

ELIMINATION DES SUBSTANCES HUMIQUES EN PRESENCE DE L'HISTIDINE ET LA TYROSINE PAR ADSORPTION

GUERGAZI SAADIA, YAHIAOUI KHEMISSI, ACHOUR SAMIA

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS).
Département de Génie Civil et d'Hydraulique, Université de Biskra
hydraulique_larhyss@yahoo.fr

RESUME

L'objectif de ce travail est de tester les performances du charbon actif en poudre (CAP) et en grains (CAG) dans la rétention des substances humiques (SH) en présence de la tyrosine (Tyr) et de l'histidine (His). Les essais ont été effectués en réacteur statique en adoptant différentes conditions opératoires. Ces essais ont été réalisés à un pH égal à $7 \pm 0,1$. Les résultats obtenus ont montré qu'en présence de l'histidine ou de la tyrosine, les rendements d'élimination des substances humiques en fonction du temps de contact ont enregistré des rendements qui ne dépassent pas 60% avec une cinétique assez rapide. La variation des doses des charbons actifs a induit un phénomène antagoniste entre la tyrosine et l'histidine. De même, la variation des concentrations en histidine et en tyrosine a permis de montrer un effet inhibiteur de l'adsorption des substances humiques.

MOTS CLÉS: Substances humiques, tyrosine, histidine, adsorption, charbon actif en poudre et en grains.

ABSTRACT

The aim of this work is to test the performance of powdered activated carbon (PAC) and granular activated carbon (GAC) in the retention of humic substances (HS) in the presence of amino acids namely tyrosine (Tyr) and histidine (His) in distilled water. The CAP and GAC adsorption were carried out of static reactor by adopting different operating conditions. These experiments were performed at pH $7 \pm 0, 1$. The results obtained showed that the presence of histidine and tyrosine evolution removal efficiencies of humic substances depending on the variation of the contact time was recorded yields not exceeding 60% with kinetics fairly rapid. Similarly, the variation of the doses of activated carbon with induces an antagonistic phenomenon between tyrosine and histidine. The presence of the humic substances with varying concentration of tyrosine and histidine allowed showing an inhibitory effect of the adsorption of the humic substances. The variation of the concentration of tyrosine and histidine allowed showing an inhibitory effect of the adsorption of

KEY WORDS: Humic substances, Tyrosine, Histidine, Adsorption, powdered activated carbon and granular activated carbon.

1 INTRODUCTION

Les substances humiques constituent la fraction organique majoritaire la plus importante des eaux naturelles, soit 40 à 60% parfois même 90% du carbone organique dissous. 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 carbone organique total (ACHOUR et al., 2009). Ces composés sont responsables de la coloration de l'eau, possèdent des propriétés d'échangeurs d'ions et des propriétés de complexation. Ils peuvent être un véhicule pour la plupart

des substances toxiques (métaux lourds, pesticides...) et participent également à la corrosion du système de distribution et au colmatage des résines et des membranes (EDWARDS et AMIRTHARAJAH, 1985). 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 de composés organohalogénés, en particulier les trihalométhanes. Ces composés ont une toxicité chronique (effet mutagènes et cancérigènes). S'ils sont formés, il est difficile de les éliminer (ACHOUR et GUERGAZI, 2002).

De même, les acides aminés provenant de l'activité agricole et des rejets industriels et urbains, recouvrent un ensemble

de substances chimiques (naturelles ou synthétiques). Ces composés étant plus au moins solubles dans les eaux, les risques de pollution par ruissellement ou drainage sont donc limités. Leurs associations avec les substances humiques peuvent cependant influencer et perturber leurs éliminations dans les différents procédés de traitement et en particuliers dans le procédé d'adsorption.

Il est important de dire que, les procédés de traitement utilisant l'adsorption constituent souvent une technique de choix, complémentaire à la filière de base (coagulation-floculation), 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.

Dans ce contexte, notre objectif est de tester les performances du charbon actif en poudre et en grain dans la rétention des substances humiques en présence des acides aminés à savoir la tyrosine et l'histidine en eau distillée. Pour aboutir à notre objectif, divers paramètres réactionnels seront pris en considération tels que l'évolution des rendements d'élimination des substances humiques, en fonction de la variation du temps de contact.

L'effet de la variation des concentrations de la tyrosine et de l'histidine, ainsi que les masses des charbons actifs et l'effet de la variation de la teneur initiale en substances humiques.

