

## ELIMINATION DES IMPURETES METALLIQUES DES EAUX DE RINÇAGE DES BAINS DE CHROMAGE

Reçu le 06/02/2008 – Accepté le 15/06/2008

### Résumé

Les eaux de rinçage des pièces chromées contiennent de l'acide chromique et des impuretés métalliques telles que  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Cr}^{3+}$ . Sachant que l'acide chromique est relativement cher et très toxique, sa récupération s'impose et présente un intérêt double, économique et environnemental. Dans ce travail, nous avons étudié la possibilité d'éliminer les impuretés métalliques de l'acide chromique et de reconcentrer ce dernier par électrodialyse. La concentration, la conductivité, le pH et la différence de potentiel ont été suivis pendant l'opération de l'électrodialyse. L'analyse des résultats a montré que pour les trois impuretés métalliques étudiées ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ ), le taux d'épuration augmente avec la densité de courant appliquée et le débit de circulation de la solution à traiter. L'importance de l'élimination des trois cations métalliques suit l'ordre suivant :  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ . La reconcentration de l'acide chromique est également favorisée par l'augmentation de la densité de courant et le débit de circulation de la solution. Cependant, à cause de la fuite en proton, cette reconcentration reste limitée.

**Mots clés:** électrodialyse, acide chromique, impuretés métalliques, récupération, épuration

### Abstract

The water used to rinse parts contains chromic acid and metallic impurities such as  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$ . As it is known chromic acid is relatively expensive and very toxic, so its recovery has double interest: economic and environmental. In this work, we studied the possibility of metallic impurities elimination from the chromic acid and reconcentrate the latter by electrodialysis. The concentration, conductivity, pH and potential difference were followed during the operations of electrodialysis. The analysis of the results showed that for the three metallic impurities studied ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$ ), the purification rate increases versus the applied current density and solution flow rate. The importance of the elimination of the three metal cations is as the following order:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ . The reconcentration of chromic acid is also favored by the increase of current density and solution flow rate. However, due to the proton leakage, the reconcentration remains limited.

**Keywords:** Electrodialysis, Chromic acid, Metallic impurities, Recovery, purification

N. BOUTEMINE\*  
Z. BENREDJEM  
A. GRID  
R. DELIMI

Laboratoire de Traitement des Eaux et Valorisation des Déchets Industriels  
Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Badji-Mokhtar Annaba, BP12, 23000, Algérie.  
\*E-mail : bouteminen@yahoo.fr

### ملخص

مياه شطف القطع الملبسة بالكروم تحتوي على حمض الكروم والشوائب المعدنية مثل  $\text{Cu}^{2+}$  و  $\text{Zn}^{2+}$  و  $\text{Fe}^{3+}$  و  $\text{Cr}^{3+}$ . من المعلوم أن حمض الكروم مكلف و ذا سمية عالية لذلك بات استرجاعه ضرورة ملحة باعتبار أن له أهمية مزدوجة: اقتصادية و بيئية. من خلال هذا العمل درسنا إمكانية التخلص من الشوائب المعدنية من حمض الكروم وإعادة تركيزه. أثناء التنقية الكهربائية تابعنا التركيز، الناقلية و pH و فرق الجهد. تحليل النتائج المحصل عليها يوضح أنه من أجل الشوائب المعدنية الثلاث  $\text{Cu}^{2+}$  و  $\text{Zn}^{2+}$  و  $\text{Fe}^{3+}$ ، نسبة التنقية تزداد مع زيادة كثافة التيار المطبق وسرعة تدفق المحلول المراد معالجته. أهمية حذف الشوائب المعدنية الثلاث تتبع الترتيب التالي:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ . إعادة تركيز حمض الكروم تزداد كذلك مع زيادة كثافة التيار و سرعة تدفق المحلول. غير أنه بسبب تسرب البروتونات تبقى عملية إعادة التركيز محدودة.

**الكلمات المفتاحية:** التنقية الكهربائية، حمض الكروم، الشوائب المعدنية، استرجاع، تنقية.

## 1. INTRODUCTION

Les activités industrielles génèrent des rejets polluants. Le traitement des effluents industriels et leur valorisation constituent une préoccupation majeure des industriels qui recherchent des solutions sûres, économiques et pratiques, avec une maintenance simplifiée et dont l'équipement puisse être réalisé réellement. L'industrie de traitement de surface est grande consommatrice d'eau en raison des multiples rinçages pendant le procédé. Par exemple, lors du passage des bains de chromage aux bains de rinçage, les pièces chromées entraînent des quantités plus ou moins importantes d'acide chromique et des impuretés métalliques dans les eaux de rinçage. L'acide chromique est l'un des composés les plus dangereux des eaux résiduaires. De plus, il coûte relativement cher. On attache un intérêt tout particulier à sa récupération. Donc le traitement des eaux de rinçage et des bains de traitement épuisés s'impose.

