$ à 2θ égal à 54 degrés et par la raie $1,45\text{\AA}$ à 2θ égal à 64 degrés. La goethite présente les raies

2,45Å à 2θ égal à 36,7 degrés et la raie 2,69Å à 2θ égal à 33,22 degrés. Quant à la kaolinite, elle a pu être identifiée grâce à sa raie caractéristique 7,15Å à 2θ égal à 12,36 degrés et par ses raies secondaires 4,25Å à 2θ égal à 21 degrés, 3,57Å à 2θ égal à 25 degrés et la raie 2,28Å à 2θ égal à 40 degrés. A ces minéraux s'ajoute aussi la chromite ($Al_{0,506}Cr_{1,188}Fe_{0,944}Mg_{0,299}Mn_{0,011}O_4Ti_{0,036}V_{0,014}Zn_{0,002}$) identifiée par sa raie 1,25Å à 2θ égal à 75,70 degrés (Figure 6).

A Marie-Thérèse, la cuirasse présente les mêmes minéraux que ceux contenus dans les sols et dans les croûtes. Il s'agit du quartz (SiO_2), de l'hématite (Fe_2O_3), de la goethite ($FeHO_2$) et de la kaolinite ($Al_2H_4O_9Si_2$). Cependant, à ces minéraux s'ajoute un carbonate de plomb, la cérusite ($CCa_{0,001}O_3Pb$), identifiée par les raies 1,56 et 1,50 Å respectivement à 2θ égal à 59 et 61,67 degrés (Figure 7).

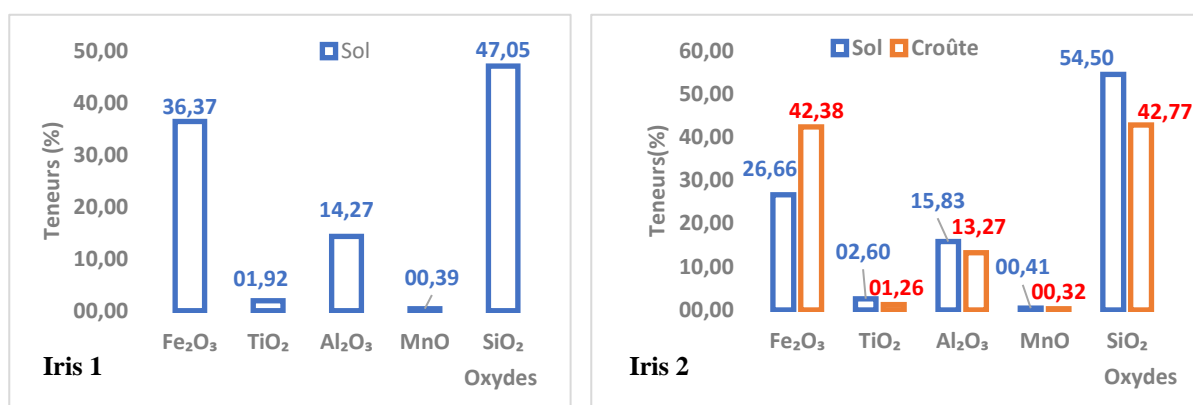


Figure 1 : Teneurs en oxydes dans les sols de Iris 1 et de Iris 2.

