



## **ELIMINATION DES SUBSTANCES HUMIQUES DE DEUX EAUX DE SURFACE ALGÉRIENNES PAR ADSORPTION SUR CHARBON ACTIF ET SUR BENTONITE**

**GUERGAZI S.\*, AMIMEUR D., ACHOUR S.\***

\*Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface - LARHYSS-  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique, Faculté des Sciences et de la  
Technologie Université Mohamed Khider de Biskra, BP. 145. R.P.7000 Biskra Algérie

sguergazi@rocketmail.com ; samia.achour@larhyss.net

### **RESUME**

L'objectif de ce travail est d'étudier les capacités de différents adsorbants dans la rétention des substances humiques naturelles contenues dans les eaux de barrage de Tichy Haff et Kherrata de la région de Bejaia (Nord de l'Algérie). Notre choix s'est porté sur le charbon actif en poudre, en grain et sur deux bentonites brutes provenant des gisements de Mostaghanem et de Maghnia (Ouest de l'Algérie). Nos résultats ont montré que l'équilibre est atteint pendant un temps de contact allant de 10 à 30 min. La variation des doses d'adsorbants ont montré que les bons rendements d'élimination des substances humiques des eaux de surface testées sont obtenus pour de faibles masses d'adsorbant allant de 10 à 20 mg.

**Mots Clés :** Adsorption, Substances humiques, Charbon actif en poudre et en grains, Bentonites.

### **ABSTRACT**

The aim of this work is to study the capacity of different adsorbents in the retention of humic substances contained in natural water dams of Tichy Haff and Kherrata. These two dams are located in Bejaia region (North of Algeria). Our choice was made on the powdered activated carbon (PAC), the granular activated carbon (GAC) and two raw bentonites from Mostaghanem and Maghnia (West of Algeria). The adsorption kinetics showed that the equilibrium is attained during a contact time ranging from 10 to 30 minutes. The variation of doses of adsorbents showed the good elimination yields of humic substances of

surface waters tested and obtained for low mass of adsorbent between 10 and 20 mg.

**Keywords:** Adsorption, Humic substances, powdered activated carbon, Granular activated carbon, Bentonite.

## INTRODUCTION

Les eaux de surface contiennent des matières organiques et minérales provenant soit de la vie végétale et animale, soit de la chimie de synthèse organique ou minérale. Dans le domaine des matières organiques naturelles, les substances humiques, composées principalement d'acides humiques et fulviques, occupent une très grande part. Elles sont responsables de la coloration de l'eau, possèdent des propriétés d'échangeurs d'ions et des propriétés de complexation. Elles peuvent être un véhicule pour la plupart des substances toxiques (métaux lourds, pesticides...), participent également à la corrosion du système de distribution et au colmatage des résines et des membranes (Ayele et al., 1993).

En Algérie, le matériel humique peut représenter une part importante de la charge organique des eaux superficielles. Il constitue généralement la catégorie la plus importante dans ces eaux avec des concentrations supérieures à 1 mg/l et une proportion de l'ordre de 40 à 90% de COT (carbone organique total) (Achour et al., 2009). Il en découle que ce type de composé organique présente souvent des potentiels de réactivité considérables vis-à-vis du chlore accompagnés par la formation des composés organohalogénés et en particulier les trihalométhanes. Ces substances peuvent générer une toxicité chronique (effet mutagènes et cancérigènes), et s'ils sont formés, ils sont difficilement éliminables (Rook, 1974; Achour, 2009). De même, le traitement conventionnel de clarification qui pourrait efficacement éliminer ces macromolécules de type humique n'est pas toujours suffisant. Il nécessite des conditions optimales souvent peu compatibles avec les conditions pratiques d'exploitation et de traitement ainsi qu'avec les critères de potabilité.

