

Élimination du chrome trivalent des eaux par des zéolithes échangées au fer et des argiles naturelles du Burkina Faso

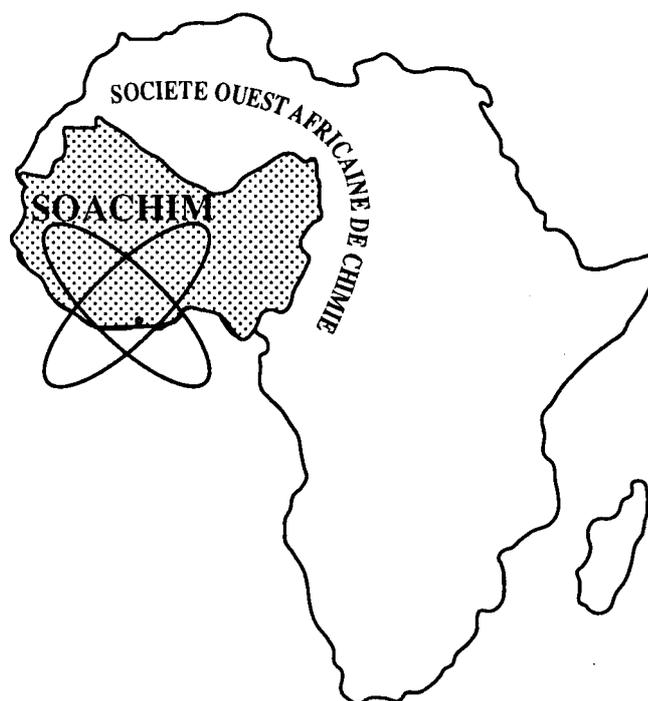
Wendpagnagda Combéré, Arsène H. Yonli, Abdoulaye Djandé,

Léopold Kaboré

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

J. Soc. Ouest-Afr. Chim.(2017), 043 : 26 - 30

22^{ème} Année, Juin 2017



ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

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

Elimination du chrome trivalent des eaux par des zéolithes échangées au fer et des argiles naturelles du Burkina Faso

Wendpagnagda Combéré¹, Arsène H. Yonli^{1,2,3*}, Abdoulaye Djandé³, Léopold Kaboré³

¹*Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE), Université Ouaga 1 Pr Joseph Ki-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, BURKINA FASO*

²*YSER LAB, 11 BP 266 Ouagadougou 11, BURKINA FASO*

³*Laboratoire de Chimie Moléculaire et des Matériaux (LCMM), Université Ouaga 1 Pr Joseph Ki-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, BURKINA FASO*

(Reçu le 28/12/2016 – Accepté après corrections le 28/07/ 2017)

Résumé : La présente étude s'intéresse au piégeage du chrome trivalent par des adsorbants de type argileux et zéolithiques. Les expériences ont été réalisées en réacteur batch sur des argiles naturelles prélevées dans l'Ouest du Burkina Faso (KW1, KO1, KO2). Les performances de ces argiles ont été comparées à celles de zéolithes sodiques de type Y, échangées à divers taux avec du fer trivalent. Les isothermes d'adsorption modélisées ont permis d'établir que les zéolithes avec un fort taux d'échange avec le fer étaient les plus performantes pour le piégeage du chrome trivalent. Même si les argiles présentent des performances intéressantes, elles restent moins efficaces que les zéolithes échangées de type Y.

Mots clés: chrome, argile, faujasite, échange, élimination.

Removal of trivalent chromium from water by iron exchanged zeolites and natural clay samples from Burkina Faso

Abstract : In this study natural clays (KW1, KO1, KO2) from the western Burkina Faso and iron exchanged Y zeolites were used to study the removal of trivalent chromium. When comparing to natural clay samples iron exchanged zeolites presented better performances for chromium uptake; these performances increased with the iron exchange ratio. Despite their lower adsorption capacities the studied natural clays remain good candidates for trivalent chromium removal from water.

Keywords: chromium, clay, faujasite, exchange, removal.

