

AquaNano : Transfert de nanoparticules manufacturées dans les aquifères

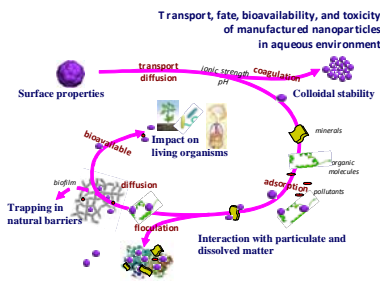


PAUWELS H., CARY L., CROUZET C., PICOT G., BRGM, BP 36009, 45060 Orléans (h.pauwels@brgm.fr)
 SOLOVITCH-VELLA N., LABILLE J., CEREGE – Europôle de l'Arbois, BP 80 13545 Aix-en-Provence
 ROLLIN C., BOUR O., BÉNAUD A., REVALOR M., INERIS- Parc technologique Alata, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte,
 BRUCHET A., JANEX-HABIBI M.L., SUEZ-ENVIRONNEMENT- CIRSEE, 78230 Le Pecq,

L'utilisation accrue de nanomatériaux manufacturés pour des applications industrielles et domestiques conduira inévitablement à leur introduction dans les écosystèmes, dont les eaux souterraines. L'évaluation du risque de contamination des eaux souterraines par des nanoparticules requiert une bonne connaissance de leur mobilité et des processus d'atténuation dans des conditions représentatives des aquifères.

Objectifs

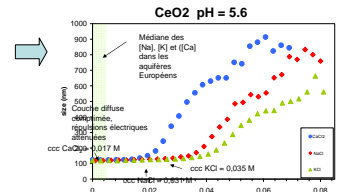
Le projet AquaNano vise à identifier les processus impliqués au cours du transfert de nanoparticules (NPs) dans les eaux souterraines. Les investigations portent sur des NPs organiques (C₆₀) et inorganiques (CeO₂, TiO₂, ZnO). L'approche développée comprend des essais de transfert en laboratoire et à l'échelle de site. Une attention particulière est portée à la représentativité des conditions expérimentales.



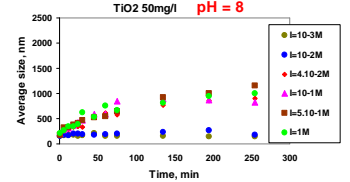
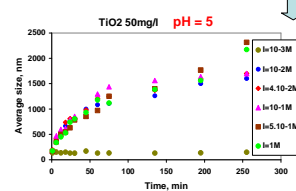
Les propriétés physiques des NPs diffèrent de celles des composés de même chimisme, mais de plus grande taille. Ces propriétés qui leur confèrent un potentiel pour diverses applications technologiques modifient également le comportement dans l'environnement et les eaux, leur mode de transport ou leur toxicité.

L'eau souterraine ne constitue pas l'ultime récepteur de NPs libérées dans l'environnement, elle alimente des écosystèmes de surface et peut être utilisée en production d'eau potable.

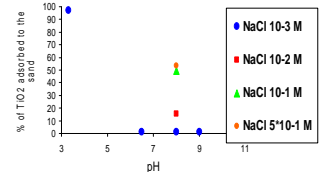
Dans la majorité des aquifères, les teneurs en Na, K ou Ca permettront aux NPs de CeO₂ de rester en suspension.



La concentration critique de coagulation pour les NPs de TiO₂ dépend du pH. A pH=8, les NPs de TiO₂ supportent une plus grande salinité qu'à pH= 5 avant de s'agréger (PCN TiO₂ = 5.5).

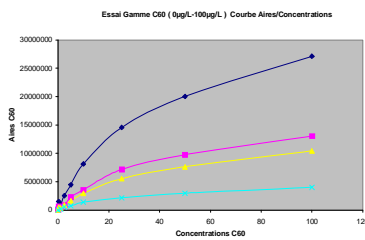


Interaction de 1 mg de TiO₂ avec 5 g de sable (20 ml de solution) : Dans les conditions communes de pH des aquifères, le TiO₂ ne s'adsorbe pas sur le sable aux plus faibles salinités. La propension à l'adsorption augmente avec la salinité.



Dosage des NPs dans les eaux

Un des premiers challenges de AquaNano a consisté à développer le dosage des NPs dans les eaux.