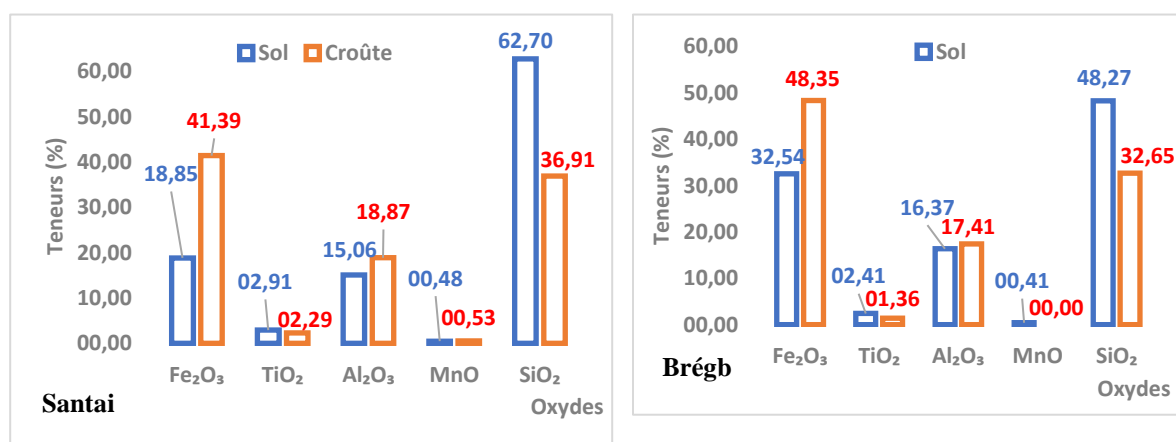


Figure 2 : Teneurs en oxydes dans les sols et indurations de Santai et de Brégb.

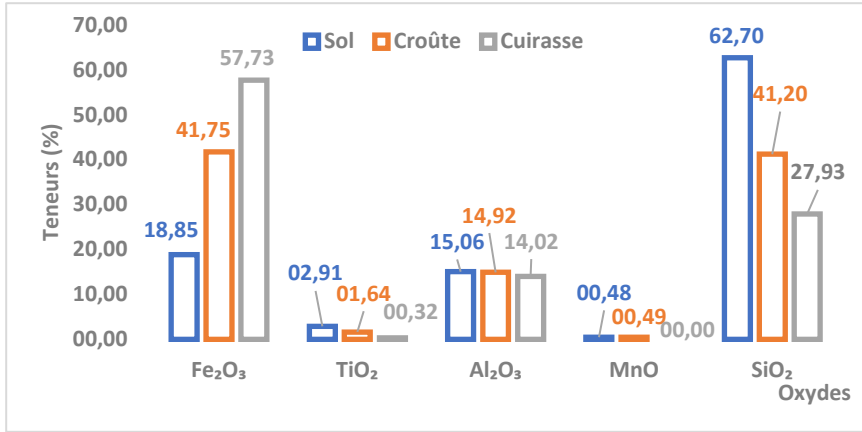


Figure 3 : Teneurs en oxydes dans les sols et indurations de Marie-Thérèse.

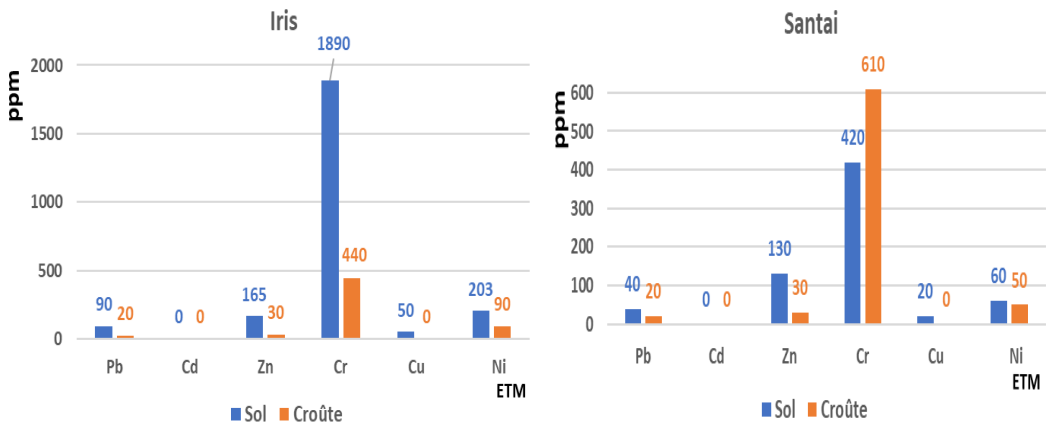


Figure 4 : Teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans les sols et indurations de Iris et de Santai.