2 PRODUITS ET METHODES

2.1 Produits

2.1.1 Substances humiques

Les substances humiques (SH) proviennent de la maison Aldrich, de pureté chimique élevée et se trouvent sous forme d'humate de sodium. Elles présentent les caractéristiques suivantes (Tableau 1) (ACHOUR, 2001). Nous pouvons dire que l'humate de sodium testé présente des caractéristiques proches de celles des substances humiques aquatiques et notamment des acides fulviques.

Tableau 1: Tableau 1. Caractéristiques des substances humiques (humate de sodium) (ACHOUR, 2001).

Analyse élémentaire (%)	Fonction Carboxyle (meq.g ⁻¹)	Fonction Hydroxyle (meq.g ⁻¹)	Aromaticité UDO/mgSH
C = 51,50 O = 29,30 H = 4,60 N = 0,70	3,40	0,80	0,015

2.1.2 Acides aminés

Les acides aminés testés sont la tyrosine (Tyr) (C₉H₁₁NO₃) et l'histidine (His) (C₆H₉N₃O₂, HCl, H₂O). Ce sont deux produits d'Aldrich, de 99% de pureté. La tyrosine absorbe la lumière à une longueur d'onde, λ = 275 nm et l'histidine à λ = 280 nm. Les solutions mères de substances humiques, de la tyrosine et de l'histidine sont préparées par dissolution de 100 mg du composé dans un litre d'eau distillée. Chaque solution est agitée continuellement à l'abri de la lumière et renouvelées chaque semaine.

2.1.3 Adsorbants

Deux charbons actifs sont utilisés, le charbon actif en poudre et le charbon actif en grains. Le charbon actif en poudre est produit par Riedel – de Haen. Il est caractérisé par une surface spécifique d'environ 658 m²g⁻¹ (mésoporeux) correspond à une granulométrie de 20 nm. Tandis que, le charbon actif en grain provient du commerce Aldrich, de granulométrie varie de 0,30 à 0,50 mm engendre une surface spécifique de 550 m²/g.

2.2 Méthodes

Les essais d'adsorption sont réalisés en réacteur statique en adoptant différentes conditions opératoires. Dans un premier temps, les essais d'adsorption ont consisté à suivre les cinétiques d'élimination des substances humiques en présence de la tyrosine (Tyr) puis en présence de l'histidine (His) sur charbon actif en poudre (CAP) et en grains (CAG). Dans un bécher contenant un litre d'une solution de 10 mg/L des substances humiques et 5 mg/L de la tyrosine ou de l'histidine, nous avons procédé au rajout de 1 g de l'adsorbant dans l'eau distillée caractérisée par un pH de 5 et une conductivité de l'ordre de 4 μS/cm. Les solutions ont été agitées sur des agitateurs électromagnétiques puis centrifugées à l'aide d'une centrifugeuse à une vitesse de 3000 tours/minute pendant 60 minutes.

Dans un second temps, nos essais ont pour objectif d'observer l'effet de la variation de différents paramètres réactionnels tels que la masse du charbon actif en poudre et en grains, l'effet de la variation de la teneur des acides aminés (tyrosine et l'histidine) et la concentration initiale des substances humiques sur les rendements d'élimination des substances humiques.

Les doses optimales d'adsorbant correspondent au rendement d'élimination le plus élevé, il est défini par :

$$R\% = 100 \times \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right)$$

C₀ : Concentration initiale des substances humiques (mg/L).

C_t : Concentration résiduelle des substances humiques en solution (mg/L).

Il est à noter que l'ensemble de nos essais ont été ajustés à un $\text{pH} = 7 \pm 0,1$. L'ajustement est effectué par l'acide chlorhydrique à 0,1 N et par la soude à 0,1 N.

2.3 Dosage des substances humiques

Le dosage des substances humiques (SH) s'effectue par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 254 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de type (JENWAY 6305 UV/Visible). Cependant, les acides aminés testés (tyrosine et histidine) peuvent absorber en UV à la longueur d'onde à laquelle on dose les substances humiques (254 nm). Aussi, au cours du dosage des substances humiques et pour chaque solution contenant la tyrosine ou bien l'histidine, on réalise un témoin correspondant à la concentration de la substance non dosée et on élimine l'absorbance correspondante. Une telle méthode de dosage a été également utilisée par FABRE et al., (1990) et par AYELE et al., (1993).

