

## ÉTUDE DE L'ÉLIMINATION DU CHROME (III) EN SOLUTION PAR UNE ARGILE KAOLINITIQUE

Tibo ZOROME<sup>1</sup>, Corneille BAKOUAN<sup>1</sup>, Brahim SORGHO<sup>2\*</sup>,  
Abdoulkadri AYOUBA MAHAMANE<sup>1</sup> et Boubié GUEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Chimie Moléculaire et de Matériaux (LCMM) / Equipe de  
Chimie Physique et Electrochimie, U.F.R-SEA/Université Ouaga I  
Professeur Joseph KI ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

<sup>2</sup>Laboratoire de Chimie Moléculaire et de Matériaux (LCMM) / Equipe  
Physico-Chimie et de Technologie des Matériaux, U.F.R-SEA / Université  
Ouaga I Professeur Joseph KI ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03,  
Burkina Faso

---

\* Correspondance, e-mail : [sobrah20@yahoo.fr](mailto:sobrah20@yahoo.fr)

### RÉSUMÉ

Des études sur la qualité des eaux de surfaces et des eaux souterraines ont révélé un taux croissant de contamination de ces ressources par des métaux lourds liés aux voisinages. Cette pollution des eaux est couramment générée par les activités anthropiques en relation avec l'agriculture et l'industrie. Ce phénomène est responsable de la présence de plusieurs problèmes de santé de la population et de l'environnement. L'objectif de cette étude est de présenter les résultats d'essais d'élimination du chrome (III) contenu dans des solutions synthétiques par des procédés d'adsorption sur une argile naturelle référencée AN. La caractérisation minéralogique d'AN montre qu'elle renferme de la kaolinite (78 %), de l'illite (17 %) et de quartz (4 %). Des essais, par la méthode électrochimique, à des pH compris entre 2 et 12, ont montré une élimination d'environ 97 % au pH d'équilibre de 4,6 du Cr(III) à une concentration de 0,01 mol/L en solution. Les études structurales ont montré que plusieurs mécanismes d'élimination du chrome pourraient être en compétition (échange d'ions, complexation, précipitation) tout au long de l'adsorption des Cr(III).

**Mots-clés** : *pollution, élimination, chrome, argile naturelle, capacité d'échange cationique, pH.*

## ABSTRACT

### Removal of chromium (III) in solution by a kaolinitic clay

Studies on the quality of surface water and groundwater revealed an increasing rate of contamination of these resources by heavy metals linked to neighborhoods. This water pollution is commonly generated by human activities related to agriculture and industry. This phenomenon is responsible for the presence of several health problems of the population and the environment. The objective of this study is to present the results of chromium (III) elimination contained in synthetic solutions by adsorption processes on a natural clay referenced AN. The mineralogical characterization of AN shows that it contains kaolinite (78 %), illite (17 %) and quartz (4 %). The electrochemical method is used to follow the removal of chromium (III) between pH 2 and 12. The removal rate is around 97% at the equilibrium pH of 4.6 of Cr (III) at a concentration of 0.01 mol/L in solution. Structural studies have shown that several mechanisms (ion exchange, complexation, precipitation) are participated to remove chromium throughout the adsorption of Cr (III).

**Keywords :** *pollution, removal, chrome, natural clay, cation exchange capacity, pH.*

## I - INTRODUCTION

Dans les pays en développement à climat aride comme le Burkina Faso, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays [1]. La qualité naturelle de ces eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine ou par les divers éléments dont l'eau se charge au contact des terrains qu'elle rencontre. La contamination par des métaux lourds des eaux souterraines utilisées pour l'alimentation en eau potable est un problème émergent à travers les pays en développement. Pour pallier ces problèmes de contaminations que rencontrent les populations, des techniques de décontamination de ces eaux sont mises en œuvre, mais sont très coûteux pour les populations des pays en développement. Différentes techniques existent pour l'élimination du chrome. On peut citer les techniques d'adsorption, de précipitation physico-chimiques et de coagulation (floculation) ou de filtration sur lit, de percolation [2 - 4]. La technique d'adsorption par des argiles semble la plus prometteuse pour les pays en développement, car elle exige peu d'investissement et d'entretien vu l'ensemble des produits chimiques de traitement et la possibilité d'exploitation

