



ETUDE DU POUVOIR ADSORBANT DU CHARBON ACTIF EN POUDRE POUR L'ELIMINATION DES PHOSPHATES DES EAUX NATURELLES

YOUCEF L.*, OUAKOUBA A., BOULANOUAR 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, B.P 145. R.P 07000 Biskra, Algérie

lyoucef2@yahoo.fr ; ouakouakk@yahoo.fr ; samia.achour@Larhyss.net.

RESUME

L'objectif de cette étude est de tester l'efficacité de l'élimination des phosphates des eaux naturelles par adsorption sur charbon actif en poudre (CAP).

Les solutions traitées sont des solutions synthétiques de phosphate en eau distillée et en deux eaux souterraines de la région de Biskra.

Les essais d'adsorption de phosphate ont montré que la rétention de phosphate sur le CAP est un phénomène réversible. Le temps d'équilibre est moins long en eaux minéralisées (30 minutes) qu'en eau distillée (3 heures). Les rendements sont améliorés avec l'augmentation de la dose de l'adsorbant (0,1 à 4 g/l). L'adsorption de phosphate suit les deux lois de Langmuir et de Freundlich. Le procédé est influencé par le pH de traitement. En solutions synthétiques d'eau distillée, les rendements diminuent avec l'augmentation de la teneur initiale en phosphate (1 à 20 mg/l) par contre en solutions synthétiques d'eaux minéralisées il se produit le contraire. Ce résultat est du à la différence des mécanismes d'élimination de phosphate dans les deux milieux de minéralisation différentes.

Mots clés : phosphates, eaux souterraines, charbon actif en poudre, adsorption.

ABSTRACT

The aim of this study is to test the efficiency of removal of phosphate in natural waters by adsorption on powdered activated carbon (PAC).

The treated solutions are synthetic phosphate solutions in distilled water and ground waters in the region of Biskra.

Phosphate adsorption tests have shown that the retention of phosphate on the PAC is a reversible phenomenon. The equilibrium time is less in mineralized water (30 seconds) than in distilled water (3 hours). Removal rates are improved with the increase of the dose of the adsorbent (0,1 to 4 g/l). Adsorption of phosphate follows the two models of Langmuir and Freundlich. The process is influenced by the pH of treatment. In synthetic solutions of distilled water, removal rates decrease with the increase of the initial phosphate content (1 to 20 mg/l) in contrast in synthetic solutions of mineralized water the opposite occurs. This is a result of unlike the removal mechanisms of phosphate in the two media of different mineralization.

Keywords: phosphates, groundwater, powdered activated carbon, adsorption

INTRODUCTION

Les phosphates font partie des anions assimilables par le corps de l'être humain (Rodier, 1984). Quelque soit leur origine (domestique, industrielle ou agricole), leur présence dans les eaux à fortes concentrations (teneurs supérieures à 0,2 mg/l) favorise le développement massive d'algues, lesquelles conduisent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau (Rodier, 1984; Potelon et Zysman, 1998).

A doses élevées, les sels de phosphate peuvent inhiber l'utilisation des sels de calcium et engendre des nausées, diarrhées, hémorragies gastro-intestinales, ulcération, atteintes rénales et hépatiques (Potelon et Zysman, 1998).

Les données disponibles sur la qualité de l'eau révèlent que la plupart des ressources en eau en Algérie sont polluées par les rejets non contrôlés des eaux municipales et des effluents industriels non traités.

Il existe plusieurs procédés conventionnels pour l'élimination des phosphates à partir des eaux contaminées tel que les traitements biologiques (Cemagref, 2004; Villemur, 2009) et les procédés physico-chimiques qui sont basés sur des phénomènes de précipitation de sels de calcium, de fer ou d'aluminium (Tchobanoglous et al., 2003) ou sur coagulation-floculation du sulfate d'aluminium (Youcef et Achour, 2005) ou bien par l'adsorption sur l'argile (Youcef et Achour, 2005; Shanableh et Elsergany, 2013).

L'objectif de cette étude est de tester l'efficacité de l'adsorption des phosphates des eaux naturelles sur le charbon actif en poudre.