Les teneurs résiduelles en substances humiques (SH) sont évaluées grâce à des courbes d'étalonnage de l'absorbance en fonction des concentrations en mg/L de substances humiques.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Cinétique d'adsorption des substances humiques en présence de l'histidine puis de la tyrosine

Nous avons suivi les rendements d'élimination des substances humiques en présence de la tyrosine puis en présence de l'histidine par charbon actif en poudre et en grains dans l'eau distillée à pH ajusté à $7 \pm 0,1$. Une solution de 10 mg/L de substances humiques et de 5 mg/L d'acide aminé (tyrosine ou l'histidine) est mise en contact avec une masse de 1 g de charbon actif aussi bien en poudre qu'en grains. Le temps d'agitation a été maintenu à six heures. Les résultats obtenus sont présentés sur les courbes de la figure 1.

Ces courbes (Figure 1) montrent que les rendements d'élimination des substances humiques que ce soit en présence de la tyrosine ou de l'histidine augmentent avec le temps d'agitation des solutions aqueuses et atteignent des valeurs maximales de l'ordre de 18,69 à 58,04 %. Cependant, le temps d'équilibre des substances humiques en présence de la tyrosine ou de l'histidine est de 2 heures.

Le Tableau 2, récapitule les résultats des rendements maxima d'élimination des substances humiques en présence de la tyrosine (Tyr) et de l'histidine (His) sur charbon actif en poudre et en grains et le temps d'équilibre. Nos résultats (Tableau 2) peuvent être comparés aux résultats que nous avons également obtenus au cours de l'adsorption des substances humiques seules en eau distillée sur charbon actif en poudre et en grains (Tableau 3). A travers ces résultats, nous pourrions dire, qu'en présence des acides aminés (tyrosine et histidine), l'adsorption des substances humiques est perturbée.

Nous avons également constaté une diminution de la capacité d'adsorption de 29,56 à 39,03% sur charbon actif en poudre et de 37,15 à 53,26% sur charbon actif en grains. Cette diminution pourrait provenir de la diminution de la tension superficielle de la suspension, ce qui provoquerait une meilleure solvatisation des substances humiques. En contrepartie, la présence de la tyrosine et de l'histidine accélère le mécanisme d'adsorption, le temps d'équilibre subit une diminution de l'ordre de 60 minutes en comparaison avec l'adsorption des substances humiques seules.

Notre résultat rejoint ceux obtenus par AYELE et al., (1990), qui ont montré que l'effet inhibiteur de la présence de dodécylsulfate de sodium (DSS) est très bien marqué au cours de l'adsorption des acides humiques sur charbon actif en poudre et en particulier à pH voisin de la neutralité. Ceci est expliqué par le fait que, les DSS sont adsorbées à la surface du charbon actif déjà chargée négativement et font varier le potentiel Zéta vers des valeurs de plus en plus négatives, augmentant ainsi les forces de répulsion entre les acides humiques et le charbon actif et diminuent leur adsorption. D'autre part, les sites occupés par le DSS ne sont plus disponibles pour les acides humiques. De même, MURIN et SNOEYINK (1979), ont constaté une diminution de la capacité d'adsorption de 30 à 60% du dichlorophénol et de trichlorophénol sur charbon actif en poudre et en présence d'acides fulviques et humiques. Ainsi HERZING et al, (1977) ont rapporté que l'adsorption des substances comme la géosmine est diminuée de 10% en présence des d'acides humiques.

