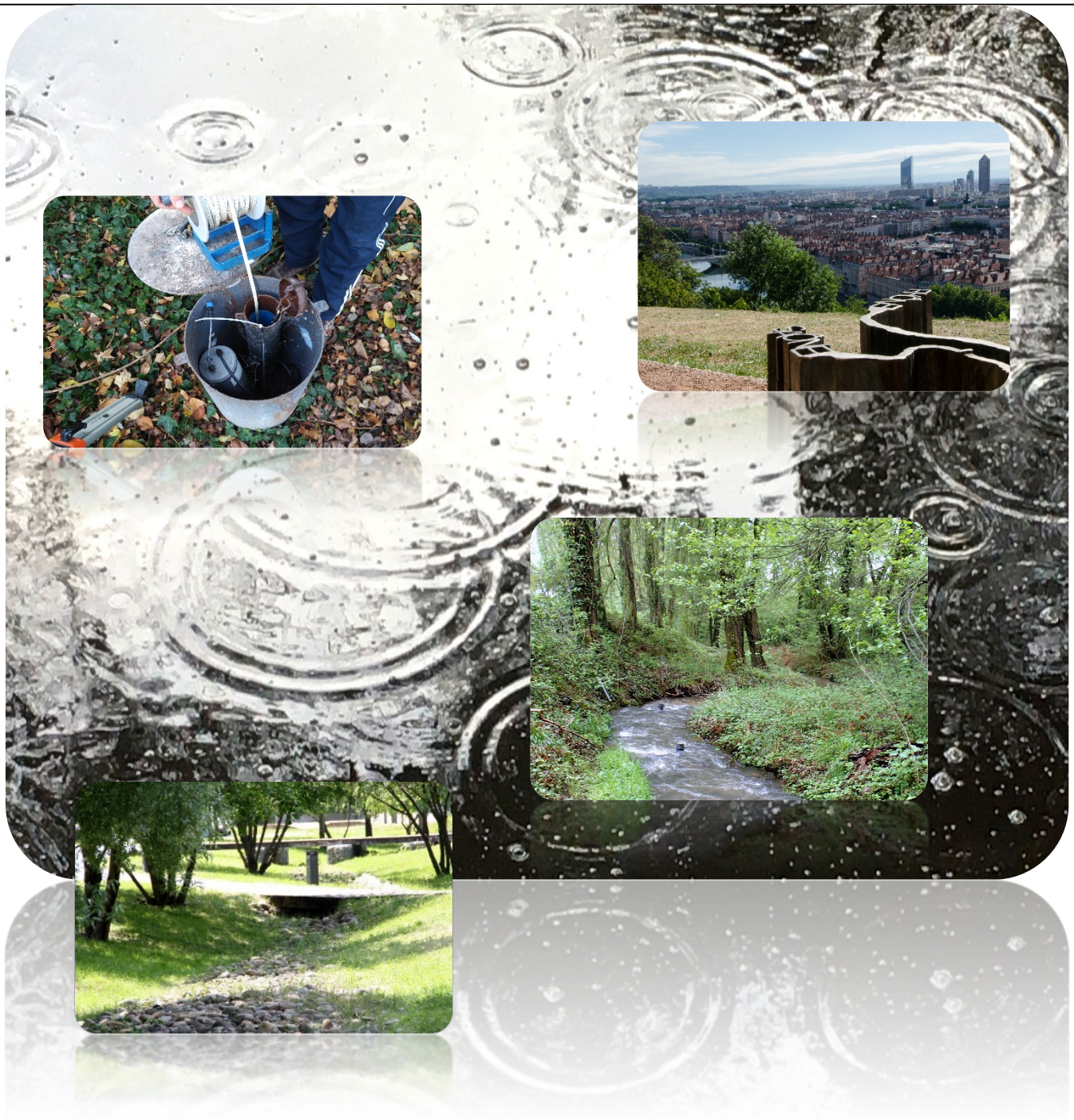


RAPPORT D'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE OTHU 2017/2021

NOVEMBRE 2021

OTHU

www.othu.org

RAPPORT D'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE OTHU 2017/2021

NOVEMBRE 2021

LA REDACTION DU DOCUMENT A ETE COORDONNEE PAR :
--LAETITIA BACOT
--FLORA BRANGER
--GISLAIN LIPEME KOUYI

AVEC LES CONTRIBUTIONS REDACTIONNELLES DE (PAR ORDRE ALPHABETIQUE) :

BACOT LAETITIA
BARRAUD SYLVIE
BRANGER FLORA
BRAUD ISABELLE
BREIL PASCAL
BONNEAU JEREMIE
CHERQUI FREDERIC
CHATAIN VINCENT
COUVIDAT JULIEN
COURNOYER BENOIT
COQUERY MARINA
LASSABATERE LAURENT
LIPEME KOUYI GISLAIN
MASSON MATHIEU
MARMONIER PIERRE
MARJOLET LAURENCE
MEYNIER POZZI ADRIEN
MERMILLOD-BLONDIN FLORIAN
NAMOUR PHILIPPE
NAVRATIL OLDRICH
RIVIERE NICOLAS
WALCKER NICOLAS
WIEST LAURE

Quelques clés de lecture du document

Le rapport est divisé en 8 parties que l'on peut regrouper en 5 blocs

►Présentation du dispositif : la démarche, l'organisation, les observations, et la capitalisation des données.

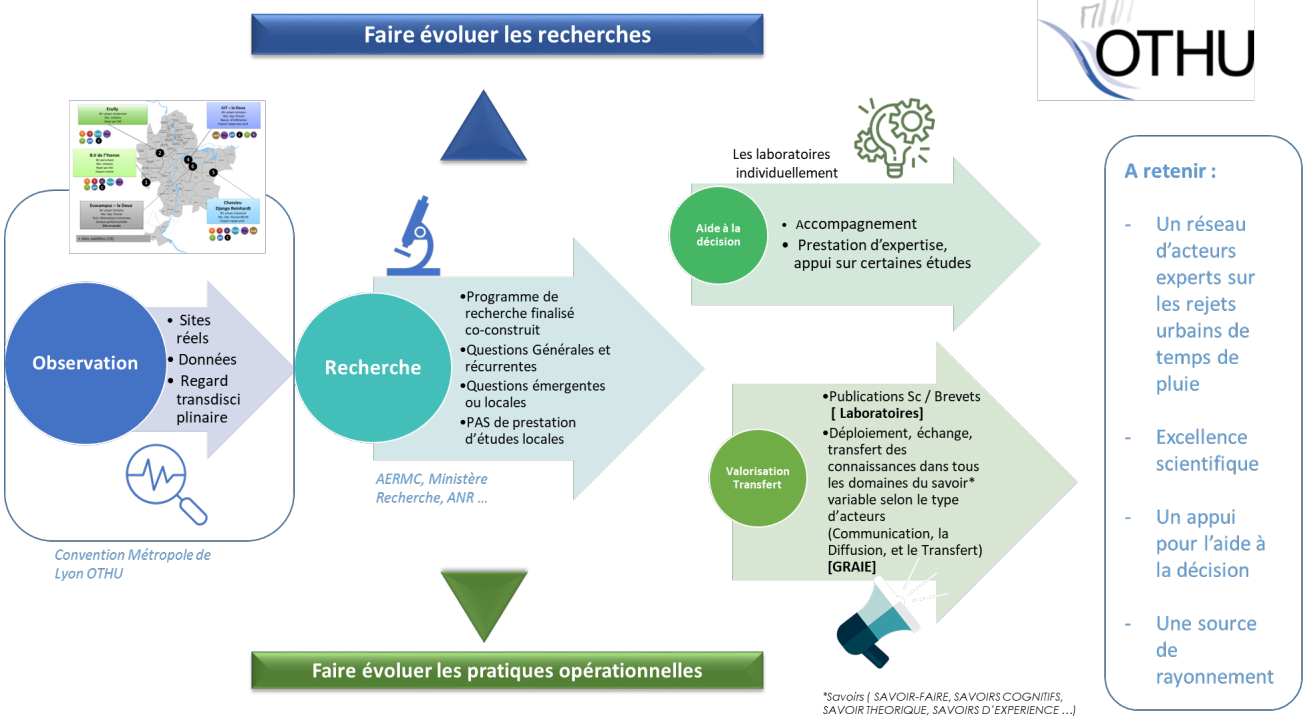
►Les Résultats de recherche obtenus à partir des observations menées au sein de l'OTHU.

