

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

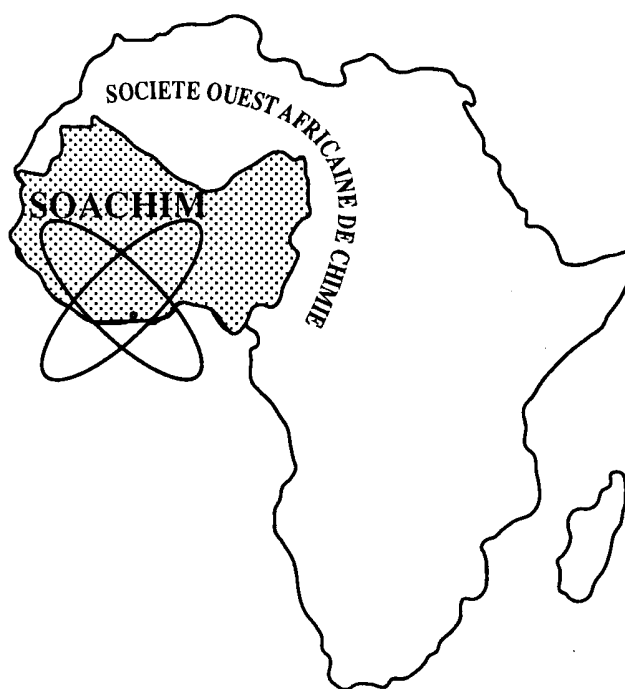
J. Soc. Ouest-Afr. Chim.

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

ISSN 0796-6687

16^e Année, Juin 2011, N° 031



Site Web: <http://www.soachim.org>

Etude d'une argile locale du Burkina Faso à des fins de décontamination en Cu^{2+} , Pb^{2+} et Cr^{3+}

Brahima Sorgho¹, Samuel Paré^{2*}, Boubié Guel³, Lamine Zerbo¹,
Karfa Traoré¹, Ingmar Persson⁴

1. Laboratoire de Physico-Chimie et de Technologie des Matériaux (LPCTM), U.F.R –SEA/Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

2. Laboratoire de chimie organique structure et réactivité (LCOSR), U.F.R –SEA/Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

3. Laboratoire de Chimie Physique et d'Electochimie (LCPE), U.F.R –SEA/Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

⁴Department of Chemistry, Swedish University of Agricultural Sciences, Box 7015, 75007 Uppsala, Sweden

(Reçu le 10/05/2011 – Accepté après corrections le 23/06/2011)

Résumé : Des études sur la qualité des eaux souterraines et de surfaces au Burkina Faso ont révélé un niveau élevé de contamination de ces ressources par les métaux lourds, notamment dans le milieu urbain et aux alentours des mines. La présence de ces métaux est principalement due aux activités anthropiques liées à l'industrie, l'agriculture ou encore aux émissions gazeuses. Cela pose un problème énorme pour la santé de la population et pour l'environnement. Nous avons étudié la capacité d'élimination des cations Cu^{2+} , Pb^{2+} et Cr^{3+} par une argile naturelle du Burkina Faso dénommée KORO. La caractérisation minéralogique de l'argile par diffraction au rayon X montre qu'elle renferme de la montmorillonite, du quartz, de l'albite, de l'illite, de la kaolinite, de la goethite et de l'orthose. Le pH_{pzc} de l'argile est de 7,31 avec une concentration totale des charges de surface $\Sigma \text{SOH}^+_{\text{tot}}$ de $5,11 \cdot 10^{-4}$ mol/l. L'étude de l'élimination des cations par l'argile en fonction du pH montre que dans une solution aqueuse de concentration respective de 0,06 mol/l, 0,048 mol/l et 0,096 mol/l en Cu^{2+} , Pb^{2+} et Cr^{3+} , plus de 96,76 %, 96,59 % et 100 % respectivement de ces cations sont éliminés aux pH suivants : 8,5 pour Cu^{2+} , 8,4 pour Pb^{2+} et 5,96 pour Cr^{3+} . Plus de 52,7 %, 96 % et 86 % de l'élimination des cations Cu^{2+} , Pb^{2+} et Cr^{3+} respectivement sont attribuables aux phénomènes d'adsorption par la formation de complexes internes de surface sur l'argile. En plus de l'adsorption, le reste est éliminé soit par précipitation des hydroxydes de ces métaux, soit par d'autres mécanismes de complexation.

Mots clés : Métaux lourds, pH_{pzc}, Argile, Potentiométrie

Study of locale mixed clay from Burkina Faso for the removal of Cu^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+}

Summary : Water and wastewater studies in Burkina Faso have revealed high levels of heavy metals in most streams and other water bodies particularly within urban areas and mining society's area. The metals are produced and released by anthropogenic source during industrial and agricultural activities, and also in vehicular emissions. These metals may pose serious threats to both human health and the environment. This study investigated the potential of natural mixed clay, KORO, from Burkina Faso, in removing, Cu^{2+} , Pb^{2+} , and Cr^{3+} cations from aqueous solutions using batch equilibrium technique. Qualitative mineralogical characterisation of the clay by XRD revealed that the clay contains montmorillonite, quartz, albite, illite, kaolinite, goethite and orthose. pH_{pzc} for the clay, as determined by potentiometric titrations, was 7.31. pH metal sorption dependence of the clay revealed that for an aqueous solution of 0.06 mol/l, 0.048 mol/l and 0.096 mol/l respectively in Cu^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+} removal of 96.76 %, 96.59 % et 100 % respectively are obtain at the following pH: for Cu^{2+} at pH 8.5, pH 8.4 for Pb^{2+} and pH 5.96 for Cr^{3+} . More than 52.7 %, 96 % et 86 % of the removal of Cu^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+} are attributable to adsorption on the clay while the remaining, hydroxides precipitation as well as complexation phenomenon may contribute to the removal of the heavy metal cation. Inner sphere complex formation is expected.