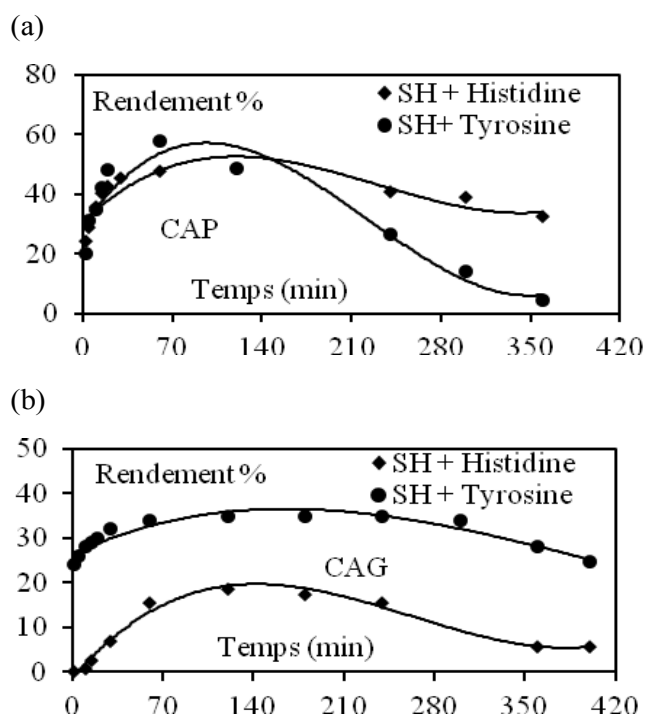


Figure 1: Cinétiques d'adsorption des substances humiques en présence de l'histidine et de la tyrosine sur charbon actif en poudre et en grains : (a) CAP, (b) CAG, ([SH] = 10 mg/L; [His] = [Tyr] = 5 mg/L; [CAP] = [CAG] = 1g).

Tableau 2: Rendements maxima d'élimination de substance humique en présences des acides aminés en eau distillée et temps d'équilibre, ([SH] = 10mg/l; [Tyr] = [His] = 5 mg/l; [CAP] = [CAG] = 1000 mg/l; pH = 7± 0,1).

	Charbon actif en poudre		Charbon actif en grains	
	SH + Tyr	SH + His	SH + Tyr	SH + His
Rendement %	58,043	48,57	34,80	18,69
Temps d'équilibre (min)	120	120	120	120

Tableau 3: Rendements maxima d'élimination de substance humique en eau distillée et temps d'équilibre, ([SH] = 10mg/l; [CAP] = 1000 mg/l; [CAG] = 800 mg/l; pH = 7± 0,1).

Adsorbants	R (%)	Temps d'équilibre
CAP	87,60	Trois heures
CAG	71,95	Trois heures

Nos résultats sont aussi, en parfait accord avec les recherches publiées par AYELE et al., (1993) relatives à l'influence de l'origine et de la nature des substances humiques sur l'adsorption de l'atrazine sur charbon actif en poudre. De même, les travaux de KHIRANI (2007), ont indiqué aussi que le rendement maximal d'élimination de la matière organique naturelle de type humique (10 mg/L) en solution synthétique sur 1g du charbon actif en poudre mésoporeux atteint 88% au bout d'un temps d'équilibre de l'ordre de trois heures. Ces résultats rejoignent aussi les résultats obtenus par YAHIAOUI (2010), qui a bien montré qu'au cours de l'adsorption des substances humiques en solutions synthétiques d'eau distillée le maximum d'adsorption est atteint après trois heures d'agitation.

3.2 Effet de la variation de la masse des charbons actifs sur les rendements d'élimination des substances humiques en présence de l'histidine puis de la tyrosine

Nous avons fixé la concentration des substances humiques à 10 mg/L et celle de la tyrosine et de l'histidine à 5 mg/L, et on a fait varier la masse du charbon actif en poudre et en grains entre 0,100 et 4 g. A l'équilibre les résultats obtenus sont présentés sur les courbes de la Figure 2.

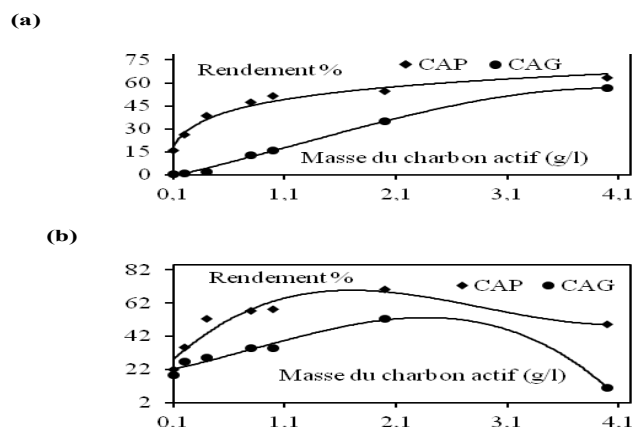


Figure 2: Effets de la variation de la masse du charbon actif en poudre et charbon actif en grains sur l'adsorption des substances humiques en présence de l'histidine puis de la tyrosine en eau distillée : (a) Histidine, (b) Tyrosine, ([SH] = 10 mg/L; [His] = [Tyr] = 5 mg/L; pH = 7± 0,1).

