

# EFFET DE LA SALINITE ET DE LA VITESSE D'ÉCOULEMENT SUR LE COMPORTEMENT DE TRANSPORT DE PARTICULES EN SUSPENSION DANS LES SOLS SATURÉS

*Bennacer Lyacine<sup>1,3</sup>, Ahfir Nasre Dine<sup>2</sup>, Alem Abdellah<sup>2</sup>, Wang Huaqing<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Université d'Adrar, route nationale No. 6, 01000 Adrar, Algérie.

E-mail: [lyacine.bennacer@laposte.net](mailto:lyacine.bennacer@laposte.net)

<sup>2</sup> LOMC, UMR 6294 CNRS-Université du Havre, 53 rue de Prony, BP 540, 76058 Le Havre Cedex.

<sup>3</sup> Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée, Université de Bejaia

**Résumé :** Des essais de traçage par injection instantanée ont été conduits pour étudier l'influence de la salinité sur le transport et la rétention de particules en suspension (PES) dans un sol saturé. Des valeurs de salinité allant de 0 (eau pure) jusqu'à 600 mM (salinité proche de celle de l'eau de mer) ont été prospectées. Des particules argileuses de tailles polydispersées, avec une distribution granulométrique allant de 0,27 à 5 µm de diamètre ont été utilisées. Le pH et les vitesses d'écoulement sont contrôlés. Les paramètres hydrodispersifs sont déterminés par calage des courbes de restitution avec la solution analytique de l'équation de convection dispersion avec une cinétique de dépôt de premier ordre. Les résultats des diverses analyses montrent que ces paramètres évoluent avec la salinité.

**Mots-clés :** Particules en suspension ; Salinité ; Rétention ; Sable saturé; collision.

## 1. INTRODUCTION

Le transport de particules en suspension (PES) dans les milieux poreux intéresse beaucoup de domaines tels que l'alimentation artificielle des nappes phréatiques et le transport facilité de polluants vers les eaux souterraines (les particules se comportent comme des vecteurs de pollution). Les mécanismes de rétention et de mobilisation des PES en milieux poreux saturés sont complexes et dépendent de plusieurs paramètres. Un état de l'art sur ces mécanismes peut être trouvé dans la littérature [4] ; [5]; [6]. En raison de leurs grandes taille et densité, leurs transport a attiré une attention significative récemment [1]; [8]. Leur migration dépend des mécanismes liés à leur taille et à leur distribution granulométrique [2], au milieu poreux et à la vitesse d'écoulement [1], mais aussi à la physico-chimie du milieu environnant [3]. L'importance de la salinité sur la cinétique de transport a été largement étudiée pour les particules colloïdales et les micro-organismes. Peu d'études ont portées sur le rôle de la physico-chimie, en particulier de la salinité, dans le processus de rétention des PES dans un milieu poreux. Nous nous proposons, dans cette étude expérimentale en colonne de laboratoire, d'étudier, le transport et la rétention de PES dans un sable saturé en se focalisant sur le rôle couplé de la salinité et de la vitesse d'écoulement. Des valeurs de salinité (solutions en NaCl) allant de 0 (eau pure) jusqu'à 600 mM (salinité proche de celle de l'eau de mer) sont prospectées. Les paramètres caractérisant le transport et la rétention des PES sont déterminés en utilisant la solution analytique de l'équation convection-dispersion [2].

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Matériels

Le dispositif expérimental (Figure 1) se compose d'un réservoir et d'une colonne en Plexiglas, de longueur 320 mm un avec un diamètre intérieur de 40 mm, contenant un sable dont la distribution granulométrique est entre 1 à 1,25 mm. Les PES à injecter sont des

particules argileuses sélectionnées de densité égale à 2,65. Leur distribution de taille est entre 0,27 et 5 µm avec un diamètre médian de 2,25 µm. Les vitesses d'écoulement utilisées lors des essais sont 0,15 cm/s et 0.30 cm/s. Le Chlorure de Sodium (NaCl) est utilisé Electrolyte pour ajuster la salinité (FI) des solutions de particules et du fluide saturant le milieu poreux. Les différentes valeurs de FI explorées dans cette étude sont : 0 (eau pure), 50, 100, 200, 300, 400 et 600 mM (soit 35 g de NaCl par litre d'eau pure). Le pH du fluide porteur et des suspensions de PES est autour de  $6,5 \pm 0,2$ .