Les solutions traitées sont des solutions synthétiques de phosphate en eau distillée et en eaux de forages de la région de Biskra en étudiant l'effet de quelques paramètres réactionnels (cinétique d'adsorption, dose de l'adsorbant, pH de traitement et teneur initiale en phosphates).

MATERIEL ET METHODES

Préparation de la solution mère de phosphate

Nous avons préparé une solution mère de 1000 mg PO_4^{3-} / litre d'eau distillée en utilisant le sel Na_2HPO_4 . Cette solution a été utilisée pour la préparation des solutions étalons pour le dosage des phosphates ainsi que pour la préparation des solutions synthétiques d'eau distillée ou d'eaux minéralisées.

Qualité physico-chimique des eaux naturelles utilisées pour les essais de déphosphatation

Afin d'étudier l'effet de la minéralisation totale sur l'efficacité de l'adsorption de phosphate sur le CAP, nous avons choisi l'eau du forage de Sidi Okba et l'eau minérale commercialisée de Guedila.

Ce sont des eaux souterraines de la région de Biskra et sont des eaux destinées à la consommation humaine. Les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux minéralisées testées

Paramètre	Eau	
	Sidi Okba	Guedila
pH	7,78	7,63
Conductivité (mS/cm)	4,45	0,488
TH (°F)	276	52
TAC (°F)	8,5	8
SO_4^{2-} (mg/l)	1620	97
Cl^- (mg/l)	881	42
PO_4^{3-} (mg/l)	0,22	0,01
Ca^{2+} (mg/l)	589	93
Mg^{2+} (mg/l)	309	69

Méthodes de dosage

Dosage de phosphate

Nous avons dosé les PO_4^{3-} dans l'eau par spectrophotométrie en présence du molybdate d'ammonium et de l'acide ascorbique le développement de la

coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium (Rodier, 2009). Les mesures de l'absorbance au spectrophotomètre UV-visible (JENWAY 6305 UV) ont été effectuées à la longueur d'onde de 800 nm.

Dosage des paramètres physico-chimiques

Les autres paramètres physico-chimiques des eaux souterraines sont déterminés par les méthodes standards d'analyse (Rodier, 2009) ou par les méthodes décrites par les catalogues de l'appareillage utilisé.

Essais d'adsorption

Adsorbant utilisé

Pour la réalisation des essais de l'élimination des phosphates, nous avons utilisé un charbon actif en poudre (Riddell de Haen) de granulométrie 20 μm et de surface spécifique égale à 658 m^2/g .

Description des essais d'adsorption

Les essais d'élimination de phosphate ont été réalisés en discontinu sur des agitateurs magnétiques. On fait agiter la solution synthétique de l'eau distillée ou de l'eau minéralisée avec une dose constante de l'adsorbant.

La séparation solide liquide de l'échantillon prélevé est réalisée par filtration sous vide à l'aide d'une membrane de 0,45 μm de porosité. Pour chaque échantillon filtré on a mesuré le pH et la teneur de phosphate résiduel.

Différents essais ont été effectués permettant d'examiner l'influence de certains paramètres réactionnels sur l'élimination de phosphate sur l'adsorbant CAP tel que :

- *L'effet du temps d'agitation* : L'étude de l'effet de temps d'agitation a été réalisée par des prélèvements au cours du temps (entre 0 minutes et 6 heures). Le dosage de la teneur résiduelle de phosphate permet de suivre la cinétique de sa rétention sur l'adsorbant utilisé.
- *L'effet de la masse d'adsorbant CAP* : la masse du CAP a été variée entre 0,1 à 4 g/l
- *L'effet du pH de traitement* : Le pH des solutions a été ajusté durant la période de l'essai et a été fait varier entre 2 et 10. L'effet du pH a été étudié en ajustant le pH des solutions avec HCl (0,1 N) et NaOH (0,1 N).
- *L'effet de la teneur initiale de phosphate* : Ce paramètre a été étudié en dopant l'eau distillée et les eaux minéralisées testées avec 1 à 20 mg de $\text{PO}_4^{3-}/\text{l}$.