à faible coût énergétique. Cette dernière application connaît de nos jours un véritable engouement, dû à une pollution croissante des eaux (de surface et souterraines) par des pesticides, les métaux lourds, les colorants, le cyanure, etc. En effet, le métal lourd chrome (III), à l'état de trace est un oligoélément essentiel pour l'homme. Mais au-delà d'une certaine concentration, il peut provoquer des maladies telles que les cancers des voies respiratoires, les troubles du métabolisme du glucose et les atteintes rénales. Face à cette pollution qui a des conséquences désastreuses sur la santé humaine et animale [5], la question de la demande en eaux potables se pose avec plus d'insistance. Cette préoccupation a amené les chercheurs dans le monde à s'intéresser aux techniques de traitements des eaux dont l'adsorption en utilisant des matières premières argileuses locales qui sont bon marché [6]. Ce travail porte sur l'étude de l'élimination du chrome (III) en milieu aqueux par une argile naturelle que nous avons référencée AN. L'objectif de ce travail est de caractériser AN afin d'évaluer ses potentialités à être utilisée dans la dépollution des eaux, en utilisant une technique électrochimique pour suivre l'élimination du métal chrome. Cette technique a l'avantage d'être précise, peu coûteuse, rapide et disponible au laboratoire.

## **II - MÉTHODES EXPÉRIMENTALES**

### **II-1. Caractérisation de la matière**

Les diffractogrammes des rayons X des poudres ont été obtenus à l'aide d'un montage Bragg-Brentano dans un diffractomètre Brüker D5000 à monochromateur arrière en graphite, fonctionnant sous une tension de 40 kV et une intensité de 50 mA avec la raie  $K\alpha_1$  du cuivre, piloté par un ordinateur muni d'un logiciel Diffracplus D quant version 2.2. Le temps d'acquisition est de 60 minutes. Les groupements fonctionnels caractéristiques des espèces minérales ont été déterminés avec un spectromètre infrarouge de type PERKIN ELMER FT-IR BX avec du KBr comme matrice. L'analyse chimique élémentaire de l'échantillon a été faite par ICP. Après une mise en solution dans un four à micro-onde par les acides chlorhydrique (HCl) et nitrique (HNO<sub>3</sub>), les éléments ont été dosés à l'aide d'une ICP-OES. La capacité d'échange cationique (C.E.C) et la surface spécifique (SS) de l'argile ont été déterminées par la méthode d'isotherme au bleu de méthylène décrite par [4,6].

### **II-2. Expérience d'élimination du chrome (III)**

Toutes les solutions de chrome (III) utilisées, ont été préparées avec de l'eau ultra-pure (milliQ). Le matériel qui a servi à la préparation des différentes solutions, a été trempé dans un bain d'acide nitrique à 5 % au moins 12 heures

et rincé avec de l'eau ultra-pure avant utilisation. Pour l'hydratation de tous les minéraux présents dans l'argile, une masse de 0,6 g de AN est mélangé à 100 mL d'une solution de  $\text{NaNO}_3$  de concentration 0,1 mol/L comme électrolyte support et agité pendant 24 heures. Une autre solution de métal à savoir le chrome (III) de concentration 0,2 mol/L a été préparée à partir d'un sel ultra-pur  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Dans une dizaine d'erlenmeyer, on place successivement un volume de 5 mL de la suspension de AN avec 1 mL de chaque solution de métal Cr (III) de concentration 0,2 mol/L et 14 mL de  $\text{NaNO}_3$  de concentration 0,1 mol/L. Dans les mélanges ainsi constitués, la concentration finale en Cr (III) est de l'ordre de 0,01 mol/L. Les pH des mélanges sont ajustés entre 2 et 12 avec une solution d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) et une solution de soude ( $\text{NaOH}$ ) avant d'être agités pendant 48 heures à 700 rpm. Ils sont par la suite centrifugés pendant 15 mn et les surnageants recueillis. Le pH des surnageants (pH d'équilibre) est mesuré avant que les métaux ne soient dosés par la méthode électrochimique, précisément la voltamétrie par redissolution anodique. Pour ces dosages voltamétriques, nous avons utilisé un dispositif expérimental comportant un potentiostat PST050 et un stand polarographique MDE 150 comprenant une cellule de mesure. Nous avons introduit dans la cellule électrochimique 10 mL du surnageant à doser auquel nous avons ajouté 9,8 mL d'électrolyte support (acide perchlorique  $\text{HClO}_4$  à 0,01 mol/L) et 200  $\mu\text{L}$  d'ions  $\text{Hg}^{2+}$  à 0,01 mol/L. Un bullage à l'azote est effectué pendant une dizaine de minutes et le voltammogramme est enregistré en faisant varier le potentiel. Ce cycle opératoire est répété après ajout d'une petite quantité de l'ion à doser. Nous avons procédé par la méthode des ajouts dosés pour mesurer la concentration du chrome (III) résiduel. Après avoir déterminé la concentration du chrome (III) dans les surnageants par la voltamétrie, la formule 1 nous permet d'accéder aux taux d'élimination.