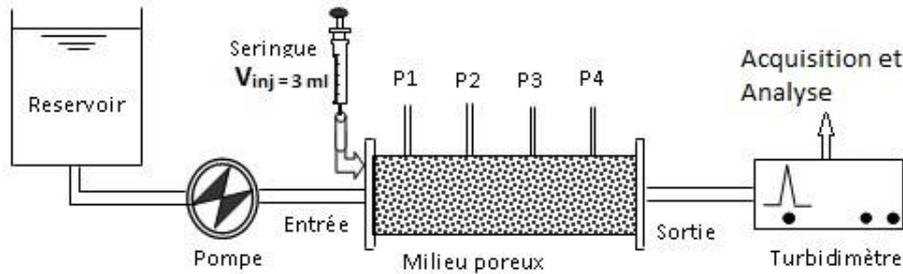


Figure 1. Schéma de principe du dispositif expérimental

## 2.2.Méthodes d'identification des paramètres de transport

En régime permanent de l'écoulement dans un milieu poreux saturé unidimensionnel, le transport et la rétention des PES injectées sont décrits par l'équation de convection-dispersion avec une cinétique de dépôt du premier ordre [5] :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} - K_{dep} C \quad (1)$$

où  $C$  est la concentration des particules transportées dans la phase liquide mobile [ $M/L^3$ ],  $D_L$  est le coefficient de dispersion hydrodynamique [ $L^2/T$ ],  $u$  est la vitesse moyenne des particules [ $L/T$ ],  $x$  est la variable d'espace [ $L$ ],  $t$  est la variable du temps [ $T$ ] et  $K_{dep}$  est le coefficient cinétique de dépôt [ $T^{-1}$ ] qui caractérise la vitesse de dépôt des particules dans le milieu poreux par les différents mécanismes de rétention. Dans le cas d'une injection impulsion, les conditions initiales et aux limites s'écrivent comme suit :

$$\begin{cases} C(t=0, x) = 0 \\ C(t, x=0) = M/Q \cdot \delta(t) \\ C(t, x = \infty) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

où  $\delta(t)$  est une fonction de type Dirac en temps [ $T^{-1}$ ],  $Q$  est le débit d'écoulement [ $L^3 T^{-1}$ ],  $M$  est la masse du traceur initialement injectée [ $M$ ].

La solution analytique des équations [1] et [2] s'écrit comme suit [8] :

$$C(t, x) = \frac{Mx}{Q\sqrt{4\pi D_L t^3}} \exp(-K_{dep}t) \exp\left(-\frac{(x-ut)^2}{4D_L t}\right) \quad (3)$$

en se basant sur la solution analytique (Eq. 3), la méthode de régression parabolique (MRP) [8] est utilisée pour interpréter les courbes de restitution des particules injectées.

### 3. RESULTATS DISCUSSIONS

l'histogramme illustré sur la figure 2 montre l'influence de la salinité et de la vitesse d'écoulement sur le taux de rétention des PES dans le sable saturé. Le taux de rétention  $\sigma$  (%) est calculé par la relation suivante :

$$\sigma = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\int_0^{\infty} Q \cdot C \cdot dt}{M} \right) \quad (4)$$

A une vitesse donnée, à faible salinité (conditions répulsives), les forces d'attraction physico-chimique ont peu d'influence. Lorsque les forces de nature physico-chimique sont suffisamment fortes  $> 100$  mM, leur influence domine par rapport aux forces de gravité et hydrodynamique. Ce qui signifie que plus la salinité augmente, plus la rétention est importante.

A faible vitesse ( $U = 0.15$  cm/s) le taux rétention des PES est faible ( $< 50\%$ ) lorsque la salinité est faible ( $FI < 50$  mM) et Il croît avec la salinité pour atteindre 93% quand la salinité est de 600 mM. Ce comportement peut être expliqué par le fait que les forces d'attraction entre les particules et la surface des grains dépassent les forces de répulsion. En effet, les forces hydrodynamiques exercées par l'écoulement sont insuffisantes pour vaincre les forces électrostatiques de surface et provoquer le transport des particules qui restent alors piégées dans le milieu.

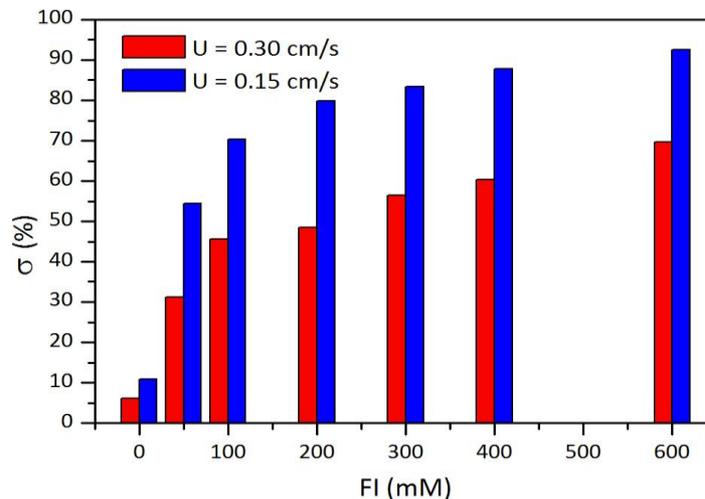


Figure 2. Effet de la salinité et de la vitesse d'écoulement sur le Taux de rétention  $\sigma$