En général les procédés d'épuration connus sont relativement compliqués, qui en outre ôteraient à la récupération tout caractère de rentabilité, par exemple les méthodes de réduction - neutralisation - précipitation [1] génèrent d'un important volume de boues, ce qui conduit à un déplacement de la pollution. L'échange d'ions peut être appliqué à la récupération de l'acide chromique, cependant il présente la contrainte des cycles de régénération [2]. Les techniques de membranes liquides émulsionnées permettent d'extraire rapidement et de concentrer fortement les polluants [3]. L'inconvénient majeur de cette technique réside dans la perte d'extractants qui sont des produits chers. Les techniques électromembranaires semblent être appropriées à l'élimination des impuretés se trouvant dans les effluents industriels [4-7]. Dans un travail récent Jeeshan K. et al [5] ont étudié la possibilité de récupérer l'acide chromique et les ions métalliques à l'aide d'un réacteur électrochimique à membrane. On a conclu que le procédé est efficace. Cependant, les solutions sur lesquelles on a travaillé sont des solutions de sels de bichromate de potassium contenant des ions métalliques et non pas de solutions d'acide chromique. De plus, les ions métalliques sont séparés par précipitation sous forme d'hydroxyde ce qui pourrait endommager les membranes. Vallejo et al [8] ont essayé d'éliminer les cations  $Ni^{2+}$  et de reconcentrer l'acide chromique à l'aide d'une cellule d'électro-électrodialyse à trois compartiments.

**Tableau 1 :** Caractéristiques des membranes échangeuses d'ions utilisées.

Membrane	fabricant	type	Capacité d'échange meq/g	Epaisseur $\mu m$	Teneur en eau %	Résistance électrique $\Omega cm^{-2}$	Nombre de transport
CMV	Asahi	Cationique	2,2	0,13-0,15	40	2,3	$t_{Na^+}=0,92$
AMV	glass	fort	2 – 2,3	0,12-0,15	15-16	2,3	$t_{Cl^-}=0,94$
	Asahi	Anionique					
	glass	fort					

L'objectif de ce travail est d'étudier la possibilité d'épurer les eaux de rinçage, contaminées par des impuretés métalliques, et de reconcentrer l'acide chromique par électrodialyse. A fin d'éviter une augmentation de la résistance de la cellule due à l'électrodéposition des métaux à la cathode, nous avons utilisé une cellule à quatre compartiments. Le principe de l'épuration et de reconcentration des solutions diluées d'acide chromique que nous envisageons d'étudier repose sur le transfert des impuretés métalliques du compartiment d'alimentation (A) vers le compartiment receveur (R) à travers une membrane échangeuse de cations (MEC) où il seront concentrés. Dans l'autre sens, les anions du Cr(VI) migrent à travers une membrane anionique du compartiment d'alimentation au compartiment d'électrode anodique ( $E_A$ ) pour reconcentrer une solution diluée d'acide chromique. L'influence de la densité de courant et du débit de circulation de la solution sur l'élimination des impuretés métalliques et la reconcentration de l'acide sera étudiée.

## 2. PARTIE EXPERIMENTALE

### 2.1 Matériels et réactifs chimiques

#### 2.1.1 Membranes échangeuses d'ions (MEI)

Les principales caractéristiques des MEI étudiées sont reportées dans le tableau 1.

#### 2.1.2 Réactifs chimiques

Les solutions utilisées ont été préparées à partir de réactifs purs suivants :

CrO<sub>3</sub> (Reidel dehiën) 99%  
 CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O (Cheminova) 99,6%  
 ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (Rectapur) 99,6%  
 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.7H<sub>2</sub>O (Reidel dehiën) 99,9%  
 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Prolabo) 96%

#### 2.2 Appareillage et procédures

L'électrodialyse a été mise en oeuvre sur une cellule de laboratoire et testée avec des solutions synthétiques d'acide chromique contenant un cation métallique ( $Cu^{2+}$  ou  $Zn^{2+}$  ou  $Fe^{3+}$ ). La cellule est composée de quatre compartiments: d'alimentation (A), d'électrode anodique ( $E_A$ ), de receveur (R) et d'électrode cathodique ( $E_C$ ). La solution à traiter circule dans le compartiment d'alimentation (A), alors que la solution d'acide chromique pur à concentrer circule dans le compartiment