►Les actions de valorisation et transfert des résultats

►Le rayonnement local, régional, national et international, ainsi que son évolution

Enfin, le dernier bloc concerne les éléments de bilan sur la période 2017-2021 et les perspectives scientifiques

OTHU EN RESUME



EN GRANDS CHIFFRES SUR UNE ANNEE TYPE

7 Thématiques de recherche et

+ de 10 Programmes de recherche en cours

20 Sites de mesure

3 SITES PÉRENNES FINEMENT ÉQUIPÉS
4 SITES ATELIERS
13 SITES SATELLITES

12 Laboratoires dans **9** Établissements de recherche

110 CHERCHEURS &TECHNICIENS

3 Partenaires opérationnels

2,3 Millions d'euros de budget consolidé/ an
Dont 500 000€ de fonctionnement

Les données de l'OTHU c'est :

11 Paramètres suivis en continu

pour

20+ Millions de données produites par an

Pour

4 Pluies analysées par campagnes de mesure **par an** entre 2001/2017

130+ Paramètres physico-chimiques, biologiques et microbiologiques suivis

SOMMAIRE

1 **LE DISPOSITIF** 6

1.1 Contexte & enjeux 6

1.2 Problématique et questions scientifiques 6

1.3 Objectifs scientifiques et opérationnels 7

1.4 Ce que nous attendons du conseil scientifique 8

2 **L'ORGANISATION** 8

2.1 Une Fédération de recherche et un observatoire -pourquoi ? 8

2.2 Gouvernance et organisation 9

2.2.1 La présidence de l'observatoire 9

2.2.2 La direction exécutive 10

2.2.3 La direction SFR FED4161 10

2.2.4 Responsable technique, capitalisation des données 11

2.2.5 Les équipes membres et organes de décisions 11

2.2.6 Les partenaires financiers 13

2.2.7 Positionnement dans le paysage de la recherche 14

3 **LES OBSERVATIONS** 15

3.1 Description des sites 15

3.2 Equipement de mesure 17

3.3 Innovation métrologique 19

3.4 Variables observées (observables) 19

3.4.1 Paramètres mesurés en continu : 19

3.4.2 –Données/Paramètres issus des campagnes : 20

4 **LA CAPITALISATION DES DONNÉES** 21

4.1 Situation et contexte 21

4.2 Métadonnées 22

4.3 Données 23

4.4 Perspectives 25

5 **LES RÉSULTATS DE RECHERCHE** 26

5.1 Caractérisation/ transfert des flux d'eau, de contaminants et de sédiments 27

5.1.1 Fonctionnement des bassins versants et réponse hydrologique 27

5.1.2 Sources de contamination dans les bassins versants 34

5.1.3 Approche en colonnes de laboratoire : transfert des polluants et des bactéries dans les sols 39

5.1.4 Caractérisation des sédiments des bassins de retenue-décantation et modélisation de la distribution spatiale de leur contamination 44

5.1.5 Développement et évaluation de stratégies de gestion durable des sédiments de bassins d'infiltration et de rétention des eaux pluviales – projet DESIR 49

5.2 Impacts environnementaux et sanitaires des effluents urbains (sur homme et milieux : nappes et rivières) 54

5.2.1 Nappes : quantification DES perturbations Physico-chimique & metrologie 54

5.2.2 Nappe - impact Physico-Chimique 58

5.2.3 Nappes : Impacts environnementaux et sanitaires des effluents urbains sur la microbiologie des nappes phréatiques : développement et application de l'approche méta-codes-barres ADN du gène tpm – ANR FROG 62

5.2.4 Nappe : Modélisation et transferts DES CONTAMINANTS vers la nappe 67

5.2.5 Rejets urbains de temps de pluie et gestion de leurs impacts sur les cours d'eau 70

5.3 Perception, fonctionnement et performance des ouvrages de gestion des eaux urbaines (centralisés et à la source) 75

5.3.1 Infiltrométre petit anneau et grand anneau - Anr infiltron 75

5.3.2 Performance de dispositifs à la source et conditions d'appropriation par les acteurs institutionnels et les usagers 80

5.3.3 Performance des ouvrages – systèmes innovants et économes pour la surveillance et la gestion de la quantité et qualité des eaux pluviales 87

5.3.4 Performances Des Ouvrages : Mélange Des Eaux À L'aval D'une Confluence – Amélioration De La Modélisation Des Flux 91

5.3.5 Performance des Ouvrages - Approche multi-échelle pour évaluer la capacité du DSM-flux à protéger les milieux aquatiques. Quantification des flux d'eau rejetés par les déversoirs d'orage et interception des polluants particulaires. 94

5.3.6 Modélisation des flux d'eau et de DBO5 déversés au niveau du déversoir d'orage de Valence Romans Agglo 97

5.3.7 HIREAU - Comment reconstituer l'histoire des réseaux d'assainissement et d'eau potable 101

5.4 Changements globaux 107

5.4.1 Changement global et hydrologie : impact de l'infiltration à la source des eaux pluviales à l'échelle du bassin versant et robustesse face aux changements globaux : projet Conscéquans 107

5.4.2 Diversité microbienne dans l'environnement urbain – PRojets ANSES IOUQMER / MITI CNRS 111

6 VALORISATION, DIFFUSION ET TRANSFERT DES RÉSULTATS AUPRES DES ACTEURS SCIENTIFIQUES ET PRATICIENS 120

6.1 Une capitalisation des connaissances 121

6.2 Une diffusion des informations et des résultats 123

6.3 Un transfert académique et opérationnel....124
6.4 Perspectives de transfert et valorisation....127
7 **LES RELATIONS INTERNATIONALES**....128
7.1 Carte partenariats....128
7.2 Mobilités sortantes....129
7.3 Mobilités entrantes....129
7.4 Mobilité doctorants OTHU....129
8 **LES PERSPECTIVES RECHERCHE ET OUVERTURES**....130
8.1 Observations – données....130
8.2 Recherche....131
8.3 Valorisation et transfert....132

ANNEXES

ANNEXE 1 : Productions scientifiques et techniques

ANNEXE 2 : Personnels

ANNEXE 3 : Aspects financiers

ANNEXE 4 : Documents complémentaires consultables

1 LE DISPOSITIF

1.1 Contexte & enjeux

La maîtrise de la circulation des flux d'eau, de contaminants et de sédiments dans les environnements urbains en pleine mutation nécessite un investissement massif en termes de métrologie (en particulier à l'aide des capteurs autonomes, connectés, communicants), de modélisations (mécaniste, conceptuelle à base physique et systémique) et d'expérimentations (en conditions contrôlées, mais aussi via des observations et des suivis in situ). Les changements globaux, à savoir le changement climatique, l'urbanisation croissante et le changement de pratiques en matière de gestion des eaux urbaines (combinaison des ouvrages à la source et centralisés), complexifient la compréhension des mécanismes impliqués dans la caractérisation et la quantification de ces flux à l'échelle de la ville. Ces changements exercent et exerceront une pression importante sur l'eau, en tant que ressource, sur les sols et l'air en milieu urbain. La protection de la ressource en eau passe par la maîtrise et la réduction des rejets de contaminants chimiques (polluants) et biologiques (micro-organismes pathogènes ou non) véhiculés dans les eaux urbaines (eaux usées et unitaires) et pluviales (eaux de ruissellement pluvial). La meilleure appréhension des quantités et de la qualité de ces flux vise non seulement la préservation des milieux aquatiques, mais aussi la pérennisation des usages urbains associés à ces derniers (pêche, baignade, alimentation en eau potable, etc.). Tous ces changements auxquels il faut faire face renforcent plus que jamais la nécessité d'approches pluridisciplinaires pour maîtriser la circulation des flux d'eau et de contaminants au sein d'un milieu urbain en pleine dynamique (évolution des organisations, interaction entre acteurs en charge de la gestion de l'eau, évolution des pratiques de gestion, des usages, des activités, etc.). Face aux changements globaux évoqués, les trois enjeux majeurs liés à la gestion et au traitement des rejets urbains par temps de pluie sont : i) garantir la santé des personnes (usagers, riverains et personnels techniques intervenant à proximité et au sein des infrastructures et dispositifs techniques dédiés à la gestion et au traitement des RUTP); ii) garantir la sécurité des personnes et des biens face aux inondations; iii) garantir la santé des milieux qui implique notamment de préserver les ressources en eau et de protéger les milieux récepteurs superficiels (cours et plans d'eau) et souterrains (nappes) dans le but de permettre les usages de l'eau et leur développement.

1.2 Problématique et questions scientifiques

Pour apporter des éléments de réponse à ces trois enjeux, quatre axes scientifiques ont été explorés ces quatre dernières années : (i) caractérisation, quantification et transfert des flux d'eau, de contaminants et de sédiments à différentes échelles du système d'assainissement (en se focalisant sur les échelles du bassin versant et de l'ouvrage) ; (ii) la perception et les performances des ouvrages de gestion des eaux urbaines (ouvrages centralisés et à la source) ; (iii) le développement d'outils et d'indicateurs pour évaluer l'impact des rejets urbains par temps de pluie, en ciblant les rivières périurbaines et la nappe comme milieux aquatiques récepteurs ; (iv) l'évaluation de la robustesse des stratégies de gestion actuelles face aux changements globaux et les efforts à fournir en matière de déploiement des ouvrages à la source pour s'adapter à ces changements. La production scientifique et les actions de valorisation des résultats se sont appuyées sur la capitalisation des données collectées au cours des vingt dernières années. La mise en œuvre d'une démarche de capitalisation des données de l'observatoire et le développement d'outils et méthodes de bancarisation et d'exploitation de ces données ont donné lieu à de nombreux échanges et investigations au sein de l'observatoire. Les recherches menées dans les quatre directions indiquées, ainsi que la phase de

capitalisation des données a nécessité l'intégration de différentes compétences et disciplines (Climatologie, Hydrologie, Hydraulique, Mécanique des fluides, Géographie, Hydromorphologie, Biologie et Hydrobiologie, Microbiologie, Chimie, Géologie, Science du sol, Sociologie, Urbanisme, l'Econométrie, Science des données, l'informatique, les statistiques, les mathématiques). Ces recherches ont également permis de mettre en œuvre des approches à différentes échelles : (i) « globale » (agglomération, bassins versants urbains et périurbains, quartier, rue, ouvrage) pour identifier les phénomènes dominants, les propriétés émergentes des systèmes et pour caler et vérifier sur des bases réalistes les modèles construits; et (ii) « locale » via des modèles réduits par exemple (pilote de laboratoire) pour comprendre et expliquer les processus en conditions contrôlées et reproductibles. Cela impose également la prise en compte des échelles de temps diverses en lien avec les dynamiques propres des différents processus en jeu et leur couplage. C'est pour aborder toutes ces questions (variabilité dans le temps et dans l'espace des phénomènes liés à la circulation des flux d'eau, de contaminants, de sédiments dans les environnements urbains en pleine mutation, en prenant en compte les organisations) que s'est construit et développé l'observatoire de terrain en hydrologie urbaine - OTHU depuis une vingtaine d'années.