Pour mieux illustrer l'influence de la salinité sur la rétention des particules dans le milieu poreux, on présente l'évolution de l'efficacité de collision  $\alpha$  (Figure 3) en fonction de la salinité. L'efficacité de collision nous renseigne sur le taux d'attachement des PES qui rentrent en collision avec le collecteur. Elle est donnée par la relation suivante [7] :

$$\alpha = \frac{\text{quantité de PES déposée par unité de temps}}{\text{quantité de PES atteignant la surface du collecteur par unité de temps}} \quad (5)$$

La figure 3 montre qu'à faible vitesse ( $U = 0.15$  cm/s) l'efficacité de collision est proche de 1 lorsque la salinité FI est supérieure à 100 mM. Dès lors, Au-delà de cette salinité, les conditions de dépôt deviennent favorables et on suppose que toutes les collisions aboutissent à une rétention ( $\alpha \sim 1$ ).

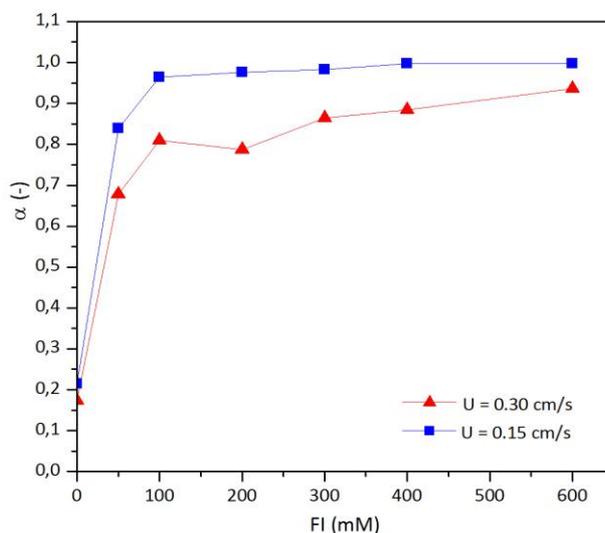


Figure 3. Evolution de l'efficacité de collision  $\alpha$  en fonction de la salinité

#### 4. CONCLUSION

nous avons présenté quelques résultats d'une étude préliminaire sur le transport et la rétention des PES dans un sable saturé sous les effets couplés de la salinité et de la vitesse d'écoulement. ces résultats montrent que La salinité provoque la compression de l'épaisseur de la double couche diffuse et diminue la portée des forces de répulsion entre les particules et les grains du milieu poreux. Comme conséquence, à faibles vitesses, les conditions de dépôt des particules sont favorables lorsque la salinité est supérieure à 100mM et la vitesse d'écoulement est faible.

#### 5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ahfir N-D, Benamar A, Alem A, Wang H-Q (2009) Influence of internal structure and medium length on transport and deposition of suspended particles a laboratory study, *Transport in porous media*, 76: 289-307.
- [2] Bennacer L, ahfir N-D, Bouanani A, Alem A, Wang H-Q (2013) suspended particles transport and deposition in saturated granular porous medium: particle size effects, *Transport in porous media*, 100: 377-392.
- [3] Franchi A, O'Melia C-R (2003) Effects of natural organic matter and solution chemistry on the deposition and reentrainment of colloids in porous media», *Environmental science and technology*, 37: ( 6 ), 1122-1129.
- [4] Grolimund D, Borkovec M, Barmettler K, Sticher H (1996) Colloid-facilitated transport of strongly sorbing contaminants in natural porous media a laboratory column study, *Environmental science and technology*, 30, 3118-3123
- [5] Kretzschmar R, Barmettler K, Grolimund D, Yan Y-D, Borkovec M, Sticher H (1997) Experimental determination of colloid deposition rates and collision efficiencies in natural porous media, *Water resources research*, 33, 1129-1137.
- [6] Sen T.K, Khilar K.C (2006) Review on subsurface colloids and colloid-associated contaminant transport in saturated porous media, *advances in colloid and interface science*, 119: 71-96
- [7] Tufenkji N, Elimelech M (2004) Correlation equation for predicting single-collector efficiency in physicochemical filtration in saturated porous media, *Environmental science and technology*, 38: 529-536.
- [8] Wang H-Q, Lacroix M, Massei N, Dupont J-P (2000) Transport des particules en milieu poreux : détermination des paramètres hydrodispersifs et du coefficient de dépôt, *Comptes rendus de l'académie des sciences , sciences de la terre et des planètes*, 331 : 97-104.