électrode anodique ( $E_A$ ). Dans le compartiment receveur (R), où devaient se transférer les impuretés métalliques, circule une solution d'acide sulfurique. Dans le compartiment électrode cathodique ( $E_C$ ) circule également une solution d'acide sulfurique. Aux extrémités de la cellule sont placées deux électrodes, en titane platiné dans le compartiment ( $E_A$ ) et en graphite dans le compartiment ( $E_C$ ). La surface utile de chaque électrode est de  $12,3 \text{ cm}^2$ . Les deux électrodes sont reliées à un générateur de courant à intensité régulière (0-2.5A, 0-30V). Nous avons travaillé en mode galvanostatique de façon à maintenir le courant constant. Les compartiments et les supports des électrodes sont en plexiglass, matériau inerte en présence d'acide.

L'étanchéité de l'ensemble est assurée par des joints d'épaisseur 1mm. Les solutions étudiées sont des solutions synthétiques de composition : 0.1M en  $\text{CrO}_3$  +  $10^{-4} \text{ M}$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  +  $10^{-2} \text{ M}$  en impuretés métalliques ( $\text{Cu}^{2+}$  ou  $\text{Zn}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ ) introduites sous forme de sulfates. A fin de suivre l'évolution des concentrations des impuretés métalliques et de l'acide chromique des prélèvements sont effectués dans les différents compartiments et les concentrations sont analysées par absorption atomique (spectrophotomètre SHIMADZU

AA- 6200). Pendant les expériences nous mesurons la conductivité et le pH des solutions des compartiments (A, R et  $E_A$ ). L'électrodialyse est effectuée à une densité de courant et un débit constants.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse de la concentration des impuretés métalliques dans les compartiments d'alimentation et receveur a permis de quantifier l'efficacité d'épuration de la solution à traiter et l'analyse de la concentration de l'acide chromique dans les compartiments d'alimentation et anodique a permis de quantifier la reconcentration de l'acide chromique.

#### 3.1 Elimination des impuretés métalliques

##### 3.1.1 Variation de quelques paramètres physico-chimiques au cours de l'électrodialyse

Au cours de l'électrodialyse d'une solution d'acide chromique à  $10^{-1} \text{ M}$  contenant un cation métallique ( $\text{Cu}^{2+}$  ou  $\text{Zn}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ ) à  $10^{-2} \text{ M}$  pendant une durée de 7 heures, on a effectué des prélèvements de solutions des compartiments (A), (R) et ( $E_A$ ). On a également suivi la variation de la conductivité et du pH des solutions des mêmes compartiments, et la tension de la cellule. La densité de courant et le débit de circulation de la solution sont égaux à  $10 \text{ mA cm}^{-2}$  et  $3,2 \text{ L h}^{-1}$  respectivement.

##### 3.1.1.1 Evolution du nombre de moles en fonction du temps

Les résultats de l'analyse de la concentration des impuretés métalliques dans les compartiments (A) et (R) en fonction du temps sont présentés dans la figure 1. On

constate qu'au cours de l'opération de l'électrodialyse, pour les trois cations métalliques étudiés, le nombre de moles de l'impureté métallique diminue dans le compartiment d'alimentation et augmente dans le compartiment receveur. Ce résultat montre que l'application du champ électrique conduit bien au transfert par migration d'une partie des cations métalliques du compartiment d'alimentation au compartiment receveur. Les allures des courbes obtenues avec les trois cations étudiés sont pratiquement identiques.