RESULTATS ET DISCUSSION

Cinétique d'adsorption

Nous avons étudié ce paramètre en suivant la teneur résiduelle de phosphate durant une période de traitement allant de 0 minutes à 6 heures. La masse introduite de l'adsorbant (CAP) était 1 g/l. La teneur initiale en phosphates dans les solutions à traitées a été fixée à 5 mg/l en eau distillée. Chaque eau minéralisée a été dopé par 5 mg/l en ion phosphate en utilisant la solution mère de 1000 mg PO_4^{3-} /l. Alors la teneur initiale de chaque eau est devenue 5,22 mg/l, pour l'eau de Sidi Okba et 5,01 mg/l pour l'eau de Guedila.

Pour cet adsorbant nous avons réalisé l'étude de la cinétique d'adsorption sans ajustement du pH soit pour les eaux minéralisées ou bien pour l'eau distillé.

Les résultats présentés sur la figure 1 et dans le tableau 2 montrent que le temps d'équilibre est :

- 30 minutes pour les eaux minéralisées (Sidi Okba, Guedila).
- 3 heures pour l'eau distillée.

Ce temps correspond au maximum d'efficacité de l'adsorption de phosphate et donc au minimum des teneurs en phosphate résiduel. Au-delà des temps d'équilibre on observe une diminution du rendement de déphosphatation pour les trois solutions traitées.

Le temps d'équilibre en eaux minéralisée et plus court que celui obtenu en eau distillée. Ce résultat est du probablement à la présence des éléments minéraux.

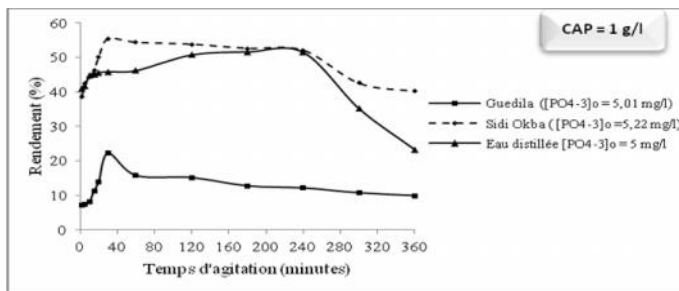


Figure 1: Evolution du rendement d'élimination de phosphate en fonction du temps d'agitation dans différents milieux de dilution.

Tableau 2: Résultats optima des essais des cinétiques d’adsorption
(Temps d’agitation = 6 heures ; CAP= 1 g/l)

Eau	Teneur résiduelle en PO_4^{3-} (mg/l)	Rendement (%)	Temps d’équilibre	pH à l’équilibre
Eau distillée ($[PO_4^{3-}]_0 = 5 \text{ mg/l}$)	2,42	51,62	3 heures	7,4
Eau de Guedila ($[PO_4^{3-}]_0 = 5,01 \text{ mg/l}$)	3,90	22,16	30 minutes	8,02
Eau de Sidi Okba ($[PO_4^{3-}]_0 = 5,22 \text{ mg/l}$)	2,33	55,30	30 minutes	8,20

Effet de la masse de charbon actif

Nous avons suivi l’évolution du rendement d’élimination de phosphate en dopant l’eau distillée et l’eau minéralisée avec 5 mg de PO_4^{3-}/l et pour des doses variables de l’adsorbant (0,1; 0,4; 0,8; 1; 2 et 4 g/l). Les essais ont été réalisés en fixant le temps d’agitation à 3 heures pour l’eau distillée et 30 minutes pour les eaux minéralisées.

Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 2. Il est clair que l’élimination de phosphate est améliorée en augmentant la dose du charbon actif quel que soit le milieu de dilution. L’augmentation de la dose de l’adsorbant signifie une surface d’adsorption en plus pour les ions phosphate.

