

Adsorption du Fluor par les os calcinés : Etude comparative de deux méthodes de dimensionnement des colonnes d'adsorption.

Adsorption of fluorine by bone char: Comparative study of two dimensioning methods of adsorption columns.

M. Ndong¹, C. Mar Diop^{1*}, F. Samb¹, E. Ngom¹, E. Thiam¹, O. Sock.¹

Résumé :

Cette étude porte sur l'adsorption du fluor par les os calcinés dans une colonne d'adsorption. A travers cette étude, on compare deux méthodes de dimensionnement qui diffèrent par les paramètres pris en compte. Il s'agit de la méthode utilisant uniquement la capacité d'échange de l'adsorbant et de celle qui se fait à partir des cinétiques de transfert. Un rapprochement des deux méthodes de dimensionnement a été fait afin de montrer que la deuxième méthode est plus directe. C'est une étude qui est menée avec un pilote de défluoruration conçu dans le cadre du projet d'amélioration et de renforcement des points d'eau dans le bassin arachidier (PARPEBA/Sénégal).

Mots clefs :

fluor ; os calcinés ; défluoruration; adsorption.

Summary:

This study relates to the adsorption of fluorine by bone char within an adsorption column. Through this study, two dimensioning methods which differ by the parameters taken into account are compared. It is about the method using only the exchange capacity of the adsorbent and that which is done from the transfer kinetics. A bringing together of the two dimensioning methods was made in order to show that the second method is more direct. It is a study which is undertaken with a pilot of defluoridation designed within the framework of the project of improvement and reinforcement of the water points in the groundnut basin.

Key words:

Fluorine; bone char; defluoridation; adsorption

¹Laboratoire d'Electrochimie et des Procédés Membranaires, Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta DIOP de DAKAR, BP 5085 Fann-Sénégal

*Correspondant : C. MAR.DIOP. Laboratoire d'Electrochimie et des Procédés Membranaires Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, BP : 5085 Fann-Sénégal..
Email : cgmar@ucad.sn.

1. Introduction :

Le problème de la fluorose touche certaines régions du Sénégal notamment Kaolack, Dioubel, Fatick et une certaine partie de la région de Thiès. Les effets sont plus visibles au niveau des dents (apparition de taches) et des os (déformation osseuse) [6, 7]. Ainsi des solutions adaptées aux réalités socio-économiques s'imposent pour la résolution de ce fléau. Les techniques adsorbantes sont utilisées pour réduire cette teneur en fluor qui dépasse les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé [2, 11].

L'utilisation des os calcinés, en tant qu'adsorbant pour réduire la concentration en fluor des eaux, constitue une solution alternative par rapport aux techniques membranaires jusqu'ici connues [3]. Un cahier de charge donne une période d'opération (avec un débit journalier d'eau à traiter) et une concentration désirée à la sortie de la colonne d'adsorption. Ce qui impose un calcul de la quantité d'adsorbant à utiliser. Il s'agit du dimensionnement de la colonne d'adsorption. Selon la bibliographie, une seule méthode de dimensionnement (basée sur l'exploitation d'une seule caractéristique de l'adsorbant, qui est sa capacité d'échange) a jusqu'ici été utilisée [4]. Cette dernière présente une certaine particularité, à savoir, l'introduction d'un facteur de correction pour obtenir un rendement satisfaisant. Par contre il existe une deuxième méthode de dimensionnement qui se base sur les caractéristiques de l'adsorbant, de la colonne et des conditions d'écoulement du fluide. Celle-ci est une méthode plus complexe et plus complète qui n'a jusqu'ici pas été exploitée dans le cadre des études de dimensionnement des colonnes d'adsorption du fluor par les os calcinés.

2. Etudes expérimentales :

Les études se déroulent sur le terrain avec le dispositif schématisé ci-dessus (Figure 1).