Courbe d'étalonnage d'une suspension de fullérènes par HPLC-MS

Après dispersion dans l'eau les fullérènes ont tendance à capter deux électrons et à devenir des anions permettant une détection MS en ions négatifs.

Des essais de dosages d'une suspension NPs métalliques, telles que CeO₂, TiO₂, ZnO ont été réalisés par ICP-MS. Néanmoins, ces NPs ne sont pas complètement dissociées dans le plasma. Des protocoles de dosage basés sur la dissolution des NPs ou sur la préparation de standard constitués de NPs ont été développés.

Expériences en colonnes

Le transport de nanoparticules dans des milieux poreux est une des priorités de AquaNano. L'influence de la composition chimique de l'eau et de la typologie d'aquifère sur la restitution des nanoparticules est au centre des investigations.

Un protocole expérimental a été mis en place afin notamment de pouvoir injecter une suspension de nanoparticules directement dans une carotte (schiste, calcaire) sur laquelle est appliquée une contre-pression.



Transport et devenir des NPs dans les eaux souterraines

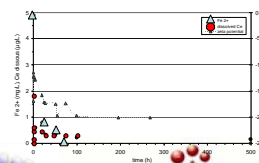
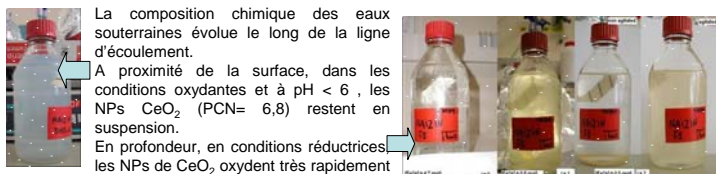
Le transfert et le devenir de particules dans un milieu poreux aqueux dépendent de processus tels que (1) la diffusion Brownienne; (2) l'adsorption sur la phase solide; (3) la dissolution; ou (4) la complexation avec la matière organique dissoute ou particulaire. De plus, l'agrégation de nanoparticules peut conduire à leur sédimentation par effet gravitaire.

Le transfert et le devenir de particules dépendent de leurs propriétés intrinsèques, telles que les propriétés thermodynamiques; le point de charge nulle (PCN) qui peut varier avec la composition chimique, la cristallinité, la taille ou l'enrobage.

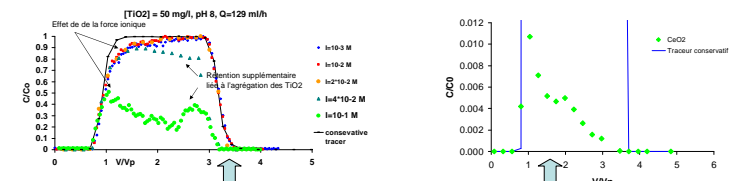
La composition chimique des eaux souterraines évolue le long de la ligne d'écoulement.

A proximité de la surface, dans les conditions oxydantes et à pH < 6, les NPs CeO₂ (PCN= 6,8) restent en suspension.

En profondeur, en conditions réductrices, les NPs de CeO₂ oxydent très rapidement le fer, elles se dissolvent partiellement (Ce³⁺) et du fait du pH (6.9) s'agrégent.



NP de CeO₂ (échelle 50 nm)
 Photo prise au MEB-FEG HITACHI-4500

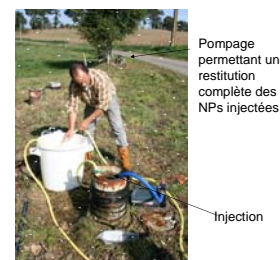


Le long d'une ligne d'écoulement dans le sable, les NPs de TiO₂ sont mobiles aux faibles forces ioniques, alors que dans les mêmes conditions, les NPs de CeO₂ s'adsorbent sur le sable. Lorsque la force ionique augmente, la rétention augmente, mais l'agrégation engendre une circulation plus rapide.

Expériences sur site pilote

Deux expériences de transfert de nanoparticules le long d'une ligne d'écoulement sont en cours de réalisation :

- une expérience en pilote de 2 mètres de long, rempli de sable (schéma ci-dessous) avec un gradient hydraulique imposé de 1%;
- une expérience de traçage artificiel dans un aquifère de schiste entre 2 forages distants d'environ 15 m.



Pompage permettant une restitution complète des NPs injectées

Injection



Pilote expérimental pour le suivi du transfert de NPs dans un milieu sableux.