Les procédés utilisant l'adsorption constituent alors souvent une technique de choix, complémentaire à la filière de base, parce que l'adsorption s'avère efficace dans la rétention et l'élimination des composés organiques et minéraux solubles d'une eau sans être modifiés. Actuellement, plusieurs auteurs (Ayele et al., 1993; Leclerc, 1995; Al Madrani, 2008) ont montré que le charbon actif est considéré comme l'un des adsorbants les plus polyvalents et de nombreux travaux font ressortir son efficacité. Une solution alternative consisterait à utiliser d'autres matériaux adsorbants l'alumine activée, la goethite, le kaolin et les argiles (bentonites) qui furent les premiers adsorbants utilisés pour le dégraissage de la laine, puis pour la floculation d'eaux turbides.

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est d'étudier les capacités de ces différents adsorbants dans la rétention et /ou l'élimination des substances

humiques naturellement contenues dans deux types d'eaux de barrage destinées à l'alimentation en eau potable. Il s'agit des eaux des barrages de Tichy Haff et de Kherrata dans la région de Béjaia (Nord de l'Algérie).

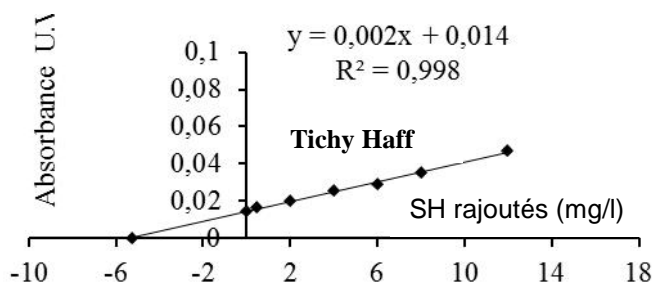
## MATERIELS ET METHODES

### Echantillonnage et méthodes de dosage

Les prélèvements d'eaux brutes des deux barrages de Tichy Haff et Kherrat ont été effectués à une profondeur de l'ordre de 50 cm de la surface de l'eau. Les principaux paramètres physico-chimiques caractéristiques de ces eaux sont présentés dans le tableau 1. Ils sont déterminés par les méthodes standards d'analyse décrites par Rodier, (2009). Le dosage des substances humiques a été effectué par la méthode des ajouts dosés à une longueur d'onde de 254 nm. La figure 1 présente un exemple des courbes d'étalonnage qui permet de déterminer les substances humiques (cas du barrage de Tichy Haff).

**Tableau 1 :** Principales caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface testées.

<b>Paramètres</b>	<b>Tichy Haff</b>	<b>Kharrata</b>
Température (°C)	17	17
pH	8,59	8,65
Conductivité (µs/cm)	1527	828
Turbidité (NTU)	23	32
TH (°F)	32,8	24
TAC (°F)	12,4	12
Fe <sup>+2</sup> (mg/l)	0,01	0,0
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	730	240
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	139,95	59,98
SH(mg/l)	5,25	8,50
Oxydabilité au KMnO <sub>4</sub> (mg)	2,24	5,44



**Figure 1 :** Courbes d'étalonnage de substances humiques de l'eau de barrage Tichy Haff .

**Description des essais d'élimination des substances humiques sur charbons actifs et sur bentonites**

*Caractéristiques des charbons actifs*

Dans notre étude, nous avons testé deux types de charbon actif, un charbon actif en poudre et un charbon actif en grains dont les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau 2.

**Tableau 2 :** Caractéristiques des charbons actifs testés

Charbon actif	Produit utilisé	pH	Granulométrie	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)
Grains (CAG)	DARCO, produit aldrich	Acide	0,3-0,5(mm)	550
Poudre (CAP)	laboratoire de chimie Riedel -de	---	20 (nm) Mésoporeux	658

*Caractéristiques des bentonites brutes utilisées*

Nous avons utilisé deux bentonites Algériennes proviennent du gisement de Hammam Boughrara (Maghnia) et de M'Zila (Mostaghanem), en nous basant sur les caractéristiques déterminées par le laboratoire des analyses de la bentonite de l'unité de ENOF, (2005) ;(Entreprise nationale des produits miniers non ferreux). Ces caractéristiques sont résumées dans les tableaux 3 et 4.