Ce dernier fonctionne comme suit :

L'eau à traiter est mise dans le seau 1 au dessus. Elle est conduite par le tuyau 2, qui permet d'acheminer l'eau au fond du seau contenant l'adsorbant. A partir de ce niveau, l'eau traverse l'adsorbant en circulant du bas vers le haut. Par trop plein, l'eau est récupérée dans le grand seau 4. C'est la teneur en fluor de cette eau qui mesurée.

3. Résultats et discussions

Les manipulations ont été faites sur le terrain. Un débit journalier de 80 L/j a été donné dans le cahier de charge. En tenant compte des recommandations de l'OMS [1] (0,7 mg/L de fluor dans les pays tropicaux secs comme le Sénégal et 1,5 mg/L pour les zones humides) pour la concentration des eaux en fluor pour les pays tropicaux tel que le Sénégal, nous avons eu à faire le dimensionnement pour une concentration à la sortie du filtre, inférieure ou égale à 0.7 mg/L.

Lors des premiers tests, nous avons travaillé avec les eaux de Patar. En effet, cette localité a été choisie suite aux résultats des analyses faites sur cinq (5) sites (Patar, Dalla, Keur Ngalgou, Ndock Sare, Thieppe). Les eaux de ces localités présentaient les caractéristiques retenues sur le tableau 1.

3.1. Test 1 : fait sur le terrain (localité de Patar)

Les résultats obtenus avec l'eau traitée sont représentés sur la figure 2 qui montre l'évolution de la concentration en fluor en fonction du volume d'eau traitée.

Nous avons obtenu un rendement de 45%. Granulométrie comprise entre 0.4 – 0.8 mm.

$$\frac{\text{capacité opératoire}}{\text{capacité totale}} = \frac{2}{3}$$

Le temps de contact est de 2 minutes 30 secondes.

Les autres paramètres physico-chimiques ont connu de très légères variations. Les chlorures n'ont connus aucune variation. Ce qui nous a permis de constater que les os calcinés n'ont aucune capacité de rétention vis-à-vis des chlorures.

3.2. Deuxième dimensionnement des appareils : (correction du premier dimensionnement)

Lors du premier test effectué sur le terrain (tableau 2), un coefficient de correction de 2/3 avait été calculé. Ce coefficient représente le rapport entre la capacité de défluoruration mesurée au laboratoire et celle obtenue sur le terrain. Une correction a été faite avec le dimensionnement en tenant compte de ce facteur de correction. Un deuxième test a été fait sur le même site (Patar). Pour celui-ci, les paramètres de dimensionnement sont retenus dans le (tableau 3):

La figure 3 montre l'évolution de la concentration en fluor en fonction du volume traité.

Analyse des résultats :

La granulométrie de l'adsorbant utilisée est de 0.4-0.8 mm. Sur les 4 800 L prévus, on a pu traiter que 3 600 L, ce qui correspond a un rendement de 75% (nettement supérieur a celui du premier test : 45 %). Dans le premier test, nous avons utilisé 8,8 kg d'absorbant et on estime pouvoir traiter 6000 litres pour une période d'opération de 2 mois avec un débit de 80 L/jour. Maintenant, nous utilisons plus d'absorbant (10,56 kg) et nous estimons pouvoir traiter moins (4800 litres) de l'eau. En utilisant les mêmes valeurs (sans tenir compte du facteur de correction), nous devrions être capable de traiter 7200 litres d'eau (10,56 / 8,8 x 6000) pour une période d'opération de 3 mois avec un débit de 80L/jour

Tableau 2 : Paramètres de dimensionnement (batch ascendant) à PATAR

Période d'opération (mois)	Volume d'eau traité pendant la période d'opération (L)	Quantité totale de fluor retenue pendant la période d'opération (g)	Masse d'adsorbant requise (kg)	Volume d'adsorbant dans le filtre (L)	Hauteur du lit d'adsorbant (cm)
2,5	6000	26,40	8,80	14,67	18,25