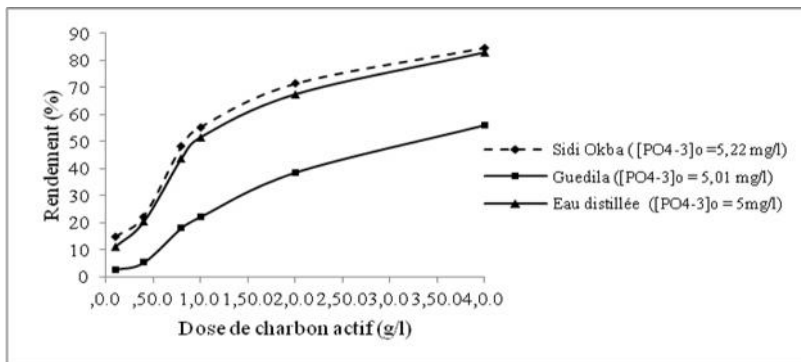


Figure 2: Evolution du rendement d’élimination de phosphate en fonction de la dose du charbon actif dans différents milieux de dilution (Temps d’agitation en eau distillée = 3 h, temps d’agitation en eau de Guedila et en eau de Sidi Okba = 30 minutes).

Nous avons exploité les résultats selon les formes linéarisées des modèles de Freundlich et de Langmuir pour les différents cas étudiés. Cette exploitation est

réalisée en considérant des doses variables de l'adsorbant (0,1 à 4 g/l) et une concentration initiale constante en phosphate égale à 5 mg/l en eau distillée, 5,01 mg/l en eau de Guedila et 5,22 mg/l en eau de Sidi Okba. Rappelons que ces lois s'expriment par :

- Loi de Freundlich : $\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C_e$
 - Loi de Langmuir : $\frac{m}{x} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m \times b} \times \frac{1}{C_e}$
- C_e est la concentration de phosphate à l'équilibre (mg/l)
 - $x = (C_0 - C_e)$ est la quantité de phosphate fixée (mg/l)
 - m est la masse d'adsorbant (g)
 - q_m est la capacité ultime d'adsorption (mg/g)
 - K, n, b sont des constantes d'adsorption

Certains auteurs définissent le rapport R_L comme une grandeur sans unité indiquant si l'adsorption est d'autant plus favorable que ($0 < R_L < 1$) (Al Mardini, 2008).

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0}$$

Avec : C_0 , la concentration initiale du substrat.
 b , la constante d'adsorption de Langmuir.

Sur la figure 3, nous présentons pour chaque adsorbant les isothermes correspondants aux résultats optima et dans le tableau 3 on présente les paramètres de chaque isotherme pour les cas de traitement étudiés.

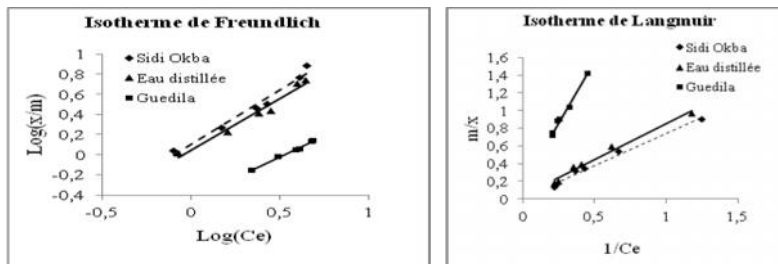


Figure 3: Exploitation des résultats d'adsorption de phosphate sur le CAP dans différents milieux de dilution selon les isothermes de Langmuir et de Freundlich

Tableau 3: Constantes des modèles d’adsorption de Freundlich et de Langmuir pour les milieux de dilution testés.

Milieu de dilution	Freundlich		Corrélation (R^2)	Langmuir			Corrélation (R^2)
	n	k		q_m (mg/g)	b (l/mg)	R_L	
Eau de Guedila ([PO_4^{3-}] ₀ = 5,01 mg/l)	1,60	0,43	0,974	2,38	0,2	0,5	0,977
Eau distillée ([PO_4^{3-}] ₀ = 5 mg/l)	1,14	0,88	0,969	11,49	0,08	0,71	0,983
Eau de Sidi Okba ([PO_4^{3-}] ₀ = 5,22 mg/l)	0,95	1,18	0,966	45,45	0,03	0,86	0,977

Les droites obtenues avec un bon coefficient de corrélation montrent que dans nos conditions expérimentales, l’adsorption de phosphate sur CAP suit les deux lois de Langmuir et de Freundlich d’une façon satisfaisante. Ce qui a été trouvé également par les différentes études réalisées sur charbon actif (Kumar et al., 2010 ; Zhang-Liang et al ., 2011 ; Qi Zhou et al, 2012 ; Zhang et al., 2012). Compte tenu des valeurs de R_L obtenues inférieure à 1, nous pouvons considérer que l’adsorption de phosphate est favorable sur le CAP, ce qui s’accorde avec les résultats du rendement d’élimination de ce polluant.

