

Etude des mécanismes chimiques et biologiques régissant la spéciation du fer et du phosphore au cours du traitement des eaux usées et des boues. Application au recyclage conjoint du phosphore et du fer des boues.

Résumé

Ce projet s'inscrit dans la suite des travaux sur la bio-acidification des boues de STEP. Ces travaux, dont l'objectif était le recyclage du phosphore (P) des boues de STEP, ont montré qu'il était possible de dissoudre des proportions importantes de P et Fe (Fe) par voie biologique probablement par l'action de micro-organismes ayant des propriétés ferri-réductrices. Il répond à trois enjeux majeurs :

- Scientifique : comprendre les mécanismes qui régissent la dissolution du P et du Fe et identifier l'origine des différences de comportement observées sur les boues de différentes origines pour optimiser la dissolution du P et du Fe lors de l'étape d'acidification biologique.
- Environnemental : s'appuyer sur les résultats pour proposer des stratégies de déphosphatation qui prennent en compte le potentiel de recyclage du P mais aussi du Fe contribuant à l'évolution des STEP en StaRRE (Station de Récupération des Ressources de l'Eau)
- Economique : le chlorure ferrique est un poste de dépenses important que beaucoup d'exploitants cherchent à réduire. Le recyclage du Fe conduira à réduire les apports en camions et baisserait l'empreinte environnementale.

Les objectifs de la thèse seront donc, après avoir identifié des méthodes permettant d'identifier les composés du Fe et du phosphore présents dans les boues, de confirmer les hypothèses émises quant au rôle des micro-organismes et de définir les stratégies de déphosphatation des eaux usées qui favoriseront la dissolution du phosphore et du Fe par bio-acidification à l'échelle du laboratoire puis à l'échelle pilote.

Contexte

Le recyclage du phosphore est de plus en plus au centre des débats dans différents domaines :

- C'est un élément polluant à l'origine de l'eutrophisation des eaux de surface et à ce titre il fait l'objet de normes de rejets de plus en plus strictes.
- C'est une ressource limitée qu'il faut préserver.
- Le contexte géopolitique en fait un élément critique pour la sécurité alimentaire en Europe.

Certains pays comme la Suisse ou l'Allemagne ont d'ores et déjà fixé des contraintes de recyclage du P des boues de STEP et d'autres s'y préparent comme la république Tchèque.

L'équipe PANDOR de Rennes a très vite identifié le recyclage du phosphore comme un enjeu majeur du traitement des effluents. Depuis 2001, elle travaille à lever les principaux verrous au recyclage du P pour augmenter le flux de P dissous entrant sur les procédés de cristallisation et par la même le taux de recyclage du P. Elle a développé un procédé testé à l'échelle pilote industriel sur les effluents d'élevage en 2014. Basé sur une étape d'acidification chimique permettant de dissoudre le P minéral majoritaire dans les effluents d'élevage, suivie d'une étape de cristallisation, ce procédé permet d'obtenir un engrais, la struvite, dont les performances agronomiques sont comparables à celles des engrais minéraux. L'analyse économique et environnementale ayant montré que l'étape d'acidification chimique pénalisait fortement le procédé, de nouveaux travaux ont été engagés pour substituer un procédé biologique à l'acidification chimique. Ce procédé innovant s'est révélé efficace pour dissoudre le P des effluents d'élevage mais aussi des boues de STEP. Cependant la plupart des STEP utilisent des sels de Fe pour la déphosphatation des eaux usées. Une partie d'entre eux sont dissous pendant l'étape d'acidification biologique. Les proportions varient fortement d'une boue de STEP à l'autre mais peuvent atteindre 90% du Fe total des boues. Ce Fe dissous pénalise voire inhibe totalement la cristallisation de la struvite et doit être piégé avant que le liquide issu de l'acidification biologique n'atteigne le cristalliseur. Des essais de piégeage sur résine échangeuse d'ions ont donné des résultats prometteurs. Ces résines sont régénérées par de l'acide chlorhydrique reformant du chlorure ferrique qui pourrait être recyclé sur la STEP. Une nouvelle filière de recyclage combiné du Fe et du P a donc été imaginée et des travaux en ce sens sont en cours.