$$\% \text{Cr(III)} = \left( 1 - \frac{C_f}{C_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

avec : % Cr (III) : Pourcentage adsorbé de Cr (III),  $C_i$  : Concentration initiale en Cr (III),  $C_f$  : Concentration à l'équilibre en Cr (III).

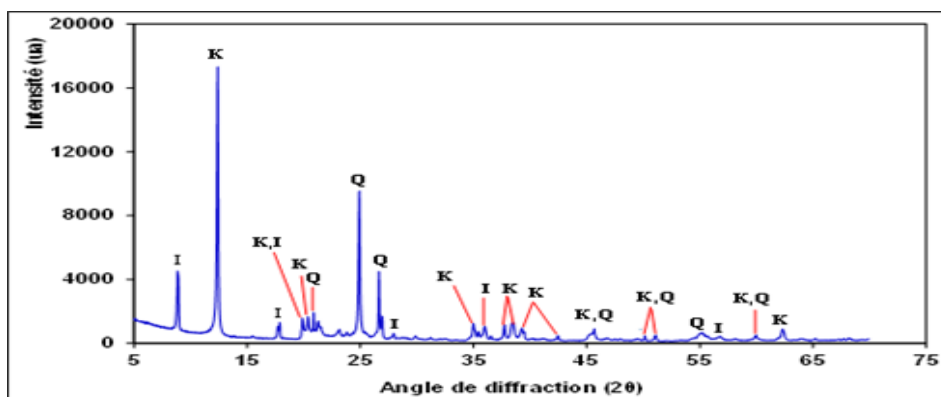
### III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### III-1. Caractérisation de AN

##### III-1-1. Diffraction des Rayons X (DRX)

Le dépouillement du diffractogramme à l'aide des fiches A.S.T.M (American Standards of Testing Materials), nous a permis d'identifier les phases

cristallines (**Figure 1**) suivantes : la kaolinite ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), l'illite ( $((\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2)$ ) et le quartz ( $\text{SiO}_2$ ). L'analyse de la composition chimique (**Tableau 1**) indique que la silice et l'alumine sont les oxydes majoritaires dans l'échantillon AN. Le rapport massique  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  de AN est d'environ 1,3. Cette valeur est supérieure à celle du kaolin pur qui est de 1,18 environ [7] et suggère la présence de silice libre et d'autres minéraux argileux. On note également des teneurs relativement élevées de  $\text{K}_2\text{O}$ , qui indiqueraient sans doute la présence de phase micacée (illite) comme dans la littérature.



**Figure 1** : Diffractogramme des rayons X de AN  
(K = Kaolinite, Q = Quartz, I = Illite)

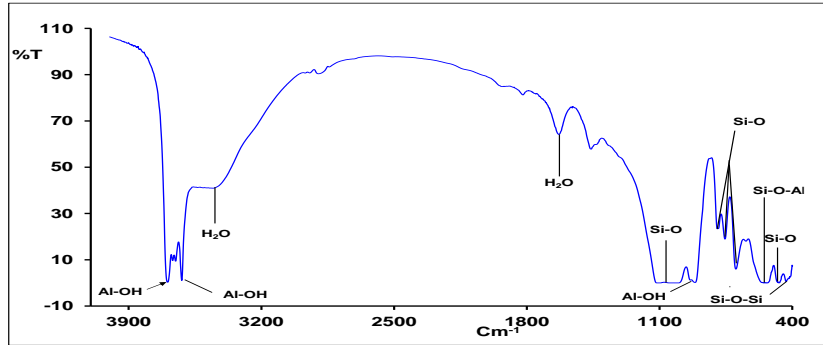
**Tableau I**: Composition chimique élémentaire de AN en % massique

