



EFFET DES PARAMETRES REACTIONNELS SUR L'ELIMINATION DE LA TYROSINE ET DE L'HISTIDINE EN PRESENCE DES SUBSTANCES HUMIQUES PAR LE CHARBON ACTIF

HAMZAOUI S., GUERGAZI S.

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, LARHYSS
Université de Biskra, B.P. 145, R.P., 07000, Biskra, Algérie

sarahamzaoui@hotmail.fr, hydraulique_larhyss@yahoo.fr

RESUME

L'objectif principal de notre étude est de tester les performances des charbons actifs en poudre et en grains, dans l'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence des substances humiques. Les essais ont été réalisés en solutions synthétiques d'eau distillée. Différents paramètres réactionnels ont été testés. Les résultats ont montré qu'en présence des substances humiques le charbon actif, en poudre ou en grain, a abouti à un bon rendement d'élimination de la tyrosine et de l'histidine, mais qui reste toujours inférieur aux rendements obtenus au cours de l'élimination de ces deux acides aminés seuls. Le modèle de la cinétique du second ordre s'applique bien dans le cas des systèmes adsorbant/adsorbât étudiés. En variant la masse de la tyrosine et de l'histidine de 2 à 12 mg/l, en présence individuellement de 10 mg/l de substances humiques, le charbon actif en poudre a marqué une meilleure élimination de la tyrosine et de l'histidine. En présence des substances humiques, la variation de la masse du charbon actif a conduit à une augmentation dans les rendements d'élimination de la tyrosine et de l'histidine jusqu'à une masse d'adsorbant égale à 4 g puis, une diminution appréciable est apparue.

Mots Clés : Tyrosine, histidine, substances humiques, adsorption, charbon actif.

ABSTRACT

The main objective of our study is to test the performance of activated carbon powder and grains in the elimination of tyrosine and histidine in the presence of humic substances separately. The tests made in synthetic solutions of distilled water. Different reaction parameters were tested. The results showed that in the presence of humic substances activated carbon whatsoever powder or grain presented a good removal efficiency of tyrosine and histidine, but it is always lower than the yields obtained in the removal of these two amino acids alone. The kinetic model of the second order applies well in the case of systems adsorbent/ adsorbate studied. By varying the mass of tyrosine and histidine from 2 to 12 mg / L, in the presence of individual 10 mg / L of humic substances, activated carbon powder marked a better elimination of tyrosine and histidine. The presence of humic substances, the variation of the mass of activated carbon has recorded that there is an increase in the removal efficiencies of tyrosine and histidine to an equal mass of adsorbent to 4g and an appreciable reduction in yield appeared.

Keywords: Tyrosine, histidine, humic substances, adsorption, activated carbon

INTRODUCTION

Il est bien connu que la connaissance des acides aminés est importante, car ils sont la base de la construction des protéines. Ils représentent le constituant essentiel des cellules vivantes et des bactéries. Dans l'eau les acides aminés peuvent se trouver soit à l'état libre, soit combinés aux substances humiques (Malleval et al., 1982). Plus de 95% des acides aminés totaux seraient associés à la fraction humique des eaux de surface. Ils sont des molécules d'une dizaine à une cinquantaine d'atomes qui ont la particularité de porter à la fois un groupement acide organique (COOH) et un groupement amine (NH₂) basique. Actuellement, on a isolé plus de 100 aminoacides à partir de sources naturelles dont vingt représentent les constituants essentiels des protéines. Ces composés organiques azotés sont principalement issus de la dégradation des plantes, d'algues, de l'activité agricole et des rejets industriels et urbains. Ils 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 (Thurman et Malcolm, 1989).