**Tableau 3 :** Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Mostaghanem.

Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	pH	Capacité d'échange d'ions (méq/100g)	Cations échangeables (méq/100g)		
			Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
65,0	9,00	75,8	<b>43,6</b>	25,2	4,8

**Tableau 4 :** Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite de Maghnia.

Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	pH	Capacité d'échange d'ions (méq/100g)	Cations échangeables (méq/100g)		
			Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>
80	6,2	95	30,6	<b>36,2</b>	12,8

### *Description des essais d'adsorption*

Les essais d'adsorption sur charbons actifs en poudre et en grains et sur bentonites brutes ont été réalisés en batch en utilisant des béchers en verre de 1 litre. Différentes étapes et conditions opératoires ont été également adoptées.

La première étape consiste à déterminer les rendements optima d'élimination des substances humiques des eaux de barrage de Tichy Haff et de Kherrata ainsi que le temps d'équilibre. L'évaluation du rendement d'élimination des substances humiques est suivie par le paramètre R : où R est défini comme suit,  $R = (1 - C_e/C_o) \times 100$ ,  $C_o$  la concentration initiale en substances humiques (mg/l) et  $C_e$  la concentration des substances humiques résiduelles (mg/l), déduite de la courbe d'étalonnage (figure 1). Après la détermination du temps d'équilibre pour l'élimination des substances humiques, la deuxième étape a pour but d'enregistrer l'effet de la variation des masses d'adsorbants. Ces essais sont effectués par la mise en contact des quantités croissantes (10 à 800 mg/l) d'adsorbant (charbon actif en poudre et en grains, bentonite de Mostaghanem et de Mghnia).

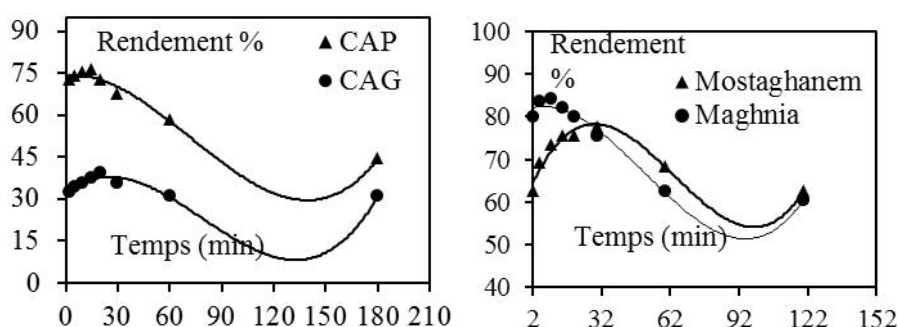
Les substances humiques utilisées sont sous forme d'humate de sodium, elles sont commerciales, de pureté chimique élevée et de marque Aldrich. Elles présentent les caractéristiques suivantes (Achour, 2001): C = 51,5 ; O = 29,3 ; H = 4,6 ; N = 0,7 ; Fonction carboxyles = 3,4 (meq.mg.g<sup>-1</sup>), Fonction hydroxyles = 0,8 (meq.g<sup>-1</sup>) ; Aromaticité ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ) : 0,015 unité DO/mg SH.