Tableau 3: paramètres de dimensionnement (batch ascendant) à PATAR

Période d'opération (mois)	Volume d'eau à traiter pendant la période d'opération (L)	Quantité totale de fluor à retenir pendant la période d'opération (g)	Masse d'adsorbant requise(kg)	Volume d'adsorbant dans le filtre (L)	Hauteur du lit d'adsorbant (cm)
2	4800	21,12	10,56	17,60	21,89

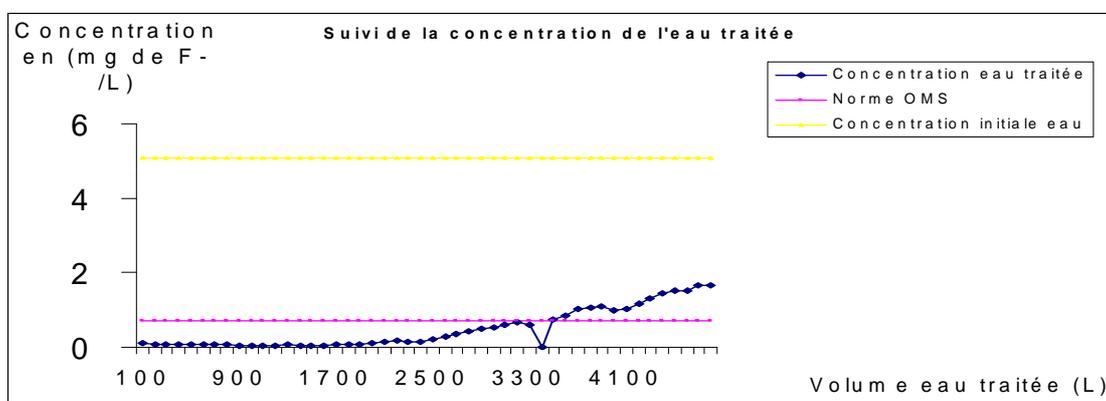


Figure 3 : Suivi de la concentration en fluor en fonction de la quantité d'eau traitée (PATAR)

(120L/jour, si on maintient les 2 mois pour la période d'opération), ce qui donnerai le même rendement (avec un volume d'eau traitée qui serai de 3240 Litres). Pour un volume de 7200 litres, tenant compte du facteur de correction, nous devrions utiliser une masse de 15,84 Kg pour obtenir un rendement de 75% (avec un volume d'eau de 5400 Litres). Ainsi, il faudra retenir qu'un raisonnement à partir de la quantité d'adsorbant utilisée doit tenir compte ou non du facteur de correction (de la capacité de l'adsorbant). Le pH de l'eau traitée reste voisin à celui de l'eau brute. La conductivité de l'eau traitée est également en moyenne de 4.7 mS à 26.9°C alors que celle de l'eau brute est de 5.09 mS/cm à 30°C.

3.3. Les tests faits à NDIAGO

Les eaux de NDIAGO présentent une teneur en fluor de 2,8 mg/L largement supérieure aux recommandations de l'OMS pour les pays tropicaux secs comme le Sénégal. Partant de ce paramètre, un dimensionnement a été fait pour le premier test à NDIAGO. Les paramètres du tableau 4 ont été retenus lors du premier test fait à NDIAGO, partant du dernier dimensionnement de PATAR avec l'abaque conçu à cet effet.

A. Premier test :

La représentation (figure 4) ci-dessus permet de voir l'évolution du taux de fluor en fonction du volume d'eau traitée :

Analyse des résultats :

On constate que les résultats obtenus n'étaient pas du tout satisfaisants. Effet, le rendement obtenu tourne autour de 41,66%. Ce qui est inférieur à nos attentes.

Ainsi, les diverses questions suivantes ont été posées :

Faut-il recorriger avec un autre facteur de correction ?

Le mélange, des différentes granulométries, a-t-il entraîné ce faible rendement constaté ?