Dans le même contexte, les substances humiques (SH) proviennent de l'accumulation et de la réaction chimique naturelle des sous-produits résultant de la décomposition des matières organiques. Elles sont les constituants majeurs de la matière organique. Elles sont présentes dans tous les écosystèmes, sous forme de macromolécules carbonées complexes provenant de la dégradation et

de la transformation de la matière organique. Elles possèdent un grand nombre de groupements fonctionnels hydrophiles, carboxyles (COOH), phénoliques et/ou alcooliques (OH), carbonyles (C=O) ainsi que des groupements amines (NH₂). Les substances humiques présentent de nombreux effets sur l'environnement au niveau du sol, des plantes ou des microorganismes. Ces substances peuvent procurer à l'eau une couleur jaunâtre ou brunâtre ainsi qu'un goût amer ou une odeur désagréable. Elles 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, acides aminés, bases azotées pesticides...), participent également à la corrosion du système de distribution et au colmatage des résines et des membranes (Mantoura et al., 1978). Ces substances (acides aminés et substances humiques) doivent être éliminées au maximum afin de prévenir les problèmes de qualité liés essentiellement à la formation de sous-produits organohalogénés potentiellement toxiques (Achour et Guergazi, 2002 ; Masmoudi et al., 2014). Cependant, l'association des substances humiques avec les acides aminés peuvent cependant influencer et/ou perturber leurs éliminations dans les différents procédés de traitement et en particulier le procédé d'adsorption.

PRODUITS ET METHODES

Produits

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, $\lambda = 275$ nm et l'histidine à $\lambda = 280$ nm.

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 : C = 51.5%; O = 29.3%; H = 4.6%; N = 0.7%; carboxyl fonction = 3.4 (meq.mg.g⁻¹); hydroxyle fonction= 0.8 (meq.g⁻¹); Aromaticité ($\lambda = 254$ nm) (Achour, 2001). 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.

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 le laboratoire de chimie Riedel–de Haen. Il est caractérisé par une surface spécifique d'environ 658 m²g⁻¹ (mésoporeux) et une granulométrie de 20 nm. Tandis que le charbon actif en grain provient du commerce Aldrich, de granulométrie varie de 0,30 à 050 mm engendre une surface spécifique de 550m²/g.

Méthodes

Description des essais d'adsorption

Les essais d'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence séparément des substances humiques, sur charbon actif en poudre (CAP) et en grains (CAG) ont été réalisés en discontinu, sur un agitateur magnétique par mise en contact d'une solution synthétique des composés organiques azotés précités, avec une masse constante de charbon actif en poudre ou en grain. Chaque échantillon prélevé est filtré sous vide à l'aide d'une membrane à 0,45µm de porosité. Pour chaque échantillon filtré, on a mesuré la teneur en tyrosine ou en histidine résiduel. Durant nos essais d'adsorption nous avons ajusté le pH d'eau distillée à $7 \pm 0,1$.

Différents essais ont été effectués permettant d'examiner l'influence de certains paramètres sur l'élimination de l'histidine et de la tyrosine en présence des substances humiques sur chaque charbon actif en poudre et en grains, tels que le temps d'agitation (2 minutes à 5 heures), la teneur initiale en tyrosine et histidine (2 à 12 mg/l), ainsi que la variation de la masse du charbon actif (0,2 à 4 g).

Dosage de la tyrosine et de l'histidine

Pour déterminer la teneur résiduel en tyrosine et en histidine en présence individuellement avec les substances humique dans les échantillons d'eau, nous avons employé un spectrophotomètre UV/Visible à une longueur d'onde, = 275 pour la tyrosine et de = 280nm pour l'histidine. Au cours du dosage de la tyrosine et de l'histidine et pour chaque solution contenant de la substance humique, on réalise un témoin correspondant à la concentration de la substance non dosée et on élimine l'absorbance correspondante. Une telle méthode de dosage est également utilisée par Fabre et al., (1990) et par Ayele et al., (1993).

RESULTATS ET DISCUSSION

Etude de la cinétique d'adsorption

Afin d'étudier la cinétique d'adsorption de la tyrosine et de l'histidine en présence séparément des substances humiques sur les deux types du charbon actif (en poudre et en grains), les expériences ont été menées dans les mêmes conditions opératoires. Pour 5 mg/l de la tyrosine ou de l'histidine, 10 mg/l de substance humique en présence de 1 g/l d'adsorbant sont agités dans un b cher de 1 litre d'eau distillée. Les solutions sont ajustées à un pH égal à $7 \pm 0,1$. Le suivi de la teneur résiduelle en tyrosine ou en histidine en présence de substance humique a été effectué en fonction du temps d'agitation (de 2 minutes à 5 heures).