## RESULTATS ET DISCUSSION

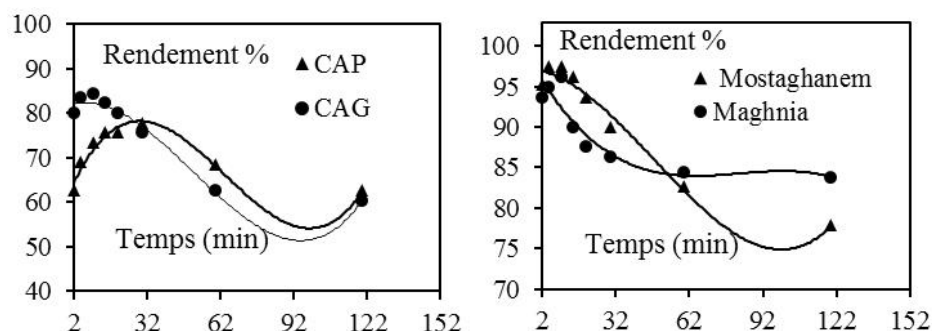
### Cinétiques des essais d'adsorption sur charbon actifs et sur bentonite en eaux de surface testées

L'évolution des rendements d'élimination de la matière organique de type humique en fonction de la variation du temps de contact est suivie pour les deux échantillons d'eaux de surface brutes à savoir Tichy-Haff, Kherrata, auxquelles nous rajoutons 20 mg d'adsorbant (charbon actif en poudre (CAP) et en grains (CAG), bentonite de Mostaganem et celle de Maghnia). Les solutions sont agitées pendant trois heures sur des agitateurs électromagnétiques, puis centrifugées à 3000 tr/min pendant 60 minutes. Les résultats obtenus sont présentés sur les courbes des figures 2 et 3.

Les courbes de ces figures ont montré que l'équilibre est atteint pendant un temps de contact compris entre 10 à 30 minutes pour les différents matériaux adsorbants utilisés accompagné par un optimum d'élimination des substances humiques allant de 39,33 à 97,40%. Ce court temps met en évidence la rapidité du phénomène, qui pourrait être probablement dû à la présence de la matière organique et minérale des eaux de surface testées qui peuvent servir comme un support naturel d'adsorption et contribuer à une rétention importante des substances humiques dans un temps assez court.



**Figure 2 :** Cinétique d'adsorption des substances humiques de l'eau du barrage de Tichy Haff sur charbons actifs et sur deux bentonites brutes, (Masse d'adsorbant = 20 mg,  $[SH]_{\text{Tichy-Haff}} = 5,25 \text{ mg/l}$ ).



**Figure 3 :** Cinétique d'adsorption des substances humiques de l'eau du barrage de Kherrata sur charbons actifs et deux bentonites brutes, (Masse d'adsorbant = 20 mg,  $[SH]_{\text{Kherrata}} = 8,50 \text{ mg/l}$ ).

Le tableau 5 récapitule les résultats des rendements maxima d'élimination et le temps d'équilibre d'adsorption des deux types d'eaux de surface testées.

Au regard de nos résultats (Tableau 5), une plus forte adsorption des substances humiques est enregistrée dans les eaux de barrage de Kherrata en comparaison avec celui de Tichy Haff pour les différents adsorbants testés. Cela pourrait être corrélable d'une part, à la concentration de la matière organique en présence que ce soit sous forme humiques et /ou oxydable. D'autre part, cela pourrait être attribué à l'origine et à la nature physico-chimique des molécules organiques en présence (taille, polarité..), à la structure de l'adsorbant employé et aux caractéristiques physico-chimiques des eaux testées.

Ceci s'est vu vérifier par les travaux d'Ayele et al. (1993), qui ont montré que l'origine et la nature de la matière humique, la granulométrie et la distribution des pores des adsorbants ainsi que les caractéristiques physico-chimiques du milieu affectent d'une manière significative les rendements d'élimination des substances humiques. Selon Blacke et al. (2002), l'adsorption des composés organiques telles que les substances humiques dépendrait non seulement de leur affinité vis-à-vis de l'adsorbant, mais également des interactions avec le solvant lui-même.