Les résultats obtenus montrent d'une part, que l'élimination des substances humiques en présence de l'histidine augmente avec l'augmentation de la masse du charbon mis en contact. Par contre, pour la tyrosine l'adsorption se manifeste différemment. Elle augmente avec l'augmentation de la masse du charbon, puis les rendements subissent une diminution appréciable pour des masses d'adsorbants situées entre 2 et 4 g.

D'autre part, malgré l'augmentation dans les valeurs des rendements, ils restent toujours inférieurs aux rendements que nous avons obtenus au cours de l'adsorption des substances humiques seules et en eau distillée à pH égal à 7.

Il est important de signaler que le tableau 4 récapitule les rendements d'élimination des substances humiques en présence de la tyrosine puis de l'histidine pour les fortes masses d'adsorbant. Tandis que le tableau 5 présente les résultats que nous avons obtenus au cours de l'élimination des substances humiques sans rajout des acides aminés précités et pour les mêmes masses d'adsorbants

Nous pouvons dire que nos résultats mettent en évidence une interaction de nature compétitive entre *Substances humiques/Tyrosine*, *Substances humiques/Histidine* et l'adsorbant, résultant à la fois :

- D'une compétition sur les mêmes sites d'adsorption, bien que les substances humiques ont une meilleure affinité pour le charbon actif par rapport à la tyrosine et l'histidine.
- D'une compétition cinétique, la vitesse d'adsorption des acides aminés seuls (tyrosine) sur charbon actif en poudre et en grains étant plus lente (BOUCHEMAL, 2007) que celle des substances humiques rendant ainsi les rendements moins importants. Donc, il pourra y avoir un freinage dans le mécanisme et les sites disponibles sont devenus moins accessibles pour les substances humiques (encombrement stérique). Ce phénomène est constaté particulièrement dans le cas de la tyrosine et pour les fortes masses d'adsorbants.

Tableau 4: Rendements d'élimination des substances humiques en présence de la tyrosine et de l'histidine pour les fortes masses d'adsorbants.

	SH + Tyrosine			SH + Histidine		
	Masses d'adsorbants (g)					
	1	2	4	1	2	4
CAP	58,0	70,2	48,91	51,42	54,76	63,0
CAG	34,8	42,0	19,8	16,08	34,78	43,48

Tableau 5: Rendements d'élimination des substances humiques seuls en eau distillée pour les fortes masses d'adsorbants; ([SH] = 10mg/l; pH = 7± 0,1; (Yahiaoui 2010).

	Masse d'adsorbant (g)		
	1	2	4
CAP	87,60	84,80	82,35
CAG	49,05	48,49	47,46

Il est important de signaler que la présence de la tyrosine ou de l'histidine n'entraîne pas la création de nouveaux sites d'adsorption pour les substances humiques, ce qui induit par la suite une diminution du pouvoir adsorbant de ces macromolécules quelque soient les concentrations des charbons actifs mis en contact. Cette hypothèse pourrait être suggérée par les conclusions apportées par AYELE et al., (1990) au cours de l'étude de l'influence du dodécylsulfates de sodium (DSS) sur l'adsorption des acides humiques sur charbon actif en poudre.

3.3 Effet de la variation des teneurs en tyrosine et de l'histidine sur les rendements d'élimination des substances humiques

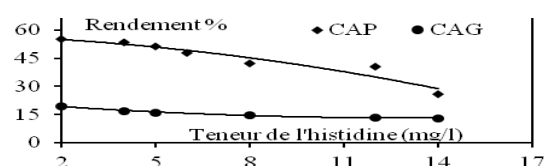
L'objectif de cette étape est d'étudier l'incidence de la présence des concentrations variables en acides aminés à savoir l'histidine et la tyrosine sur la capacité d'adsorption des substances humiques. Pour cela, nous avons fixé la teneur des substances humiques à 10 mg/L, la dose du charbon actif en poudre et en grains à 1000 mg. Tandis que les teneurs de l'histidine et de la tyrosine ont été variées entre 2 à 14 mg/L. Les résultats obtenus sont présentés par les courbes de la Figure 3.

