

## Proposition de thèse financée par l'ADEME et Mat-Light 4.0 - UHA

# Développement de matériaux adsorbants zéolithiques régénérables pour la dépollution des eaux souterraines contaminées par des Composés Aromatiques Polycycliques Oxygénés (CAP-O)

**Proposition de thèse** sur une durée de 3 ans

**Démarrage** : octobre 2024

**Financement** : Public : financement ADEME / Mat-Light 4.0 - Université de Haute-Alsace (UHA)

**Niveau de salaire** : 2200 euros brut mensuel

**Lieu de travail** : Université de Haute Alsace, Mulhouse

**Ecole doctorale d'appartenance du doctorant** : ED 222 Sciences Chimiques

Le/la doctorant(e) sera inscrit(e) au sein du Laboratoire Gestion des Risques et Environnement (LGRE, Unité de Recherche 2334) à l'Université de Haute-Alsace (UHA) à Mulhouse. L'encadrement doctoral sera assuré par le LGRE et par l'Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M UMR CNRS 7361 UHA)

**Spécialité** : Environnement / Chimie des Matériaux / Génie des Procédés / Chimie Analytique

## Contexte environnemental et enjeux scientifiques

Dans les pays à forte tradition industrielle, de nombreux sites présentent des sols pollués par des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), composés organiques connus pour leurs effets délétères sur la santé humaine (effets systémiques, cancérigènes, mutagènes) et sur l'Environnement. Seize d'entre eux classés depuis 1976 comme polluants prioritaires par l'US EPA (US Environmental Protection Agency), sont actuellement suivis lors des diagnostics et programmes de surveillance, en raison de leur occurrence, de leur toxicité forte et de leur quantification aisée. Toutefois ces 16 HAP ne sont pas les seuls contaminants présents sur ces sites et d'autres familles de composés aromatiques, notamment les Composés Aromatiques Polycycliques Oxygénés (CAP-O), peuvent aussi contribuer à l'impact et donc aux risques pour l'Homme et l'Environnement. En effet, les CAP-O sont présents dans les sources de pollution, au même titre que les HAP et ils sont également des produits de la dégradation des HAP (par photooxydation, oxydation chimique ou oxydation par les bactéries). Plus polaires que les HAP, ils sont donc plus solubles dans l'eau, ce qui implique une mobilité dans les sols, supérieure à celle des HAP et donc la formation de panaches de contamination plus étendus. Ainsi, au regard d'une toxicité potentiellement supérieure à celles des HAP, couplée à une potentielle migration dans les eaux souterraines sur des distances importantes en aval d'un site, il est donc nécessaire d'éliminer les CAP-O présents sur les sites pollués, tout comme les HAP. Actuellement, il existe de nombreuses méthodes de dépollution pour éliminer les HAP, mais certaines d'entre elles, comme l'oxydation chimique *in situ* ou encore les traitements basés sur la biodégradation des HAP, conduisent à la formation de CAP-O.

**L'objectif de ce projet de thèse est de développer un nouveau procédé de dépollution économiquement viable et performant, à la fois pour le traitement des HAP mais aussi pour l'élimination des CAP-O présents dans les eaux souterraines. La voie envisagée pour atteindre cet objectif est l'utilisation d'adsorbants minéraux poreux régénérables, pour piéger les polluants organiques présents dans l'eau. Il permettra de valider une méthode de dépollution, étape cruciale avant toute phase d'industrialisation de la technologie.**

A l'heure actuelle, les adsorbants les plus couramment utilisés sont les matrices carbonées (charbons actifs, le biochar, les nanotubes, etc.), très efficaces dans le piégeage de nombreux polluants organiques. Toutefois, ces matériaux parfois très coûteux ne sont pas facilement régénérables. La solution envisagée pour ce projet est l'utilisation des zéolithes, aluminosilicates poreux très stables thermiquement, dont la régénération par simple traitement thermique sous air pour éliminer les polluants organiques sous forme gazeuse (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) serait donc plus aisée. Les zéolithes sont considérées comme des matériaux compétitifs en termes de coût, de sélectivité de forme et d'efficacité d'adsorption. De par leur structure cristalline organisée et leur stabilité thermique élevée couplée à une acidité de Bronsted intrinsèque, elles sont en effet connues pour leur potentiel élevé d'adsorption vis-à-vis de molécules organiques à l'état de traces.