Keywords: Heavy metals, pH_{pzc}, clay, Potentiometric

* Auteur correspondant : Samuel Paré : Tel.0022678713167 ; email : samuel.pare@univ-ouaga.bf

1. Introduction

Les terres argileuses, abondantes au Burkina Faso, sont largement utilisées par les populations locales pour des besoins divers. Des travaux récents relatifs à l'étude des caractéristiques chimiques et minéralogiques de quelques argiles du Burkina Faso ainsi qu'à leurs applications possibles dans la poterie, les matériaux de constructions utilisant des techniques traditionnelles et leur perméabilité sont publiés dans la littérature^[1-4]. Cette matière première, beaucoup utilisée dans l'artisanat, la céramique, l'habitat, et la médecine^[5,6] est aussi connue pour sa capacité d'élimination des métaux lourds par adsorption spécifique et échange cationique^[7]. Cependant, l'application de cette matière première à des fins de décontamination des eaux contaminées n'est pas encore répandue au Burkina Faso.

La contamination de l'environnement par les métaux toxiques est actuellement un problème majeur^[8]. Les ressources en eaux du Burkina Faso (eaux de surfaces et eaux souterraines) sont confrontées à une pollution due à la croissance démographique et au développement industriel^[9, 10]. Ces polluants sont en grande majorité des métaux lourds produits par des activités anthropiques (rejets industriels, les produits chimiques agricoles)^[10 - 12]. Ces polluants, très toxiques, ont un impact certain sur la santé humaine, animale et végétale^[13,14]. Le besoin de disposer des ressources en eaux, préservées de toute menace toxique, ne cesse de croître dans la société.

L'utilisation des argiles pour la dépollution des eaux contaminées par les métaux lourds, requiert une bonne connaissance de leur caractéristique minéralogique, de leur capacité d'échange cationique (CEC), de leur surface spécifique (S_s) et du mécanisme d'élimination de ces éléments. Plusieurs travaux antérieurs à travers le monde ont montré que des

minéraux argileux de smectite^[15], de montmorillonite^[16 - 18], de bentonite^[19 - 21], d'illite^[22,23], de vermiculite^[16], de kaolinite^[24] ou encore de sépiolite^[25,26] ont des capacités d'adsorption des métaux lourds dans les effluents et les eaux contaminées. Récemment, des études conduites sur des mélanges d'argiles naturelles^[27] ont montré leur efficacité pour l'élimination de certains ions dans des solutions aqueuses. Le paramètre le plus important, contrôlant l'adsorption des métaux lourds relevé dans la littérature est le pH.

Dans cette étude, une argile naturelle du Burkina Faso, dénommée KORO, est caractérisée par la diffraction aux Rayons X (DRX). L'étude a également porté sur la détermination de la capacité d'échange cationique, les propriétés acido-basiques de l'argile par dosage potentiométrique et enfin sur l'adsorption du cuivre (II), du plomb (II) et du chrome (III) par l'échantillon argileux en fonction du pH.

2. Matière première et Méthodes expérimentales

2.1. Matière première

La carrière à ciel ouvert du site argileux de Koro, de coordonnées géographiques 11,15° latitude nord et 04,18° longitude ouest, est située à 15 km de Bobo-Dioulasso dans la région des Hauts-Bassins (**Figure 1-a**). La superficie de ce gisement d'argile est estimée à 25 Km².

Du point de vue géologique, le site argileux de Koro est entièrement situé dans le domaine birimien et plus précisément sur des granites leucocrates à biotite. Ces granites constituent incontestablement le matériau originel qui par altération donne les argiles sus-jacentes^[28]. La Photo (**figure 1-b**) indique que l'argile a une couleur rouge-brune avec des points blanchâtres parsemés.