En effet, la réponse est que le temps de contact varie en fonction de la hauteur du lit d'adsorbant et constitue donc le facteur le plus déterminant pour les colonnes d'adsorption. Cette hauteur est fonction du diamètre. Ce qui fait qu'en gardant le même dispositif, la hauteur devenait insuffisante pour obtenir le même rendement que lors du dernier test à PATAR (75%).

Tableau 4 : Paramètres de dimensionnement (batch ascendant) à NDIAGO

Concentration initiale en fluor (mg/L)	Volume d'eau à traiter pendant la période d'opération (L)	Quantité totale de fluor à retenir pendant la période d'opération (g)	Masse d'adsorbant requise (kg)	Volume d'adsorbant dans le filtre (L)	Hauteur du lit d'adsorbant (cm)
2,8	4800	10,08	5,04	8,40	10,45

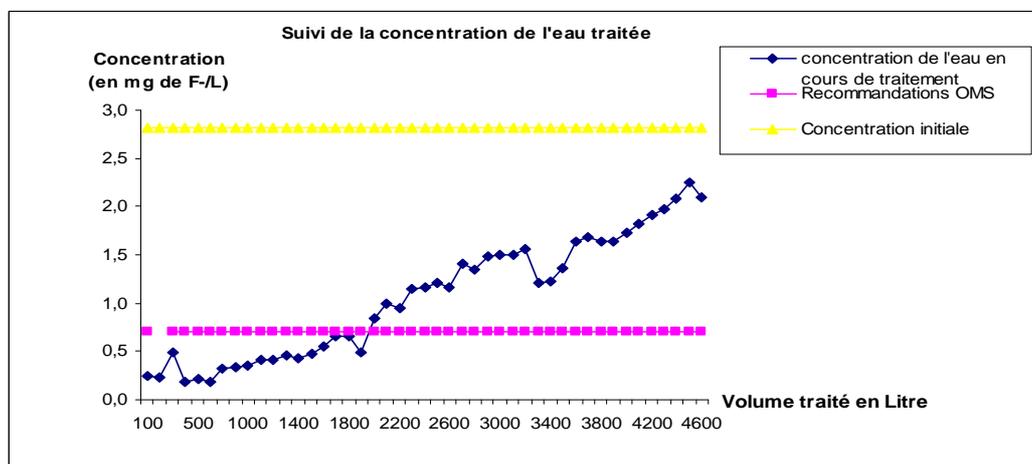


Figure 4 : Suivi de la concentration en fluor en fonction de la quantité d'eau traitée (NDIAGO)

A l'issu de ce résultat obtenu, le dimensionnement par les cinétiques de transfert a été abordé.

K_y : 3,3465E-07 calculé selon [5]

NUT : 6,71 ; Masse d'adsorbant à peser (Kg) : 11,479 (calculé selon [2]).

B. Deuxième test :

La figure 5 permet de voir l'évolution du taux de fluor en fonction du volume d'eau traitée.

masse de 12,09 Kg aurait dû être utilisée. Le calcul de la masse d'adsorbant nécessaire par les cinétiques de transfert, en utilisant la programmation faite avec le tableur Excel, donne environ la masse de 11,479 Kg. Ce qui permet de confirmer et de retenir la méthode de dimensionnement suivant les cinétiques de transfert comme la plus adéquate.