## Description du sujet de thèse

Le LGRE et l'IS2M proposent une thèse (démarrage prévu en octobre 2024) qui sera co-financée par le programme Mat-Light 4.0 de l'UHA. Cette thèse s'inscrit également dans un programme de plus grande ampleur financé par l'ADEME (Agence de la transition écologique), programme qui co-financera également la thèse et qui est axé sur la décontamination des eaux polluées par les CAP-O via l'utilisation de matériaux minéraux poreux. Il débutera courant 2024 au sein d'un consortium regroupant le LGRE, des équipes de l'IS2M et du LIMA (Laboratoire d'Innovation Moléculaire et Applications) de l'UHA, l'Ineris (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) et l'industriel VALGO, spécialiste en dépollution de sites et sols pollués.

Les recherches porteront sur les axes de développement ci-dessous :

- la synthèse et la caractérisation (par Diffraction de Rayons X, physisorption de diazote, Microscopies électroniques) de matériaux zéolithiques de différentes structures.
- l'étude des performances en adsorption de polluants organiques lors d'essais en mode statique (en batch) sur des eaux synthétiques, avec analyse des concentrations de polluants en solution, par HPLC/UV visible/fluorescence. Une étude paramétrique permettra d'optimiser l'étape de dépollution, en jouant sur la nature et la concentration initiale en polluants, la teneur en adsorbant, le pH de la solution, la force ionique.
- la caractérisation et la quantification des phénomènes de sorption des CAP-O/HAP au sein de la zéolithe à l'aide des techniques spectroscopiques UV visible, IRTF, Raman, fluorescence. Ces informations contribueront à l'optimisation de l'adsorbant.
- la mise en forme des zéolithes sous forme de billes, étape nécessaire pour envisager une application industrielle.
- la régénération des zéolithes par traitement thermique à deux échelles : en thermogravimétrie et en lit fixe traversé, avec analyse des gaz émis. Les zéolithes régénérées seront de nouveau testées en adsorption de CAP-O/HAP.
- la reproduction des essais de dépollution, à l'échelle pilote sur le matériau le plus performant, dans des conditions plus proches de celles du terrain, sur des eaux souterraines polluées, au sein de l'entreprise VALGO.

**Co-direction de la thèse entre les unités de recherche LGRE et IS2M à l'UHA / contacts :**

LGRE : Sophie Dorge / Gwenaëlle Trouvé :

Tél : +33 3 89 33 61 59. Email : [sophie.dorge@uha.fr](mailto:sophie.dorge@uha.fr); [gwenaelle.trouve@uha.fr](mailto:gwenaelle.trouve@uha.fr)

IS2M : Angélique Simon-Masseron / Habiba Nouali :

Tél : +33 3 89 33 67 75. Email : [angelique.simon-masseron@uha.fr](mailto:angelique.simon-masseron@uha.fr); [habiba.nouali@uha.fr](mailto:habiba.nouali@uha.fr)

**Compétences requises** : Chimie, Chimie des Matériaux, Chimie analytique, Chimie de l'Environnement

**Candidature** : Un CV, une lettre de motivation justifiant des compétences nécessaires ainsi que tous les relevés de notes semestriels des deux dernières années universitaires [M1 (S1 et S2) et M2 (S3 et S4, ou uniquement S3 si S4 en cours)] ou 2<sup>ième</sup> et 3<sup>ième</sup> années de cycle d'ingénieur [S3, S4, S5 avec S6 si déjà réalisé] doivent être envoyés par mail à Sophie Dorge, Gwenaëlle Trouvé, Angélique Simon-Masseron et Habiba Nouali.

Toute candidature avec un des documents manquants ne sera pas prise en compte.