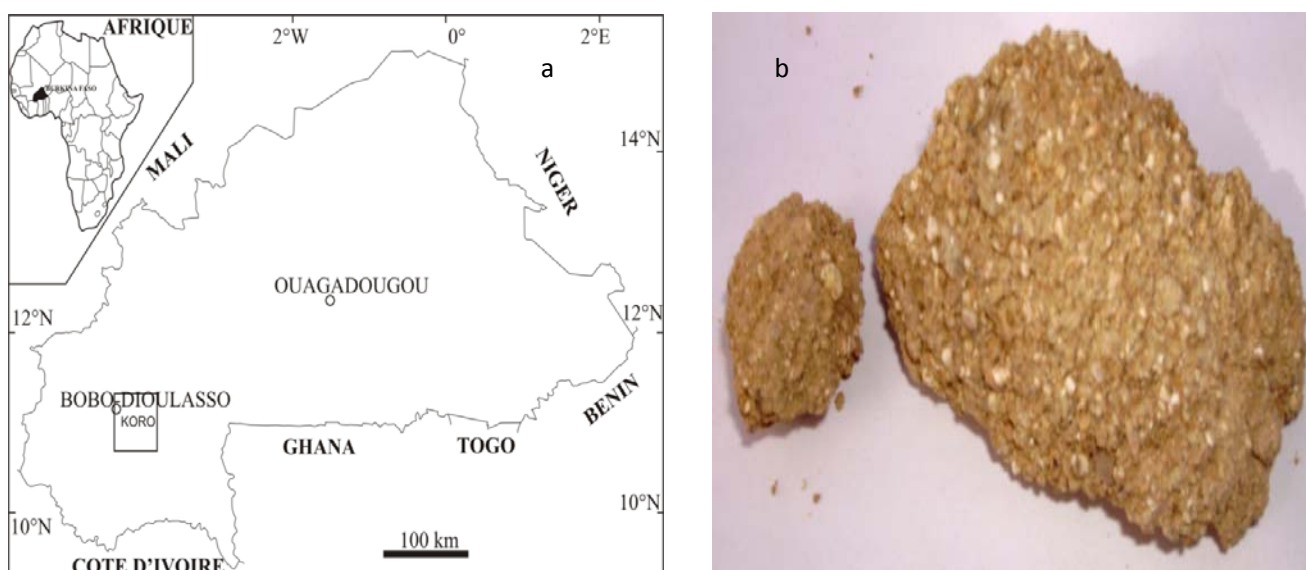


Figure 1 : a- Localisation du site de prélèvement de l'argile de Koro ; b- image photo d'un échantillon d'argile prélevée dans la localité de Koro.

2.2. Méthodes expérimentales

2.2.1. Caractérisation de la matière première

Les phases cristallines ont été identifiées par diffraction au rayons X sur des poudres avec un diffractomètre Brüker D5000 à monochromateur arrière en graphite, fonctionnant sous une tension de 40 kV et une intensité de 50 mA avec la radiation $\text{CuK}\alpha$ comme source de rayonnement et piloté par un ordinateur muni du logiciel Diffracplus D version 2.2.

L'analyse chimique élémentaire de l'échantillon a été faite par ICP. Après mise en solution dans un four à micro-onde par les acides fluorhydrique (HF) et acide nitrique (HNO_3), les éléments sont dosés à l'aide d'une ICP/AES-IRIS.

La Capacité d'Echange Cationique (CEC) est déterminée en utilisant la méthode des isothermes d'adsorption du bleu de méthylène^[29] d'une part et la méthode au complexe d'éthylène diamine de cuivre^[30] d'autre part.

La surface spécifique (S_s) est déterminée à partir des isothermes

d'adsorption du bleu de méthylène sur l'argile. Elle est calculée en utilisant la relation (1) :

$$S_s = M_f \cdot A_m \cdot N \text{ (m}^2\text{/g)} \quad (1)$$

M_f : quantité en milliéquivalent (mék) de bleu de méthylène adsorbée par 100 g d'argile ; elle représente la capacité d'échange cationique (CEC), déterminée au point où la courbe de l'isotherme d'adsorption cesse d'être linéaire (**figure 2**).

A_m : surface occupée par une molécule de bleu de méthylène (130 Å)

N : nombre d'Avogadro

Les valeurs de S_s et de CEC de l'argile KORO déduites à partir des isothermes d'adsorption (**Figure 2**) d'une part, et par la méthode au complexe d'éthylène diamine d'autre part, sont consignées dans le **tableau I**. Les valeurs de la CEC obtenues avec les deux (2) méthodes sont similaires.

La surface spécifique (S_s) déterminée à partir de la CEC de KORO par la méthode des isothermes d'adsorption du bleu de méthylène et de la formule (1) est de 323,77m²/g.

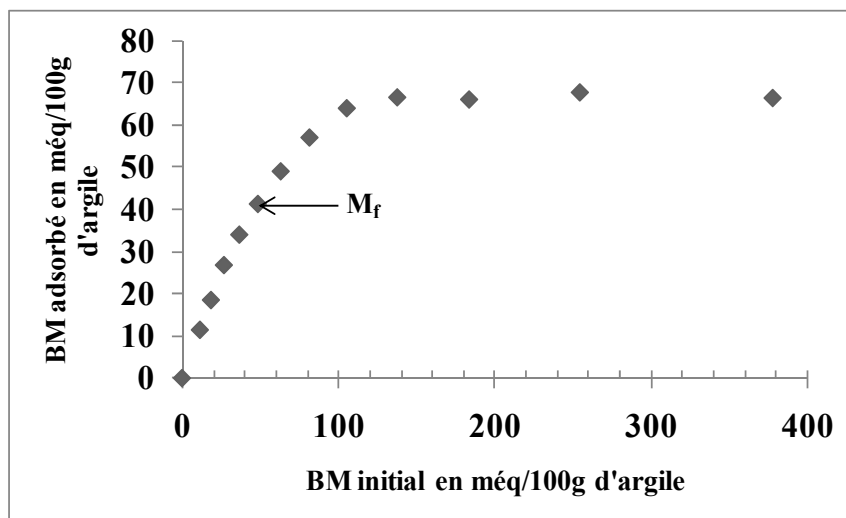


Figure 2 : Isotherme d'adsorption du bleu de méthylène de l'échantillon KORO

Tableau I : Valeurs de la CEC et de la S_s de l'argile KORO

Méthode	Bleu de méthylène	Ethylène diamine de cuivre
CEC (méq/100g d'argile)	41,35	42,38

La composition minéralogique est déterminée en couplant les résultats de la diffraction des rayons X avec ceux de l'analyse chimique élémentaire. Les résultats sont obtenus en utilisant la formule décrite par Njopwouo et Orliac^[31].