* **Auteur de correspondance :** *Arsène H. YONLI ; yarsene@hotmail.com*

1. Introduction

Le Burkina Faso est un pays d'élevage. Le recensement décennal du cheptel en 2011 donnait un total de 8 566 448 bovins, 8 490 513 ovins et 12 712 705 de caprins ^[1]. L'une des voies de valorisation de la filière bétail est le développement de l'industrie et de l'artisanat des cuirs et peaux. Longtemps détentrice d'un monopole de fait sur le secteur industriel de la tannerie, l'entreprise TANALIZ ^[2] dominait le secteur jusqu'en 2013 avec une part de marché de l'ordre de 83%. Les techniques de traitement des cuirs et peaux mises en œuvre dans la tannerie industrielle ou semi-industrielle au Burkina Faso utilisaient des formulations à base de chrome, tout comme dans plusieurs tanneries industrielles de part le monde ^[3]. La gestion des eaux usées de tannerie est le plus souvent inadéquate, les effluents ne respectant pas les normes nationales de rejet de chrome trivalent, fixées à 2 mg/L pour le déversement dans les égouts ^[4]. Quelques études au niveau local ont porté sur la caractérisation ou le traitement de la pollution au chrome dans les rejets de tannerie ^[5-6]. La problématique d'élimination du chrome a été largement traitée par ailleurs dans la littérature ^[7-9], en raison de ses effets toxiques pour l'homme (plusieurs types de cancers, dermatoses...) ^[10] et l'environnement ^[11]. Les techniques d'élimination du chrome des eaux usées ont été mises en œuvre sur plusieurs types de matériaux comme le charbon actif, les zéolithes ou les argiles naturelles ^[12-15]. Dans le cadre de la présente étude, les performances épuratoires en élimination du chrome trivalent de plusieurs argiles naturelles du Burkina Faso seront étudiées. Ces performances seront comparées à celles de zéolithes de type NaY échangées avec des teneurs variables de fer trivalent.

2. Matériel et méthodes

Les échantillons d'argiles ont été prélevés dans la région des Hauts-Bassins, au Burkina Faso. La localisation des sites de prélèvement est la suivante: Koro est situé à 11°09' de latitude Nord et 4°11' de longitude Ouest ; Kwa est à 11°10' de latitude Nord et 4°15' de longitude Ouest. Les échantillons sont désignés selon leur localisation et leurs textures (KO1, KO2, KW1). Les échantillons KO1 et KO2 contiennent à la fois des phases de kaolinite et d'illite, tandis que l'échantillon KW1 ne contient que de la kaolinite ^[16]. La zéolithe faujasite NaY a subi un traitement d'échange ionique afin de remplacer des quantités variables de cation compensateur Na⁺ par des ions

Fe³⁺. 100 mL de solutions de concentrations variables en ions Fe³⁺ (de 0,5 mmol/L à 4 mmol/L) ont été mises en contact avec 1 g de zéolithe NaY. La poudre d'adsorbant a été dispersée en suspension par agitation pendant 8 heures, à température ambiante, dans un erlenmeyer hermétiquement fermé. Ensuite la zéolithe a été lavée trois fois avec 100 mL d'eau ultrapure, récupérée par filtration sur Büchner et séchée à l'étuve (105°C sous air) pendant 2 heures, afin d'éliminer toutes traces d'eau. Les expériences d'élimination du chrome trivalent ont été réalisées en réacteur fermé de type "batch" selon le protocole décrit par Yonli et al. ^[17]. Le chrome trivalent de qualité analytique a été fourni par Sigma Aldrich sous forme d'alun de chrome (CrK(SO₄)₂·12H₂O). Les expériences ont été menées à température ambiante et à pH = pKa = 4,97. Un volume de 20 mL de la solution de chrome a été mis en contact avec 50 mg de solide adsorbant jusqu'à l'équilibre d'adsorption. Un petit volume de liquide surnageant a été ensuite prélevé pour être analysé par spectrométrie d'absorption atomique à flamme (Perkin Elmer AA300).