Effet du pH

Nous avons réalisé ces essais en dopant l’eau distillée et les eaux minéralisées avec 5 mg de phosphate /litre. La masse de CAP introduite dans chaque bécher est de 1g/l et la durée de l’essai à été maintenue à 30 minutes pour les eaux minéralisées et à 3 heures pour l’eau distillé, ces durées ont été fixées suivant le temps d’équilibre obtenu lors de l’étude de la cinétique d’adsorption de phosphate dans chaque solution synthétique sur CAP.

Le pH de traitement a été varié entre 2 et 10. Le pH des solutions a été ajusté au pH voulu et maintenu constant pendant la durée de l’essai par addition de l’acide chlorhydrique (0,1 N) ou de l’hydroxyde de sodium (0,1 N).

Sur la figure 4, nous présentons l’évolution des rendements d’élimination de phosphate des trois eaux à différents pH. Entre les résultats d’essais en eau distillée et en eau minéralisée en observe deux phénomènes différents.

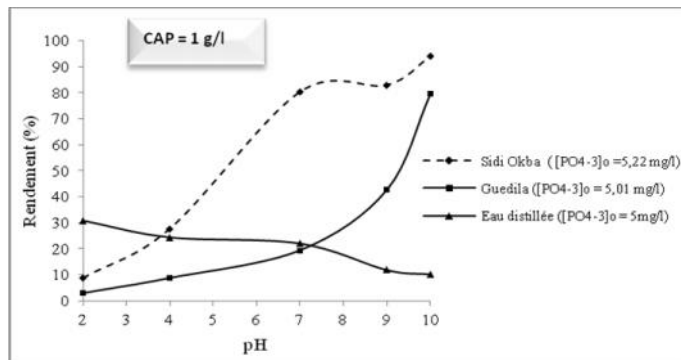


Figure 4: Evolution du rendement de déphosphatation en fonction du pH de traitement dans différents milieux de dilution (Temps d'agitation en eau distillée = 3 h, temps d'agitation en eau de Guedila et en eau de Sidi Okba = 30 minutes)

- Pour les deux eaux minéralisées testées, nous pouvons constater une amélioration de l'adsorption de phosphate chaque fois que le pH croît. Les rendements semblent appréciables dans le cas du traitement de l'eau de Sidi Okba (conductivité = 4,45 mS/cm) et sont moindres dans le cas de traitement de l'eau de Guedila (Conductivité = 488 μ S/cm). Cette distinction peut être due à la différence dans la constitution en éléments minéraux.

Afin de justifier l'augmentation du rendement de déphosphatation, on estime qu'en plus de l'adsorption de phosphate sur le CAP il se produit une précipitation de phosphate en présence de calcium et de magnésium. Le calcium, lorsqu'il est présent en excès en présence d'une base (NaOH, dans le cas de nos essais). On peut aboutir à la précipitation du dihydrogénophosphate de calcium $\text{Ca}(\text{PO}_4\text{H})_2$ à un pH optimal de 6 à 7 et à pH allant de 9 à 12, à la précipitation du phosphate tricalcique $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Degrémont, 1989).

L'augmentation de la teneur initiale des ions calcium permet d'avantage la précipitation de ces composés (Tchobanoglous et al., 2003 ; Youcef et Achour, 2005). Ce qui fait la différence entre les résultats obtenus lors de la déphosphatation de l'eau de Sidi Okba ($[\text{Ca}^{2+}] = 589 \text{ mg/l}$) et l'eau de Guedila ($[\text{Ca}^{2+}] = 93 \text{ mg/l}$).

- Dans le cas de la déphosphatation de solutions synthétiques de l'eau distillée, on a constaté une diminution du rendement avec l'augmentation du pH. Ce résultat a été obtenu également par plusieurs chercheurs (Zhang-Liang et al., 2011; Qi Zhou et al., 2012; Zhang et al., 2012).