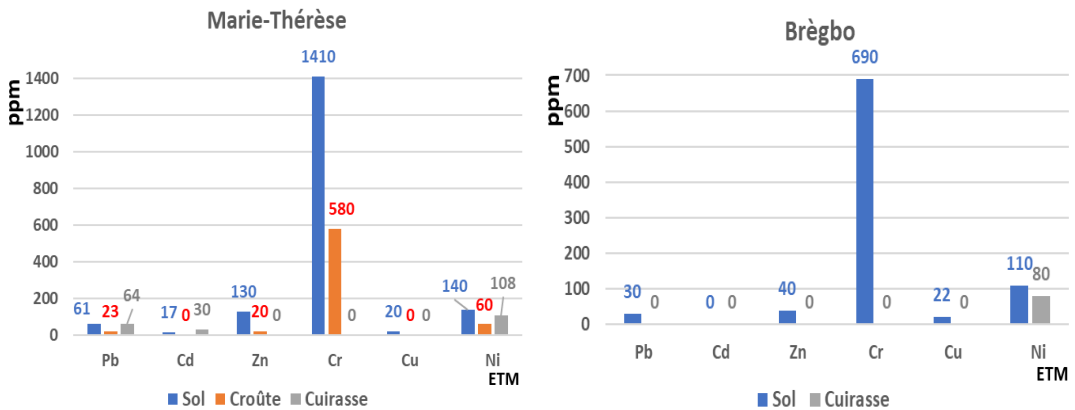


Figure 5 : Teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans les sols et indurations de Marie-Thérèse et de Brèbo.

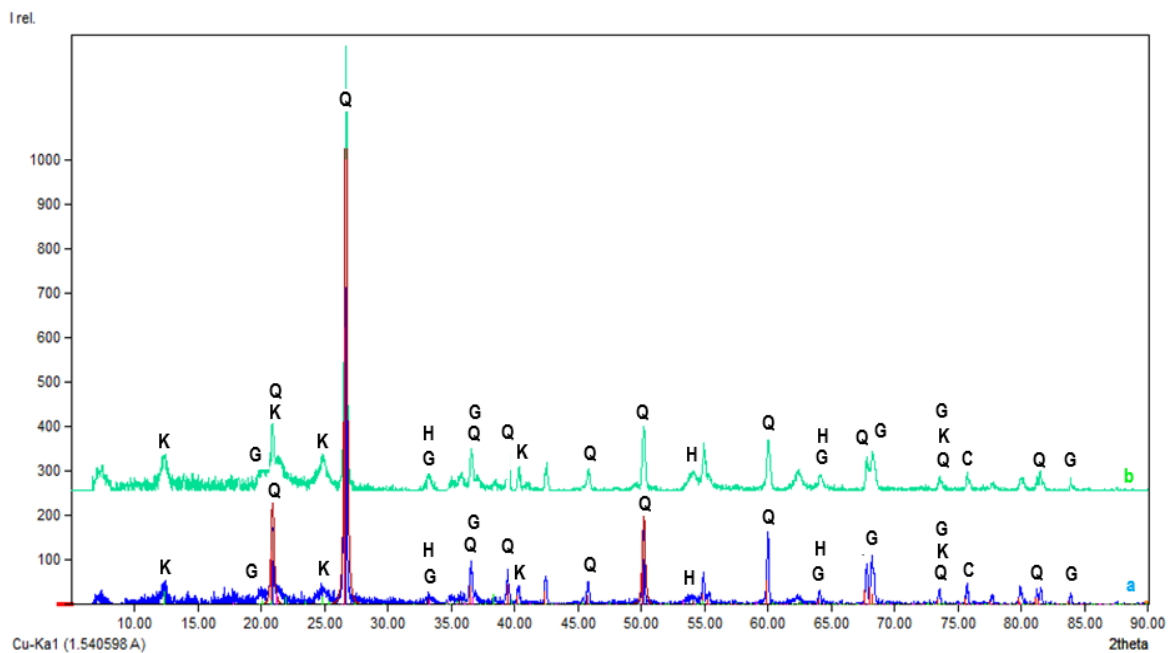


Figure 6 : Diffractogrammes de rayons X comparés des sols (a) et des croûtes (b).
Q=quartz, K=kaolinite, H=hématite, G=goethite, C=chromite.