3. Résultats et discussion

3.1. Caractérisation de la surface spécifique et du volume poreux des échantillons

Le système poreux des échantillons d'argiles et de zéolithes NaY brut ou échangées a été caractérisé par adsorption d'azote liquide à 77K. Les résultats de caractérisation sont présentés dans le **Tableau I**.

En effet, les ions fer trivalents introduits dans la structure sont plus volumineux que les ions monovalents Na⁺. Par conséquent, l'ouverture des pores, le volume poreux disponible et la surface spécifique des solides ayant subi le traitement d'échange sont réduits.

Tableau I : Surfaces spécifiques et volumes poreux des solides étudiés

Echantillon	Volume poreux total (cm ³ .g ⁻¹)	Surface BET (m ² .g ⁻¹)
KW1	0,0021	7,9
KO1	0,0037	24
KO2	0,0034	42
NaY	0,3190	852,46
NaY-Fe (0,5 mmol/L)	0,2855	537,05
NaY-Fe (1 mmol/L)	0,2710	528,12
NaY-Fe (4 mmol/L)	0,2270	457,01

3.2. Adsorption du Cr³⁺ sur les zéolithes échangées

La **Figure 1** présente les isothermes d'adsorption obtenues sur les zéolithes NaY brutes et échangées aux ions Fe³⁺. Les points représentent les données expérimentales tandis que les lignes continues représentent les isothermes théoriques obtenues par modélisation de Langmuir. Toutes les isothermes suivent le modèle de Langmuir, ce qui suppose une adsorption monocouche du chrome à la surface de la zéolithe, site par site, sans interactions latérales entre espèces adsorbées, selon les hypothèses de Langmuir [18-19].

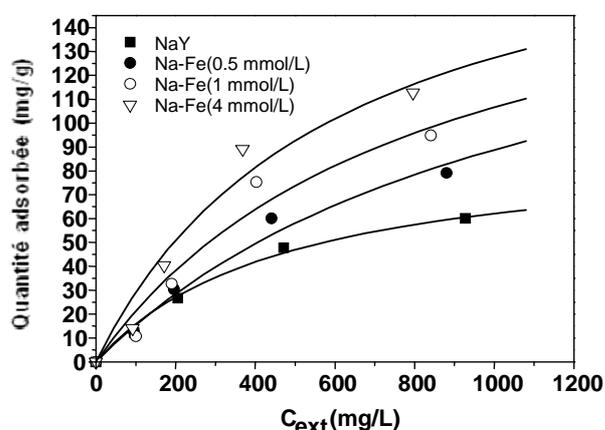


Figure 1. Isothermes d'adsorption de Cr³⁺ sur NaY brutes et échangées

Une augmentation de la quantité de Cr³⁺ adsorbée à l'équilibre lorsque le taux d'échange augmente est observée; ceci indique que la substitution des ions Na⁺ de la charpente zéolithique par des ions Fe³⁺ favorise l'adsorption des cations Cr³⁺. Ce phénomène peut s'expliquer par une substitution préférentielle des ions trivalents Fe³⁺ par les ions Cr³⁺ de même valence (échange favorisé entre ions de même valence). Plus le taux d'échange des ions Na⁺ par les ions Fe³⁺ augmente, plus il y a de sites d'adsorption préférentielle pour les cations Cr³⁺. La modélisation des isothermes expérimentales par le modèle de Langmuir confirme bien un phénomène d'adsorption site par site, en monocouche, et sans interactions latérales, conformément aux hypothèses de Langmuir (Figure 1).

3.3. Adsorption du Cr³⁺ sur les argiles naturelles

La **Figure 2** présente les isothermes d'adsorption de Cr³⁺ obtenues pour les échantillons d'argiles naturelles.