Objectifs

- « Mettre au point des méthodes adaptées aux boues de STEP pour comprendre la chimie du Fe, les interactions avec le phosphore et la biomasse, ceci en s'inspirant des méthodes existantes notamment dans le domaine des sols et sédiments et de leurs limites connues.
- Vérifier sur les boues, les hypothèses émises à partir de la bibliographie sur la dissolution biologique du Fe des sols et sédiments sous l'influence des bactéries réductrices.
- Etablir des liens entre les stratégies de mise en œuvre de déphosphatation en STEP et le potentiel réel de dissolution donc de recyclage du Fe et du P des boues (dans le but d'une valorisation).
- Proposer de nouvelles stratégies de déphosphatation en fonction des objectifs de recyclage recherchés.

Descriptif des travaux

1. L'étude bibliographique aura pour objectifs principaux de compléter l'état de l'art sur l'influence des paramètres physico-chimiques et de la matière organique sur la formation des différentes formes du Fe et des composés Fe/P en lien avec les conditions physico-chimiques des différentes étapes du traitement du P en STEP mais aussi avec la croissance et l'activité des micro-organismes impliqués dans les différents métabolismes de l'acidification biologique (fermentation, oxydo-réduction du Fe, du soufre...).
2. L'approche de modélisation géochimique, combinée aux résultats expérimentaux de bio-acidification déjà acquis, sera utilisée pour disposer d'une méthode indirecte permettant d'établir un fractionnement des différentes formes de P et de Fe dans les boues en lien avec le type de déphosphatation pratiquée. Si la bibliographie a permis d'identifier des méthodes pertinentes d'analyse des composés mis en jeu, elles seront utilisées pour valider la démarche et préciser la nature et la structure des différents composés.
3. Les communautés microbiennes seront analysées pour identifier les micro-organismes impliqués, la contribution de leur activité réductrice sera quantifiée et l'influence des paramètres sur cette activité sera étudiée.
4. Les données de fonctionnement des stations sur lesquelles les boues ont été prélevées (conduite de la déphosphatation, pH, température, redox...) seront collectées et analysées pour établir un lien entre fonctionnement et potentiel de dissolution du Fe et du P par voie biologique (formes du Fe formé, flore présente et activité microbiologique). Lors de cette étape, une mise en œuvre de la modélisation des bioréacteurs pourra aider à approfondir l'interprétation des données.
5. Des stratégies de déphosphatation en vue d'optimiser le recyclage du P et du Fe seront proposées et testées en laboratoire et en pilotes.

Organisation

Intégré à l'équipe OPAALE d'Irstea Rennes spécialisée en valorisation des nutriments des déchets organiques, le doctorant s'appuiera sur les compétences en traitement des eaux et modélisation de l'équipe EPURE d'Irstea Lyon. Il travaillera en étroite collaboration avec le centre de recherche et la direction technique de Veolia, co-financeurs de la thèse. Il devra se rapprocher d'équipes disposant de méthodes d'analyses directes des composés du Fe et du P des boues.

Profil du candidat

Formation en chimie complétée par un master ou un stage en bio-remédiation des pollutions des sols ou traitement des eaux et des déchets. Des connaissances en biologie moléculaire seraient un plus.

Son niveau d'anglais devra lui permettre de présenter ses travaux dans des congrès internationaux et de publier dans des revues scientifiques en anglais. Il devra gérer de façon autonome la mise en place des expérimentations et les analyses de laboratoire mais aussi la mise en œuvre de pilotes à différentes échelles.

Contact : Marie-Line Daumer, marie-line.daumer@irstea.fr, +33223482129