

Déphosphatation des eaux usées par filtres plantés garnis d'apatites

Le procédé de déphosphatation des eaux usées par matériaux apatitiques en filtres plantés de roseaux a été validé en taille réelle dans le cadre d'un projet du pôle de compétitivité Axelera lors de ces trois dernières années.

Problématique

La rétention du phosphore par la filière classique de filtres plantés de roseaux n'est pas suffisante (40 – 50 % au maximum) pour répondre à des contraintes fortes de rejet.

Compte tenu des surfaces utilisées, on ne peut raisonnablement espérer un rôle significatif des végétaux. En conséquence de quoi, et pour garder le caractère extensif de la filière, de nombreuses recherches ont été réalisées sur l'utilisation de matériaux spécifiques pour retenir les orthophosphates par des mécanismes d'adsorption et de précipitation. Très rapidement les recherches du Cemagref se sont orientées vers des matériaux apatitiques.

Les apatites naturelles

Les apatites sont des roches naturelles de phosphates de calcium. L'intérêt de leur utilisation en filtres plantés de roseaux est lié d'une part à leur fort potentiel de déphosphatation (cinétiques et taux d'accumulation) et d'autre part au fait d'enrichir le matériau en phosphore permettant une valorisation in fine pour recycler le phosphore des eaux usées.

Mécanismes de rétention

Deux grands types d'interactions entre le matériau apatitique et les orthophosphates sont à considérer : l'adsorption et la précipitation. L'adsorption se sature à court terme (1 à 4 ans suivant les apatites) et la précipitation devient prépondérante sur du long terme.

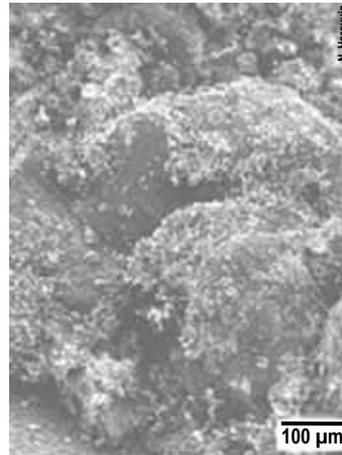


Figure 1 : Précipités d'hydroxylapatite à la surface du matériau apatitique. Observation par microscopie électronique

Le choix des apatites

Compte tenu de nombreuses substitution possibles dans la composition des apatites, une grande variété d'apatite existent. Le choix des apatites doit donc se faire au regard de son potentiel de déphosphatation. Ce choix se base sur la détermination :

- ◆ de ses caractéristiques physiques (granulométrie, perméabilité) pour le dimensionnement hydraulique du filtre.
- ◆ des caractéristiques chimique et minéralogiques.
- ◆ des cinétiques de rétention en phase d'adsorption ainsi qu'en phase de précipitation.

Les cinétiques de rétention

Déterminées en colonne de laboratoire pendant une phase de 3 mois environ, elles permettent une première estimation de l'évolution des cinétiques dans le temps. Les cinétiques sont exprimées selon le modèle k-C* reposant sur des hypothèses d'écoulement piston et de cinétiques du premier ordre.

$$\frac{C - C^*}{C_n - C^*} = \exp(-k_v \tau)$$

Les cinétiques de rétention, quelles soient en phase d'adsorption ou de précipitation de surface, dépendent de la qualité du matériau apatitique. La figure 2 montre les valeurs de cinétiques (k_v (h^{-1})) obtenues pour différentes qualités de matériaux apatitiques (40-60 % de teneur en apatite et > à 90 % de teneur en apatite) en fonction de son état de saturation.

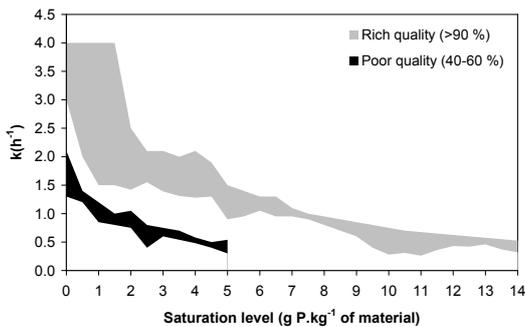


Figure 2 : Evolution des cinétiques de rétention dans le temps pour différentes qualités de matériaux apatitiques.

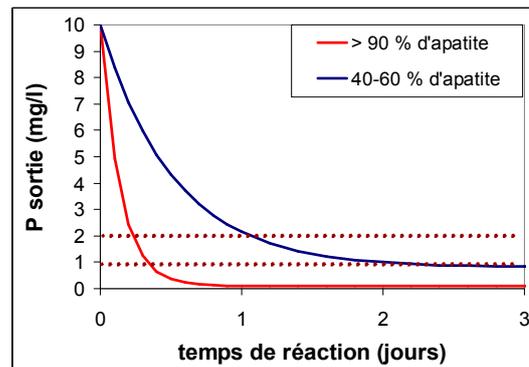
Dimensionnement

Les cinétiques déterminées en colonne de laboratoire ne doivent pas être prises telle quelle pour le dimensionnement du volume du réacteur en condition réelle. L'efficacité hydraulique moindre (court-circuits, volume mort) conduit à mesurer des cinétiques de l'ordre de 2 fois inférieures. Le tableau suivant indique des valeurs guides mesurées sur différentes qualités d'apatite en conditions réelles. Elle peuvent être utilisées dans l'équation précédente pour déterminer le temps de séjour minimum) à mettre en œuvre pour respecter un niveau de rejet.

	40-60 % d'apatite		> 90 % d'apatite	
	K_v (h^{-1})	C^* ($mg.l^{-1}$)	K_v (h^{-1})	C^* ($mg.l^{-1}$)
Adsorption	0,29	0,8	1	0,1
précipitation	0,08	0,8	0,3	0,1

Tableau 1 : Paramètres cinétiques pour le dimensionnement du volume du filtre déphosphatant

Le choix de la qualité d'apatite est donc importante dans la mesure où il détermine grandement le volume de matériau à mettre en œuvre pour une rétention pérenne. La figure suivante donne un exemple du temps de séjour nécessaire dans le matériau apatitique pour respecter 1 ou 2 $mg.P.l^{-1}$. Avec un matériau apatitique de plus de 90 % de teneur en apatite il est possible de respecter 0,5 $mg.P.l^{-1}$ pendant plus de 15 ans.



Estimation de la concentration en PT de sortie suivant le temps de séjour et la qualité d'apatite.

Place du filtre déphosphatant dans la filière de traitement

D'une manière générale, pour éviter un développement de biomasse trop important à la surface du matériau apatitique, le filtre déphosphatant sera placé en fin de filière de traitement (DCO entrante sur le filtre < à 150 $mg.l^{-1}$). Sa place sera fonction des objectifs de traitement sur l'azote.

On notera que le filtre pourra être un filtre à écoulement horizontal classique, où bien un filtre à écoulement vertical saturé en eau. Ce choix se réalise en fonction de la granulométrie du matériau apatitique, pour assurer une hydraulique efficace et pérenne du système.

Information complémentaire :

Un guide de dimensionnement est disponible sur le site du groupe EPNAC : <http://epnac.cemagref.fr>

Contacts scientifiques (<http://cemadoc.cemagref.fr>)

Stéphanie Prost-Boucle - stephanie.prost-boucle@cemagref.fr

Pascal Molle - pascal.molle@cemagref.fr

UR Milieux Aquatiques, Écologie et Pollutions, Lyon
3 bis quai Chauveau - CP 220 69336 Lyon cedex 09
Tél. 04 72 20 87 87