1.3 Objectifs scientifiques et opérationnels

L'OTHU est un dispositif pluridisciplinaire d'observation et de recherche sur les rejets urbains et leurs impacts sur les milieux récepteurs - notamment par temps de pluie – pour proposer de nouvelles solutions de conception et de gestion de l'assainissement. Le parti pris de l'OTHU depuis sa création est de développer sur l'agglomération lyonnaise :

- un système d'observation *in situ* partagé;
- des systèmes métrologiques, pérennes & intensifs pour :
    - une meilleure appréhension des dynamiques (variabilité temporelle)
    - une meilleure appréhension des phénomènes sur le long terme
    - une meilleure appréhension des variabilités spatiales
    - obtenir des données fiables et qualifiées en termes d'incertitudes
    - une vision pluri/inter-disciplinaire mêlant connaissance opérationnelle experte et savoir scientifique.

Son objectif principal est d'observer pour mieux comprendre les dynamiques liées à la circulation des flux d'eau, de contaminants et de sédiments en milieu urbain, afin de produire des connaissances et fournir des outils nécessaires à l'action. Cet objectif se décline en plusieurs volets :

- mesurer et modéliser les flux d'eau, de contaminants et de sédiments en milieu urbain/périurbain dans le but de mieux maîtriser :
    - leurs mécanismes générateurs,
    - leur dynamique,
    - les effets sur les rivières et les nappes
- mesurer et modéliser l'efficacité des dispositifs de gestion des eaux urbaines
- analyser le fonctionnement des systèmes dans leur globalité
- améliorer les pratiques et les procédures, en particulier :
    - en lien avec les équipements métrologiques relatifs à la surveillance des rejets urbains de temps de pluie et à leurs impacts sur les milieux
    - sur la conception et la gestion des ouvrages
    - concernant l'utilisation des outils d'aide à la décision en matière de gestion des eaux en milieu urbain, en prenant en compte l'évolution des organisations et la diversité des acteurs impliqués dans la gestion de l'eau et les changements globaux.

1.4 Ce que nous attendons du conseil scientifique

L'OTHU est une structure qui a pour mission (i) d'acquérir des données selon les ambitions qui ont été présentées préalablement, (ii) de les exploiter pour produire des connaissances utiles à la communauté scientifique et, (iii) qui devront pouvoir éclairer et aider les acteurs opérationnels de la gestion de l'eau. Ce que nous attendons du conseil scientifique est qu'il porte un regard critique et extérieur :

- sur le périmètre et la pertinence des dispositifs métrologiques en lien avec les objectifs de l'observatoire et leur adéquation avec les recherches menées,
- sur la qualité des recherches elles-mêmes et des productions au regard des objectifs visés et sur leur cohérence,
- sur l'organisation structurelle et fonctionnelle de l'observatoire,
- et enfin sur ses orientations.

2 L'ORGANISATION

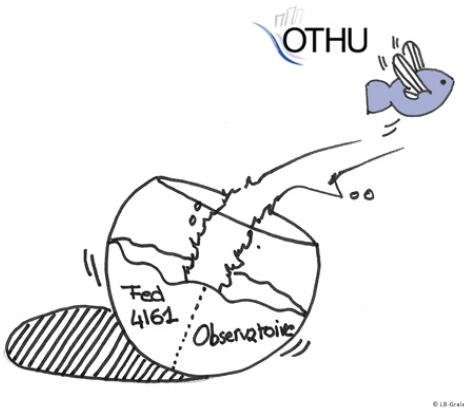
L'OTHU est à la fois un observatoire de terrain hors murs fédérant 12 équipes de recherche depuis 1999 mais également une fédération de recherche FED 4161 depuis 2011.

2.1 Une Fédération de recherche et un observatoire -pourquoi ?

La Fédération de recherche -FED 4161 labélisée en 2011 par le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, est un laboratoire de recherche qui s'appuie sur les données de l'observatoire créé en 1999.
L'Observatoire est constitué de réseaux de mesure implantés sur les différents compartiments qui affectent le cycle de l'eau en milieu urbain ou périurbain (bassins versants, systèmes d'assainissement associés, milieux aquatiques et dans une moindre mesure atmosphère). Cela permet d'acquérir des données en continu ou de manière périodique en fonction des grandeurs suivies, sur de longues séries temporelles avec des pas des temps et d'espace appropriés.

Ces 2 blocs constituent l'OTHU et s'appuient sur 12 équipes de recherche de 9 établissements lyonnais et regroupent aujourd'hui des compétences dans les domaines de la climatologie, de l'hydrologie, de la mécanique des fluides, de l'hydrobiologie, de la microbiologie, de la chimie, de l'hydrogéologie, de la géographie, des sciences du sol, du génie des procédés, des sciences sociales (sociologie et urbanisme), de l'aide à la décision, des mathématiques, des statistiques. Ces équipes signent entre elles tous les quatre ans une convention de partenariat dont les modalités d'organisation interne et de fonctionnement sont définies par un règlement intérieur.

| POURQUOI ? |L'association de ces 2 structurations Observatoire /Recherche favorise : (i) le développement coordonné des travaux des équipes de recherche membres par l'approfondissement de leurs coopérations scientifiques dans le domaine de la gestion de l'eau en milieu urbain, (ii) la mise en œuvre des actions communes ou concertées en matière de recherche, d'animation et d'information scientifique. Cela permet également d'optimiser l'utilisation des moyens disponibles grâce à la mise en commun d'une partie du



potentiel humain, technique et matériel mobilisés pour l'acquisition des données et des connaissances sur des sites expérimentaux communs.

Les actions de recherche sont co-construites au sein de la FED en prenant en compte les préoccupations scientifiques et opérationnelles. L'OTHU tente donc par ces 2 dimensions d'intégrer non seulement l'interdisciplinarité mais également de l'intercognitivité via ses relations privilégiées avec ses partenaires opérationnels. Ainsi, le dispositif permet à la fois une confrontation et une mise en commun des savoirs scientifiques et des savoirs experts.

2.2 Gouvernance et organisation

De janvier 2017 à Janvier 2019, l'observatoire a été dirigé par un directeur scientifique et technique, Gislain LIPEME KOUYI, INSA Lyon DEEP, une secrétaire générale Laëtitia Bacot du Graie, un comité de gestion. L'ensemble était assisté d'un conseil scientifique.

Depuis le 1er Janvier 2019, l'organisation générale et l'équipe de direction de l'Observatoire ont été redéfinies, mais cette nouvelle équipe reste toujours assistée d'un comité de gestion et pilotage et d'un conseil scientifique.L'équipe de direction est composée de plusieurs pôles : la présidence de l'observatoire, la direction exécutive de l'observatoire, et la direction de la SFR/FED 4161. Un responsable technique de l'observatoire est également en charge de la capitalisation des données.

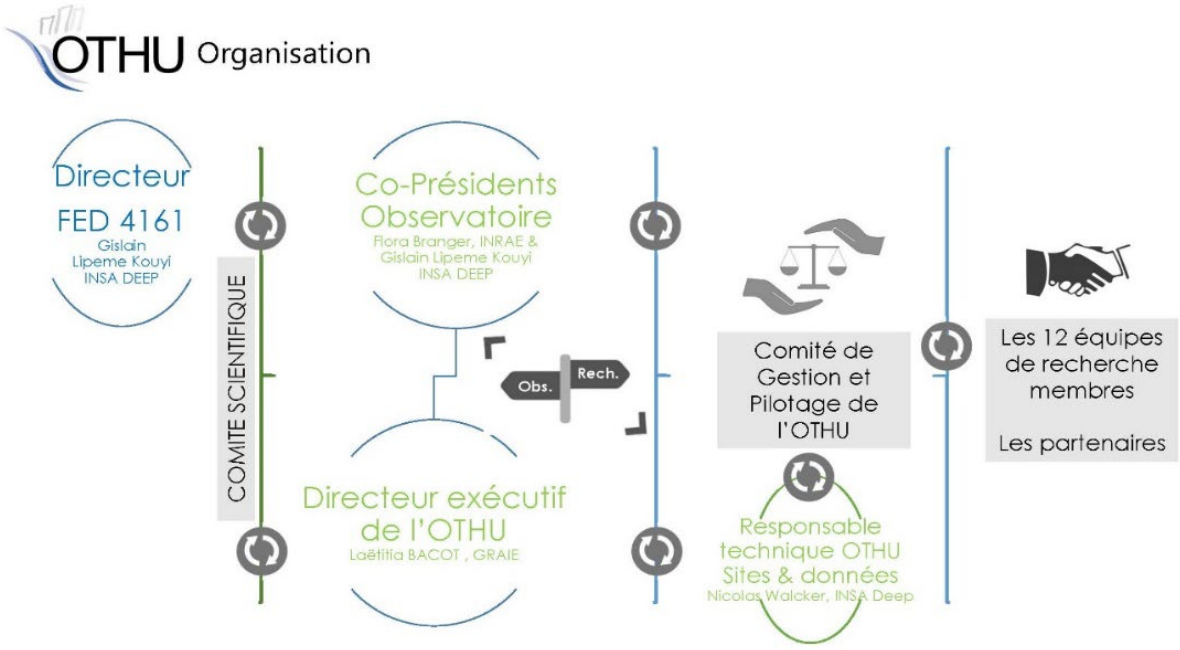


FIGURE 1 : ORGANISATION ET INSTANCE DE GOUVERNANCE DE L'OTHU

2.2.1 LA PRÉSIDENCE DE L'OBSERVATOIRE

La présidence de l'OTHU est assurée par deux personnes maximum alors appelées Co-Présidents. Le Président ou les Co-Présidents sont nommés pour une période de quatre ans, éventuellement renouvelable une fois, par les directions des organismes membres de la fédération après avis du Conseil Scientifique et du Comité de Gestion. Ils sont choisis parmi les membres des équipes constituant l'OTHU.