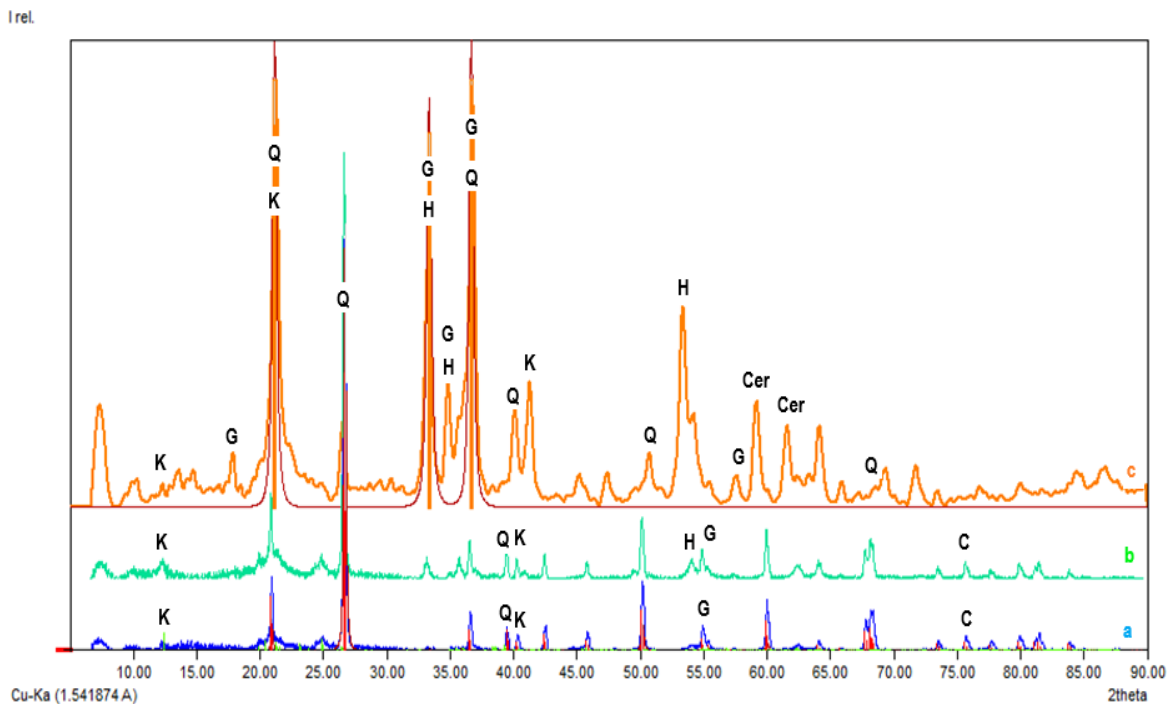


Figure 7 : Diffractogrammes de rayons X comparés des sols (a), des croûtes (b) et des cuirasses (c) de Marie-Thérèse. Q=quartz, K=kaolinite, H=hématite, G=goethite, C=chromite, Cér=césurite.

DISCUSSION

Les analyses chimiques révèlent que les oxydes majeurs des sols et des formations indurées de Bingerville sont la silice (SiO_2), l'oxyde de fer (Fe_2O_3), l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), l'oxyde de titane (TiO_2) et l'oxyde de manganèse (MnO). La prépondérance de ces oxydes dans les matériaux traduit un niveau très évolué des sols selon Targulian et Krasilnikov (2007) et Du Gardin (2015). Ces oxydes sont dominés par la silice (SiO_2), l'oxyde de fer (Fe_2O_3), l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) dont les teneurs sont très variables selon qu'il s'agit des sols ou des indurations. La prédominance de ces oxydes montre que ces sols sont affectés par la ferrallitisation même quand ils présentent un caractère dominant de Cambisol comme cela a été mis en évidence par Yoboué et al. (2014) dans les sols brunifiés de Toumodi. Les teneurs en oxydes d'aluminium ont peu varié des sols aux indurations tandis que les teneurs de la silice ont diminué des sols aux indurations au profit de l'oxyde de fer qui s'accumulent davantage dans les indurations. Cette tendance à l'augmentation du fer dans les indurations traduit une ferruginisation lors des indurations comme l'ont observé Yoboué et al. (2019) sur des sols à plinthites de Djékanou. Il y a d'abord eu une période de mobilisation du fer, suivie d'une autre période suffisamment longue et sèche pour provoquer sa concentration, conduisant à une induration au cours du processus pédogénétique. Par ailleurs, la présence de grès et de hardgrounds observés sur les sites par Yoboué et al. (2021) traduit qu'il y a eu de fortes périodes de variabilités climatiques dans la zone. L'augmentation de la teneur en oxyde de fer dans les indurations est caractéristique du cuirassement qui affecte les Cambisols et les Ferralsols observés à Bingerville comme notifié par Yoboué et al. (2021).