Les résultats obtenus (Figures 1 et 2) montrent que les rendements d'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence séparément de la substance humique sur charbon actif en poudre et en grain augmentent avec le temps d'agitation des solutions aqueuses et atteignent des valeurs maximales allant de 57,65 à 62,80 % pour le charbon actif en poudre respectivement pour la tyrosine et l'histidine et de l'ordre de 33,03% pour le charbon actif en grain. Cependant, le temps d'équilibre de la tyrosine et de l'histidine en présence des substances humiques varie entre 120 à 180 minutes.

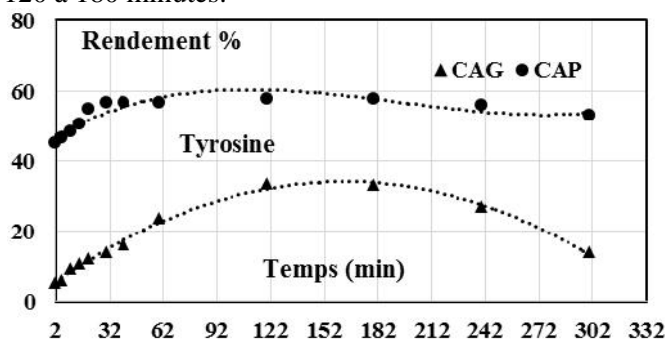


Figure 1: Cinétiques d'adsorption de la tyrosine en présence des substances humiques sur charbon actif en poudre et en grains en eau distillée. [SH] = 10 mg/l; [His] = 5 mg/l; [CAP] = [CAG] = 1g/l

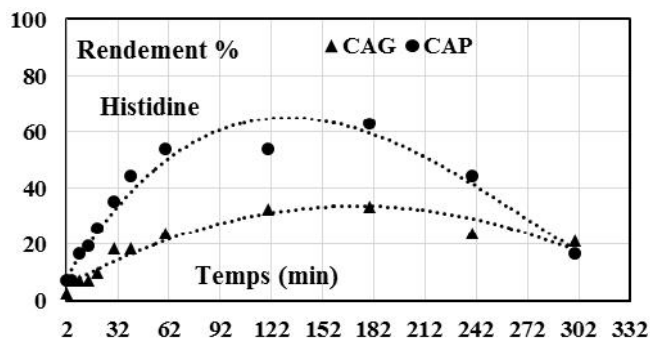


Figure 2: Cinétiques d'adsorption de l'histidine en présence des substances humiques sur charbon actif en poudre et en grains en eau distillée. [SH] = 10 mg/l; [His] = 5 mg/l; [CAP] = [CAG] = 1 g/l

Le tableau 1 récapitule les résultats des rendements maxima d'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence des substances humiques et le temps d'équilibre sur charbon actif en poudre et en grains.

Nos résultats (Tableau 1) peuvent être comparés avec les résultats des essais complémentaires que nous avons réalisés sur l'adsorption de la tyrosine et de l'histidine sans la présence de substances humiques. À travers ces résultats, nous avons également constaté une diminution dans la capacité d'adsorption de l'ordre de 37,65 % sur charbon actif en poudre et de 49,02 à 57,67 % sur charbon actif en grains. De ce fait, nous pourrions peut être dire, qu'en présence des substances humiques l'adsorption de la tyrosine et l'histidine est perturbée.

Tableau 1: Rendements maxima d'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence des substances humiques et temps d'équilibre [SH] = 10mg/l; [Tyr] = [His] = 5 mg/l; [CAP] = [CAG] = 1000 mg/l; pH = 7±0,1.

Rendements (%)	Avec SH		Sans SH	
	CAP	CAG	CAP	CAG
Tyrosine	57,65	33,33	95,30	82,35
Temps d'équilibre (min)	120	120	120	120
Histidine	62,80	33,02	99,63	90,69
Temps d'équilibre (min)	180	180	180	120

Ces résultats étant vraisemblablement liés à un effet inhibiteur. Ceux-ci rejoignent l'hypothèse citée par Ayele et al., (1993) indiquant que les sites occupés par les substances humiques ne sont plus disponibles pour les acides aminés (tyrosine et histidine) ainsi qu'une saturation du charbon actif par les substances humiques peut conduire à une inhibition de l'adsorption de la tyrosine et de l'histidine.