Pour la période 2019-2022, la présidence est assurée par - Flora BRANGER, INRAE RiverLy et Gislain LIPEME KOUYI, INSA Lyon DEEP

Son rôle est :

- de définir la politique scientifique et la stratégie de l'observatoire, en lien avec les instances universitaires (notamment le Directeur de la SFR 4161 (Gislain Lipeme Kouyi) dont l'OTHU dépend), les membres de l'OTHU, ses partenaires et le conseil scientifique. Elle coordonne notamment l'élaboration du programme de recherche avec ses partenaires ;
- de proposer les adaptations nécessaires dans la composition de l'OTHU et l'implantation géographique des équipes qui le composent ;
- de veiller à l'organisation des actions de l'OTHU qu'elle représente à l'extérieur ;
- de décider après consultation du comité de gestion, de l'affectation des ressources de l'OTHU ;
- de diriger les services communs de l'observatoire ;
- d'élaborer le règlement intérieur de l'OTHU, qu'elle soumet au vote du Comité de Gestion.

Les Co-Présidents :

- co-signent tous les documents officiels relatifs à l'OTHU. En cas d'absence ou indisponibilité d'un des co-Présidents, l'autre co-Président est habilité à signer ces documents pour le compte de l'OTHU ;
- ont délégation mutuelle pour représenter l'OTHU ;
- en cas de différend sur un dossier, la décision revient au comité de gestion qui se prononcera alors à la majorité absolue des votes de ses membres présents ou représentés

2.2.2 LA DIRECTION EXÉCUTIVE

Le Président ou les Co-Présidents sont assistés par un directeur exécutif chargé :

- de la mise en œuvre coordonnée des orientations stratégiques définies par la présidence et le comité de gestion et pilotage et,
- de la valorisation des données et résultats de l'observatoire.

La direction exécutive est assurée par le GRAIE, qui a porté le montage de l'OTHU et anime le dispositif depuis 1999, date de sa création. Sa mission est renouvelée tous les 4 ans par le comité de gestion et pilotage. Pour la période 2019-2022, Laëtitia Bacot assure cette mission.

2.2.3 LA DIRECTION SFR FED4161

Le Directeur de la SFR/FED est nommé parmi les membres des équipes constituant la structure fédérative 4161. Son rôle est de :

- renforcer la synergie des recherches conduites par tous les membres de la SFR/FED en s'appuyant sur le président ou les co-présidents ;
- garantir l'interface et la relation avec les chefs d'établissements,
- développer la visibilité de la SFR/FED, afin d'attirer les étudiants et chercheurs sur les thèmes de l'OTHU ;
- contribuer à l'animation scientifique en appui sur le président ou les co-présidents autour des thèmes définis à l'issue des séminaires scientifiques d'élaboration du programme de recherche
- gérer les aspects administratifs en lien avec le renouvellement du label SFR/FED

Il est nommé par les chefs des établissements membres de la SFR/FED, sur proposition des membres du comité de gestion de l'othu. Gislain LIPEME KOUYI en assure la direction depuis 2018 jusqu'en 2025. Laëtitia Bacot est la secrétaire générale de la FED sur la même période.

2.2.4 RESPONSABLE TECHNIQUE, CAPITALISATION DES DONNÉES

Ses missions sont les suivantes :

- contribuer au recueil, à la structuration, à la mise à disposition et à la capitalisation des données et métadonnées produites par les dispositifs de mesure de l'OTHU.
- aider ponctuellement les équipes techniques en place pour la maintenance des capteurs et des sites expérimentaux et le recueil d'échantillons sur ces sites expérimentaux.

Cette mission est assurée par Nicolas Walcker depuis 2016 (d'abord en tant que personnel Graie de 2016 à 2017, puis personnel INSA Lyon DEEP depuis 2018).

2.2.5 LES ÉQUIPES MEMBRES ET ORGANES DE DÉCISION

2.2.5.1 Les équipes membres

Les équipes de recherches membres de l'OTHU renouvellent tous les 4 ans leurs engagements en signant un avenant à la création de la fédération d'équipes de recherche OTHU signée en 1999.

Par cette signature, un membre de l'OTHU s'engage à :

- être acteur de l'observatoire dans son ensemble,
- être un "acteur" de l'OTHU, notamment en citant systématiquement l'OTHU et le soutien des partenaires de l'observatoire dans ses activités et dans ses projets en appui sur les données et/ou les sites de l'observatoire,
- participer régulièrement aux instances de l'observatoire
- approuver et respecter les règles de fonctionnement de l'OTHU
- faire respecter les règles de l'OTHU à l'ensemble des partenaires impliqués
- communiquer à la structure d'animation les résultats d'analyses réalisées afin d'alimenter l'observatoire
- payer une contribution annuelle pour contribuer au fonctionnement de l'OTHU
- être membre du GRAIE, à jour de cotisation.

En contrepartie, il :

- bénéficie d'un pouvoir décisionnel au sein du comité de gestion (orientations et évolution de l'observatoire, définition du budget et affectation des crédits, …)
- peut accéder aux sites pour réaliser des suivis
- peut accéder à l'ensemble des données acquises par les équipes membres au sein de l'observatoire
- est informé des résultats de l'observatoire, notamment toutes les analyses réalisées de façon systématique dans l'observatoire

Si nécessaire, les conditions particulières de partenariat sont précisées au cas par cas par convention.

TABLEAU 1 : UNITÉS MEMBRES DE LA STRUCTURE FÉDÉRATIVE SFR/FED 4161 AU 1ER JANVIER 2021

LABEL ET N°	INTITULÉ DE L'UNITÉ MEMBRE	RESPONSABLE	ÉTABLISSEMENT DE RATTACHEMENT SUPPORT	UNITÉ PORTEUSE / UNITÉ ASSOCIÉE (*)
EA 4126	DEEP :DÉCHETS, EAUX, ENVIRONNEMENT, POLLUTIONS	PIERRE BUFFIERE	INSA LYON	UNITÉ PORTEUSE
UMR CNRS 5023	LEHNA : LABORATOIRE D'ECOLOGIE DES HYDROSYSTÈMES NATURELS ET ANTHROPISÉS	DIRECTOIRE LEHNA	CNRS - UNIVERSITÉ LYON 1 - ENTPE	UNITÉ ASSOCIÉE
	EQUIPES : - E3S : ECOLOGIE, EVOLUTION, ECOSYSTÈMES SOUTERRAINS	FLORIAN MALARD	UNIVERSITÉ LYON 1	
	- IAPHY (IMPACT DES AMÉNAGEMENTS ET DES POLLUANTS SUR LES HYDROSYSTÈMES) EX-IPE DE L'ECOLE NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'ETAT (ENTPE)	THIERRY WINIARSKI	ENTPE	
UMR CNRS 5557 / INRA 1418	LEM : ECOLOGIE MICROBIENNE	SYLVIE NAZARET	UNIVERSITÉ LYON 1 VETAGROSUP	UNITÉ ASSOCIÉE
	EQUIPE : - BPOE EQUIPE BACTÉRIES PATHOGÈNES OPPORTUNISTES ET ENVIRONNEMENT	BENOIT COURNOYER	UNIVERSITÉ LYON 1 & VETAGROSUP	
UMR CNRS 5600	EVS : LABORATOIRE ENVIRONNEMENT - VILLE - SOCIÉTÉ - LABORATOIRE DE L'UNIVERSITÉ LYON 2, UNIVERSITÉ LYON 3, UNIVERSITÉ JEAN MONNET SAINT ETIENNE, INSA LYON, ENTPE, ECOLE NORMALE SUPÉRIEURE –LSH, ECOLE DES MINES DE SAINT-ETIENNE	JEAN-YVES TOUSSAINT		UNITÉ ASSOCIÉE
	EQUIPES : - EVS-INSA	JEAN-YVES TOUSSAINT	UNIVERSITÉ LYON 3	
	- EVS-CRGA CENTRE DE RECHERCHE EN GÉOGRAPHIE ET AMÉNAGEMENT	DOMINIQUE DUMAS	UNIVERSITÉ LYON 3	
	- EVS-IRG INSTITUT DE RECHERCHES GÉOGRAPHIQUES	JÉRÔME LEJOT ET FRANÇOIS MIALHE	UNIVERSITÉ LYON 2	
UMR 5280	ISA : INSTITUT DES SCIENCES ANALYTIQUES - UNIVERSITÉ LYON I - CNRS - ENS UMR 5280	EMMANUELLE VULLIET ET CHRISTOPHE MORELL	UNIVERSITÉ LYON 1	UNITÉ ASSOCIÉE
UMR 5509	LMFA : LABORATOIRE DE MÉCANIQUE DES FLUIDES ET D'ACOUSTIQUE - UMR 5509 : CNRS, ECOLE CENTRALE DE LYON, UNIVERSITÉ LYON I, INSA LYON	PHILIPPE BLANC-BENON	ECL, INSA DE LYON UNIVERSITÉ LYON 1	UNITÉ ASSOCIÉE
	EQUIPE :FLUIDES COMPLEXES ET TRANSFERTS	SERGE SIMOENS	ECL, INSA DE LYON UNIVERSITÉ LYON 1	
	INRAE : INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE POUR L'AGRICULTURE, L'ALIMENTATION ET L'ENVIRONNEMENT	PASCAL BOISTARD (DIRECTEUR RÉGIONAL)	INRAE	UNITÉ ASSOCIÉE
	- UR RIVERLY	NICOLAS LAMOUROUX		
	- UR REVERSAAL : U.R REDUCE, REUSE, AND RECYCLE RESOURCES FROM WASTEWATER	JEAN-MARC CHOUBERT		
	BRGM : BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES - SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL RHÔNE-ALPES	STÉPHANE BUSCHAERT	BRGM	UNITÉ ASSOCIÉE
	ASSOCIATION GRAIE – GROUPE DE RECHERCHE, ANIMATION TECHNIQUE ET INFORMATION SUR L'EAU	ELODIE BRELOT	GRAIE	AUTRE PARTENAIRE SIGNATAIRE