Oxydes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Li <sub>2</sub> O	PF*	Total
% massique	48,1	36,9	0,26	0,2	0,17	0,2	1,9	0,05	0,27	11,88	99,93

\*PF : Perte au feu

### III-1-2. La spectrométrie infrarouge (IR)

Le spectre infrarouge de AN (**Figure 2**) présente des bandes caractéristiques de groupements fonctionnels des phases minérales qui composent AN. Les différentes bandes et leurs assignations sont regroupées dans le **Tableau 2**. Les résultats de l'analyse du spectre infrarouge confirment ceux de la DRX en identifiant les trois phases précédemment identifiées à savoir la kaolinite, l'illite et le quartz. L'infrarouge a permis d'identifier les molécules d'eau contenue dans AN qui n'ont pas été identifiées par DRX.



**Figure 2** : Spectre infrarouge de AN

**Tableau 2** : Attribution des bandes caractéristiques de AN

Phases minérales	Bandes en cm <sup>-1</sup>	Liaisons inter-atomiques	Références
Kaolinite	3691	v Al-OH externes	[8 - 10]
	3620	v Al-OH internes	[11, 12]
	905	v Al-OH	[9, 10, 13]
	752 et 692	v O-H	[9, 14]
	524	δ Si-O-Al	[9, 13]
Illite	428	δ Si-O-Si	[9]
	752	v O-H	[14]
Quartz	1025, 692 et 458	v Si-O	[9, 13, 15]
Eau adsorbée	3450 et 1621	v O-H	[8, 16, 17]

*v vibration d'élongation ; δ vibration de déformation*

### III-1-3. Semi-quantification

L'analyse semi-quantitative des différentes phases minérales est faite en couplant les résultats de la diffraction des rayons X et de l'analyse chimique. Ce couplage permet d'évaluer les quantités relatives des minéraux contenus dans AN à l'aide de la **Formule 2** [11] :

$$\mathbf{T(a)} = \sum \mathbf{M}_i \times \mathbf{P}_i(\mathbf{a}) \quad (2)$$

Dans cette relation,  $T(a)$  : teneur de l'oxyde « a » dans l'échantillon,  $M_i$  : teneur (%) du minéral « i » dans l'échantillon,  $P_i(a)$  : proportion de l'oxyde « a » dans le minéral « i » (cette proportion est déduite de la formule idéale attribuée au minéral « i »).

L'approche quantitative a été effectuée sur les bases suivantes :

- le potassium est contenu dans l'illite ;
- l'alumine est répartie entre la kaolinite, l'illite ;
- la silice est répartie entre la kaolinite, l'illite, le quartz.

Les pourcentages massiques des éléments minéraux sont obtenus à partir des **Formules** ci-après (**Formule 3a-f**) :

$$\% \text{Illite} = \frac{\% \text{K}_2\text{O}}{0,5} \times \frac{M_{\text{Illite}}}{M_{\text{K}_2\text{O}}} \quad (3a)$$

$$\% \text{Illite} = \frac{\% \text{K}_2\text{O}}{0,5} \times \frac{417}{94} \quad (3b)$$

$$\% \text{Kaolinite} = \left( \% \text{Al}_2\text{O}_3 - \% \text{Illite} \times \frac{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{M_{\text{Illite}}} \times \frac{3}{2} \right) \times \frac{M_{\text{Kaolinite}}}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}} \quad (3c)$$

$$\% \text{Kaolinite} = \left( \% \text{Al}_2\text{O}_3 - \% \text{Illite} \times \frac{102}{417} \times \frac{3}{2} \right) \times \frac{258}{102} \quad (3d)$$