Cette diminution pourrait provenir aussi de la diminution de la tension superficielle de la suspension, ce qui provoquerait une meilleure solvataion des substances humiques.

En contrepartie, la présence des substances humiques ralentit le mécanisme d'adsorption, en particulier en présence de l'histidine, le temps d'équilibre subit une diminution de l'ordre de 60 minutes en comparaison avec l'adsorption de l'histidine seule.

Modèle de la cinétique d'adsorption

Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre

Il a été supposé dans ce modèle que la vitesse d'adsorption à l'instant t est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre Q_e et la quantité Q_t adsorbée à cet instant et que l'adsorption est réversible (Lagergren, 1898). La constante de vitesse d'adsorption du premier ordre est déduite à partir du modèle établi par Lagergren (1898) selon la relation 1 :

$$\log(Q_e - Q) = \log Q_e - \frac{K_1 t}{2,303} \quad (1)$$

Avec :

Q_e : Quantité d'adsorbât à l'équilibre, par gramme d'adsorbant (mg/g)

t : Temps de contact (min)

K_1 : Constante de vitesse d'adsorption pour le premier ordre (min^{-1})

Les résultats obtenus en appliquant le modèle cinétique du pseudo-premier ordre sont représentés sur les figures 3 et 4.

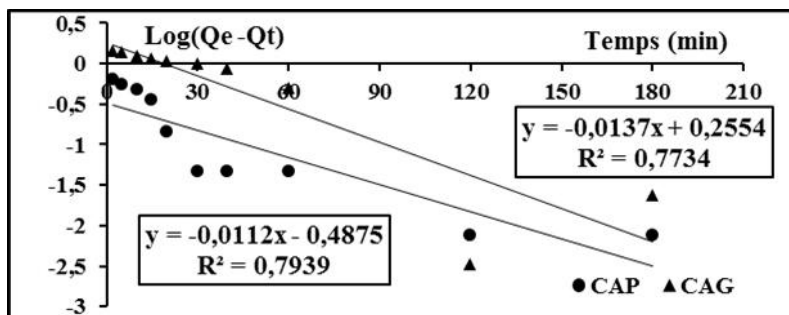


Figure 3: Modèle de la cinétique selon le pseudo-premier ordre Tyrosine (Ty) en présence des Substances humiques (SH).

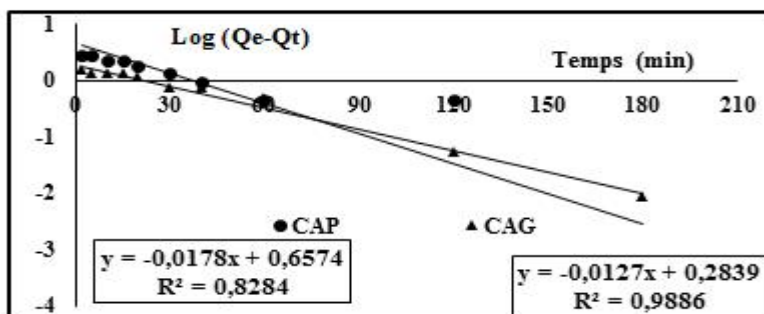


Figure 4: Modèle de la cinétique selon le pseudo-premier ordre Histidine (His) en présence des Substances humiques (SH)

À travers nos résultats (courbes des figures 3 et 4), les constantes de la cinétique selon le pseudo premier ordre du modèle de Lagergren sont regroupées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les constantes de la cinétique selon le pseudo premier ordre du modèle de Lagergren

	Paramètres	Ty + SH	His + SH
CAP	Qe exp (mg/g)	2,89	3,14
	Qe cal (mg/g)	0,325	4,54
	K ₁ (min ⁻¹)	38,77	34,39
	R%	79,39	82,80
CAG	Qe exp (mg/g)	1,67	1,66
	Qe cal (mg/g)	1,80	1,923
	K ₁ (min ⁻¹)	31,695	78,74
	R%	77,34	98,86