Au niveau des ETM, les éléments les plus exprimés sont le Chrome (Cr), le Nickel (Ni), le Zinc (Zn) et le plomb (Pb). Le Cadmium (Cd) et le Cuivre (Cu) étant en de très faibles proportions (Figure 4 et 5). La présence de ces ETM en milieu sédimentaire de Bingerville vient en appui aux travaux effectués par

Coulibaly et al. (2011) dans la baie de Biétry où ces éléments ont été mise en évidence dans un milieu confiné. Ces éléments se retrouvent à la fois dans les sols et dans les formations indurées à des teneurs très variées qui sont fonction des roches mères, du type de sol, de son degré d'évolution et des teneurs en argiles selon Baize (1997), Gandois et al. (2010) et Ibrahim et al. (2019). Dans notre cas, les observations ont été effectuées sur des Cambisols et des Ferralsols comportant des croûtes et des cuirasses ferrugineuses. Ces croûtes et cuirasses sont aussi riches en oxydes et hydroxydes de fer tels que l'hématite et la goethite susceptibles de fixer des ETM. En effet, selon Villanneau et al. (2008), N'guessan et al. (2009), bien que pouvant provenir des activités humaines, ces ETM sont aussi des substances naturelles souvent adsorbés fortement sur les oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse.

La présence de ces ETM dans les sols et les indurations peut constituer des sources de toxicité pour les organismes vivants des sols et partant, pour l'homme comme l'ont montré Touré et al. (2017). Ainsi, en comparant les teneurs moyennes de ces ETM à celles des normes internationales selon Baize, (1997), Tremel- Schaub et Feix, (2005) et Mpundu et al. (2013), certains se sont avérés trop importants dans les sols et/ou les indurations de Bingerville. C'est le cas notamment du Cr (420 à 1890 ppm), du Ni (50 à 400 ppm) et du Cd (17 à 30 ppm) alors que les normes AFNOR U44-41 ne tolèrent que des moyennes allant de 100 à 150 ppm pour le Cr, 40 à 50 ppm pour le Ni et 2 ppm pour le Cd. La forte teneur en Cd est observée dans les sols et les cuirasses de Marie-Thérèse alors que quasiment absent dans les matériaux des autres localités. Cette forte concentration en Cd dans les cuirasses pourrait être liée aux propriétés d'échange d'ions et de complexation des oxydes de fer comme l'ont montré les travaux de Serpaud et al. (1994).

L'étude minéralogique associée aux analyses chimiques révèle principalement quatre (4) minéraux que sont le quartz (SiO_2), l'hématite (Fe_2O_3), la goethite (FeHO_2) et la kaolinite ($\text{Al}_2\text{H}_4\text{O}_9\text{Si}_2$). La prépondérance de ces minéraux confirme avec les données de la

chimie que les sols sont très évolués comme l'ont montré certains auteurs comme Targulian et Krasilnikov (2007), Du Gardin (2015) et Lin et al. (2023). Les sols, ainsi que les formations indurées contiennent pratiquement les mêmes types de minéraux, seulement, en des proportions variées selon le matériau et selon l'origine. C'est ce qui explique la superposition quasi-parfaite des diffractogrammes des sols et des croûtes (Figure 6). La présence de la chromite, marqué par le pic $1,25\text{\AA}$ à 2θ égal 75 degrés, pourrait aussi expliquer les fortes teneurs en chrome obtenues en analyse chimique. Les cuirasses observées à Marie-Thérèse présentent en plus des pics caractéristiques du quartz, de l'hématite, de la goethite et de la kaolinite, certains autres pics. C'est le cas de la cérusite ($\text{CCa}_{0,001}\text{O}_3\text{Pb}$), identifiée par les raies 1,56 et 1,50 \AA respectivement à 2θ égal à 59 et 61,67 degrés. La présence de ce minéral pourrait aussi justifier les fortes teneurs en plomb dans les cuirasses.