A travers les courbes de la Figure 3, nous avons enregistré une diminution appréciable dans les rendements d'élimination des substances humiques et en particulier pour les teneurs en tyrosine et en histidine supérieures à 5 mg/L. Ces résultats étant liés comme il a été déjà signalé à un effet inhibiteur et cet effet est accentué avec des concentrations croissantes de la tyrosine et de l'histidine. D'autre part notre résultat rejoint l'hypothèse indiquant que les sites occupés par les acides aminés (tyrosine et

histidine) ne sont plus disponibles pour les substances humiques. Ainsi, une saturation du charbon actif par les acides aminés précités peut conduire à une inhibition totale de l'adsorption des substances humiques.

Il est donc important de signaler que, le traitement des eaux naturelles chargées en micropolluants nécessite l'évaluation des performances d'un charbon activé et devra tenir compte de la sélectivité de rétention induit par la co-adsorption substances humiques-micropolluants organiques (AYELE et al, 1990).

(a)



(b)

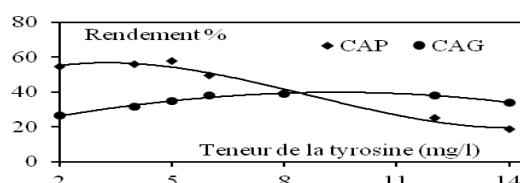


Figure 3: Evolution des rendements d'élimination des substances humiques en présence de la variation de la teneur de l'histidine puis de la tyrosine sur charbon actif en poudre et en grains: (a) Histidine, (b) Tyrosine, ([SH]=10 mg/L; [CAP]= CAG=1000 mg; Temps d'équilibre=2 heures; pH = 7± 0,1).

3.4 Effet de la variation de la teneur initiale en substances humiques sur les rendements d'élimination des substances humiques en présence de la tyrosine et de l'histidine

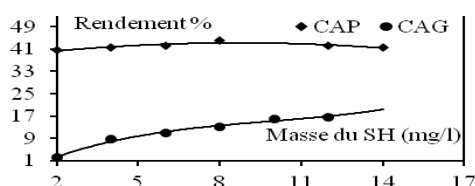
En fixant la masse de l'adsorbant introduit à 1000 mg et la teneur de la tyrosine et l'histidine à 5mg/L, nous avons varié les concentrations en substances humiques entre 2 et 14 mg/L. A l'équilibre, les pourcentages d'élimination obtenus sont présentés sur les courbes de la Figure 4.

Les courbes de la Figure 4 montrent que les rendements d'élimination augmentent avec l'augmentation de la teneur initiale en substances humiques jusqu'à une teneur de 12 mg /l puis il se produit une dégradation dans la capacité d'adsorption. A l'exception, les rendements d'élimination des substances humiques en présence de la tyrosine sur charbon actif en grains subissent une augmentation.

Il apparaît donc qu'en présence de l'histidine et de la tyrosine et en faisant varier la masse des substances humiques, les résultats obtenus sont inversement proportionnels à ceux obtenus par LI et al. (2002), KHIRANI (2007) et YAHIAOUI (2010), qui ont montré que les substances humiques provoquent une diminution dans les rendements d'élimination des substances humiques avec l'augmentation de la teneur en substances humiques

quelque soient les adsorbants qui ont été utilisés. Ils ont expliqué ce phénomène par le fait que les forces de répulsion électrostatiques se mettent en place entre les molécules organiques, non seulement entre celles retenues à la surface du charbon actif et les molécules adsorbées mais aussi entre celles adsorbées en surface et celles en solutions. Ils ont indiqué aussi qu'à pH neutre (tel que le milieu réactionnel de l'ensemble de nos essais), les composés humiques sont ionisés et portent des charges négatives. Donc, lorsque la concentration en matière organique est importante cela favorise les interactions répulsives entre les molécules.

(a)



(b)

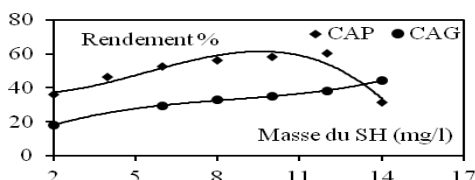


Figure 4: Effet de la concentration initiale en substances humiques sur le rendement d'élimination des substances humiques en présence de l'histidine puis de la tyrosine sur charbon actif en poudre et en grains en eau distillée : (a) Histidine ; (b) Tyrosine. ([His]= [Tyr]=5 mg/L ; [CAP]= CAG]=1000mg; Temps d'équilibre=2 heures ; pH = 7± 0,1).