Nos résultats montrent que les coefficients de corrélation sont tous supérieurs à 75 %. Mais les données expérimentales et les données obtenues par le modèle de Lagergren sont très divergentes. C'est-à-dire que, la quantité adsorbée à l'équilibre, déterminée expérimentalement est différente de celle calculée. Donc, le modèle de Lagergren pseudo premier ordre n'est pas applicable dans le cas de l'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence séparément des substances humiques par les deux charbons actifs

Modèle de la cinétique du pseudo- second ordre

L'équation du pseudo-second ordre est souvent utilisée avec succès pour décrire la cinétique de la réaction de fixation des polluants sur l'adsorbant (Lagergren, 1898; Yuh-Shan, 2006). Le modèle du pseudo-second ordre permet de

caractériser la cinétique d'adsorption en prenant en compte à la fois le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et celui d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible. L'équation 2 décrit le modèle pseudo-second ordre.

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (2)$$

Avec : K_2 : Constante de vitesse d'adsorption pour le pseudo-second ordre ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Q_e : Quantité d'adsorbât à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg/g).

La quantité adsorbée à l'équilibre Q_e et la constante du pseudo-second ordre K_2 peuvent être déterminées expérimentalement à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de t/Q_t en fonction de t . Les résultats obtenus sont représentés sur les figures 5 et 6.

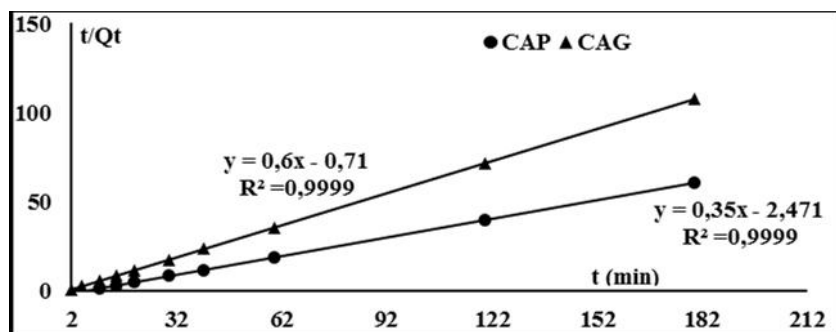


Figure 5: Modèle de la cinétique selon le pseudo-second ordre Tyrosine en présence des Substances humiques

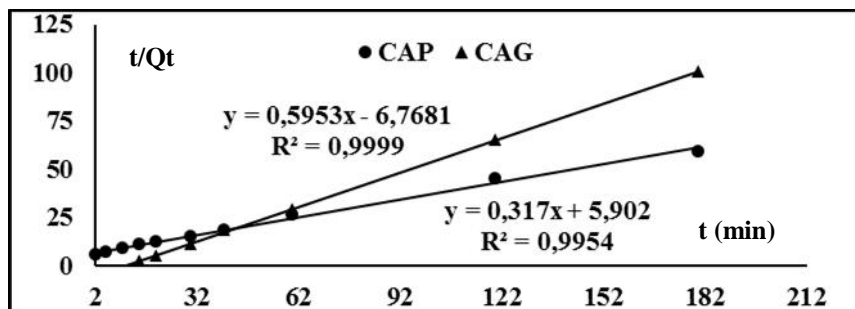


Figure 6: Modèle de la cinétique selon le pseudo-second ordre Histidine en présence des Substances humiques

Ces résultats montrent une variation linéaire de t/Q_t en fonction de t . Cette évolution est représentative d'une cinétique de pseudo-second ordre. Les paramètres du modèle cinétique pour les deux charbons sont regroupés dans le tableau 3. A partir de ces résultats, on constate que la quantité adsorbée à l'équilibre, déterminée expérimentalement, est plus proche de celle calculée en utilisant le modèle de la cinétique du second ordre. Ce modèle s'applique bien dans le cas de l'adsorption de la tyrosine et de l'histidine en présence séparément des substances humiques sur charbons actifs.