Conclusion

L'étude pédo-géochimique des sols et des indurations observées à Bingerville révèle que ces matériaux contiennent majoritairement la silice (SiO_2), les oxydes de fer (Fe_2O_3) et les oxydes d'aluminium (Al_2O_3) auxquels s'ajoutent les oxydes de titane (TiO_2) et de manganèse (MnO). Cette composition chimique proviendrait de leurs compositions minéralogiques assez variées en quartz (SiO_2), en hématite (Fe_2O_3), en goethite (FeHO_2) et en kaolinite ($\text{Al}_2\text{H}_4\text{O}_9\text{Si}_2$), révélées au DRX. Ces caractéristiques chimiques et minéralogiques sont similaires à celles des phénomènes de cuirassement des sols constatés en milieu protérozoïque de Côte d'Ivoire et témoigne de leur niveau d'évolution très élevé. Ces sols contiennent aussi des ETM tels que le Cr, le Ni, le Cd, le Pb, le Zn et le Cu, en des teneurs très variées, qui parfois sont très élevées et susceptibles de provoquer des phénomènes de toxicité. Cette suspicion de toxicité interpelle quant à l'utilisation des sols et des indurations dans les activités humaines de cette localité.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs de cet article déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt en rapport à ce travail.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Tous les auteurs ont activement contribué à la conception de cet article. KEY est l'auteur principal. Il a défini les protocoles de recherche sur le terrain et au laboratoire ; M-PH et KYSG ont suivis les analyses de laboratoire et ont apporté un soutien technique; BTJG a corrigé le manuscrit et dirigé le travail.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient très sincèrement les autorités locales de la ville de Bingerville ainsi que, tous ceux qui ont lu et amélioré la qualité de ce manuscrit.

REFERENCES

- Akobé AC, Amani EM, Assale FP, Fea I, Monde S, Aka K, Digbehi ZB. 2020. Caractérisation petro physique des grès d'âge crétacé de la marge d'Abidjan du bassin sédimentaire offshore de Cote d'Ivoire (zone Abidjan-Adiaké). *International Journal of Current Research.*, **12**(12) : 15320-15329. DOI: <https://doi.org/10.24941/ijcr.40035.12.2020>
- Baize D. 1997. *Teneurs Totales en Eléments Traces Métalliques dans les Sols (France)*. INRA Editions : Paris ; 408 p.
- Bohi ZPB. 2010. Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : cas de la région de l'Agneby (Côte d'Ivoire). Thèse Ecole des Ponts ParisTech, 144 p.
- Bruguière JM, Schmid M. 1947. Rapport sur la prospection pédologique de la concession de l'IRHO à Lamé (Cote d'Ivoire) et Bingerville (Cote d'ivoire), 15 p.
- Coulibaly AS, Monde S, N'guessan AY, Aka K. 2011. Spéciation chimique des éléments traces métalliques dans un environnement lagunaire confiné : la baie de Bietry. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(6) : 2543-2556. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.33>