$$\% \text{Quartz} = \left( \% \text{SiO}_2 - \% \text{Kaolinite} \times \frac{M_{\text{SiO}_2 \times 2}}{M_{\text{Kaolinite}}} - \% \text{Illite} \times \frac{M_{\text{SiO}_2 \times 3}}{M_{\text{Illite}}} \right) \times \frac{M_{\text{Quartz}}}{M_{\text{SiO}_2}} \quad (3e)$$

$$\% \text{Quartz} = \% \text{SiO}_2 - \% \text{Kaolinite} \times \frac{60 \times 2}{258} - \% \text{Illite} \times \frac{60 \times 3}{417} \quad (3f)$$

Le **Tableau 3** donne les masses molaires des différentes phases minérales et des oxydes contenus dans l'échantillon AN.

**Tableau 3 : Masses molaires des minéraux et des oxydes**

Minéraux	Masse molaire en g/mol
Masse molaire de l'illite	417
Masse molaire de la kaolinite	258
Masse molaire du quartz (SiO <sub>2</sub> )	60
Masse molaire de K <sub>2</sub> O	94
Masse molaire de la silice (SiO <sub>2</sub> )	60
Masse molaire de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	102

A partir des approximations faites sur les bases évoquées ci-dessus, les proportions des différentes phases minérales ont été déterminées et résumées dans le **Tableau 4**.

**Tableau 4 : Composition minéralogique de AN en % massique**

Phase minérale	Kaolinite	Quartz	Illite	Total
% massiques	78	4	17	99

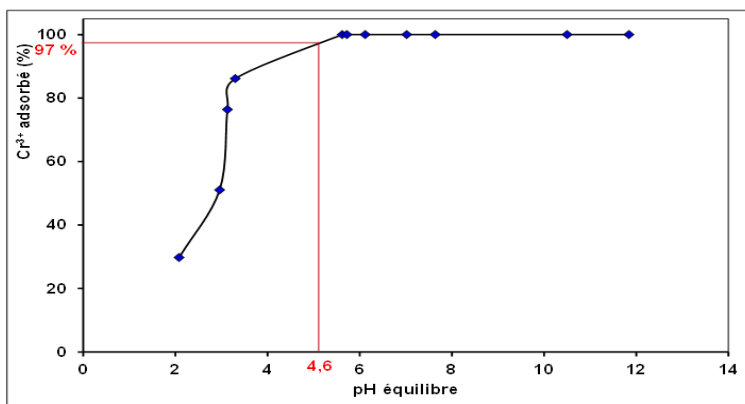
Le bilan minéralogique (**Tableau 4**) montre que AN est composé majoritairement de kaolinite (78 %) suivie d'illite (17 %) et de quartz (4%).

### III-1-4. Capacité d'échange cationique (C.E.C) et surface spécifique (SS)

Les valeurs de la CEC et de la SS sont respectivement 8,90 méq/100 g et 69,68 m<sup>2</sup>/g. La valeur de la CEC de l'échantillon serait celle d'une argile hétérogène riche en kaolinite car elle est comprise dans l'intervalle des valeurs de la CEC d'une kaolinite pure (3 - 15 méq/100g) [11]. Quant à la SS, sa valeur est supérieure à celle d'une kaolinite pure (10 - 30 m<sup>2</sup>/g) [6] et justifierait la présence d'autres minéraux dans AN.

### III-2. Elimination du chrome (III) par AN

L'élimination totale des ions chrome (III) intervient entre les pH 2 et 5 comme le montre la **Figure 3**. La constante de solubilité  $K_s$  de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  à 25°C est de  $6,3 \cdot 10^{-31}$ . Cela implique que l'hydroxyde de chrome  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  précipite à un pH de 4,6 pour la concentration de l'ion chrome  $\text{Cr}^{3+}$  de 0,01 mol/L. Juste avant ce pH, plus de 97 % de l'ion chrome est éliminé de la solution par les mécanismes de complexation et d'échanges d'ions. Au-delà de ce pH, il y a la précipitation du chrome (III) en hydroxyde de chrome ( $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ) qui permet l'élimination de l'ion chrome ( $\approx 3\%$ ) [14].