L'ensemble de nos résultats peuvent être confirmés par les travaux cités et réalisés par Koussa, (2003), ou Yahiaoui, (2010), qui ont montré que l'origine et la nature de la matière humique, ainsi que la présence des composés tels que le calcium ou le magnésium peuvent se complexer aux substances humiques et augmenter leur adsorbabilité. Par contre, les ions négatifs tels que les chlorures et les sulfates peuvent entrer en compétition avec les substances humiques tout en augmentant la charge négative à la surface. Donc, ils provoquent une inhibition dans l'efficacité d'adsorption, ce qui est le cas peut être pour les eaux de Tichy Haff.

**Tableau 5 :** Rendements (R%) maxima d'élimination des substances humiques et temps d'équilibre de différentes eaux de surface testées et de l'eau distillée, (Masse d'adsorbant = 20 mg [SH]<sub>Tichy-haff</sub> = 5,25 mg/l; [SH]<sub>Kherrata</sub> = 8,50 mg/l).

Adsorbants	Tichy-Haff		Kherrata	
	R(%)	Temps d'équilibre (min)	R(%)	Temps d'équilibre (min)
Charbon actif en poudre	76,01	15	77,69	30
Charbon actif en grains	39,33	20	84,31	10
Bentonite de Mostaghanem	69,26	10	97,40	10
Bentonite de Maghnia	82,62	15	96,16	10

Afin d'éclaircir notre interprétation, il nous a semblé intéressant d'évaluer les rendements d'élimination de la matière organique contenue dans les eaux testées, après adsorption sur les différents matériaux utilisés et pour une dose de 20 mg, par un autre paramètre non moins important que les substances humiques. Il s'agit également de la matière organique oxydable. L'oxydant requis est le permanganate de potassium. L'oxydation des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud et en milieu acide. Les résultats que nous avons obtenus sont présentés dans le tableau 6, sachant que le temps d'agitation correspond au temps d'équilibre présenté dans le tableau 5.

**Tableau 6 :** Rendements d'élimination de la matière organique oxydable au KMnO<sub>4</sub> par adsorption sur charbons actifs et deux bentonites brutes.

	Tichy-Haff	Kherrata
Charbon actif en poudre	66,07	85,72
Charbon actif en grains	82,44	84,50
Bentonite Mostaghanem	69,08	82,10
Bentonite Maghnia	63,11	82,32

A travers nos résultats, on observe que les rendements d'élimination de la matière organique oxydable est assez importante. Elle est corrélable aux rendements qui ont été obtenus au cours de l'élimination des substances humiques naturelles. De même, nos résultats ont pu montrer une autre fois que les meilleurs rendements sont obtenus par les eaux de Kherrata.



Il y'a lieu de signaler que l'ensemble de nos résultats pourront suggérer que le charbon actif que ce soit en poudre ou en grains et la bentonite, sont d'excellents adsorbants pour la matière organique naturelle de type humique et oxydable.

Toutefois, il est important de noter les différences de réactivité qui sont apparues en procédant à l'élimination de 10 mg de substances humiques commerciales de types humate de sodium en solution synthétiques d'eau distillée (conductivité varie entre 2 et 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et un pH voisin de la neutralité). Ceci, aussi bien sur charbon actif en poudre et en grains que sur bentonite brute de Mostaghanem et de Maghnia, avec 20 mg d'adsorbant et pour le même temps d'équilibre. Les résultats que nous avons obtenus et présentés dans le tableau 7, montrent que le phénomène l'adsorption des substances humiques en eau distillée est apparu moins évident en comparaison avec celui des eaux de barrage de Tichy Haff et Kherrat. Le rendement maximal d'élimination des substances humiques en eau distillée est de 15,99 %, obtenu sur charbon actif en poudre (tableau 7). Nos résultats sont corrélables avec ceux obtenus par Weng et al., (2007), au cours de l'adsorption des acides humiques sur la goethite et à ceux obtenus par Bouchemal (2007), au cours de l'adsorption de la tyrosine sur différents matériaux (Charbon actif, bentonite, goethite, kaolin et alumine activée).