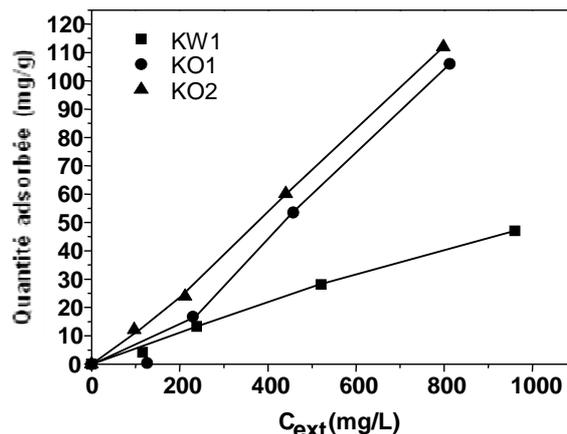


Figure 2. Isothermes d'adsorption de Cr³⁺ sur les argiles naturelles KW1, KO1 et KO2

Les isothermes d'adsorption obtenues pour les argiles sont bien décrites par le modèle de Fowler-Guggenheim (courbes théoriques en lignes continues), ce qui suppose une adsorption multicouche avec interactions latérales entre les ions de chrome adsorbés [20-22]. Les capacités d'adsorption à l'équilibre pour les solides contenant de l'illite sont plus importantes que celles des argiles ne contenant que de la kaolinite. Ainsi, les échantillons KO1 et KO2 présentent des performances supérieures à celles de l'échantillon KW1, contenant essentiellement de la kaolinite. Les performances de l'échantillon KO2 sont meilleures que celles de l'échantillon KO1. Ces différences de capacités d'adsorption peuvent être imputées à la surface spécifique (aire BET) de l'échantillon KO2 qui est plus importante (42 m²/g pour KO2 et 24 m²/g pour KO1), les volumes poreux disponibles des deux solides étant, eux, très voisins. KO2 offre une surface de contact plus grande qui favorise l'adsorption des ions Cr³⁺.

3.4. Comparaison des performances sur zéolithes échangées et argiles naturelles

La **Figure 3** présente les isothermes d'adsorption de Cr³⁺ sur les échantillons argileux et sur les zéolithes NaY brut et NaY-Fe(4 mmol/L). Pour les concentrations d'équilibre inférieures à 280 mg/L, la zéolithe NaY est plus performante que l'échantillon d'argile KO2. De même, la zéolithe NaY est plus performante que l'échantillon KO1 lorsque la concentration d'équilibre est inférieure à 380 mg/L.

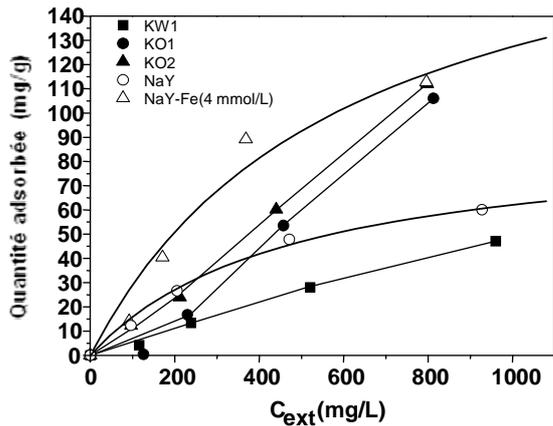


Figure 3. Isothermes d'adsorption de Cr^{3+} sur les zéolithes NaY échangées ou non et les argiles naturelles.