**Figure 3 :** Courbe d'adsorption du Cr (III) en fonction du pH d'équilibre

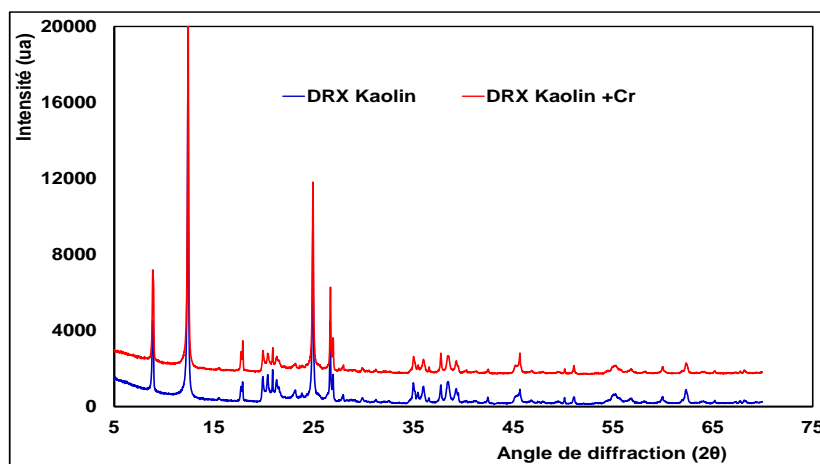
### III-3. Investigation structurale de AN après adsorption du chrome

#### III-3-1. La diffraction des rayons X (DRX)

La **Figure 4** donne les diffractogrammes de AN et AN+Cr (III). L'observation de ces diffractogrammes des rayons X, nous montre des légères modifications



notamment l'apparition de pics, l'augmentation et la diminution d'intensité des pics. Ces modifications traduiraient qu'il y aurait des réactions entre le  $\text{Cr}^{3+}$  et les minéraux de AN qui participent à l'élimination du chrome (III) en solution. Nous constatons une diminution des intensités des pics situés à  $19,95$  ;  $20,86$  ;  $20,92$  ;  $21,37$  ;  $23,31$  ;  $42,57$  ;  $45,68$  et  $50,14^\circ$  sur le diffractogramme de AN+Cr (III). Nous relevons une disparition du pic à  $23,96^\circ$  et une apparition d'un nouvel pic à  $28,04^\circ$  sur le diffractogramme de AN+Cr (III). Les autres pics subissent une augmentation d'intensité. L'ensemble des minéraux de AN participe à l'élimination du  $\text{Cr}^{3+}$  comme le suggère les modifications constatées sur les diffractogrammes (**Figure 4**). L'augmentation ou la diminution de l'intensité des pics serait probablement liée à l'adsorption des  $\text{Cr}^{3+}$  à la surface des minéraux. L'apparition de pic serait liée à la formation des nouvelles phases cristallines dans l'échantillon suite à la formation de complexes ou de précipités. La disparition s'expliquerait par la destruction des structures cristallines suite à la réaction entre les minéraux et les ions  $\text{Cr}^{3+}$ . Les résultats de la DRX montre que les minéraux de AN participeraient ensemble à l'élimination du  $\text{Cr}^{3+}$  à travers plusieurs mécanismes.



**Figure 4 :** *Diffractogramme des rayons X de AN et de AN+Cr<sup>3+</sup>*

### **III-3-2. La spectrométrie infrarouge (IR)**

La **Figure 5** donne la superposition des Spectres IR de AN et AN+Cr (III). L'élimination de  $\text{Cr}^{3+}$  engendre des modifications sur les spectres IR. Ainsi, nous constatons à  $3691$ ,  $3650$ ,  $3619$  et  $3413 \text{ cm}^{-1}$  une augmentation des bandes sur le spectre IR de AN+Cr<sup>3+</sup>. Cette observation serait due à une réaction entre la kaolinite ( $3691$ ,  $3650$  et  $3619 \text{ cm}^{-1}$ ) et le  $\text{Cr}^{3+}$ . La modification des pics à  $3413$  et  $1621 \text{ cm}^{-1}$ , caractéristique des bandes de vibrations de  $\text{H}_2\text{O}$ , seraient liées à sa participation à la formation du précipité  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  et/ou à sa réaction

