



Sujet de thèse EDF/BRGM/LIEC :

« Détermination du comportement à long terme des bétons de déconstruction impactés par les hydrocarbures dans un contexte d'économie circulaire »

Equipe encadrante :

- Pierre FAURE, CNRS : Université de Lorraine, LIEC (directeur de thèse)
- Samuel COUSSY, Nicolas MAUBEC, Stefan COLOMBANO, BRGM
- Coryse COUDRAY-DECOCK, Catherine BAUMGARTNER, Hubert LEPROND, EDF

Contexte

Lors de ses chantiers de déconstruction de centrales thermiques ou cycles combiné gaz, EDF est confronté à des milliers de tonnes de bétons diagnostiqués pollués en raison d'une teneur en hydrocarbures trop élevée. Dans une vision d'économie circulaire, EDF souhaite réemployer au maximum ses matériaux présents sur site pour le comblement souterrain. Une étude préliminaire réalisée par EDF R&D en 2021 s'est notamment intéressée à la capacité de relargage en hydrocarbures des bétons pollués sur deux sites spécifiques selon leur fraction granulométrique isolée des bétons préalablement concassés (0 – 80 mm).

Toutefois, les méthodes de caractérisation actuelles pour les pollutions des bétons sont pénalisantes et éloignées des conditions réelles de réemploi¹. Le coût de gestion de ces bétons pollués est d'autant plus important dans les sites insulaires car ces déchets doivent être rapatriés en métropole pour traitement. Ainsi, en raison du transport des bétons de déconstruction éliminés et de l'apport en matériaux alternatifs de comblements en cas de valorisation sur site, les gains se chiffrent en centaines de tonnes de CO₂eq et en millions d'euros par site insulaire.

C'est pourquoi un projet de thèse CIFRE est proposé pour répondre aux différents enjeux posés par cette problématique :

- Comprendre les mécanismes d'interaction des hydrocarbures avec les bétons : profondeur et type d'imprégnation, cinétique et mode de relargage, influence de la minéralogie, de la porosité et de la granulométrie, etc ;
- Apporter des compléments au contexte normatif et réglementaire en proposant une méthodologie de caractérisation et de gestion adaptée et reproductible pour ce type de déchets ;
- Diminuer les impacts environnementaux et les coûts financiers liés à la déconstruction et la gestion de ces matériaux.

¹ Le seuil de concentration en Hydrocarbures Totaux pour les déchets est fixé à 500 mg/kg en analyse en contenu total selon la réglementation actuelle sur les déchets (annexe II de l'arrêté du 12/12/2014). Or, en théorie, il serait possible d'évaluer de manière plus réaliste le relargage des hydrocarbures dans les eaux grâce à l'essai de lixiviation normalisé NF EN 12457-2, mais dans ce cas un broyage à 4 mm doit être réalisé avant essai, alors que le béton en réemploi présente des granulométries jusqu'à 80 mm.



Plusieurs travaux de recherche ont été entrepris afin de caractériser les concentrations en composés dans les bétons, notamment organiques (hydrocarbures, solvants ...) par classements granulométriques des sols (i.e. gravier, sable, limon, argile). Les fractions fines des sols présentent globalement des surfaces spécifiques et des teneurs en matières organiques et en argile plus importantes. Elles sont donc proportionnellement plus polluées. Un tel travail de recherche sur les bétons, qui n'existe pas à ce jour dans la littérature, pourra conduire à la publication d'au moins 2 articles scientifiques et techniques et à la proposition d'une nouvelle norme de lixiviation ou de percolation adaptée à ces matériaux. L'association des différents acteurs autour de cette thèse permet de parfaitement compléter les travaux préliminaires réalisés par EDF R&D. Le BRGM et le LIEC, tous deux membres du GISFI (groupement d'intérêt scientifique sur les friches industrielles - <http://gisfi.univ-lorraine.fr/>) sont quant à eux reconnus pour leurs travaux sur les sites et sols pollués et disposent de plusieurs moyens d'expérimentation : plateforme BRGM-PRIME (Plateforme pour la remédiation et l'innovation au service de la métrologie environnementale (Orléans) et station expérimentale du GISFI localisée sur le site d'une ancienne cokerie (Homécourt, Grand Est). Le BRGM travaille également sur les interactions entre les sols et les bétons, tandis que le LIEC en association avec la plateforme de géochimie organique de l'unité GeoRessources, étudie la réactivité des hydrocarbures (caractérisation, dégradation, lixiviation). L'équipe encadrante souhaiterait pouvoir commencer cette thèse début 2023.