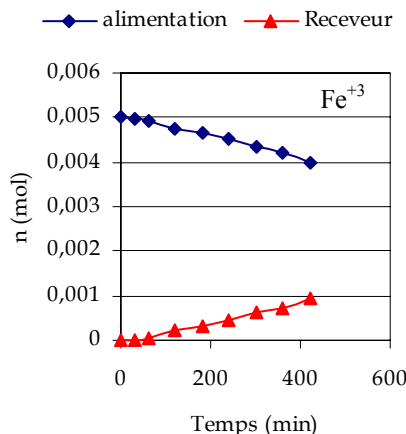
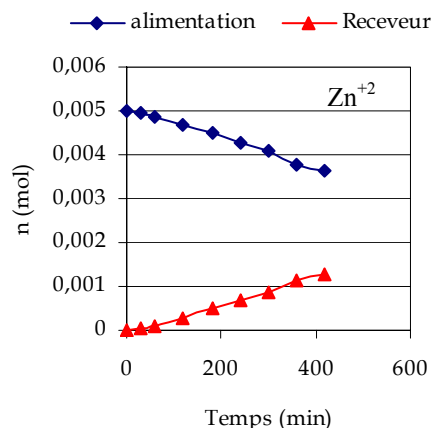
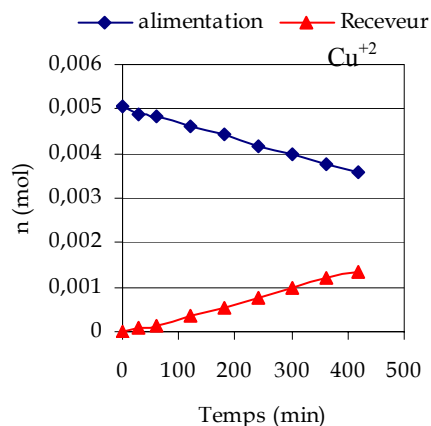
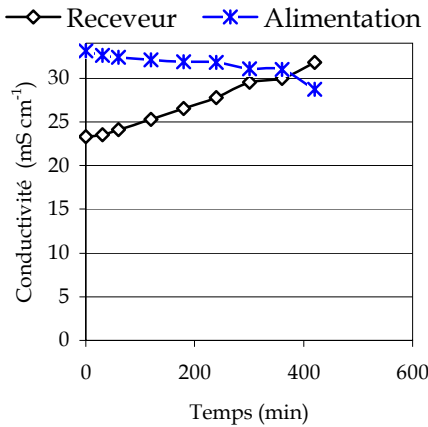


Figure 1 : Evolution du nombre de moles de cation métallique en fonction du temps. Densité de courant:  $10 \text{ mA cm}^{-2}$ , débit:  $3,2 \text{ L h}^{-1}$ , durée d'électrodialyse: 7h.

### 3.1.1.2 Conductivité

La variation de la conductivité dans les compartiments (A) et (R) en fonction du temps est présentée dans la figure 2. Sa variation dans les deux compartiments est en accord avec la variation du nombre de moles. Les allures des courbes obtenues avec les solutions contenant un cation métallique sont semblables, et à titre d'exemple, on donne celle obtenue avec le cuivre (figure 2).



**Figure 2:** Evolution de la conductivité dans les compartiments (R) et (A) en fonction du temps. Densité de courant:  $10 \text{ mA cm}^{-2}$ , débit:  $3,2 \text{ L h}^{-1}$ , durée d'électrodialyse: 7 h.

### 3.1.1.3 pH

Le pH mesuré en fonction du temps, dans les deux compartiments (A) et (R) reste pratiquement constant pendant l'électrodialyse. Ce résultat s'explique par la concentration élevée de l'acide devant la concentration des cations métalliques. Le transfert de la quantité des ions  $\text{Cu}^{2+}$  n'altère pas sensiblement le pH de la solution.

### 3.1.1.4 Tension de la cellule

Les mesures de la tension de cellule ont montré que celle-ci augmente tout d'abord puis s'atténue après une durée de deux heures. A une densité de courant constante, l'augmentation de la tension de cellule signifie une augmentation de la consommation de l'énergie électrique.

## 3.1.2 Influence de la densité de courant

### 3.1.2.1 Nombre de moles et flux de transfert

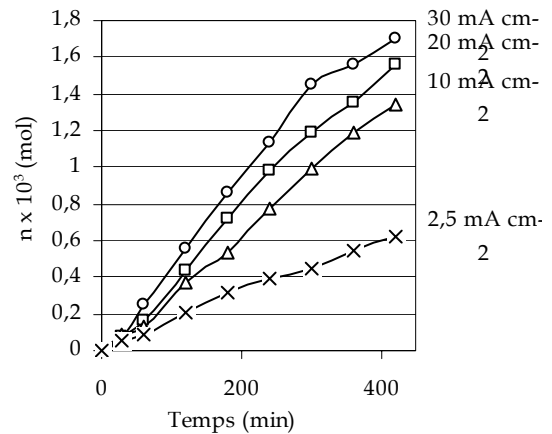
Pour chaque cation étudié nous avons effectué des expériences d'épuration à différentes densités de courant. A titre d'exemple, sur la figure 3 sont présentées les variations du nombre de moles de  $\text{Cu}^{2+}$  avec le temps à différentes densités de courant. On constate que plus la densité de courant est grande plus le nombre de moles transférées est grand.