avec les groupes aluminols ( $-Al-OH$ ) ou silanols ( $-Si-OH$ ) pour créer des sites actifs. Les nouvelles bandes à  $2426$  et  $1382\text{ cm}^{-1}$  pourraient être dues à la formation des liaisons entre le  $Cr^{3+}$  et les minéraux (kaolinite et illite) suite à la complexation. D'après les travaux antérieurs [18, 19], l'élimination des métaux lourds ( $Cr^{3+}$ ) a une influence sur les liaisons chimiques caractéristiques des minéraux. Elle entraînerait également la formation des nouvelles liaisons chimiques à la surface des argiles. La spectrométrie infrarouge (IR) montre donc que la quasi-totalité (kaolinite et illite) des minéraux participe à l'élimination des métaux lourds par plusieurs mécanismes (complexation, échanges d'ions et précipitation).

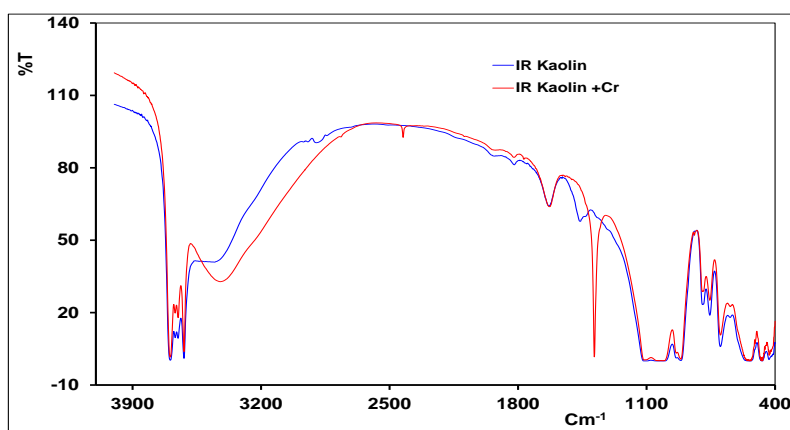


Figure 5 : Spectre IR de AN et de AN+Cr<sup>3+</sup>

#### IV - CONCLUSION

Les essais présentés au cours de cette étude ont permis de mettre en évidence les possibilités d'élimination du chrome (III) par une argile dénommée AN. La matière première argileuse à savoir AN (pH 5,1), qui a fait l'objet de ce travail, a été caractérisée par une variété de techniques d'analyse (DRX, IR, Analyse chimique, etc.). Cette caractérisation a permis de se rendre compte que l'échantillon contient la kaolinite (78 %), l'illite (17 %) et le quartz (4 %). Les valeurs de la CEC (8,90 méq/100g) et de la SS (69,68 m<sup>2</sup>/g) seraient dues à l'hétérogénéité de AN (présence de la kaolinite, l'illite et du quartz) et surtout à la quantité élevée de kaolinite. Au regard des résultats de la caractérisation physico-chimique, l'argile a été utilisée pour l'élimination du  $Cr^{3+}$  contenu dans des solutions synthétiques. Le suivi de l'élimination du  $Cr^{3+}$ , par la méthode électrochimique, a montré que nous avons une élimination d'environ 100 % du  $Cr^{3+}$  de concentration 0,01 mol/L en solution. Les études structurales ont montré que la complexation, l'échange d'ions et la précipitation seraient

les mécanismes qui participeraient à l'adsorption des  $\text{Cr}^{3+}$ . Au vu de ce qui précède, nous pouvons donc envisager une valorisation des argiles kaoliniques dans le traitement des eaux car elles s'avèrent être de bons adsorbants, malgré les faibles valeurs de la CEC et de la SS qui sont des caractéristiques recherchées dans ce domaine. Toutes les méthodes d'études que nous avons explorées restent limitées car elles ne permettent pas d'établir avec exactitude les mécanismes d'élimination. Nous envisageons pour les études à venir, d'utiliser des techniques de pointe telles que la spectrométrie d'absorption des Rayons X (EXAFS) et la spectrométrie photoélectronique X (XPS).