Organisation de la thèse

La thèse pourrait s'organiser en cinq étapes :

1) Bibliographie scientifique et technique

Dans un premier temps, un travail bibliographique scientifique et technique sera centré sur la réactivité des hydrocarbures dans les bétons (répartition, dégradation, mobilité...) et permettra notamment d'identifier les paramètres majeurs influençant le relargage des hydrocarbures (par exemple : pH, force ionique, température...).

2) Échantillonnage et préparation des échantillons

A la suite de l'inventaire des différentes classes de bétons et d'hydrocarbures rencontrés sur les sites EDF, des échantillons représentatifs de bétons pollués seront sélectionnés, prélevés et concassés selon les modalités classiquement employées par EDF (0 – 80 mm).

3) Caractérisation des bétons contaminés

Les bétons feront l'objet de caractérisation suivant différentes classes granulométriques après broyage et/ou concassage. Les propriétés chimiques et physiques des bétons seront établies (minéralogie, composition chimique, surface spécifique, porosités) et une caractérisation quantitative et qualitative des hydrocarbures à l'échelle moléculaire sera réalisée.

4) Expériences : lixiviation batch, percolation en colonne de laboratoire et colonne lysimétrique

Trois moyens expérimentaux déployés de façon successive sont envisagés : la lixiviation en batch, la percolation en colonne de laboratoire et en lysimètre de grande taille.

Des essais de lixiviation en batch, à adapter selon le protocole de la norme NF EN 12457-2, seront réalisés sur les bétons pollués broyés (0 – 2mm). Ces essais permettront de mieux contraindre les paramètres majeurs influençant le relargage des hydrocarbures dans l'eau : concentrations en



hydrocarbures (fractionnement des différentes classes d'hydrocarbures), profondeur d'imprégnation de la pollution, porosité et type de porosité après broyage (i.e. porosité de fissures ou d'interstices).

En complément de ces lixiviations en condition statique (batch), des essais en conditions dynamiques (colonnes de laboratoire) seront réalisés (différentes typologies de béton et/ou d'hydrocarbures) en condition saturée en modifiant au cours du temps les paramètres hydrologiques (débit, stop & flow) et la nature de l'eau (pH, force ionique, ...).

Enfin, afin de pouvoir intégrer l'ensemble de la complexité des bétons concassés (0 – 80 mm), des essais en colonne lysimétrique (1 m² de surface et 2 m de profondeur) seront mis en place dès la première année de thèse (remplissage du volume avec du matériel concassé 0-80 mm).

5) Modélisation

Enfin, selon l'avancement de l'étape expérimentale précédente, une modélisation hydrodynamique et hydrodispersive simulant le transfert dans les eaux souterraines des hydrocarbures depuis les bétons est envisagée.

Une modélisation géochimique prenant en compte les interactions entre le béton, les hydrocarbures, l'eau et le sol environnant sera l'objectif ultime et pourra se faire en complément des modèles géochimiques déjà développés et utilisés par EDF R&D.

Profil recherché

Le (la) candidat.e devra disposer de solides notions de chimie analytique et/ou de géochimie/minéralogie. De plus, il est attendu que le (la) candidat.e présente les compétences suivantes :

- Sens de l'expérimentation ;
- Goût pour la modélisation ;
- Anglais (écrit et oral) souhaité ;
- Travail en équipe ;
- Qualité rédactionnelle.

Localisation

La thèse se déroulera entre le centre scientifique et technique du BRGM à Orléans, et la plateforme de géochimie organique de l'unité GeoRessources (LIEC) à Nancy. Des périodes de déplacement au centre de R&D d'EDF en région parisienne seront à envisager.

Candidature

Pour toute demande de candidature, merci d'adresser CV et lettre de motivation avant le lundi 10 octobre 2022 à Pierre Faure, Samuel Coussy et Coryse Coudray-Decock : pierre.faure@univ-lorraine.fr; s.coussy@brgm.fr; coryse.coudray@edf.fr.