Tableau 3 : Les constantes de la cinétique selon le pseudo second ordre du modèle de Lagergren

	Paramètres	Ty + SH	His + SH
CAP	Qe exp (mg/g)	2,89	3,14
	Qe cal (mg/g)	2,86	3,158
	K_2 (g.mg ⁻¹ .min ⁻¹)	0,050	0,017
	R%	99,99	99,54
CAG	Qe exp (mg/g)	1,67	1,66
	Qe cal (mg/g)	1,66	1,68
	K_2 (g.mg ⁻¹ .min ⁻¹)	0,507	0,052
	R%	99,99	99,99

Effet de la variation de la concentration de la tyrosine et l'histidine

Nous avons réalisé cet essai pour des concentrations en tyrosine et histidine variant de 2 à 12 mg/l. La masse de la substance humique a été fixée à 10 mg/l. De même, la dose du charbon actif en poudre et en grain introduite est de 1 g/l. À l'équilibre, les résultats obtenus sont illustrés sur les courbes des figures 7 et 8. Selon ces résultats, nous pouvons constater que les rendements augmentent progressivement avec l'augmentation de la masse de la tyrosine et de l'histidine en présence individuellement des substances humiques, aussi bien pour le charbon actif en poudre qu'en grains. Ces rendements subissent une stabilité quasiment égale au rendement maximal, ce phénomène est apparu notamment avec la tyrosine sur charbon actif en grain.

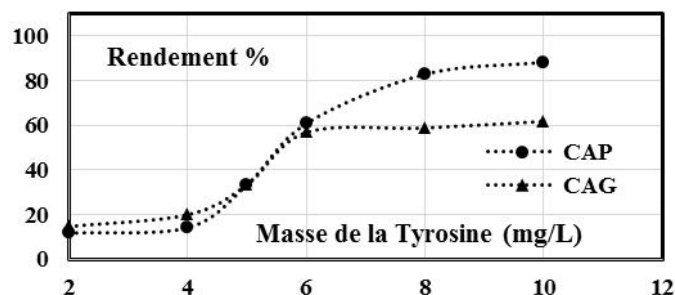


Figure 7: Variation de l'efficacité du traitement en fonction de la masse de la tyrosine en présence des substances humiques (10 mg/l) sur charbon actif en poudre et en grain (1g/l) (temps d'agitation = 120 min).

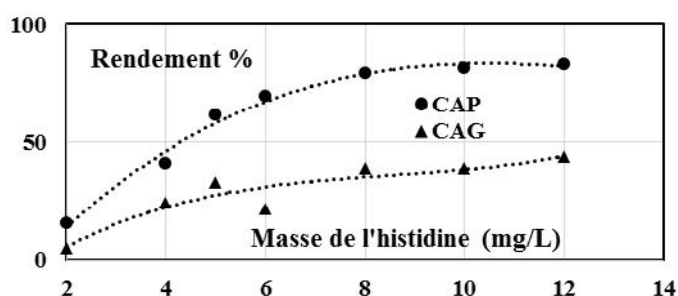


Figure 8: Variation de l'efficacité du traitement en fonction de la masse de l'histidine en présence de la substance humique (10 mg/l) sur charbon actif en poudre et en grain (1g/l) (temps d'agitation = 180 min).

D'une manière générale, nos résultats montrent toujours une grande affinité des acides aminés (tyrosine et histidine) étudiés en présence de la substance humique envers le charbon actif que ce soit sous forme de poudre ou en grain avec une supériorité plus marquée pour le charbon actif en poudre. Le fait que le charbon actif en poudre permet une meilleure élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence des substances humiques confirme que cet adsorbant améliore d'une façon évidente l'adsorption de ces composés organiques.

Il est important de signaler que, quel que soient les rendements que nous avons obtenus, ces derniers ne dépassent jamais ceux obtenus avec la tyrosine et l'histidine sans la présence des substances humiques. Ceux-ci pourraient être justifiés par les travaux d'Ayele et al., (1993), Delhumeau (2000) et de Guergazi et al., (2013) qui ont souligné que, lorsqu'il existe deux solutés dans un milieu étudié, l'adsorption du composé le plus adsorbable est favorisée. Toutefois la présence de co-adsorbats organiques peut également modifier l'adsorption du composé cible suivant deux mécanismes :

- la compétition directe au niveau des sites de l'adsorbant.

- le blocage physique qui empêche le composé cible de s'adsorber sur des sites situés en profondeur de la structure.