(*) Unité porteuse : plus du tiers des ETP de l'unité intervient dans la structure fédérative

2.2.5.2 Le comité de gestion

Le Comité de gestion est composé de directeur, des co-présidents, des directeurs de laboratoire ou de leur représentant désigné, d'un représentant de la Métropole de Lyon, d'un représentant du GRAIE et d'un représentant de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.

Le Comité de gestion délibère sur les questions suivantes :

- la stratégie scientifique de l'OTHU (validation des orientations des thèmes de recherche, proposition de nouveaux thèmes de recherche, soutien financier à titre exceptionnel pour lancer certaines actions de recherche, etc.),
- la mise en œuvre des observations, notamment sur de nouveaux sites
- la mise en place et la gestion des matériels et services communs,
- l'accueil de nouveaux membres et équipes associées au sein de l'OTHU,
- la forme et le mode de valorisation des résultats obtenus,
- les demandes de financement.

Il vote le budget prévisionnel et valide le bilan financier. C'est donc un soutien de taille à l'équipe de direction.

2.2.5.3 Le conseil scientifique

Le Conseil Scientifique de l'OTHU comprend :

- un représentant de la Métropole de Lyon et de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
- le responsable de chaque établissement, membre de l'OTHU ou son représentant ;
- au titre d'experts, six personnalités extérieures au site urbain de l'OTHU, désignées par les parties signataires en nombre majoritaire dans les domaines de compétence de l'OTHU, dont au moins une personnalité étrangère.

Le Conseil Scientifique se réunit au moins une fois tous les quatre ans à l'initiative de l'équipe de direction de l'OTHU. Il examine les activités communes de l'OTHU et les programmes proposés. Il entend, à cet effet, un exposé de l'équipe de direction et des responsables de programmes scientifiques. Il étudie la stratégie d'évolution scientifique et fonctionnelle propre à l'OTHU et donne son avis sur sa mise en application.

Son avis est communiqué aux directions des organismes signataires. Toute modification dans la composition nominative du Conseil Scientifique devra être votée par le Comité de gestion.

2.2.6 LES PARTENAIRES FINANCIERS

La Métropole de Lyon a inscrit le projet OTHU dans le cadre du contrat d'agglomération et signé une convention de partenariat avec la Fédération d'équipes de recherche depuis 1999. Celle-ci est renouvelée tous les 4 ans. Depuis 2019, le soutien de la Métropole porte uniquement sur le fonctionnement de l'observatoire et sur la capitalisation des données.

L'OTHU est soutenu par ailleurs par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (sur la partie observatoire jusqu'en 2019- puis sur la recherche grâce à la mise en place d'un accord cadre recherche 2019-2024), la Région Auvergne Rhône-Alpes (par le biais du Contrat de plan État Région "EC'eau Campus" depuis 2017, les Ministères de l'Écologie, de la Recherche et de l'innovation. Enfin, le GRAIE - Groupe de Recherche sur l'animation et information sur l'Eau, structure porteuse pour le montage du projet, assure aujourd'hui l'animation, la valorisation, la direction exécutive et le secrétariat de l'OTHU.

ZOOM :
Accord cadre AERMC – OTHU : Un partenariat de recherche pour aider les collectivités à mieux gérer les eaux pluviales urbaines

Ce partenariat a pour objectif d'acquérir de nouvelles connaissances opérationnelles à partir des résultats scientifiques et d'accompagner les collectivités dans la gestion des eaux pluviales urbaines, qui relève de leur compétence.
La gestion de l'eau dans la ville est un enjeu majeur. En effet, rendre la ville plus perméable en désimperméabilisant les sols permet de préserver le bon état écologique et chimique des masses d'eau en évitant les débordements des réseaux unitaires ou séparatifs et les rejets des flux de polluants après lessivage des surfaces et mobiliers urbains. Elle permet aussi de lutter contre les effets du changement climatique en aménageant durablement la ville et de prévenir ainsi la formation des îlots de chaleur, contribuer à la recharge des nappes et atténuer les crues.

Trois axes de recherche seront développés dans l'accord-cadre et des projets concrets sont déjà en cours de réalisation :

Axe 1 : La gestion des sédiments accumulés dans les bassins de rétention/infiltration. Aujourd'hui, les collectivités qui installent des dispositifs de rétention de la pollution pluviale ont peu de solution pour valoriser ou traiter les sédiments associés.

Axe 2 : L'évaluation de la qualité des rejets urbains par temps de pluie et leurs impacts.
Il s'agit du développement de solutions métrologiques innovantes pour aider les collectivités à évaluer la qualité des rejets urbains.

Axe 3 : Les ouvrages de gestion à la source ou centralisés, fondés sur la nature (souvent appelés techniques alternatives) et leur robustesse vis-à-vis du changement des pratiques et des effets du changement climatique sur l'assainissement. Cet axe de recherche porte tout particulièrement sur la déconnexion des eaux pluviales pour une ville plus perméable.

2.2.7 POSITIONNEMENT DANS LE PAYSAGE DE LA RECHERCHE

L'OTHU est bien intégré / reconnu par les autres structures d'organisation et animation de la recherche, que ce soit au niveau régional, national ou international.

Au niveau régional, l'OTHU est un des sites de la ZABR (Zone Atelier du Bassin du Rhône), qui est également animée par le GRAIE. Sur Lyon, l'OTHU interagit également avec le Labex Intelligence des Mondes Urbains (IMU) (présence au CS IMU), l'institut convergence « Ecole Urbaine de Lyon » (LYON URBAN SCHOOL OU LUS) (présence au comité de direction), l'École Universitaire de Recherche (EUR) H2O'LYON (présence au COPIL et Graie en charge de la relation avec les praticiens), ainsi que la SFR BioEnvis (LIEN) (mutualisation de plateformes de recherche tel que SedAqua). L'OTHU et les thématiques de recherche portées par l'Observatoire sont présents dans la gouvernance de ces structures, qui contribuent ainsi à mettre en avant et financer les travaux de recherche de l'Observatoire.

Au niveau national, l'OTHU contribue à l'infrastructure de recherche des observatoires de la Zone Critique (OZCAR) via le bassin versant de l'Yzeron, site OTHU également labellisé comme un site

d'OZCAR. Ce contact privilégié permet à l'OTHU de suivre et bénéficier des actions d'animation réalisées dans le cadre d'OZCAR, notamment sur la question de la gestion et de la capitalisation des données. De la même manière, les travaux de l'OTHU sont intégrés dans l'animation du réseau des Zones Atelier, qui se met aussi en place et avance aussi sur la question de la capitalisation des données.

Enfin, l'OTHU contribue à l'animation **du service national d'observation (SNO) OBSERVIL sur la circulation des flux d'eau, de matières et d'énergie en environnement urbain**, à travers la mutualisation d'observations réalisées sur des territoires urbains variés, dans des contextes géographiques et climatiques différents et contrastés (SNO coordonné par ONEVU, Gustave Eiffel). Une approche plus intégrée de l'environnement urbain est envisagée à travers la capitalisation de données permettant de décrire le fonctionnement des différents compartiments et de leurs interfaces : transferts d'eau et de contaminants des surfaces urbaines vers les milieux aquatiques de surface et souterrains et vers les sols, transferts thermiques entre les enveloppes construites et la couche limite urbaine, bilan d'énergie sur les surfaces urbaines... Une attention particulière sera portée sur un objet urbain associé au cycle de l'eau : les ouvrages de gestion des eaux pluviales (bassins, noues, jardins de pluie), solutions d'aménagement souvent fondées sur la nature (NBS), et concernées par les échanges aux interfaces surface/atmosphère et surface/sol.