En effet, pour les fortes teneurs en Cr^{3+} (concentrations supérieures à 380 et 280 mg/L respectivement pour KO1 et KO2), les échantillons contenant de l'illite (KO1 et KO2) sont plus performantes que la zéolithe NaY. Les performances de l'échantillon de kaolinite KW1 restent dans tous les cas inférieures à celles des autres solides étudiés. On peut avancer l'hypothèse qu'aux concentrations inférieures à 280 mg/L et 380 mg/L dans le cas des solides contenant de l'illite, les interactions entre ions adsorbés restent relativement faibles, et l'adsorption multicouche est faible. La surface spécifique et le volume poreux, qui sont plus importants dans le cas de la zéolithe NaY (**Tableau I**), favorise l'adsorption sur la zéolithe NaY par rapport aux solides argileux. Aux concentrations plus élevées, l'adsorption multicouche, qui est favorisée par les interactions latérales entre ions adsorbés, accroît les performances des échantillons argileux. La même tendance est constatée pour l'échantillon NaY-Fe(4 mmol/L). Les capacités d'adsorption restent supérieures à celles des solides KO1 et KO2 pour des concentrations d'équilibre très élevées (supérieures à 800 mg/L). Dans le cas de cette zéolithe, la présence des ions Fe^{3+} dans la charpente zéolithique favorise à la fois un échange ionique entre ions Cr^{3+} et Fe^{3+} , mais aussi une adsorption dans le volume poreux disponible, d'où une capacité d'élimination significativement plus importante pour cet échantillon. Lorsque les concentrations d'équilibre de Cr^{3+} deviennent importantes, on note une amélioration de la capacité d'adsorption pour les échantillons argileux, en raison de l'adsorption multicouche et des interactions entre ions adsorbés.

Le tableau II présente les capacités maximales d'adsorption pour les différents solides étudiés. Ces valeurs ont été déterminées par modélisation (Langmuir pour les zéolithes et Fowler-Guggenheim pour les argiles). L'échantillon de zéolithe NaY brut présente la plus faible capacité d'adsorption maximale, même si aux faibles concentrations d'équilibre il adsorbe mieux que les échantillons argileux.

Tableau II. Capacités d'adsorption maximales pour les différents solides étudiés

Echantillon	Capacité maximale d'adsorption (mg.g^{-1})
KW1	93,01
KO1	129,43
KO2	184,71
NaY	91,74
NaY-Fe (0,5 mmol/L)	188,68
NaY-Fe (1 mmol/L)	192,31
NaY-Fe (4 mmol/L)	204,10

Le modèle d'adsorption (adsorption localisée et monocouche d'ions Cr^{3+} suivant le modèle de Langmuir) défavorise cet échantillon, quand bien même il dispose du volume poreux et de la surface spécifique les plus importants. Les faibles performances de l'échantillon contenant de la kaolinite (KW1) sont imputables au faible espace interfoliaire de la kaolinite [23]. Les échantillons contenant de l'illite sont relativement performants en raison d'un espace interfoliaire plus grand qui favorise l'adsorption multicouche avec interactions latérales entre espèces adsorbées. Le traitement d'échange ionique réalisé sur les zéolithes NaY permet d'augmenter significativement les capacités d'adsorption des zéolithes: la capacité d'adsorption augmente avec le taux d'échange en ions Fe^{3+} .

4. Conclusion

L'adsorption de chrome trivalent a été étudiée sur les argiles KO1, KO2 et KW1, ainsi que sur une zéolithe faujasite NaY ayant subi une série d'échanges ioniques avec les ions Fe^{3+} . Tous les échantillons étudiés ont présenté une aptitude à l'élimination des ions Cr^{3+} présents en solution aqueuse. Les performances sont toutefois moindres pour les argiles de type kaolinite et pour l'échantillon brut de zéolithe NaY. Les échantillons argileux contenant de l'illite présentent de bonnes performances, surtout aux concentrations d'équilibre très élevées. Ces performances s'expliquent par une adsorption multicouche dans l'espace interfoliaire,

avec interactions entre espèces adsorbées. L'échange progressif des ions Na^+ de la charpente zéolithique par des ions Fe^{3+} accroît progressivement et significativement les performances des zéolithes en élimination du Cr^{3+} . L'adsorption sur les échantillons de zéolithes serait un phénomène d'adsorption monocouche localisée sur des sites isolés à la surface du solide. L'échantillon présentant le plus fort taux d'échange des ions Fe^{3+} s'avère être l'échantillon le plus performant.