Les flux de transfert des cations métalliques dans le compartiment receveur ont été calculés à l'aide de la formule suivante :

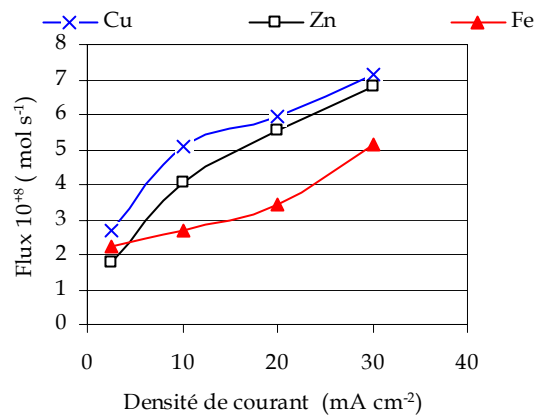
$$J^R = \frac{\Delta N^R}{\Delta t} \quad (1)$$

$\Delta N^R$ : Variation du nombre de moles dans le compartiment (R) pendant la durée  $\Delta t$ .

La figure 4 permet de comparer les flux des trois cations métalliques. Avec l'augmentation de la densité de courant les flux de transfert des ions  $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$  convergent à la même valeur. On constate une allure de la courbe de variation du flux de transfert des ions  $\text{Fe}^{3+}$  différente de celles obtenues pour les ions  $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$ .



**Figure 3:** Evolution du nombre de moles de  $\text{Cu}^{2+}$  en fonction du temps à différentes densités de courant. Solution à traiter :  $\text{CrO}_3 \text{ } 10^{-1} \text{ M} + \text{Cu}^{2+} \text{ } 10^{-2} \text{ M}$ , débit:  $3,2 \text{ L h}^{-1}$ , durée d'électrodialyse: 7 h.



**Figure 4:** Evolution du flux de transfert dans le compartiment receveur en fonction de la densité de courant.

3.1.2.2 Taux d'épuration

Les valeurs des taux d'épuration des cations métalliques de la solution à traiter sont calculées à l'aide de l'équation 2 et sont regroupées dans le tableau 2.

$$T^E = 100 \frac{C^i - C^f}{C^i} \quad (2)$$

$C^i$ ,  $C^f$  Concentrations initiale et finale de l'impureté métallique dans la solution à traiter.

L'analyse des valeurs portées dans le tableau 2 montre que, pour les trois cations étudiés, le taux d'épuration augmente avec la densité de courant appliquée. Les deux cations  $Cu^{2+}$  et  $Zn^{2+}$  présentent des taux d'épuration proches. On note cependant une valeur plus faible pour le cation  $Fe^{3+}$ . En général, les résultats obtenus montrent des taux d'épuration qui suivent la séquence  $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Fe^{3+}$ . Le taux d'épuration le plus élevé (35%) a été obtenu avec le  $Cu^{2+}$  à une densité égale à 30 mA cm<sup>2</sup>. Le taux d'épuration peut être amélioré par l'augmentation de la durée de l'analyse. Frenzel et al [7] ont effectué une extraction des cations par électrodialyse pendant une durée de 400 heures.

Tableau 2: Taux d'épuration à différentes densités de courant

i (mA cm <sup>-2</sup> )	2,5	10	20	30
Cu <sup>2+</sup>	13,48	28,59	32,24	35,16
Zn <sup>2+</sup>	13,19	26,82	30,64	33,11
Fe <sup>3+</sup>	10,13	20,39	22,70	26,12

3.1.2.3 Rendement faradique

On détermine le rendement faradique  $R_F$  en calculant le rapport entre le nombre d'équivalents des ions transférés et la quantité théorique des équivalents :

$$R_F = 100 \frac{Z_i J_i F}{I} \quad (3)$$

$Z_i$ : Valence de l'ion i ;  $F$ : Constante de Faraday (C mol<sup>-1</sup>)  
 $J_i$ : Flux de l'ion (mol s<sup>-1</sup>) ;  $I$ : Intensité de courant (A)

Les rendements faradiques calculés pour les trois cations étudiés à différentes densités de courant sont portés dans le tableau 3. Ce tableau permet de constater que le rendement faradique chute avec l'augmentation de la densité de courant. Il faut noter que les rendements faradiques sont relativement faibles et en solution très acide (pH=1) le courant est principalement transporté par les protons qui ont une très grande mobilité.

