Action R2.2.2

Diagnostic de la qualité chimique et biologique des sols d'ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales urbaines

Contacts :

Noureddine Bousserrhine - Leesu, UPEC (bousserrhine@u-pec.fr)

Rachid Dris - Leesu, UPEC (rachid.dris@u-pec.fr)

Didier Techer - Team, Cerema (didier.techer@cerema.fr)

A – Développement de nouveaux bio-indicateurs de l'état des ouvrages, de leur fonctionnement et de leur performance

CONTEXTE

Si les approches conventionnelles de diagnostic des ouvrages consistent, la plupart du temps, en une caractérisation physico-chimique du sol – texture et paramètres pédologiques, détermination des teneurs totales de certains contaminants ciblés, parfois associée à des essais de lixiviation/extraction séquentielle pour évaluer leurs répartition et mobilité – ces méthodes s'avèrent relativement limitées pour apprécier les impacts environnementaux de cette contamination, qui demeurent de fait assez mal appréhendés. Elles ne permettent pas non plus de prédire l'évolution du fonctionnement du système et donc de sa performance hydrologique et épuratoire dans le temps et dans l'espace.

OBJECTIFS

Cette action a pour objectif d'introduire des approches innovantes et pluridisciplinaires pour compléter les mesures physico-chimiques classiques de la caractérisation de la qualité des sols d'ouvrage de gestion à la source des eaux pluviales, par des approches biologiques, biochimiques, microbiologiques écotoxicologiques en explorant l'**utilisation de bio-indicateurs**. Ces approches n'ont jusqu'alors jamais été étudiées. Deux axes seront explorés pour répondre à cet objectif : rechercher des indicateurs renseignant sur 1) l'état des sols d'ouvrage et d'autres informant sur 2) leur fonctionnement et leur performance épuratoires. De tels outils seraient précieux pour les opérationnels notamment pour gérer les ouvrages et prédire leur évolution dans le temps et dans l'espace.

MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS ATTENDUS

La première étape de ce travail sera la réalisation d'un état de l'art visant à répertorier les bio-indicateurs classiquement utilisés pour qualifier l'état chimique et biologique des sols urbains. Dans un second temps, cet inventaire sera resserré autour des indicateurs qui pourraient avoir une pertinence dans le cas des ouvrages de biofiltration, compte tenu des caractéristiques "typiques" de la contamination des eaux de ruissellement ainsi que de la structure et du fonctionnement hydrologique de ces ouvrages. Des études très récentes menées au Leesu ont montré que plusieurs acteurs et activités biologiques sont des candidats potentiels pour alimenter une banque d'indicateurs (Ferra, 2023 ; Le Guedard et al., 2017). La deuxième étape de ce travail consistera donc à explorer et valider la performance de ces indicateurs à travers des experimentations au laboratoire (microcosmes, mésocosmes) ainsi que par des mesures *in situ*. Parmi les indicateurs qui seront investigués nous pouvons citer :

(i) les communautés microbiennes du sol (Densité, diversité fonctionnelle, diversité génétique, dynamique des communautés),

(ii) les activités enzymatiques du sol (FDA, enzymes impliquées dans les cycles biogéohimiques des élements majeurs, enzymes impliquées dans le degradation des polluants d'intérêt…),

(iii) la méso/macrofaune du sol (biomasse, fonctionnalités et diversité génétique, reproduction, bioaccumulation de polluants, test d'évitement, tests ecotoxicologiques (réponse aux stress abiotique).

L'applicabilité et la pertinence de certains indicateurs retenus seront testées sur quelques sites d'étude, dont le fonctionnement et les niveaux de contamination ont été bien caractérisés dans le cadre d'OPUR (Paris). Cette applicabilité pourra notamment être testée sur d'autres sites étudiés dans le cadre d'autres observatoires (OTHU (Lyon), et ONEVU (Nantes)). De tels outils seraient précieux pour les opérationnels notamment pour gérer les ouvrages et prédire leur évolution dans le temps et dans l'espace.

B – Couplage microplastiques / pneus / screening sur un gradient de sites

CONTEXTE

Si les microplastiques classiques (de type thermoplastiques, excluant les particules de pneus) sont maintenant souvent investigués dans les sols agricoles, peu d'études à l'échelle mondiale s'intéressent aux sols urbains. De plus, les études se focalisent toujours sur un seul type de plastique. La thèse de Max Beaurepaire dans la phase 5 d'OPUR a étudié la présence de plastiques dans un sol d'ouvrage d'infiltration. Pour la première fois, **microplastiques, particules de pneus et macroplastiques** ont été regardés sur le même site. Ce travail a démontré sur ce **sol au bord d'une autoroute** à forte fréquentation que les particules de pneus représentent la majorité de la masse de pollution plastique. Les autres microplastiques présents semblent parvenir principalement de la dégradation de macroplastiques. Ce sol possède une typologie qui ne peut être extrapolée à l'ensemble des sols urbains (type d'usage, fréquentation, surface et eaux drainées le cas échéant etc.).

OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

Dans cette phase d'OPUR, seront investigués sur plusieurs sites à typologie différente, les plastiques sur l'ensemble du continuum de taille (micro et macroplastiques) et de polymères (microplastiques classiques et particules de pneu). Comme déjà démontré par la thèse de Max Beaurepaire, cette approche permet beaucoup mieux d'appréhender les sources de cette pollution et la lier aux usages à proximité de ou sur le sol recherché. De plus, dans la continuité des actions 1.2.2 et 1.2.3, sur l'ensemble des sites, la pollution sera regardée au-delà du polymère avec des approches de criblage non ciblé et d'analyse écotoxicologique.

L'objectif de cette action est de fournir une vision complète des niveaux de contamination des sols en termes de pollution liée aux plastiques. Un gradient de sites sera sélectionné et l'ensemble des caractérisations seront déployées. Les microplastiques seront analysés par µIRTF et par Py-GC-MS tandis que les particules de pneu ne peuvent être analysées que par Py-GC-MS. Des teneurs massiques seront ainsi fournies pour ces deux pollutions. Les macroplastiques seront quantifiés et catégorisés par la méthode OSPAR qui permet de classifier la pollution plastique en fonction de l'usage primordiale des déchets. Le criblage non ciblé sera déployé pour rechercher à la fois les polluants contaminant le sol ainsi que ceux rattachés aux déchets plastiques. Cette double approche permettra d'évaluer le rôle des plastiques en tant que vecteurs de pollutions dans les sols ciblés. Enfin, afin de compléter cette vision holistique de l'impact des plastiques, des analyses écotoxicologiques seront effectuées sur les modèles daphnies et algues (approche décrite dans l'action 1.2.3).

RÉSULTATS ATTENDUS ET RETOMBÉES

Cette étude permettra de répondre de manière précise et complète à la question de l'impact de la pollutions plastique sur les sols urbains. De plus, les activités causant le plus d'impact pourront être priorisées. Ainsi, la pertinence du déploiement de différentes mesures de réduction ou de prévention pourra être jugée et discutée.

C – Caractérisation de la végétation et indicateur de biodégradation

CONTEXTE

Un consensus émerge sur le rôle « structurant » de la végétation dans le fonctionnement écologique des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales (Skorobogatov et al., 2020). En effet, le développement racinaire accompagnant l'évolution du couvert végétal modifie progressivement les flux de matière et d'énergie dans les sols/substrats des ouvrages via les processus d'infiltration ou d'évapotranspiration de l'eau, d'absorption de divers éléments (nutriments, micropolluants), d'exsudation et de turn-over racinaires…, modulant également à des degrés divers la diversité et l'activité des microorganismes (y compris ceux impliqués dans la dissipation des contaminants). Les processus bio-physicochimiques résultant des interactions entre plantes, substrats et microorganismes sont susceptibles d'impacter le devenir des contaminants préalablement accumulés dans les substrats, modifiant leur spéciation et leur mobilité, et pouvant favoriser leur bioaccumulation ou leur biodégradation (Lange et al., 2020 ; Skorobogatov et al., 2020).

D'une certaine manière, les ouvrages de gestion à la source peuvent être considérés comme des **écosystèmes fortement anthropisés soumis à divers forçages anthropiques** (en liens avec les flux d'eau et de polluants), et dont l'intensité résulte en partie des modalités de conception initiales (ex : ratio impluvium/surface d'infiltration) et du contexte d'implantation des dispositifs (activités anthropiques au niveau du bassin versant et qualité des eaux collectées, climat local…). Une dynamique écologique s'instaure naturellement au sein de ces ouvrages soumis toutefois au caractère stochastique des événements climatiques et à l'accumulation des contaminants dans les sols. Leurs teneurs à des niveaux de concentrations élevés seraient néanmoins susceptibles d'entrainer des effets écotoxiques sur les populations de (micro)organismes du sol jusqu'aux communautés végétales, pouvant perturber l'ensemble du fonctionnement des ouvrages. Dans ce contexte, la transposition du « concept de trajectoire d'un écosystème qui recouvre à la fois la succession « naturelle » d'un écosystème et tous les autres itinéraires que peut suivre cet écosystème sous les diverses pressions qui lui sont applicables » (Le Floc'h & Aronson, 1995) à celui du « vieillissement » des ouvrages permettrait de mieux rendre compte de leur fonctionnement écologique au regard de leur évolution temporelle, en particulier concernant le couvert végétal et son influence.