Nos résultats peuvent aussi être comparés avec ceux de divers travaux (Ayele et al., 1993; Khirani, 2007 et Yahiaoui, 2010.), qui ont pu montrer que l'adsorption de substances humiques en solution synthétiques d'eau distillée aussi bien sur charbon actif que sur bentonite, présente des rendements d'élimination acceptables accompagnés par un temps de contact assez long de l'ordre de quelques heures et ceci pour une masse d'adsorbant assez importante de 0,50 à 1,0 g.

**Tableau 7 :** Rendements maxima d'élimination des substances humiques (SH) et temps d'équilibre sur les différents adsorbants en eau distillée, (SH = 10 mg/l ; Adsorbant = 20 mg).

Adsorbants	R(%)	Temps d'équilibre (min)
Charbon actif en poudre	15,96	30
Charbon actif en grains	8,55	30
Bentonite de Mostaghanem	8,82	15
Bentonite de Maghnia	5,042	15

Ces observations conduisent à penser que la minéralisation et donc la force ionique, ainsi que la nature de la matière organique naturelle présente dans une de surface brute pourront affecter positivement les phénomènes et donc les mécanismes mis en jeu au cours de l'adsorption quelque soient les

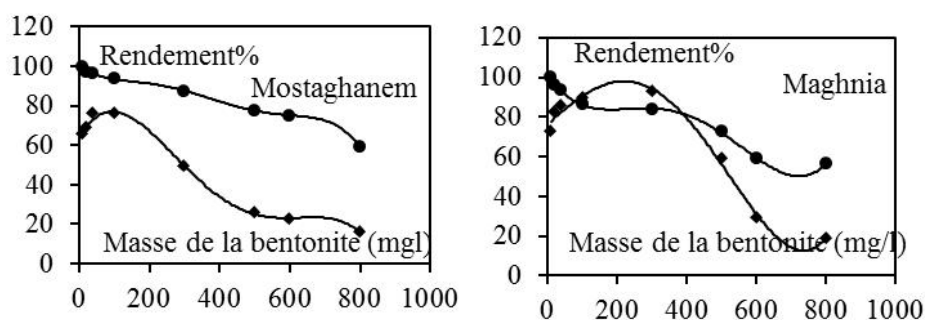
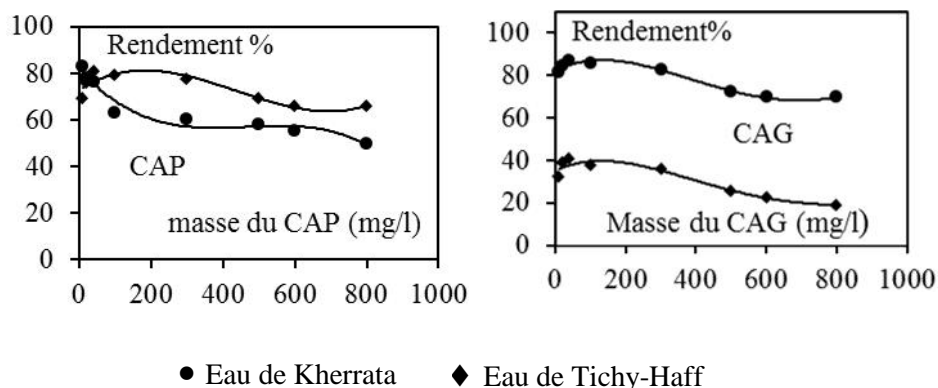
caractéristiques de l'adsorbant (mésoporeux, microporeux et /ou macroporeux) et cela pour un temps d'équilibre assez court et une faible dose du matériau adsorbant.