Tableau 3 : Rendement faradique ( $R_F$  %) à différentes densités de courant

i (mA cm <sup>-2</sup> )	2,5	10	20	30
Cu <sup>2+</sup>	17,6	9,53	5,5	4,02
Zn <sup>2+</sup>	16,52	9,02	5,18	3,80
Fe <sup>3+</sup>	18,59	10,17	5,81	4,43

3.1.3 Influence du débit

Influence du débit sur l'efficacité d'épuration des solutions d'acide contaminées par des impuretés métalliques a été également étudiée. Pour chaque cation métallique on a réalisé quatre expériences d'électrodialyse à des débits différents (0,9 ; 1,8 ; 3,2 et 5 L h<sup>-1</sup>). On remarque sur la figure 5 que lorsque le débit augmente le flux de transfert des cations métalliques dans le compartiment receveur augmente. Pour les cations  $Cu^{2+}$  et  $Zn^{2+}$ , au débit plus élevé, l'écart entre les flux se réduit considérablement.

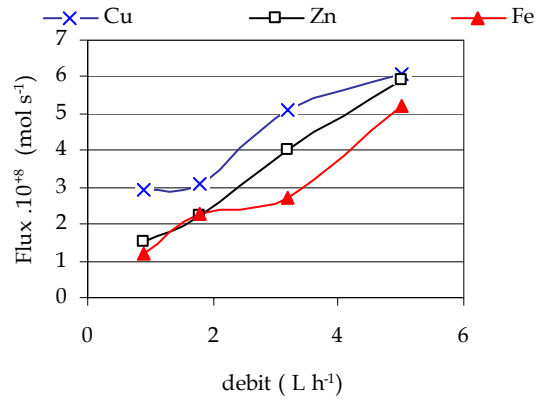


Figure 5 : Evolution du flux de transfert dans le compartiment (R) en fonction du débit

Les valeurs du taux d'épuration portées dans le tableau 4 montrent que l'efficacité du procédé s'améliore nettement quand le débit de la solution à traiter augmente. L'importance du taux d'épuration des trois cations suit l'ordre  $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Fe^{3+}$ .

Tableau 4 : Taux d'épuration en fonction du débit

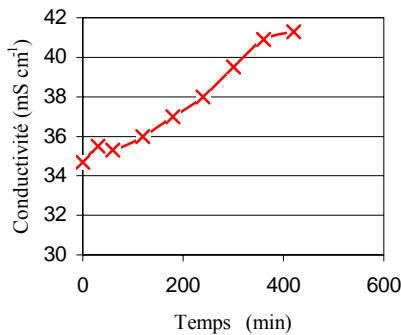
Débit L h <sup>-1</sup>	0,9	1,8	3,2	5
Cu <sup>2+</sup>	14,33	19,26	28,59	32,34
Zn <sup>2+</sup>	13,19	17,96	26,82	30,73
Fe <sup>3+</sup>	10,35	16,90	20,39	27,02

### 3.2 Reconcentration de l'acide chromique

L'analyse des prélèvements effectués des solutions des compartiments d'alimentation et anodique a permis de suivre la reconcentration de l'acide chromique dans le compartiment anodique.

#### 3.2.1 Evolution de la conductivité pendant l'électrodialyse

Durant les essais de reconcentration de l'acide chromique par électrodialyse on a suivi l'évolution de la conductivité de la solution circulant dans le compartiment anodique. Les résultats exprimés sous forme de courbe (figure 6) montrent une augmentation de la conductivité avec le temps. Cette augmentation signifie à priori une reconcentration de l'acide chromique dans le compartiment anodique.

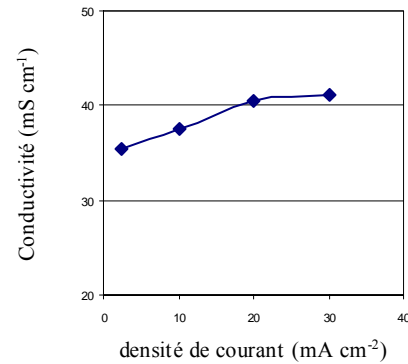


**Figure 6 :** Evolution de la conductivité dans le compartiment anodique en fonction du temps. Densité de courant: 30 mA cm<sup>-2</sup>, débit: 3,2 L h<sup>-1</sup>, durée d'électrodialyse: 7 h.