Selon Zhang-Liang et al. (2011), l'adsorption de l'ion phosphate sur le charbon actif en solution synthétique d'eau distillée, est fonction du pH initial. A pH entre 2 et 12 l'élimination des ions phosphates diminue rapidement avec la

diminution du pH entre 2 et 5 puis lentement à pH supérieur à 6. La diminution du pH est due probablement à la compétition entre l'ion phosphate et les ions Hydroxyles (OH^-) pour les sites d'adsorption du charbon actif. On peut estimer que le mécanisme d'adsorption de phosphate sur le charbon actif est un échange de ligands.

D'après Kumar et al. (2010), en utilisant le charbon actif du Coco –pith comme adsorbant pour l'élimination des phosphates, le rendement est maximal à pH initial (pH_0) $6 < \text{pH}_0 < 10$

- Lorsque $\text{pH} < 6$ et $\text{pH} > 10$: les rendements d'élimination des phosphates sont minimales.
- $6 < \text{pH} < 10$: Les rendements sont maximaux

Selon la valeur du pH, le phosphore existe sous forme H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} et PO_4^{3-}

- $\text{pH}=2$: P existe sous la forme prédominante comme H_3PO_4 . Cette forme neutre est facilement attachée aux sites de l'adsorbant.
- $6 < \text{pH} < 10$: les formes prédominantes sont H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} , se sont des formes anioniques et sont facilement adsorbables sur les sites positives du charbon actif.
- $\text{pH} > 10$: OH^- dans la solution devient en forte concentration et entre en compétition avec les ions PO_4^{3-} pour les sites d'adsorption du charbon actif. En plus à pH élevés la charge négative en surface du CA ne favorise pas l'adsorption des anions vue la force de répulsion électrostatique.

Effet de la teneur initiale en phosphate

Nous avons réalisé ces essais en dopant l'eau distillée et les deux eaux minéralisées avec des teneurs initiales en phosphate suivantes: 1 mg/l, 2 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l et 20 mg/l.

La dose introduite pour d'adsorbant (CAP) est 1 g/l, l'agitation à été maintenue pendant 30 minutes pour les eaux minéralisées et pendant 3 heures pour l'eau distillée.

Selon les résultats présentés sur la figure 5, nous pouvons constater que :

- Dans le cas de l'eau distillée, le rendement d'élimination de phosphate diminue avec l'augmentation de la teneur initiale en phosphate. Ce qui mène à supposer que les sites d'adsorption sur le CAP deviennent saturés en faisant augmenter la teneur initiale en phosphate. Ce résultat a été également constaté par Zhong-liang et al. (2011) pour l'élimination de phosphate de solution aqueuse d'eau distillée (pH initial =

3, $[\text{phosphate}]_0 = 2 \text{ à } 10 \text{ mg/l}$) par utilisation d'un charbon actif saturé à l'oxyde de fer.

- En eaux minéralisées, les rendements de déphosphatation augmentent avec l'augmentation de la teneur initiale en phosphate vue la présence des ions calcium (en plus forte concentration dans l'eau de Sidi Okba que dans l'eau de Guedila). Ceci permet une formation en plus des précipités phosphatés calciques.

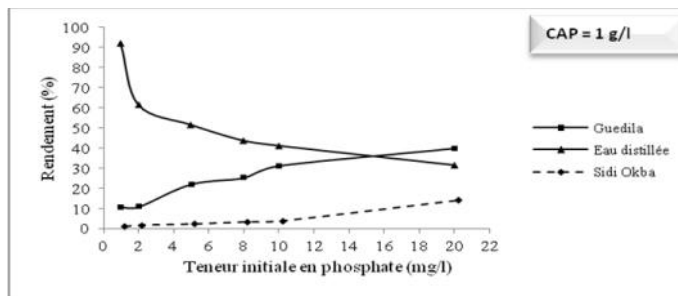


Figure 5: Evolution du rendement de déphosphatation en fonction de la teneur initiale en phosphate dans différents milieux de dilution (Temps d'agitation en eau distillée = 3 h, temps d'agitation en eau de Guedila et en eau de Sidi Okba = 30 minutes).