Effet de la variation de la dose du charbon actif

Nous avons fixé la concentration des substances humiques à 10 mg/l ainsi que celle de la tyrosine et de l'histidine à 5 mg/l, et on fait varier la masse du charbon actif en poudre et en grains à des concentrations allant de 0,2 à 4 g/l. À l'équilibre les résultats obtenus sont présentés sur les courbes des figures 9 et 10.

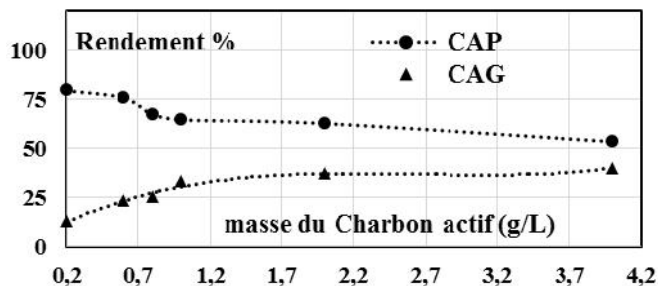


Figure 9: Variation de l'efficacité du traitement en fonction de la masse du charbon actif en poudre de l'histidine (5mg/l) en présence des substances humiques (10 mg/l), (temps d'agitation = 180 min).

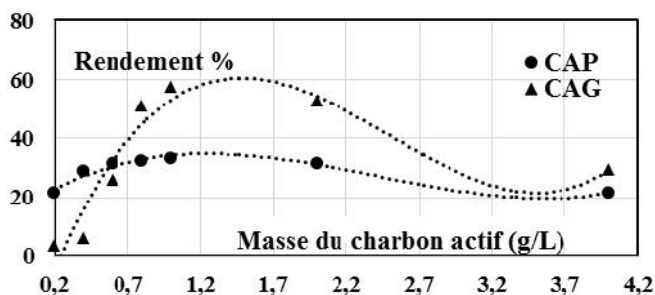


Figure 10: Variation de l'efficacité du traitement en fonction de la masse du charbon actif en poudre de la tyrosine (5mg/l) en présence des substances humiques (10 mg/l), (temps d'agitation = 120 min).

Les résultats obtenus montrent que l'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence individuellement des substances humiques augmente avec l'augmentation de la masse du charbon mise en jeu, puis les rendements subissent une diminution appréciable pour des masses d'adsorbants situés globalement entre 1 à 4 g.

D'autre part, malgré l'augmentation des rendements dans l'intervalle situé entre 0,2 et 1g, ces rendements restent toujours inférieurs aux rendements de la tyrosine et l'histidine sans la présence de substances humiques. Ce même,

phénomène est apparu aussi au cours de l'élimination des substances humiques en présence des acides aminés (Guergazi et al., 2013).

Parallèlement aux travaux de Ayele et al., (1993), Guergazi et al., (2013) et Black et al. (2002), l'analyse de nos résultats mettent en évidence une interaction de nature compétitive entre *Tyrosine/Substances humiques*, *Histidine /Substances humiques* et l'adsorbant, résultant à la fois :

- D'une compétition sur les mêmes sites d'adsorption, bien que les substances humiques aient une meilleure affinité pour le charbon actif par rapport à la tyrosine et l'histidine.
- D'une compétition cinétique, la vitesse d'adsorption des substances humiques seules est plus rapide sur charbon actif en poudre et en grains, (Guergazi et al., 2014 ; Masmoudi et al., 2014) que celle de la tyrosine et l'histidine rendant ainsi les rendements moins importants. Il pourra donc y avoir un freinage dans le mécanisme et les sites disponibles seront moins accessibles pour la tyrosine et l'histidine (encombrement stérique) et en particulier pour les fortes masses d'adsorbant.

CONCLUSION

L'objectif principal de notre étude était de tester les performances du charbon actif en poudre et en grains dans la rétention de la tyrosine et de l'histidine en présence séparément des substances humiques. Les résultats obtenus ont montré que :

-En présence des substances humiques, la cinétique d'adsorption a enregistré sur charbon actif en poudre un rendement de 57,65% pour la tyrosine et de 62,80% pour l'histidine. Par contre, sur charbon actif en grains, les rendements ne dépassent pas les 50%. La présence des substances humiques ralentit le mécanisme d'adsorption, en particulier en présence de l'histidine. Le temps d'équilibre subit une diminution de l'ordre de 60 minutes en comparaison avec l'adsorption de l'histidine seule.