Au niveau international, l'OTHU participe également à la structuration des observatoires de recherche au niveau européen, via notamment le réseau LTER (Long-Term Ecosystem Research in Europe), matérialisé par le projet H2020 eLTER, ou le projet H2020 Co-UDLabs.

3 LES OBSERVATIONS

L'OTHU repose sur un ensemble d'observations réalisées via des instrumentations installées dans le système d'assainissement de la Métropole de Lyon et sur les milieux récepteurs recevant les effluents issus de ce système d'assainissement. Deux milieux récepteurs, jugés particulièrement sensibles, sont étudiés : la nappe de l'est lyonnais et l'Yzeron et ses affluents, représentatifs des petites rivières périurbaines de l'ouest lyonnais. Afin d'étudier ces milieux, un système métrologique est déployé depuis 1999.

3.1 Description des sites

L'observation et l'acquisition de données mobilisant des budgets extrêmement importants, le nombre de **sites instrumentés finement est passé de 5 à 3 aujourd'hui**.

Ces sites sont aujourd'hui complétés :
- par un **dispositif pluviométrique et météorologique** réparti sur la totalité du territoire
- par des sites satellites (4) plus faiblement instrumentés et suivis sur des périodes courtes. Ils viennent infirmer ou confirmer des tendances observées sur les sites de base ou visent à augmenter encore la diversité de situations
-par des sites ateliers (13) ayant fait l'objet de suivis par le passé ou mobilisés dans le cadre de programmes de recherche, ils pourront être ponctuellement réactivés à des fins de recherche ou en lien avec des questions précises de suivis
- **par des dispositifs de laboratoire** en conditions contrôlées en lien direct avec les observations faites sur le terrain

Les sites expérimentaux ont été choisis de manière à couvrir, autant que possible, des configurations variées en termes de bassin versant (caractéristiques physiques et type d'urbanisme), de système d'assainissement (réseau séparatif, réseau unitaire, système de rétention et d'infiltration, gestion à la source) et de milieux récepteurs (nappes et rivières).

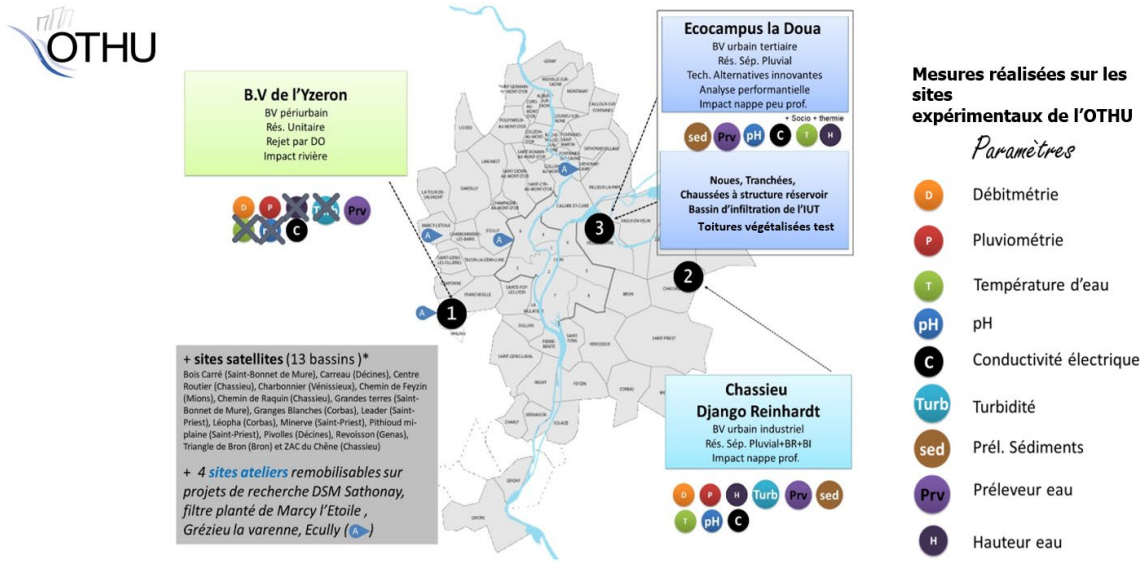


FIGURE 2: SITES EXPERIMENTAUX DE L'OTHU

TABLEAU 2 : RÉCAPITULATIF DES SITES EXPÉRIMENTAUX OTHU

Informations	**BV Yzeron** PRESENTATION DETAILLEE	**Chassieu** PRESENTATION DETAILLEE	**Ecocampus- IUT** PRESENTATION DETAILLE
Type de bassin versant (BV)	Péri-urbain (130 km^2)	Urbain dense (activité industrielle)	Urbain dense (activité universitaire)
Système d'assainissement	Réseau unitaire	Réseau séparatif dont l'exutoire est un **bassin de rétention/infiltration**	Destiné à l'étude des flux d'eau et de polluants, de la biodiversité produit par un BV muni de techniques alternatives innovantes de gestion des eaux pluviales (**tranchée, chaussées réservoir, noues, Bassin de retenue/infiltration de l'IUT**).
Milieux touchés par les rejets associés	Petits cours d'eau périurbains, partiellement intermittents	Rejet en nappe profonde (zone non saturée de l'ordre de 13 m)	Rejet en nappe peu profonde (zone non saturée inferieure à 1m)
Objectifs	Caractérisation des flux d'eau et de polluants produits sur ce BV et évaluation de leurs impacts sur de petites rivières	Quantité et qualité des flux d'eau et de polluants produits sur ce BV et évaluation de leurs impacts sur la nappe	Quantité et qualité des flux d'eau et de polluants produits sur ce BV et évaluation de leurs impacts sur la nappe. Analyse performantielle de ces techniques sur le plan hydraulique, environnemental et énergétique. Perception des ouvrages à la source par différents acteurs.
Etat de fonctionnement	Suivi continu pluie (9 stations) / débit (9 stations) distribué sur des sous-bassins emboîtés. Suivi qualité via préleveurs amovibles (+ un bungalow remobilisable sur projet)	2 bungalows équipés + piézomètres nappe	Depuis 2017 : instrumentation noues, tranchée et chaussée à structure réservoir à l'aide de 3 chambres de mesures équipées. depuis 2001 : BI équipé de piézomètres pour le suivi de la nappe, instrumentation complétée en 2021

Site à l'arrêt : Le site "Lyon centre" situé en zone urbaine dense (habitations et activités commerciales) sur le campus de la DOUA avait été initialement équipé d'un bungalow pour le suivi des rejets en réseau unitaire avec un suivi des déversements via un déversoir d'orage dans le Rhône. Pour des raisons de maintenance trop importante, ce site a été arrêté en 2008. Le bungalow de mesure a été déconnecté du réseau et transformé en bungalow prototype en 2014 (test en conditions semi-contrôlées de nouveaux dispositifs de mesure).

Sites ateliers :
- le site Ecully (Bassin versant : 245 ha, pentu, zone avec habitats résidentiels, Réseau unitaire muni de nombreux déversoirs d'orage rejetant dans un petit cours d'eau), suivi finement jusqu'en 2013 et arrêté totalement en 2019 (déséquipé)
- le site de Grézieu la Varenne au sein du BV Yzeron (2.5 km², 3 bungalows équipés sur le ruisseau de la Chaudanne pour suivre l'impact des rejets d'un déversoir d'orage sur un cours d'eau péri-urbain intermittent), suivi finement jusqu'en 2018. Le site est en cours de déséquipement, seul le bungalow central (rejet déversoir d'orage) restera mobilisable en cas de besoin.
- le site du DSM (dispositif de surveillance et de maîtrise des flux) à Sathonay Camp, canal dont la conception permet de garantir des mesures et suivis fiables de débits et flux polluants déversés.
- le filtre planté de macrophytes de Marcy l'Etoile destiné au traitement des rejets d'un déversoir d'orage et qui a servi de support de recherche.

Sites satellites (13 bassins)
Bois Carré (Saint-Bonnet de Mure), Carreau (Décines), Centre Routier (Chassieu), Charbonnier (Vénissieux), Chemin de Feyzin (Mions), Chemin de Raquin (Chassieu), Grandes terres (Saint-Bonnet de Mure), Granges Blanches (Corbas), Leader (Saint-Priest), Léopha (Corbas), Minerve (Saint-Priest), Pithioud mi-plaine (Saint-Priest), Pivolles (Décines), Revoisson (Genas), Triangle de Bron (Bron) et ZAC du Chêne (Chassieu)

♦ Le détails sur les anciens sites ateliers et satellites - sont disponibles au sein du dernier RAPPORT D'ACTIVITE SCIENTIFIQUE 2013-2016 de l'observatoire – Pages 131/170
(conseil scientifique de Janvier 2017).

3.2 Equipement de mesure

Les différents sites de l'OTHU ont une installation métrologique de base commune :

- ➔ **Suivis pérennes, continus ou ponctuels & intensifs**
- ➔ **Données fiables (qualifiées en termes d'incertitude)**

Les objectifs scientifiques associés à ces observations sont rappelés au paragraphe 1.3.

Depuis 2002, date de la mise en fonctionnement de la majorité des sites, le même type de conception et d'équipement des bungalows de mesure a été utilisé pour toutes les stations OTHU. A partir de 2012, la structure du bungalow « type » a été repensée, optimisée et modernisée.