- Du Gardin B. 2015. Dynamique hydrique et biogéochimique d'un sol à porosité bimodale : Cas des systèmes ferralsols-podzols d'Amazonie. Presse académique francophone, (French Edition)-July 20, 2015, 500p.
- Gandois L, Nicolas M, VanderHeijden G, Probst A. 2010. The importance of biomass net uptake for a trace metal budget in a forest stand in north-eastern France. *Science of the Total Environment.*, **408**(23) : 5870-7. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.07.061
- Grandin G, Delvigne J. 1969. Les cuirasses de la région birmanne volcano-sédimentaire de Toumodi : jalons de l'histoire morphologique de la Côte d'Ivoire. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, série D*, **269**(16) : 1474-1477.
- Guillaumet J-L, Adjanohoun E. 1971. La végétation de la Côte d'Ivoire. In *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Avenard J-M, Eldin M, Girard G. et al. Mémoires, (50) : 161-263.
- Ibrahim OZ, Dan-Badjo AT, Guero Y, Idi FMM, Feidt C, Sterckeman T, Echevarria G. 2019. Distribution spatiale des éléments traces métalliques dans les sols de la zone aurifère de Komabangou au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13**(1): 557-573. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.43>
- Koffi AS, Fora AA, Elbelrhiti H. 2016. Cartographie de l'état du couvert végétal du nord de la côte d'ivoire à partir d'images satellites : Exemple de la zone de Korhogo. *European Scientific Journal*, **12**(29) : 204-213. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n29p204>
- Kouamé NF, Zorro B. 2010. Nouveau découpage de la zone de la forêt dense humide de la Côte d'Ivoire. *Sciences et Nature.*, **7**(2) : 177-194. DOI : 10.4314/scinat.v7i2.59962
- Leneuf N. 1968. Les bordures sédimentaires du Golfe de guinée. *ORSTOM, Série Géologie.*, **5**(2) : 155-157.
- Lin J, Xiang W, Zhan Y. 2023. Comparison of magnetite, hematite and goethite amendment and capping in control of phosphorus release from sediment. *Environ Sci Pollut Res.*, **30** : 66080-66101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27063-5>
- Mpundu MM, Useni SY, Mwamba MT, Kateta MG, Mwansa M, Ilunga K, Kamengwa KC, Kyungu K, Nyembo KL. 2013. Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols de différents jardins potagers de la ville minière de Lubumbashi et risques de contamination des cultures potagères. *Journal of Applied Biosciences* **65**: 4957-4968. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v65i0.89622>
- N'guessan YM, Probst JL, Bur T, Probst A. 2009. Trace elements in stream bed sediments from agricultural catchments (Gascogne region, S-W France) : Where do they come from?. *Science of the Total Environment*, **407**(8, 1) : 2939-2952. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.047>
- Serpaud B, Al-Shukry R, Casteignau M, Matejka G. 1994. Adsorption des métaux lourds (Cu, Zn, Cd et Pb) par les sédiments superficiels d'un cours d'eau : rôle du pH, de la température et de la composition du sédiment. *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science.*, **7**(4) : 343-365. DOI : <https://doi.org/10.7202/705205ar>
- Tagini B. 1971. Esquisse structurale de la Côte-d'Ivoire. Essai de géotectonique régionale. Thèse de Doctorat, Université de Lausanne. Bulletin, SODEMI (5), 302 p.
- Targulian VO, Krasilnikov PV. 2007. Soil system and pedogenetic process : Self-organizatio, time scales, and environmental significane. *Catena.*, **71**(3): 373-381. DOI: 10.1016/j.catena.2007.03.007
- Touré M, Tiho S, Ehouman NM, Kpan Kpan KG. 2017. Distribution et structure des

- communautés de vers de terre et leur corrélation avec des éléments traces métalliques (ETM) le long des bordures de l'autoroute du Nord en Côte-d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(5): 2277-2293. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.26>
- Tremel-Schaub A, Feix I. 2005. Contamination des sols : transferts des ETM des sols vers les plantes. EDP Sciences/ADEME. 156 p.
- Villanneau E, Perry-Giraud C, Saby N, Jolivet C, Marot F, Maton D, Floch-Barneaud A, Antoni V, Arrouays D. 2008. Détection de valeurs anormales d'éléments traces métalliques dans les sols à l'aide du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols. *Etude et Gestion des Sols.*, **15**(3) : 183-200. DOI : https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_15_3_villanneau.pdf
- Yao-Kouamé A. 2008. Etude des sols brunifiés dérivés des formations volcano-sédimentaire de Toumodi en moyenne Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'état ès Sciences naturelles, Université de Cocody/UFR STRM, 210 p.
- Yoboué KE, Bongoua-Devisme AJ, Kouadio KP, Yao-kouamé A. 2014. Minéralogie de la fraction argileuse des sols brunifiés de Kahankro et Anikro (Toumodi) dans le Centre Sud de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(3) : 1269-1280. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.40>.
- Yoboué KE, Kouakou CH, Akotto OF, Yao-Kouamé A. 2019. Etude des variations des teneurs de quelques oxydes de deux types de sols à plinthites observés à Yébouékro (Djékanou) dans le centre-sud de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13**(2) : 1180-1192. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.46>
- Yoboué KE, Kouakou KJ, Gala Bi TJ, Savadogo RJ-B. 2021. Appréciation des effets de quelques facteurs pédopaysagiques sur le cuirassement des sols sur substrat sédimentaire à Bingerville, dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **37** : 32-43. https://revist.net/REVIST_37/3-ST-776.pdf