2.2.2 Titrage potentiométrique

Le titrage potentiométrique de la suspension de l'argile KORO (6 g/l) a été fait selon le protocole décrit par Sajidu et al.^[27]. La solution NaNO_3 0,1 mol/l est utilisée comme électrolyte support. Un échantillon de 50 mL de la suspension d'argile est titré avec 21,8 $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ d'acide nitrique. Le titrage s'effectue par ajout successif de 0,1 mL d'acide nitrique au moyen d'un Dosimat titrator Metrohm 665, le volume final ajouté étant de 20 mL. A chaque ajout, après l'équilibre de la solution,

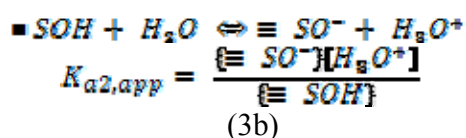
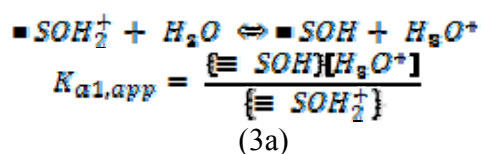
le pH est mesuré par une électrode combinée de pH type Ross Sure Flow Orion N° 8172 reliée à un pH-mètre de marque Orion 940. La suspension est stabilisée et homogénéisée à l'aide d'un agitateur magnétique, et couverte par du papier parafilm pour éviter la formation de carbonate au contact du dioxyde de carbone de l'air lorsque le pH de la suspension est supérieur à 6. Un titrage sur une nouvelle suspension est fait à l'aide d'une solution de 20,0 $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de NaOH.

Au contact avec l'eau, les sites d'adsorption de la surface de l'argile notée SiOH peuvent être déprotonés SiO^- ou protonés SiOH_2^+ . Pour des solutions acides, ce processus d'adsorption et de désorption de protons est rapide sur les surfaces d'oxyde hydraté et l'équilibre est atteint en quelques minutes. Par contre il est

un peu plus lent dans les solutions alcalines. La concentration totale de sites acide/base actifs $\{ \equiv \text{SOH} \}_{\text{tot}}$ peut s'exprimer par la relation suivante :

$$\{ \equiv \text{SOH} \}_{\text{tot}} = \{ \equiv \text{SOH}_2^+ \} + \{ \equiv \text{SOH} \} + \{ \equiv \text{SO}^- \} \quad (2)$$

$\equiv \text{SOH}_2^+$ est considéré comme un acide diprotoné avec les constantes de dissociations suivantes :



La concentration totale de sites acide/base actifs $\{ \equiv \text{SOH} \}_{\text{tot}}$ est déterminée à partir de la relation (4) tandis que les concentrations de charges de surface $[Q]$ après chaque ajout de 0,1 ml d'acide sont calculées par la relation (5) :

$$\{ \equiv \text{SOH} \}_{\text{tot}} = \frac{V_e(\text{ml}) \cdot C_a \left(\frac{\text{mol}}{\text{ml}} \right)}{V_{\text{tot}}(\text{ml})} \quad (4)$$

$$[Q] = \{ \equiv \text{SOH}_2^+ \} - \{ \equiv \text{SO}^- \} \quad (5)$$

Avec V_e le volume d'acide nécessaire pour combler l'ensemble des sites de surface, V_{tot} le volume total, somme du volume V_e et du volume de la suspension et C_a , la concentration totale des ions H_3O^+ dans la suspension après ajout du volume V_e .

Les valeurs des pK_a apparents ($pK_{a1,\text{app}}$ et $pK_{a2,\text{app}}$) et du nombre de protons par site noté Z , déterminé par la relation (6) permettent d'accéder aux valeurs des pK_a intrinsèques ($pK_{a1,\text{intr}}$, $pK_{a2,\text{intr}}$) et du pH

au point de charge nulle (pH_{ZPC}) par la relation (7).

$$Z = \frac{[Q]}{\{ \equiv \text{SOH} \}_{\text{tot}}} \quad (6)$$

$$pH_{\text{ZPC}} = \frac{pK_{a1,\text{intr}} + pK_{a2,\text{intr}}}{2} \quad (7)$$

2.2.3. Préparation des solutions de Cuivre, du Plomb et du Chrome

Les solutions de cuivre (II), de plomb (II) et de chrome (III) de concentration respectives 1,25, 1,00 et 2,00 mmol/l ont été préparées à partir des sels de nitrate (grade AR) contenant moins de 0,5% d'impureté : sel de cuivre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, sel de plomb $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ et sel de chrome $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dans de l'eau désionisée et filtrée par milli-pore. Pour chaque métal, douze (12) tubes de solutions de pH compris entre 1 et 12 ont été préparés à partir de 7,5 ml de NaNO_3 (0,1 mol/l), de 2,5 ml de suspension de l'argile KORO (6 g/l) et de 0,5 ml de solution du métal. Le pH des solutions est ajusté en ajoutant une quantité appropriée d'acide (21,8 mmol/l de HNO_3) ou de base (20,0 mmol/l de NaOH). Les mélanges sont ensuite agités pendant 48 h et centrifugés pendant 15 min à 3000 RPM avec une centrifugeuse de marque KUBOTA KS-5200C. Après centrifugation, on recueille 3 à 4 ml du surnageant qu'on acidifie avec quelques gouttes d'acide nitrique concentré pour éviter une hydrolyse. La concentration résiduelle du métal dans le surnageant est analysé par un spectromètre d'absorption atomique de marque Perkin Elmer AAnalyst 100. Le pH du surnageant restant est noté comme étant le pH d'équilibre de la solution. Le rendement d'adsorption d'un métal R (%) est déterminé par la relation suivante :

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) \times 100 \quad (8)$$

Où C_0 est la concentration initiale et C la concentration finale du métal en solution.