5. Références

- [1] <http://www.apexb.bf/produit-3-2/> du 14/07/2016
- [2] <http://www.ecodufaso.com/cuir-et-peaux-sortir-la-filiere-de-la-lethargie/> du 14/07/2016
- [3] G. Krishnamoorthy, S. Sadulla, P.K. Sehgal, Asit Baran Mandal, Green chemistry approaches to leather tanning process for making chrome-free leather by unnatural amino acids, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 215–216, (2012) 173–182
- [4] Code de l'environnement du Burkina Faso, 2011
- [5] R. Sawadogo, I. Guiguemé, F. Diendéré, J. Diarra, A. Bary, Caractérisation physico-chimique des eaux résiduaires de tannerie: cas de l'usine TAN ALIZ à Ouagadougou / Burkina Faso, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* (2012) 6(6): 7087-7095
- [6] I. Zongo, Étude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [7] B.S. Krishna a, D.S.R. Murty b, B.S. Jai Prakash, Surfactant-modified clay as adsorbent for chromate, *Applied Clay Science* 20 (2001) 65–71
- [8] S.S. Tahir, R. Naseem, Removal of Cr^{3+} from tannery wastewater by adsorption onto bentonite clay, *Separation and Purification Technology* 53 (2007) 312–321
- [9] Babu Ram, Pramod K. Bajpai *, Harjinder K. Parwana, Kinetics of chrome-tannery effluent treatment by the activated-sludge system, *Process Biochemistry* 35 (1999) 255–265
- [10] S.A. Abbasi, Studies on pollutants. VIII, *Sep. Sci. Technol.* 15 (1980) 1979–1984.
- [11] S.A. Abbasi, R. Soni, Teratogenic effect of chromium in environment as evidence by the impact on larvae of common Frog *Rana Tigrina*—implications in environmental management, *Int. J. Environ. Stud. (UK)* 23 (1984) 131–140.
- [12] M. Rajamathi, P. Vishnu Kamath, Anionic clay-like behaviour of a-nickel hydroxide: chromate sorption studies, *Materials Letters* 57 (2003) 2390–2394
- [13] Z. Li, T. Burt, R. S. Bowman, Sorption of ionizable organic solutes by surfactant-modified zeolite. *Environ. Sci. Technol.* 34 (2000) 3756–3760.
- [14] H. Faghihian, R.S. Bowman, Adsorption of chromate by clinoptilolite exchanged with various metal cations *Water Research* 39 (2005) 1099–1104
- [15] S.A. Khan, M. A. Riazurrhman, M. A. Khan, Adsorption of chromium (III), chromium (VI) and silver on bentonite. *Water Manage.* 15 (4) (1995) 271–282
- [16] A. H. Yonli, H. A. Kabore, J. Kouliadiati, α -Endosulfan Removal from Water by Adsorption over Natural Clays from Burkina Faso: An Isothermal Study, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 2 (2014) 49-57
- [17] A. H. Yonli, I. Batonneau-Gener, J. Kouliadiati, Adsorptive removal of α -endosulfan from water by hydrophobic zeolites. An isothermal study, *J. Hazard. Mater.* 203–204 (2012) 357-362
- [18] Noureddine Hamdi, Ezzeddine Srasra, Removal of phosphate ions from aqueous solution using Tunisian clays minerals and synthetic zeolite, *Journal of Environmental Sciences* 24 (2012) 617- 23)
- [19] M. L. Zhou, G. Martin, S. Taha, F. Sant'Anna, Adsorption isotherm comparison and modelling in liquid phase onto activated carbon, *Wat. Res.* 32 (4) (1998)
- [20] G. Guiochon, *Fundamental of preparative and nonlinear chromatography*, Academic press, INC, 1994.
- [21] D. M. Ruthven, *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*, John Wiley & Sons, 1984.
- [22] D.D. Do, *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*, Imperial College Press, 1998.
- [23] R. C. McKenzie—The classification of soil silicates and oxydes. In : *Soil components vol. 2 Inorganic components*. Gieseking J. E. eds. Spring-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg (1975) 1-25