5. Conclusion :

La comparaison des deux méthodes de dimensionnement montre que le

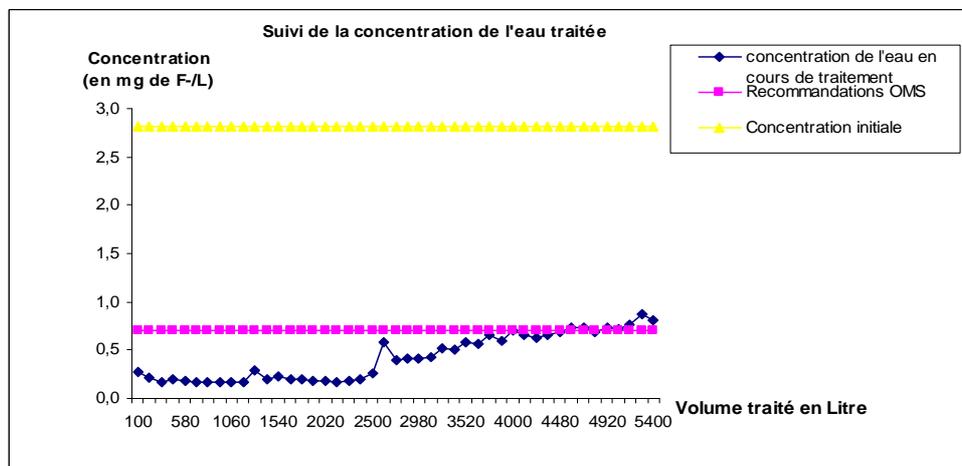


Figure 5 : Suivi de la concentration en fluor en fonction de la quantité d'eau traitée (NDIAGO)

Analyse des résultats :

Un résultat satisfaisant a été obtenu lors de ce deuxième test. Un rendement de 100% a été obtenu. En effet, le dimensionnement par les cinétiques de transfert est plus rigoureux que la première méthode qui demande à chaque fois un coefficient de correction qui n'est pas une constante.

4. Rapprochement des deux méthodes de dimensionnement :

La première méthode de dimensionnement peut être rapprochée à cette dernière qui se fait à la suite de la connaissance des coefficients de transfert de matière. En effet, si nous prenons le cas de NDIAGO, après le coefficient de correction, un rendement de 41,66% avait été obtenu, ce qui correspond à une masse de 5,04 Kg. Pour ramener ce rendement à 100%, une

dimensionnement à partir des cinétiques de transfert est plus direct car il permet d'obtenir, sans correction, la masse d'adsorbant requise pour mener l'opération de défluoruration durant une période donnée. En effet, la hauteur de l'adsorbant constitue une donnée essentielle dans les colonnes d'adsorption. Elle n'est pas tenue en compte lors du dimensionnement classique.

Ainsi, cette étude montre que la capacité d'échange d'un adsorbant n'est pas le seul paramètre à tenir en compte lorsqu'on veut dimensionner une colonne d'adsorption.

Remerciements au PARPEBA : pour le financement accordé dans le cadre de notre projet : Défluoruration des eaux de boisson dans le bassin arachidier du Sénégal.

6. Bibliographie

- [1] World Health Organization, «Guidelines for Drinking-water Quality», THIRD EDITION, Volume 1, Recommendations (2004) 488.
- [2] Foust, A.S, L.A Wenzel, C. W Clump, L. Mans and L.B Andersen, «Principles of unit operations», USA (1980).
- [3] Perry'sbis Chemical Handbook, «Heat and Mass transfer», Copyright, by McGraw Hill Companies (1999), 54 – 72.
- [4] E. Dahi, S Rajchagool and N Osiriphan «The State of Art of Small Community Defluoridation of drinking Water», (November 20-24, 2000), 144-145.
- [5] M. Ndong, , C. Mar.Diop*, E. Ngom, F. Samb, N. Ayessou, O. Sock. «Fluorine adsorption by bone char: determination of valid correlation for mass transfer coefficient calculation».
- [6] Maxime Pontié, Michel Rumeau, Mariama Ndiaye, Codou Mar Diop Cahier « Santé » : Le problème de la fluorose au SENEGAL : bilan des connaissances et présentation d'une nouvelle méthode de défluoruration des eaux du boisson », (Janvier - février 1996), volume 6, N° 1, 27-36.
- [7] Ibrahima NDAO « Etude des caractéristiques physico-chimiques de différent eaux souterraines du SENEGAL Conception d'une station pilote de défluoruration», Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en génie chimique (1988).
- [8] Albertres, Bregnhøj & Kongpun 3rd International Workshop on Fluorosis Prevention and Defluoridation of Water. « Bone char quality and defluoridation capacity in contact precipitation», (November 20-24, 2000).