3. Résultats et discussion

3.1. Diffraction au rayon X

L'analyse du diffractogramme des Rayons X de l'argile KORO (**figure 3**) indique qu'elle est composée de montmorillonite

$((Al_{1,67}Mg_{0,33})Si_4O_{10}(OH)_2Na_{0,33})$, de quartz (SiO_2), d'albite (Si_3AlO_8Na), d'illite

$((K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2)$, de kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), de goéthite ($FeO(OH)$) et d'orthose ($KAlSi_3O_8$)^[31].

L'analyse de la composition chimique (**tableau II**) indique que la silice et l'alumine sont les oxydes majeurs dans l'échantillon KORO. Le rapport massique SiO_2/Al_2O_3 de l'argile KORO est d'environ 2,82. Cette valeur, supérieure à celle des kaolins purs qui est de 1,1 environ^[33], suggère la présence de silice libre et d'autres minéraux argileux. La teneur en oxyde de fer est assez importante dans ce matériau. D'après la littérature^[33 - 35], le fer se trouverait sous forme d'oxy-hydroxydes.

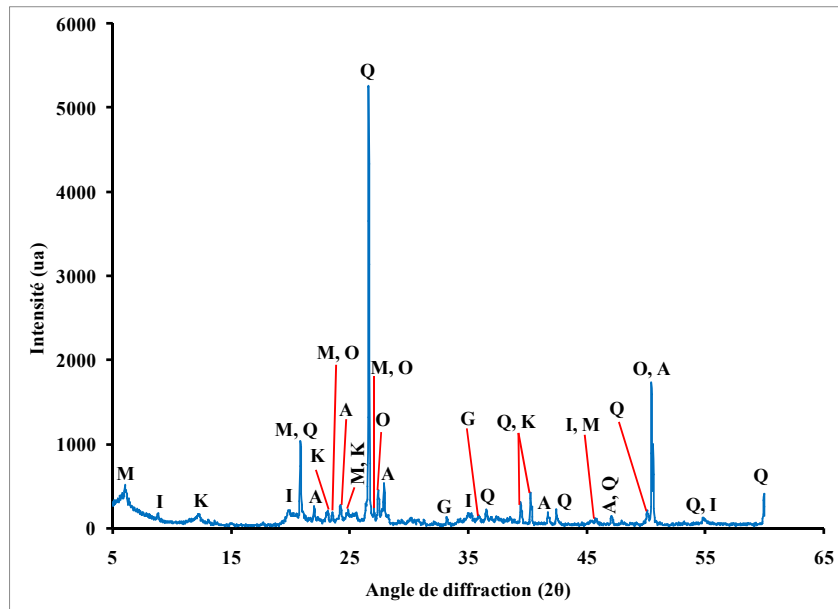


Figure 3 : Diffractogramme X de l'argile KORO : K = kaolinite, I = illite, Q = quartz, M = montmorillonite, A = albite, G = goéthite et O = orthose.

Tableau II : Composition chimique élémentaire de l'argile KORO

Oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
% massique	57,2	20,3	6,53	1,12	0,99	1,49	2,91	0,71

Tableau III : Composition minéralogique de l'argile KORO en % massique

Phases minérales	Albite	Goéthite	Illite	Kaolinite	Montmorillonite	Orthose	Quartz
% massique	12	7	21	7	26	8	15

Le bilan minéralogique (**tableau III**) montre que KORO est composé en majorité de montmorillonite (26%) suivie d'illite (21%), de quartz (15%) et d'albite (12%). A ces phases majoritaires s'ajoute des phases en quantité moindre à savoir l'orthose (8%), la kaolinite (7%) et la goethite (7%).

3.2. Titrage potentiométrique

La **figure 4** montre la courbe de titrage acide de l'argile KORO qui est légèrement alcaline ($\text{pH} = 7,23$) à l'état naturel. L'utilisation de la courbe de titrage acide permet de calculer V_e qui est de 1,2 ml. La relation 4 permet de calculer $\{ \equiv \text{SOH} \}_{\text{tot}}$ qui est de $5,11 \cdot 10^{-4}$ mol/l. Les valeurs des $\text{pK}_{a1,\text{intr}}$ et $\text{pK}_{a2,\text{intr}}$ respectivement de 5,90 et 8,72, sont déterminées à partir de la **figure 5** à Z (charge de surface) = 0, d'où un pH_{ZPC} de 7,31.

3.3. Adsorption et élimination du cuivre, du plomb et du chrome

Les **figures 6, 7 et 8** donnent les quantités de métaux adsorbés par l'argile KORO en fonction du pH d'équilibre. D'une façon générale les **figures 6, 7 et 8** présentent des courbes qui ont une allure

relativement identique, le taux d'élimination étant important à pH élevé.

3.3.1. Adsorption du cuivre (II)

Le taux d'élimination du Cu^{2+} (**figure 6**) passe de moins de 25% à pH 5 et atteint 96,76 % à partir du pH 8,5. La formation du précipité d'hydroxyde de cuivre $\text{Cu}(\text{OH})_2$ est attendue à un pH de 6,28 pour une concentration d'ion cuivre Cu^{2+} de 0,06 mmol/l ayant comme produit de solubilité $K_s(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 2,2 \cdot 10^{-20}$. A ce pH (6,28), on a environ 52,7% d'élimination du Cu(II), portion attribuable au phénomène d'adsorption sur l'argile. Cette adsorption débute avant le pH_{pzc} (7,31), ce qui montre que l'adsorption se fait par la formation de complexes interne de surface de l'ion Cu^{2+} sur l'argile. Au delà du pH 6,28, en plus de l'adsorption, la précipitation des hydroxydes de cuivre, la formation d'autres complexes peuvent contribuer à l'élimination de Cu^{2+} [27]. Les mêmes auteurs [27] suggèrent la possibilité de précipitation de la malachite ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$). L'élimination du cuivre (II) pourrait être favorisée de même par la formation de complexes avec les oxydes de fer (goethite), et la matière organique [7] présents dans l'échantillon de l'argile KORO.