#### 3.2.2 Influence de la densité de courant

##### 3.2.2.1 Conductivité

Les essais de reconcentration de l'acide chromique effectués à différentes densités de courant montrent une augmentation de la conductivité de la solution, circulant dans le compartiment anodique avec la densité de courant appliquée. A titre d'exemple, on donne dans la figure 7 la reconcentration de l'acide chromique à partir de la solution d'acide chromique à 10<sup>-1</sup> M contenant les cations Cu<sup>2+</sup> à 10<sup>-2</sup> M.

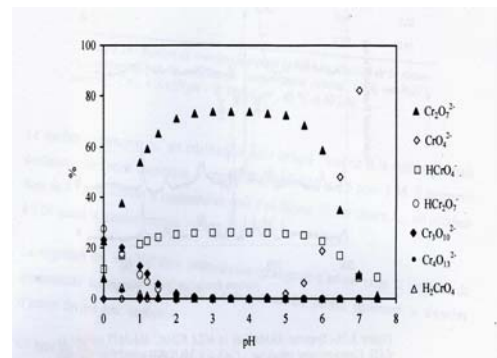


**Figure 7 :** Variation de la conductivité dans le compartiment anodique en fonction de la densité de courant. Solution à traiter: CrO<sub>3</sub> 10<sup>-1</sup>M + Cu<sup>2+</sup> 10<sup>-2</sup>M, débit: 3,2 Lh<sup>-1</sup>, durée: 7 h.

##### 3.2.2.2 Rendement faradique

En solution aqueuse le Cr (VI) se présente sous la forme de différentes espèces anioniques ou neutres. Sarmaitis et al [9] ont étudié la distribution des espèces de Cr(VI) en solution aqueuse en fonction du pH. Vallejo et al [8] donnent les pourcentages des espèces pour une concentration égale à 0,1M (figure 8). Dans notre cas la concentration de l'acide chromique égale à 0,1M et pH=1,08 les pourcentages des espèces tirés de la figure 10 sont : Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup> 58%; HCrO<sub>4</sub><sup>-1</sup> 22%; HCr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-1</sup> 7,5%; Cr<sub>3</sub>O<sub>10</sub><sup>-2</sup> 8,5%.

Pour les espèces Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup>; Cr<sub>3</sub>O<sub>10</sub><sup>-2</sup> on prend Z=2 et pour HCrO<sub>4</sub><sup>-1</sup>; HCr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-1</sup> Z=1.



**Figure 8 :** Diagramme de répartition des espèces de Cr(VI) en solutions en fonction du pH. Cr(Total): 0.1 M.

Les valeurs de rendements faradiques calculées sont portées dans le tableau 5. On constate une diminution du rendement faradique avec la densité de courant appliquée. Les rendements faradiques obtenus (12 – 48,5%) pour le transfert des espèces de Cr(VI) dans le compartiment anodique sont supérieurs à ceux obtenus (4 – 18,5%) pour le transfert des cations métalliques (Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> et Fe<sup>3+</sup>) dans le compartiment receveur.

**Tableau 5 :** Rendement Faradique de reconcentration de l'acide chromique

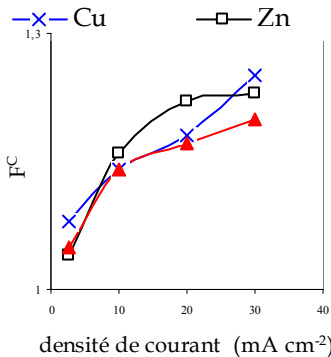
Solution d'alimentation	Densité de courant mA cm <sup>-2</sup>			
	2,5	10	20	30
CrO <sub>3</sub> + CuSO <sub>4</sub>	48,38	22,64	14,27	13,42
CrO <sub>3</sub> + ZnSO <sub>4</sub>	29,66	29,22	20,21	13,98
CrO <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	39,12	25,61	15,73	12,04

**3.2.2.3 Facteur de concentration**

Le facteur de concentration est défini comme le rapport de la concentration  $C_t^A$  dans le compartiment anodique à un instant donné sur la concentration initiale  $C_i^A$  de la même solution.

$$F^C = \frac{C_t^A}{C_i^A} \quad (4)$$

Les résultats de calcul des facteurs de concentration à partir des mesures de concentration ont été exprimés sous forme de dépendances. La figure 9 montre une augmentation du facteur de concentration avec la densité de courant. On remarque également que les valeurs de facteur de reconcentration de l'acide contenant différents cations métalliques sont voisines. On peut, donc, conclure que la nature du cation métallique n'a que peu d'effet sur la reconcentration de l'acide.