### **Effet de la variation de la masse d'adsorbant sur l'élimination des substances humiques des eaux de surface**

Les essais de cette étape sont réalisés sur des solutions d'eaux de surface testées contenant naturellement de substances humiques. Les masses des adsorbants que nous avons mis en contact varient de 10 mg/l à 800 mg/l. Les résultats obtenus à l'équilibre sont présentés sur les courbes de la figure (4). Ils montrent que l'élimination de substances humiques varie avec la masse d'adsorbant mise en jeu. Nous enregistrons que les bons rendements d'élimination des substances humiques sont obtenus pour les faibles masses d'adsorbants variant de 10 à 20 mg/l à savoir le charbon actif en poudre et en grains, la bentonite brute de Mostaganem et de Maghnia. Il y'a ensuite une diminution dans les rendements avec l'augmentation de la masse d'adsorbant une fois que le rendement optima est atteint. Compte tenu des résultats obtenus (Figure 4), il est permis de supposer que la matrice minérale des eaux des barrages testées peut jouer un rôle important au cours des essais d'adsorption. La présence en quantité importante de composés minéraux soit promoteurs tels que le fer, calcium et magnésium peut expliquer peut être les différences observées et rendre la rétention de la matière organique de type humique significative avec une quantité non appréciable de l'adsorbant.

Nous avons voulu comparer nos résultats avec ceux obtenus par Angio et al., (2004), Yahiaoui (2010) et Ouakouak (2010), au cours de l'adsorption sur charbons actifs des composés simples (Tyrosine, Pesticides) et complexes (substances humiques) en solution synthétiques d'eau distillée. Leurs résultats sont apparus contradictoire en comparaison avec les résultats des eaux de surface brutes que nous avons testées (Figure 4). Ces chercheurs ont enregistré qu'il y'a une augmentation dans l'efficacité d'élimination de la matière organique lorsque la masse d'adsorbant introduit augmente, cette augmentation pourra aller jusqu'à 1000 mg du charbon actif en poudre pour l'élimination de 96,87 % de la tyrosine et de 87,60% pour les substances humiques. Tandis que pour le charbon actif en grains, la tyrosine atteint un rendement de 82,22% pour une masse de 2000 mg. De même, les travaux qui ont été réalisés par Koussa (2003), ont montré que les bons rendements d'élimination des substances humiques (type humate de sodium) sont obtenus avec des masses allant de 500 à 1000 mg de bentonite activée en eau distillée et dans les eaux ayant une minéralisation assez importante dont la conductivité est supérieure à 1000 $\mu$  S/cm.

*Elimination des substances humiques de deux eaux de surface algériennes par adsorption sur charbon actif et sur bentonite*



**Figure 4 :** Evolution des rendements d'élimination des substances humiques des eaux de barrage Tichy-Haff et Kherrata en fonction de la masse des matériaux adsorbants.

## CONCLUSION

Notre objectif était d'étudier la possibilité d'élimination de la matière organique de type humique présente naturellement dans deux types d'eaux de surface algériennes (Tichy Haff et Kherrat) sur différents matériaux poreux (charbon actif en poudre et en grains, bentonites brutes de Mostaghanem et Maghnia).

Nos résultats ont bien montré que, quelque soit l'adsorbant mis en jeu, les cinétiques d'adsorption sont rapides et les bons rendements d'élimination des substances humiques sont obtenus par la bentonite brute de Mostaghanem (97,40 %) et de Maghnia (96,16%) dans l'eau de barrage Kherrata.

La variation des doses d'adsorbant a induit, à l'équilibre, une diminution dans les rendements d'élimination des substances humiques. Toutefois, la bonne rétention est observée dans un intervalle de masse d'absorbant allant de 10 à 20 mg/l. Mais ces rendements restent toujours supérieurs à 50%. Ceci nous a permis de supposer que la composition minérale des eaux de barrage testées peut jouer un rôle important au cours des mécanismes d'adsorption. La présence

en quantité importante de composés minéraux promoteurs et/ou inhibiteurs peut expliquer les différences observées. Elle peut rendre la rétention de la matière organique de type humique significative avec une quantité assez faible de l'adsorbant.