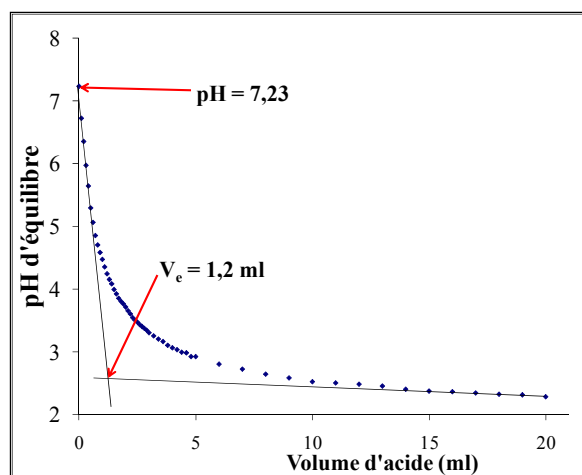


Figure 4 : Courbe de titrage acide (Acide nitrique) de la suspension de l'argile KORO

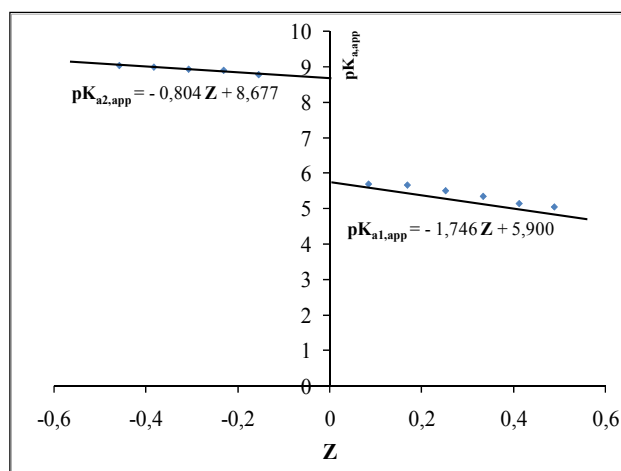


Figure 5 : Constantes d'acidités apparentes ($\text{pK}_{a,\text{app}}$) en fonction de la densité de charge Z

3.3.2. Adsorption du plomb (II)

La courbe d'élimination de l'ion plomb Pb^{2+} (**figure 7**) indique une élimination de 96,59 % à pH 8,4. Pour une concentration en ion plomb Pb^{2+} de 0,048 mmol/l, La formation du précipité d'hydroxyde de plomb $Pb(OH)_2$ est attendue à pH 8,7. A ce pH (8,7), plus de 96 % de l'ion plomb (II) est déjà adsorbé par l'argile KORO. L'adsorption serait le mécanisme d'élimination principal du plomb (II). La formation de complexes de surface interne est le mécanisme gouvernant l'adsorption.

3.3.3. Adsorption du chrome (III)

Nous avons une élimination totale des

ions chrome (III) qui intervient entre pH 3 et 5,96 comme le montre la **figure 8**. La constante de solubilité K_s de $(Cr(OH)_3)$ à 25°C est de $6,3.10^{-31}$. Cela implique que l'hydroxyde de chrome (III) $Cr(OH)_3$ précipite à un pH de 5,27 pour la concentration de l'ion chrome Cr^{3+} de 0,096 mmol/l. A ce pH plus de 86 % de l'ion chrome est éliminé de la solution. Au delà de ce pH, en plus de la précipitation de $Cr(OH)_3$ qui permet l'élimination de l'ion chrome, il existerait aussi la complexation avec les oxydes de fer, la complexation organique et l'adsorption aux carbonates^[27]. L'adsorption débute avant le pH_{pzc} (7,31), ce qui montre la formation de complexes de surface interne.