En conséquence, nous pouvons peut-être suggérer que ce n'est pas le même phénomène qui se produit si l'adsorption est effectuée en solution synthétique d'eau distillée avec la présence des acides aminés.

4 CONCLUSION

Notre travail permet de préciser les phénomènes d'adsorption pouvant intervenir entre divers micropolluants susceptibles de s'adsorber simultanément sur charbon actif lors du traitement des eaux naturelles.

- En présence de l'histidine et de la tyrosine, les cinétiques d'élimination des substances humiques ont enregistré des rendements qui ne dépassent pas les 60% avec un temps d'équilibre assez court en comparaison avec le temps d'équilibre des substances humiques seules.
- En ce qui concerne l'effet de la variation de la masse des adsorbants, les résultats ont indiqué la présence d'un phénomène antagoniste entre l'histidine et la tyrosine. Par contre, dans le cas de la variation de la teneur de la tyrosine et de l'histidine, les résultats ont

enregistré une diminution appréciable dans les rendements d'élimination des substances humiques avec l'augmentation de la concentration de ces deux composés organiques azotés. Ceci pourrait être dû à un effet inhibiteur ce qui se traduit par la suite par une diminution dans la capacité de rétention des substances humiques.

- Dans le même contexte, la variation de la teneur initiale en substances humiques sur les rendements d'élimination des substances humiques en présence d'une concentration fixe de la tyrosine et de l'histidine a montré que les rendements augmentent avec l'augmentation de la masse des substances humiques globalement jusqu'à une teneur de 12 mg/ puis ils subissent une diminution.

Enfin, les procédés de traitement des eaux naturelles chargées en micropolluants nécessitent l'évaluation des performances d'un charbon activé et devra tenir compte de la sélectivité de rétention induite par la co-adsorption substances humiques-micropolluants organiques.

REFERENCES

- [1] 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 d'Etat. Univ. de Tizi-Ouzou, Algérie, 231 p.
- [2] ACHOUR, S., et GUERGAZI, S. 2002. Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, *Rev. Sci. Eau.*, 15, (3), 649-668.
- [3] ACHOUR, S., HARRAT, N., et GUERGAZI, S. 2009. Pollution organique des eaux de barrage de l'est algérien et effet de la chloration. Dans : *L'état des ressources en eau au Maghreb en 2009*, (Éditeurs), GEB-Environnement, Maroc. Chap. 14, pp 241-256.
- [4] AYELE, J., FABRE B., et MAZET, M.1990. Obtention de substances humiques à partir de différentes sources. Extraction au tétrahydrofurane. *Environ. Sci and Technol.*, 11, 555-564.
- [5] AYELE, J., FABRE, B., et 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. *Rev. Sci. Eau.*, 6, 381-394.
- [6] BOUCHEMAL, F. 2007. *Essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre*. Mémoire de Magister en Hydraulique urbaine et aménagement. Univ. de Biskra, Algérie, 71 p.
- [7] EDWARDS, G. A., et AMIRTHARAJAH, A. 1985. Removing color caused by humic acids. *Journal of AWWA.*, 77, (3), 50-57.
- [8] FABRE, B., AYELE, J., MAZET, M., et LAFRANCE, P. 1990. Adsorption du pentachlorophénol sur divers matériaux : Influence de co-adsorbats organiques (Substances humiques et lindane), *Rev. Sci. Eau.*, 3, 277-292.

- [9] HERZING, D. R., SNOEYINK, V. L., et WOOD, N.F. 1977. Activated carbon adsorption of odorous compounds 2- methylisoborneol and geosmin. *Journal of AWWA.*, 69 (4), 223 - 228.
- [10] 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, 158 p.
- [11] LI, F., YUASA, A., EBIE, K., AZUMA Y., HAGISHITA, T., et MATSUI, Y. 2002. Factors affecting the adsorption capacity of dissolved organic matter onto activated carbon: modified isotherm analysis, *Wat. Res.*, 36, (18), 4592-4604.
- [12] MURIN, C. J., et SNOEYINK, V. L. 1979. Competitive adsorption of 2, 4 dichlorophenol and 2, 4, 6 trichlorophenol in the nanomolar to micromolar concentration range. *Environ. Sci and Technol.*, 13 (3), 305-311.
- [13] 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. Univ de Biskra, Algérie, 97 p