-A partir de nos résultats, on constate que les données expérimentales se rapprochent plus des données empiriques du modèle cinétique du pseudo second ordre que celles du modèle cinétique du pseudo premier ordre.

En ce qui concerne l'effet de la variation de la teneur initiale en histidine et en tyrosine, les résultats ont enregistré une augmentation appréciable dans les rendements. Par contre, avec la variation du charbon actif en poudre et en grains on a pu remarquer la présence de deux phénomènes antagonistes, une augmentation avec les faibles masses d'adsorbants puis une diminution à partir de 1 g du charbon actif. Ceux-ci sont peut-être dus à un effet inhibiteur, ce qui traduit par la suite une diminution dans la capacité de rétention de la tyrosine et de l'histidine en présence séparément des substances humiques.

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 d'Etat, Université de Tizi-Ouzou, Algérie.
- ACHOUR S., GUERGAZI S. (2002). Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, *Rev. Sci. Eau.*, Vol.15, N°3, 649-668.
- 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, *Rev. Sci. Eau.*, Vol.6, N°4, 381-394.
- BALCKE G.U., KULIKOVA N.A., HESSE S., KOPINKE F.D., PERMINOVA I.V., FRIMMEL F.H. (2002). Adsorption of humic substances onto kaolin clay related to their structural features, *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, Vol.66, N°6, 1805-1812.
- DELHUMEAU V.P. (2000). Elimination de pesticides sur charbon actif en grain (CAG): adsorption compétitive et évaluation des tests de sélection des CAG, Thèse de l'université de Poitiers, France.
- FABRE B., AYL J., MAZET M., LAFRANCE P. (1990). Adsorption du pentachlorophénol sur divers matériaux: Influence de co-adsorbats organiques (Substances humiques et lindane), *Rev. Sci. Eau.*, Vol.3, N°3, 277-292.
- GUERGAZI S., HAMZAOUI S., ACHOUR S. (2014). Effet de la minéralisation sur l'élimination des substances humiques par adsorption sur charbon actif, 7^{ème} édition de la conférence internationale Ressources en eau dans le bassin Méditerranéen, WATMED7, Marrakech, Maroc, du 8 au 11 Octobre 2014.
- GUERGAZI S., YAHIOUI K., ACHOUR S. (2013). Elimination des substances humiques en présence de l'histidine et la tyrosine par adsorption, *Revue Courier du Savoir*, N° 17, 25-31.
- HO Y.S. (2006). Review of second-order models for adsorption systems, *Journal of Hazardous Materials*, Vol.136, N°3, 681-689.
- LAGERGREN S. (1898). About the theory of so-called adsorption of soluble substances, *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, Vol.24, N°4, 1-39.
- MALLEVIALE J., SCHMITT E., BRUCHET A. (1982). Composés organiques azotés dans les eaux: inventaire et évolution dans différentes filières industrielles de production d'eau potable, *Journées Informations Eaux*, Tome 1, Poitiers, France.
- MANTOURA R.F.C., DIKSON A., RITEY J.P. (1978). The complexation of metals with humic materials in natural waters, *Estuarine and Coastal Marine Science*, Vol.6, N°4, 387-408.

Effet des paramètres réactionnels sur l'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence des substances humiques par le charbon actif

- MASMOUDI T., YAHIAOUI K., GUERGAZI S., ACHOUR S. (2014). Elimination de la substance humique par adsorption sur charbon actif en poudre en présence de la cytosine, 4^{ème} forum de l'eau, Les ressources en eau : Effets des changements climatiques et perspectives d'adaptation, 24-26 Mars 2014, Sousse, Tunisie.
- THURMAN E.M., MALCOLM R.L. (1989). Nitrogen and Amino Acids in fulvic and humic acids from the Suwannee River, In: Humic Substances in the Suwannee River, Georgia: Interactions, Properties, and Proposed Structures, Open-File Report 87-557, 99-118.