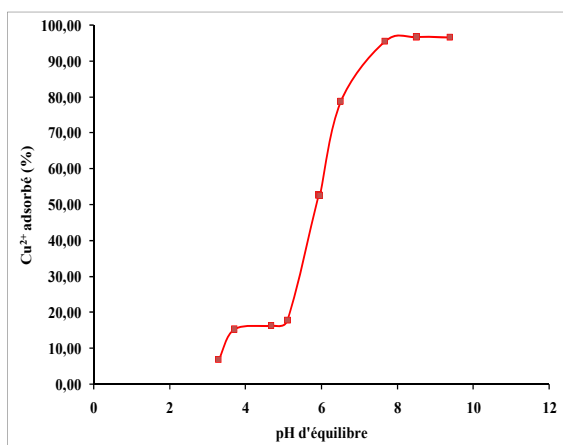


Figure 6 : Courbe d'adsorption du Cu^{2+} en fonction du pH d'équilibre

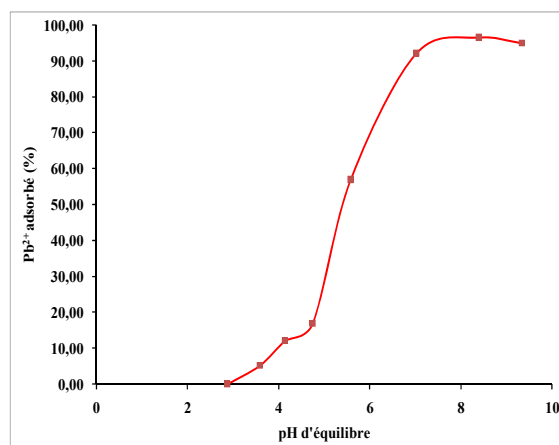


Figure 7 : Courbe d'adsorption du Pb^{2+} en fonction du pH d'équilibre

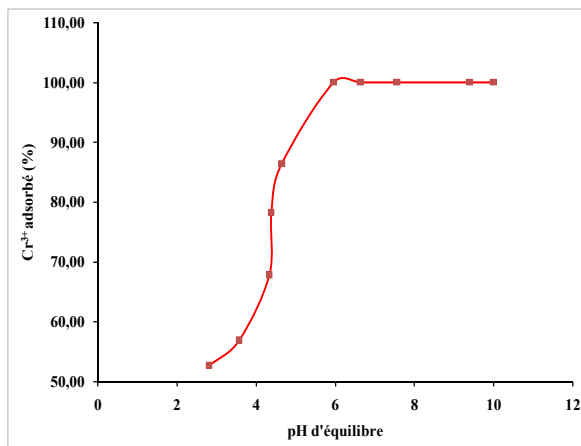


Figure 8 : Courbe d'adsorption du Cr^{3+} en fonction du pH d'équilibre

4. Conclusion

Les essais présentés au cours de cette étude ont permis de mettre en évidence la possibilité d'élimination du cuivre (II), du plomb (II) et du chrome (III) par une argile locale du Burkina Faso, dénommée KORO. Cette argile légèrement alcaline (pH 7,23) à l'état naturel, riche en montmorillonite et en illite puis en oxyde de fer (goethite) après une caractérisation physico-chimique et minéralogique, a permis d'obtenir des taux d'élimination intéressants. En effet, l'étude de l'élimination du Cu^{2+} , du Pb^{2+} et du Cr^{3+} en fonction du pH s'est effectuée avec succès, mais à des rendements différents. L'adsorption par la formation des complexes internes de surface sur l'argile serait le mécanisme principal d'élimination des cations étudiés. La précipitation des hydroxydes métalliques, et la formation de complexes avec les oxydes de fer, et la matière organique présents dans l'échantillon, contribueraient également à l'élimination des cations. La difficulté majeure rencontrée est la détermination exacte des différents phénomènes régissant l'élimination des ions étudiés. Aussi, l'étude des mécanismes d'adsorption par EXAFS fera l'objet d'une prochaine investigation afin d'identifier les phénomènes et les mécanismes physique et/ou chimique qui contribuent à l'élimination de ces cations. L'argile KORO est prometteuse pour une utilisation en tant que technologie de décontamination des eaux à faible coût.

Remerciements

Les auteurs remercient le projet IPICS/ISP/BUF:02 (Suède) pour leur soutien financier et scientifique à la « recherche sur les matériaux argileux du Burkina Faso en vue de leur valorisation », à l'université de Ouagadougou.

Bibliographie

- [1] KABRE TS, TRAORE K and BLANCHART P, Mineralogy of clay raw material from Burkina Faso and Niger used for ceramic wares. *Applied Clay Science* (1998) 12 463-477.
- [2] KAM S, ZERBO L, BATHIEBO J, SORO J, NABA S, WENMENG U, TRAORÉ K, GOMINA M and BLANCHART P, Permeability to water of sintered clay ceramics. *Applied Clay Science* (2009) 46 351-357.
- [3] TRAORÉ K. and BLANCHART P, Structural transformation of a kaolinite and calcite mixture to gehlenite and anorthite. *Journal of Materials Research* (2003) 18 (2), 475-481.
- [4] TRAORE K, Frittage à basse température d'une argile kaolinite du Burkina Faso. Transformations thermiques et réorganisations structurales ; Thèse d'état, (2003) Univ.de Limoges-Ouagadougou ;.
- [5] SEYNOU M. : Caractérisation de matières premières argileuses des sites de Loulouka et de Korona (Burkina Faso) : valorisation dans la céramique du carreau ; thèse de l'Université de Ouagadougou ; 2009.
- [6] ZERBO L. : Transformations thermiques et réorganisation structurale d'une argile du Burkina Faso ; thèse de l'Université de Ouagadougou ; 2009.
- [7] BRADL HB, Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *J. Colloid Interface Sci.* (2004) 277 1 – 18
- [8] IMANE ADRAOUI ET AZIZ AMINE., Détermination des métaux lourds par voie électrochimique, *Les technologies de Laboratoire*, (2007) 3 16-21
- [9] UN, Ground Water in West Africa. *Natural Resources/Water* (1983) 18, UN pp 53-65.
- [10] MECV- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE VIE, Rapport de l'inventaire national des

sources de production, d'utilisations et de rejets du mercure dans l'environnement Au Burkina Faso (2007)

[11] MAIGA H.A., WETHE J., DEMBELE A., KLUTSE A., SEIDL M and MOUCHEL J.M., Le lagunage en Afrique de l'Ouest et du Centre : analyse des performances des stations d'épuration des eaux usées à partir d'étude de cas du Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Ghana, Niger et Sénégal. *Revue SST du 2iE* (2004) 12 44 - 51.