CONCLUSION

Les essais expérimentaux que nous avons réalisés ont été consacrés à l'élimination du phosphate en solutions synthétiques par adsorption sur le charbon actif en poudre.

Les résultats obtenus ont montré que l'efficacité d'élimination du phosphate varie selon le milieu de dilution vue la variation des mécanismes mis en jeu.

L'étude des différents paramètres réactionnels a permis d'aboutir aux résultats suivants :

-L'élimination du phosphate par utilisation du CAP est assez courte en eaux minéralisée (Eau de Sidi Okba et de Guedila) car la cinétique d'adsorption atteint son équilibre pendant 30 min d'agitation. Par contre, ce temps devient plus long en eau distillée (3 heures).

-Quelque soit l'eau testée, les rendements d'élimination du phosphate augmentent avec l'augmentation de la dose de l'adsorbant dans la gamme 0,1 à 4 g/l. Les modèles de Langmuir et de Freundlich sont parfaitement applicables pour les résultats obtenus.

-Le pH de traitement influe considérablement sur les rendements d'élimination du phosphate. En eau distillée, les rendements diminuent avec l'augmentation du pH. En eaux minéralisées, c'est totalement un phénomène contraire qui se

produit.

-Dans l'intervalle de concentration initiale de phosphate allant de 1 à 20 mg/l et pour une dose constante de l'adsorbant (1 g/l) l'efficacité du traitement subit une nette diminution en eau distillée et une nette augmentation en eaux minéralisées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AL MARDINI F. (2008). Etude de l'adsorption du pesticide Bromacil sur charbon actif en poudre en milieu aqueux. Effet compétiteur des matières organiques naturelles. Thèse de docteur. Chimie et Microbiologie de l'Eau, Université de Poitiers, France.
- CEMAGREF. (2004). Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées, Document technique FNDAE n ° 29.
- DEGREMONT. (1989). Mémento technique de l'eau, Ed. Degrémont, Paris.
- KUMAR P., SUDHA. S., CHAND. S., SRIVASTAVA V. C.(2010). Phosphate removal from aqueous solution using Coir-Pith activated carbon. Separation Science and Technology, 45: 1463–1470.
- POTELON J. L., ZYSMAN K. (1998). Le guide des analyses de l'eau potable, Edition, La Lettre du Cadre Territorial, Voiron, France.
- QI ZHOU, XINZE WANG, JIANYONG LIU , LING ZHANG . (2012). Phosphorus removal from wastewater using nano-particulates of hydrated ferric oxide doped activated carbon fiber prepared by Sol–Gel method. Chemical Engineering Journal 200–202, 619–626.
- RODIER J. (1984). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 7^{ème} édition . Ed. Dunod, Paris.
- SHANABLEH A.M.,ELSERGANY M.M (2013). Removal of phosphate from water using six Al-, Fe-, and Al-Fe-modified bentonite adsorbents, Journal of Environmental Science and Health, Francis Taylor, Part A 48, 223–231.
- TCHOBANOGLOUS G., BURTON F. L., STENSEL H., D. (2003). Wastwater Engeneering. Treatment and reuse. Fourth Edition, Edition McGraw-Hill.
- VILLEMEUR R. (2009). Développement d'un traitement biologique de basin d'eau en circuit fermé pour l'enlèvement du phosphate. SORDAC. Document de recherche n°2009.2, 11p.
- YOUCEF L. ACHOUR S. (2005). Elimination des phosphates par des procédés physico-chimiques. LARHYSS Journal, 4, 129-140, Biskra, Algérie.
- ZHANG L., QI ZHOU, LIUA J., NING CHANG, WANA L., CHEN J. (2012). Phosphate adsorption on lanthanum hydroxide-doped activated carbon fiber. Chemical Engineering Journal 185– 186 (2012) 160– 167
- ZHONG-LIANG S, FU-MEIL.L., SHU-HUA Y.(2011). Adsorptive removal of phosphate from aqueous solutions using activated carbon loaded with Fe(III) oxide, NEW CARBON MATERIALS, Volume 26, Issue 4, ,299-306.