Enfin, il faut signaler que l'ensemble de nos résultats est en accord avec les travaux de plusieurs chercheurs. De plus, l'adsorption pourra présenter une technique de choix pour l'élimination de la matière organique de type humique en particulier en vue de réduire les effets néfastes de la chloration vis-à-vis de la santé des consommateurs suite à la formation des composés organohalogénés, en particulier les trihalométhanes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHOUR, S. (2001). Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles, Thèse de Doctorat, Université de Tizi-ouzou, Algérie.
- ACHOUR, S., GUERGAZI, S., HARRAT, N. (2009). L'état des ressources en eau au Maghreb (Chapitre 14 : Pollution organique des eaux de barrage de l'est algérien et effet de la chloration), 241-256, Ed. GEB-Environnement-UNESCO, Maroc.
- AL MARDINI, F. (2008). Etude de l'adsorption du pesticide Bromacil sur charbon actif en poudre en milieux aqueux. Effet compétiteur des matières organiques naturelles. Thèse de Docteur. Chimie et microbiologie de l'eau, Université de Poitiers, France.
- ANGIO, S., POLATI, S., ROZ, M., RINAUDO, C., GIANOTTI, V., GENNARO, M. C. (2004). Sorption studies of chloroanilines on Kaolinite and montmorillonite, *Environmental Pollution*, 134, 35-43.
- AYELE, J., FABRE, B., MAZET, M. (1993). Influence de l'origine et de la nature des substances humiques sur l'adsorption de l'atrazine sur charbon actif en poudre, *Revue des sciences de l'eau*, 6, 381-394.
- BLACKE, G.U., KULIKOVA, N.A., HESSE, S., KOPINKE, F.D., PERMINOVA, I.V AND FRIMMEL, F.H. (2002). Adsorption of humic substances onto kaolin clay related to their structural features, *Soil Science American Journal*, 66, 1805-1812.
- BOUCHEMAL, F. (2007). Possibilités de rétention de la tyrosine sur différents adsorbants. Mémoire de Magister en Hydraulique urbaine et aménagement, Université de Biskra, Algérie.
- ENOF (2005). Rapport d'analyse des bentonites de Maghnia (Hammam Boughrara) et de Mostaghanem (M'zila), Laboratoire ENOF, Maghnia, Algérie.
- KHIRANI, S. (2007). Procédés hybrides associant la filtration membranaire et l'adsorption /échange ionique pour le traitement des eaux usées en vue de

- leur réutilisation. Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France.
- KOUSSA M. (2003). Effet de l'activation de la bentonite sur l'adsorption de substances humiques en milieux de minéralisation variable. Mémoire de Magister en Sciences Hydrauliques, Université de Biskra, Algérie.
- LECLERC, V. (1995). Etude de la co-adsorption de molécules organiques et de cations minéraux sur charbons actifs, Thèse de doctorat, Université de Limoges, n°d'ordre 28, France.
- OUAKOUAK, A. (2010). Etude de l'élimination de polluants organiques azotés par adsorption sur charbon actif. Mémoire de Magister en Hydraulique urbaine et aménagement, Université de Biskra, Algérie.
- RODIER, J. (2009). l'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9<sup>ème</sup> Ed. Dunod, Paris, France.
- ROOK, J.J. (1974). Formation of haloforms during chlorination of natural waters, *Journal of Water Treatment*, 23, 234-243.
- WENG. L. P., VAN RIEMSDIJK. W.H., HIEMSTRA. T. (2007). Adsorption of humic acids onto goethite: Effect of molar mass, pH and ionic strength, *Journal of Colloid and Interface Science*, 314, 107- 118.
- YAHIAOUI, K. (2010). Incidence du procédé de la chloration sur l'élimination de la matière organique des eaux naturelles par adsorption sur charbon actif. Mémoire de Magister en Hydraulique urbaine et aménagement, Université de Biskra, Algérie.