[12] INOUSSA ZONGO, JEAN-PIERRE LECLERC, HAMA AMADOU MAIGA, JOSEPH WETHE and FRANCOIS LAPICQUE, Removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by electrocoagulation: a comprehensive comparison of aluminium and iron electrodes, *Separation and Purification Technology* (2009) 66 159-166.

[13] MARSDEN, A. PHILIP., Increased body lead burden-causes or consequences of chronic renal insufficiency? *The New England Journal of Medicine. Editorials.* (2003) 348, 4, 345-347.

[14] SMITH A.H., HOPENHAYN-RICH C., BATES M. N. et coll., Cancer risks from arsenic in drinking water. *Environ. Hlth. Perspect.*, (1992) 97, 259-267.

[15] ARPA C, SAY R, SATIROGLU N, BEKTAS S, YURUM Y and GENC O, Heavy metal removal from aquatic systems by Northern Anatolian smectites. *Turk. J. Chem.* (2000) 24 209-215.

[16] BRIGATTI MF, COLONNA S, MALFERRARI D, MEDICI L and POPPI L, Mercury adsorption by montmorillonite and vermiculite: a combined XRD, TG-MS, and EXAFS study. *Appl. Clay Sci.* (2005) 28 1-8.

[17] AUBOIROUX M, BAILLIF P, TOURAY JC and BERGAYA F, Fixation of Zn^{2+} and Pb^{2+} by a Ca-montmorillonite in brines and dilute solutions: preliminary results. *Appl. Clay Sci.* (1996) 11 117-126.

[18] ZENG Z and JIANG J, Effects of the type and structure of modified clays on adsorption performance. *Intern. J. Environ. Studies* (2005) 62 (4) 403-414.

[19] KHAN SA, REHMAN R and KHAN MA, Adsorption of chromium (III), chromium (VI) and silver (I) on bentonite. *Waste Management* (1995) 15 (4) 271-282.

[20] AL-QUNAIBIT MH, MEKHEMER WK and ZAGHLOUL AA, The adsorption of Cu (II) on bentonite - A kinetic study. *J. Colloid Interface Sci.* (2005) 283 316-321.

[21] DONAT R, AKDOGAN A, ERDEM E and CETISLI H, Thermodynamics of Pb^{2+} and Ni^{2+} adsorption onto natural bentonite from aqueous solutions. *J. Colloid Interface Sci.* (2005) 286 43-52.

[22] ELZINGA EJ and SPARKS DL, Reaction condition effects on nickel sorption mechanism in illite-suspension. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* (2001) 65 94-101.

[23] ECHEVERRIA JC, ZERRANZ I, ESTELLA J and GARRIDO JJ, Simultaneous effect of pH, temperature, ionic strength, and initial concentration on the retention of lead on illite. *Appl. Clay Sci.* (2005) 30 103-115.

[24] SRIVASTAVA P, SINGH B and ANGOVE M, Competitive adsorption behaviour of heavy metals on kaolinite. *J. Colloid Interface Sci.* (2005) 290 28-38.

[25] BRIGATTI MF, MEDICI L and POPPI L, Sepiolite and industrial wastewater purification: removal of Zn^{2+} and Pb^{2+} from aqueous solutions. *Appl. Clay Sci.* (1996) 11 43-54.

[26] BRIGATTI MF, LUGLI C and POPPI L, Kinetics of heavy metal removal and recovery in sepiolite. *Appl. Clay Sci.* (2000) 16 45-57.

[27] SAJIDU SMI, PERSSON I, MASAMBA WRL, HENRY EMT and KAYAMBAZINTHU D, Removal of Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} and Zn^{2+} cations and AsO_4^{3-} anions from aqueous solutions by

mixed clay from Tundulu in Malawi and characterisation of the clay. *Water SA* (2006) 32 (4) 519 – 526.

[28] S. NABA, Rapport de mission d'estimation des réserves d'argiles servant dans le domaine de la poterie et de la briqueterie (2003)

[29] A. BOUKERROUI, M. S. OUALI, Activation d'une bentonite par un sel d'ammonium : Evolution de la capacité d'échange et de la surface spécifique. *Ann. Chim. Sci. Mat.* (2000) 25, 583-590.

[30] F. BERGAYA et M. VAYER, CEC of clays : Measurement by adsorption of a Copper ethylenediamine complex ; *Applied Clay Science* (1997) 12 275-280.

[31] NJOPWOUO D. et M. ORLIAC, : Note sur le comportement de certains minéraux à l'attaque triacide. *cah. ORSTOM – sér. pédol.*, (1979), 17 (4) 329-337.

[32] ASSOCIATION DES ELEVES DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE

DE CERAMIQUE INDUSTRIELLES DE SEVRES, Répertoire Annuaire des Matériaux Céramiques. (1978) Tome1 – Espèces Minérales.

[33] K. L. KONAN : Interactions entre des matériaux argileux et un milieu basique riche en calcium ; Thèse de Doctorat de l'Université de Limoges; 2006.

[34] Y. MILLOGO : Etude géotechnique, chimique et minéralogique de matières premières argileuse et latéritique du Burkina Faso améliorées aux liants hydrauliques : application au génie civil (bâtiment et route) ; Thèse de Doctorat de l'Université de Ouagadougou ; 2008.

[35] SEI J., JUMAS J.C., OLIVIER-FOURCADE J., QUIQUAMPOIX H. et STRAUNTON S., Role of iron oxides in the phosphates adsorption properties of kaolinite from the Ivory coast ; *Clays and Clay minerals*, (2002) 50 212-224.