### REMERCIEMENTS

*Ce travail a été financé par « International Science Programme (ISP/IPICS), Uppsala, Sweden ». Les auteurs expriment leurs remerciements pour l'appui matériel et financier dont ce travail a bénéficié.*

### RÉFÉRENCES

- [1] - A. AYOUBA MAHAMANE et B. GUEL, Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso). Int. J. Biol. Chem. Sci, Vol.9 (2015) 517-533.
- [2] - S. PARE et al, Heavy metal removal from aqueous solutions by sorption using natural clays from Burkina Faso. African Journal of Biotechnology, Vol. 11 (2012) 10395 - 10406.
- [3] - S. SMI et al., Removal of  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  cations and  $\text{AsO}_4^{3-}$  anions from aqueous solutions by mixed clay from Tundulu in Malawi and characterisation of the clay. Water SA, Vol. 32 No. 4 (2006) 519 - 536.
- [4] - B. SORGHO et al., Etude d'une argile locale du Burkina Faso à des fins de décontamination en  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  et  $\text{Cr}^{3+}$ , J. Soc. Ouest Afr. Chim, vol. 31 (2011) 49 - 59.
- [5] - S. PARE et al., Trivalent Chromium removal from Aqueous solution using Raw Natural Mixed Clay from Burkina Faso, International Research Journal of Environment Sciences, Vol. 2 (2013) 30 - 37.
- [6] - B. SORGHO, Caractérisation et valorisation de quelques argiles du Burkina Faso : application des eaux et géomatériaux de construction, Thèse de doctorat de l'Université de Ouagadougou, (2013).
- [7] - K. L. KONAN, Interactions entre des matériaux argileux et un milieu basique riche en Calcium, Thèse de Doctorat de l'Université de Limoges (France), (2006).

- [8] - 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).
- [9] - E. JOUESSEIN et *al.*, Une nouvelle méthode de dosage des minéraux argileux en mélange par spectroscopie IR ; C.R.Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes/Earth and Planetary Sciences, Vol. 332 (2001) 83-89.
- [10] - J. T. KLOPROGGE et *al.*, Infrared emission spectroscopic study of the dehydroxylation of some hectorites; *ThermochimicaActa*, Vol. 345 (2000) 145 - 156.
- [11] - L. ZERBO, Transformations thermiques et réorganisation structurale d'une argile du Burkina Faso. Thèse de l'université de Ouagadougou, (2009).
- [12] - M. SEYNOU, Caractérisation de matières premières argileuses des sites de Loulouka et de Korona (Burkina Faso): valorisation dans la céramique du carreau, Thèse de doctorat l'Université de Ouagadougou, (2009).
- [13] - P. KOTOKY et *al.*, Characterization of clay minerals in the Brahmaputra river sediments, Assam, India ; *Current Science*, Vol. 91, N° 9, (2006) 1247 - 1250.
- [14] - A. M'LEYEH et *al.*, Fixation des métaux lourds par les argiles de la décharge municipale de BorjCheckir (SW de Tunis) ; *Proceedings of International Symposium and Workshop on Environmental Pollution Control and Waste Management*, (2002) 533 - 546.
- [15] - J. L. WHITE, Interpretation of IR spectra of soil minerals; *Soil Science* Vol 112, N° 1, (1971) 22 - 67.
- [16] - N. CABANE, Sols traités à la chaux et aux liants hydrauliques : contribution à l'identification et à l'analyse des éléments perturbateurs de la stabilisation. Thèse de Doctorat de l'Université Jean Monnet et de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de St-Etienne, France, (2004).
- [17] - R. L. FROST and A. M. VASSALO, The dehydroxylation of the kaolinite clayminerals using infrared emission spectroscopy; *Clay and clay Minerals*, vol. 44 (1996) 635 - 651.
- [18] - J. MADEJOVA, et *al.*, FTIR spectroscopic characterization of thermally treated  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Li}^{+}$  montmorillonites ; *SpectrochimicaActa Part A.*, Vol. 55 (1999) 2467 - 2476.
- [19] - E. ERREN and B. AFSIN, An investigation by raw and acid-activated bentonite: A combined potentiometric, thermodynamic, XRD, IR, DTA study; *J. Hazard Mater*, Vol. 151 (2008) 682 - 691.