Une phase de test s'est déroulée en 2013, sur le bungalow de la Doua (site abandonné depuis 2008). Les tests réalisés au sein de ce bungalow prototype avaient pour objectifs d'évaluer les performances

des nouveaux équipements et de développer une nouvelle chaîne métrologique (acquisition de données, analyse et traitement de données, etc.).

Des échanges au sein de l'OTHU ont permis de proposer un modèle physique optimisé, dont le déploiement a débuté sur Chassieu fin 2014 et s'est terminé au 2eme semestre 2016.

La phase de tests sur le bungalow prototype a permis de développer et de valider les points suivants :

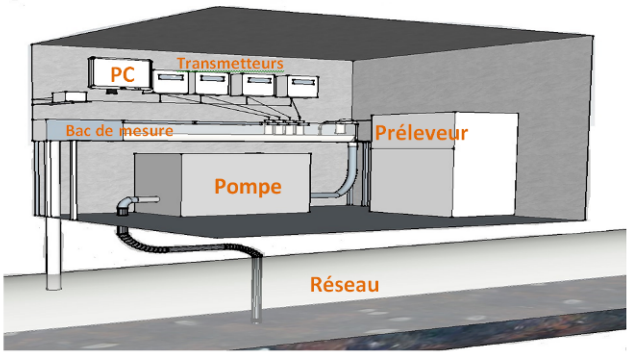
- l'acquisition et la transmission des données (environnement LabVIEW) avec l'objectif de trouver une solution alternative entre un environnement de travail convivial pour les opérations de maintenance du site et une acquisition explicite et transparente des données.
- les méthodes de pré-traitement en temps réel
- la gestion des opérations de maintenance avec un contrôle automatique de la position des capteurs.

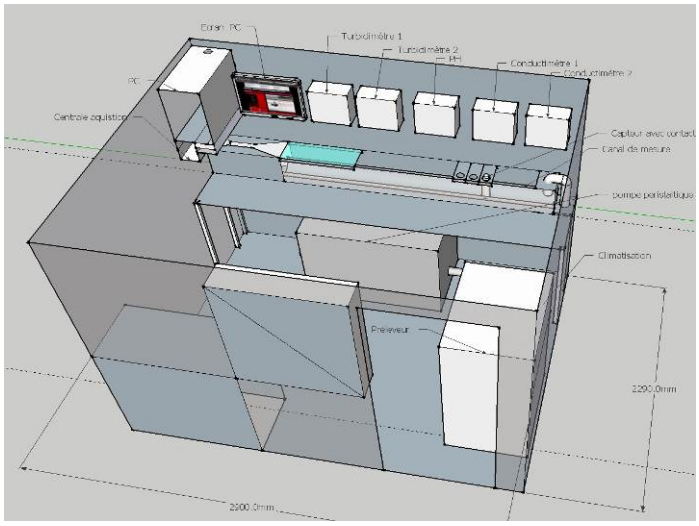
Cependant, actuellement faute de moyen humain et financier suffisant : en 2021, seul le site de Chassieu dispose de ce type d'équipement.

Mais les principes de mesure restent les mêmes sur les 3 sites principaux. Et la cohérence d'acquisition reste préservée.

Une station de mesures complète:

- Fonctionnement en continu
-**Suivi qualitatif** (pH, conductivité, température, turbidité...)
-**Suivi quantitatif** (hauteurs, vitesses, débits...)
-Prélèvements d'échantillons





Capots capteurs

Interface de pilotage

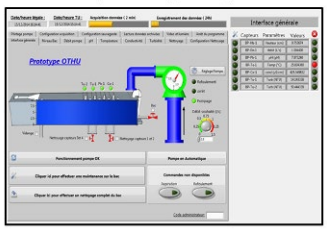


FIGURE 3 : STATION TYPE OTHU CHASSIEU 2016

En parallèle des bungalows, le suivi en continu de l'OTHU repose également sur des installations plus légères réparties sur l'ensemble des points de mesure (pluviomètres, limnimètres avec seuils-

déversoirs en rivière pour faciliter l'établissement de courbes de tarage, débitmètres, piézomètres, préleveurs automatiques), alimentés sur batterie et/ou panneau solaire, et télétransmis via le réseau de téléphonie mobile.

3.3 Innovation métrologique

Plusieurs innovations technologiques ont été lancées et créées au cours de la période considérée pour la production de ce rapport d'activité. Nous les citerons ici très rapidement de manière non exhaustive et vous pourrez les retrouver en détail au sein des résultats de l'observatoire, la métrologie étant un thème de recherche à part entière au sein de l'OTHU.

- Utilisation, déploiement et test : de chaînes de métrologiques, allant de l'acquisition in-situ (capteur) au stockage de la donnée chez le gestionnaire, basés sur des capteurs low-cost du commerce et des plateformes de prototypage électronique open-source de type Arduino® . Ceci pour des chroniques de données et/ou des alertes quant à la quantité et la qualité des EP dans les réseaux, les déversoirs d'orage, les ouvrages de gestion alternatifs des eaux pluviales et les milieux aquatiques récepteurs (en appui sur programme cheap'eau Eau)
- Développement d'outil colonne de laboratoire pour quantifier le transfert de polluants émergeants (nanoparticules et bactéries) dans les sols
- Mise en place de premiers capteurs IoT – Internet Of Things data – en paralléle d'instrumentation classique
- Tests dans le DSM (dispositif breveté pour le suivi des rejets des DO) du biocapteur Node pour le suivi de la DBO5 en continu.
- Utilisation d'échantillonneur passifs de type Germcatcher et Chemcatcher pour les suivis de nappes (en appui sur le programme ANR Frog)

3.4 Variables observées (observables)

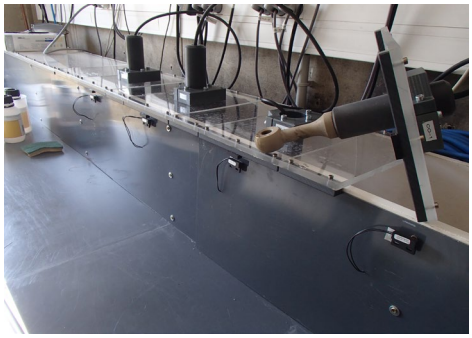


FIGURE 4 : SONDES ET CANAL - MESURE EN CONTINU – BUNGALOW CHASSIEU
CAMPAGNES DE MESURE – CHERMCATCHER SUR LA NAPPE PHREATIQUE

3.4.1 PARAMÈTRES MESURÉS EN CONTINU :

Météorologie : Pluviométrie, température de l'air, vitesse et direction du vent, radiation solaire, hygrométrie, pression atmosphérique, évaporation

Eaux de surface et système d'assainissement : liminimétrie, hauteur et vitesse de l'eau, débitmétrie, piézométrie, paramètres de la qualité de l'eau (exutoires bassins versants, entrées/sorties ouvrages: pH, température de l'eau, conductivité électrique, turbidité, enregistrements vidéo et photo ;

Nappes phreatiques : pH, piézométrie, température de l'eau, conductivité électrique, oxygène dissous).

3.4.2 DONNÉES/PARAMÈTRES ISSUS DES CAMPAGNES :

- Campagnes MES/DCO pour corrélation avec turbidité,
- Campagnes de mesures de la qualité chimique/écotoxicologique/ microbiologique de l'eau (prélèvements et analyses micropolluants et polluants, analyses non ciblées, caractérisation familles et ADN de certains micro-organismes modèles tels que Pseudomonas aeruginosa, résultats tests écotoxicologiques, carbone organique dissous/HAP/composés organiques volatiles/nutriments au niveau de la nappe)
- Campagnes de mesures de la qualité chimique/ écotoxicologique/microbiologique des sédiments des eaux pluviales urbaines (prélèvements et analyses micropolluants et polluants, caractérisation ADN microorganismes, résultats tests écotoxicologiques)
- Campagnes de mesures de champ de vitesse en surface au sein du bassin de retenue-décantation Django Reinhardt (observations vidéos et application de la méthode LSPIV ou Large Scale - Particle Image Velocimetry)
- Campagne d'observations socio-urbanistiques (enquêtes sur et observations des activités urbaines en lien avec objets manipulés, usages et pratiques sur les bassins versants) , enquêtes/questionnaires (étude sur la perception des ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source)
- Inventaire faunistique et floristique ponctuel
- Infiltrométrie (permeablilité, vitesse d'infiltration)

4 LA CAPITALISATION DES DONNÉES

4.1 Situation et contexte

Grande force de l'OTHU, l'interdisciplinarité des équipes engendre également différents défis dont la gestion des données. Ces dernières aussi nombreuses que variées nécessitent des moyens adaptés à leur grande diversité. Du local à l'international, de l'utilisation de systèmes cartographiques à l'exploitation de bases alphanumériques, de la gestion de longues chroniques à la production d'enquêtes sociologiques, chaque équipe de l'OTHU possède une stratégie de gestion des données souvent guidée par les moyens (humains, matériels et financiers) à sa disposition.

Au cours de ces dernières années, le volume et la variété des données produites, les mouvements du personnel, la suppression d'outils et le développement de nouveaux ont imposé à l'ensemble des acteurs de l'observatoire une réflexion indispensable afin d'assurer la pérennité et la disponibilité de ces données.