La **caractérisation de l'activité cellulolytique** résultant de l'activité des décomposeurs (bactéries, champignons) dans les sols est fréquemment utilisée comme indicateur de l'oxydation biochimique des substances organiques, permettant une évaluation intégrative des fonctions écologiques du sol (dégradation de la MO, recyclage des nutriments, support de culture…) et de l'intensité des processus microbiologiques associés (Sharapova et al., 2022). Brièvement, l'intensité de la décomposition de matériaux cellulosiques préalablement enfouis dans les sols (bandes de coton, papier filtre, lin, sacs à litière) est évaluée en fonction de la

résistance au déchirement, de la surface ou du poids restant du matériau testé non consommé par les microorganismes (Nachimuthu et al. 2022; Sharapova et al., 2022 ; Techer et al., 2024). L'évaluation de l'activité cellulolytique dans les sols des ouvrages permettrait ainsi de disposer d'un outil de diagnostic complémentaire à l'étude de la trajectoire écologique des communautés végétales au niveau du compartiment « sol ».

OBJECTIFS

1) Afin de pallier aux limites des approches conventionnelles de diagnostics physicochimiques de la qualité des sols qui ne permettent pas d'appréhender à eux seuls l'impact d'une contamination croissante sur les performances « épuratoires » des ouvrages, ni sur l'évolution de leur fonctionnement, le premier objectif de cette action sera de proposer un cadre méthodologique visant à caractériser la « trajectoire écologique » des communautés végétales composant différents ouvrages de biofiltration.

2) Le second objectif visera à évaluer les potentialités du test des bandes de coton (peu intrusif et à moindre coût) à rendre compte de l'activité de dégradation de la cellulose comme « proxy » de la dégradation de la MO (processus primordial pour le recyclage des nutriments dans les sols et la « bonne santé » des écosystèmes).

MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS ATTENDUS

Une première partie du stage consistera en un état de l'art succinct et la **sélection de certains indicateurs généraux de la structure et du fonctionnement des écosystèmes végétalisés** (ex : taux de recouvrement total par la végétation, richesse en espèces annuelles vs pérennes, espèces/formation caractéristiques de certains milieux…). Ces indicateurs généraux seront complétés par une **sélection de traits fonctionnels** (i.e. toute caractéristique morphologique, physiologique, phénologique impactant la fitness de l'individu ; Violle et al., 2007) pouvant être mesurés aux niveaux foliaires et racinaires et permettant de rendre compte de l'influence de la diversité des couverts végétaux sur les fonctions écosystémiques attendues au sein des ouvrages (ex : relations entre certains traits racinaires et l'infiltration ; Técher & Berthier, 2023). Ces traits fonctionnels seront ensuite mesurés au sein de différents ouvrages et permettront également de classer les espèces végétales selon leur stratégie écologique (d'après Reich, 2014) et ainsi de mieux comprendre les relations entre diversité fonctionnelle des communautés végétales/trajectoire écologique (dès lors qu'on dispose d'un état initial a minima ou de « référence » et d'un état actuel) et conséquences potentielles sur le fonctionnement des ouvrages. La mesure ponctuelle de traits morphologiques et écophysiologiques rapides à acquérir au niveau foliaire (ex : teneurs/fluorescence des pigments, conductance stomatique…) permettra également d'**apprécier des états potentiels de stress au niveau de la couverture végétale** (en liens avec la physicochimie des sols, l'état hydrique…).

La seconde partie des travaux (entamée parallèlement aux mesures de traits fonctionnels in situ) consistera en l'**application du test des bandes de coton** sur les mêmes ouvrages ayant servi pour les mesures de traits végétaux, en s'appuyant sur le protocole validé au sein de toitures végétalisées (Técher et al., 2024). De manière prospective et sur le principe de récents travaux menés sur des sols agricoles (Sanyal et al., 2021), il s'agirait également d'évaluer les possibilités d'analyse d'image des caractéristiques des « spots » de colonisation/dégradation microbienne observable sur les bandes de coton comme « proxy » de la diversité microbienne des sols des ouvrages.

Enfin, il s'agira d'objectiver les liens entre diversité fonctionnelle des communautés végétales/trajectoire et/ou stratégies écologiques des couverts végétaux, activités cellulolytiques au niveau des sols et des variables physicochimiques (éventuellement d'autres variables biologiques) mesurées dans les sols des ouvrages étudiés dans le cadre de ce stage (et /ou des actions menées parallèlement dans l'axe 2.2) afin de mieux appréhender leur état fonctionnel d'un point de vue écologique, voire de **valider certains indicateurs caractéristiques de la végétation et de l'activité de dégradation**.