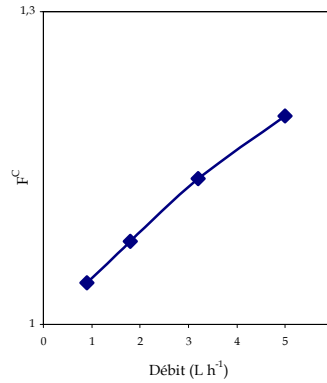


**Figure 9 :** Evolution du facteur de concentration de l'acide chromique dans le compartiment anodique en fonction de la densité de courant

**3.2.3 Influence du débit**

Les performances du procédé de reconcentration de l'acide chromique en fonction du débit de la solution à traiter peuvent être analysées à partir de la courbe de la figure 10. On constate que l'augmentation du débit entraîne une augmentation de la concentration. Les valeurs de facteurs de concentration sont relativement faibles. La petitesse de ces valeurs est due probablement au phénomène de fuite en proton à travers la membrane échangeuse d'anions et à la grosseur de la taille des anions de Cr(VI) qui influent sur la perméabilité de la

membrane. Dans leurs recherches Vallejo et al [8, 10] ont signalé ces phénomènes.



**Figure 10 :** Evolution du facteur de concentration de l'acide chromique dans le compartiment anodique en fonction du débit

**CONCLUSION**

Les résultats de l'étude centrée sur l'élimination des cations métalliques des solutions d'acide chromique ont montré qu'il est possible de séparer les impuretés métalliques des effluents contenant l'acide chromique. L'électroextraction de ces cations métalliques dépend de la densité de courant appliquée et du débit de circulation de la solution à traiter. Les valeurs du taux d'épuration (30- 35%) peuvent être améliorées par le prolongement de la durée de l'électrodialyse. L'étude de la reconcentration de l'acide chromique a montré que l'électrotransport des anions du Cr(VI) augmente avec l'augmentation de la densité de courant et du débit. Le rendement faradique de reconcentration de l'acide chromique (48,5%) est satisfaisant.

**REFERENCES**

[1] Kidon W.E., Shuster N., Babinsky A.D., "Production of chromic acid using two compartments and three-compartment cells", *US Patent* 4, 273, 628 (1981).  
 [2] Sengupta A.K., Subramonian S., Clifford D., "More on mechanism and some important properties of chromate ion exchange", *J. Environ. Eng.*, Vol.114,(1988), pp.137-153.  
 [3] Bhowal A, Siddhartha D., "Studies on transport mechanism of Cr(VI) extraction from an acidic solution using liquid surfactant membranes", *J. Membr. Sci.*, Vol. 188, (2001), pp. 1-8  
 [4] Frenzel I., Holdik H., Stamatialis D.F., Pourcelly G., Wessling M., "chromic acid recovery by electroelectrodialysis. I. Evaluation of anion exchange membrane", *J. Membr. Sci.*, Vol. 261, Issues 1-2 (2005), pp. 49 - 57.

- [5] ] Jeeshan K., Bijay P. T., Armina S., Vinod K.S., "Electrochemical membrane reactor: In situ separation and recovery of chromic acid and metal ions", *Electrochimica Acta*, Vol.52, (2007), pp. 6719 - 6727.
- [6] Abdul J.C., Bijita Ganguli, Susan M.G. "The regeneration and recycle of chromium etching solutions using concentrator cell membrane thechnology" , *Chemosphere*, Vol. 62, (2006), pp. 841-846.
- [7] Frenzel I., Holdik H., Stamatialis D.F., Pourcelly G., Wessling M., "Chromic acid recovery by electro-electrodialysis: II. Pilot scale process, development and optimization" *Sep. Purif. Technol.*, Vol. 47, Issues 1-2, (2005), pp. 27-35.
- [8] Vallejo E., Persin F., Innocent C., Sstat P., Pourcelly G., "Electrotransport of Cr(VI) through an anion exchange membrane", *Sep. Purif. Technol.* , Vol.21, (2000), pp 61- 69.
- [9] Sarmaitis R., Dikinis V., Rezaite V., "Equilibrium in solutions of chromic acid", *Plat. Surf. Finish.* Vol.83, (1996), pp. 53-57.
- [10] Vallejo E., Huguet P., Innocent C., Persin F., Bribes J., Pourcelly G., "Contribution of Raman spectroscopy to the comprehension of limiting phenomena occuring with a vinylpyridinium anion exchange membrane during the electrolysis of Cr(VI) solutions", *J. Phys. Chem. B.*, Vol.103 (1999), pp.11366-11371.