Ce constat n'est cependant pas spécifique à l'OTHU mais s'inscrit pleinement dans l'ère actuelle : celle de la Data. L'émergence récente de nombreux outils et principes permettent aujourd'hui d'accompagner les différentes structures dans leur choix de stratégie de gestion de données. Le respect du cycle de la vie de la donnée ainsi que le principe « FAIR » ont ainsi guidé les travaux menés ces dernières années sur ce sujet.

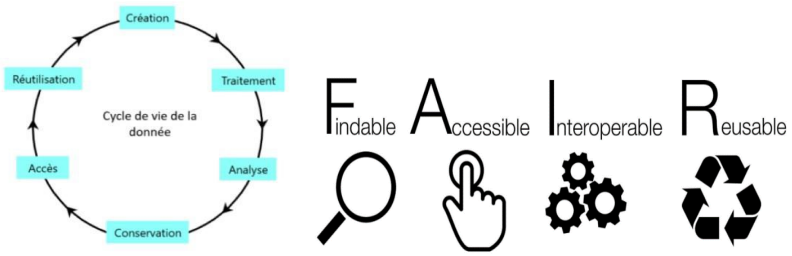


FIGURE 5 : : LE CYCLE DE VIE DE LA DONNÉE (HIGMAN ET AL., 2019)

En 2019 nous avons réalisé une enquête auprès des différentes équipes scientifiques de l'OTHU afin de les interroger sur la gestion de leurs données. Cette enquête a été menée au cours d'entretiens individuels en appui sur un questionnaire construit sur 4 grands axes :

1. Inventaire des données (Quoi ? Où ? Quand ? Pourquoi ? Comment ?)
2. Gestion des données (collecte, traitement, validation, archivage…)
3. Valorisation des données (solutions, partages, catalogue de métadonnées…)
4. Besoins et pistes d'amélioration

Les résultats de cette enquête ont été présentés et discutés lors du 4ieme séminaire données et métadonnées OTHU en 2019. Ce séminaire a validé la pertinence du catalogue de métadonnées OTHU mis en place avec la DINSI (Direction de l'Innovation Numérique et des Systèmes d'Information) de la Métropole de Lyon et a souligné la nécessité de prolonger nos efforts pour une meilleure bancarisation et mise à disposition de nos données.

En 2020, un stage sur ce sujet a été encadré au sein de l'OTHU dans le but de poursuivre cette démarche. Ce stage intitulé « Réalisation d'un état de l'art des solutions de bancarisation et mise à disposition des données pour un observatoire de recherche environnemental » a été mené par Léo

BRUEL de mars à juillet 2020. Les résultats de ce stage ont permis d'identifier les forces et les faiblesses de l'OTHU en matière de gestion des données ainsi que des pistes d'évolution.

Un second stage plus sur la communication/ la valorisation intitulé « méthode et processus de sélection d'indicateurs pertinents en hydrologie urbaine » réalisé par Raphaël MIGLIORI au GRAIE a souligné l'importance de poursuivre nos efforts dans la recherche d'outils pertinents pour la valorisation de nos données (indicateurs, infographie…).
Suite aux différentes actions citées précédemment, les points suivants ont été confirmés ou constatés :

- Une importante hétérogénéité de formats et de données
- Une évolution régulière des formats et des types de données
- Une grande diversité d'outils et de méthodes de gestions des données au sein des différentes équipes
- Un manque de disponibilité des équipes sur ce sujet
- Une inquiétude partagée sur la pérennité et l'accessibilité des données dans le temps
- Une valorisation des données qui passe avant tout par des publications scientifiques
- Une volonté commune d'optimiser cette capitalisation des données au sein de l'OTHU
- Un besoin d'outils communs pour l'observatoire
- Des outils de communication et valorisation à développer

Ces observations nous ont amenés à orienter notre vision de la capitalisation de nos données autour de deux **principaux enjeux : la conservation de la donnée et sa mise à disposition**. Afin d'apporter une réponse à ces besoins, différentes pistes ont été exploitées. Il est également convenu que l'observatoire ne possède ni les ressources ni les compétences nécessaires pour concevoir de tels outils et qu'il serait incongru de développer des solutions pour refaire ce qui serait déjà proposé librement par d'autres organismes.

4.2 Métadonnées

En 2019, suite à de nombreux échanges et grâce à l'accompagnement de la DINSI de la Métropole de Lyon, un catalogue des métadonnées OTHU (construit sous GeoNetwork) a été mis en place. Les différentes actions menées depuis cette date confirment l'adéquation de cet outil avec les besoins et les attentes des membres de l'observatoire. Sa mise à disposition en ligne, sa comptabilité avec des catalogues existants, son interopérabilité avec d'autres plateformes et ses nombreuses options offrent un outil pertinent et efficace. Le lien suivant permet d'accéder au catalogue public des métadonnées OTHU :

https://geonetwork-othu.data.grandlyon.com/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/home

A ce jour, le catalogue de métadonnées OTHU est pleinement opérationnel et sera régulièrement complété et mis à jour. **Il compte 36 fiches illustrant des données produites depuis 1997 et incarnera le principal portail d'accès aux données de l'OTHU.**

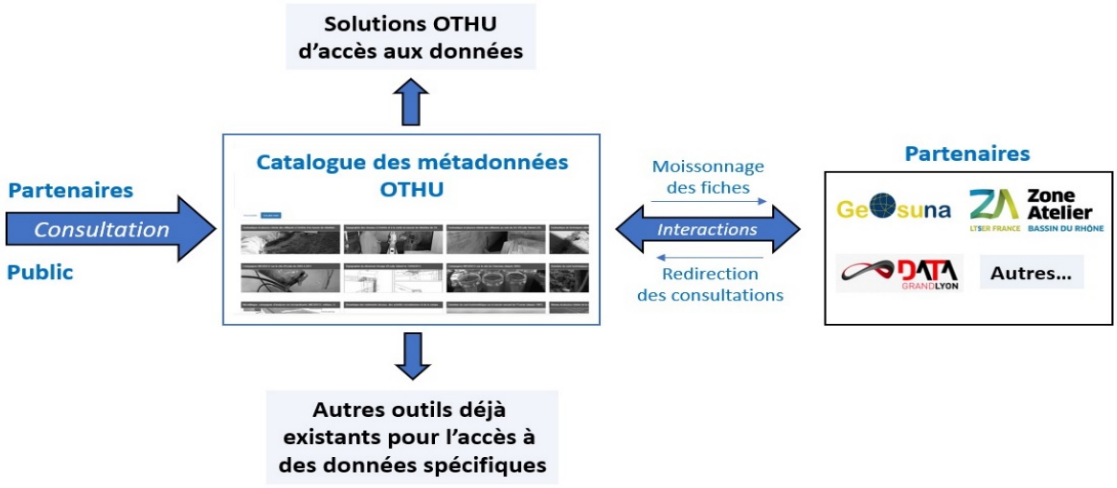


FIGURE 6: SCHÉMA D'ACCÈS AUX DONNÉES OTHU

Les fiches de métadonnées seront prochainement et progressivement complétées par les liens permettant d'accéder directement aux données qu'elles décrivent. Cette étape nécessite cependant de poursuivre les travaux menés dans l'identification et la mise en place d'outils communs de bancarisation et de mise à disposition des données à l'échelle de l'OTHU.

Cet outil répond également aux besoins d'interopérabilité et de moissonnage des informations vers d'autres outils partenaires. A l'avenir, les fiches du catalogue des métadonnées OTHU pourront ainsi apparaitre au sein d'autres plateformes telles que :

- ZABR : https://www.zabr.assograie.org/meta-zabr/
- GeoSuna : https://osuna.univ-nantes.fr/infrastructure-de-donnees-spatiales
- Data.grandlyon : https://data.grandlyon.com/
- …

4.3 Données

Les évolutions métrologiques exploitées depuis la création de l'OTHU ont facilité l'accès à des données toujours plus nombreuses et variées (réduction des coûts, gain en autonomie, multiplication des paramètres…). Cependant la complexité de gestion de ces données augmentant avec leur volume et leur variété, il est apparu indispensable de mettre en place une stratégie et des outils adaptés à la gestion de ces données. Quelques solutions existantes apportent déjà des réponses pour certains besoins mais ces dernières sont souvent spécifiques à un organisme ou à une discipline. En l'absence de solutions pour la majorité de nos données et afin de répondre à l'importante hétérogénéité au sein de l'OTHU, notre stratégie de gestion des données s'est construite suivant 2 grands axes :

1. **Les données en continu** (généralement des séries temporelles ou campagnes récurrentes en cours de production)

Les données produites en continu alimentent des chroniques constamment mises à jour et nécessitent ainsi un outil spécifique adapté à la gestion de séries temporelles. INRAE possédant une solution répondant à ses besoins (https://bdoh.irstea.fr/), il a été décidé de tester la mise en place d'une version de cet outil dédié à l'OTHU.

« La Base de Données pour les Observatoires en Hydrologie (BDOH) a pour vocation de permettre la gestion, la bancarisation et la mise à disposition des données hydrologiques et biogéochimiques

issues des observatoires de long terme. Il s'agit de sites expérimentaux de terrain sur lesquels sont réalisées en continu ou lors de campagnes récurrentes des mesures. Ces données sont utilisées à des fins scientifiques par la communauté opérationnelle de l'environnement publique ou privée (services de l'État, collectivités territoriales, bureaux d'études, industriels). Les données sont accessibles à tous gratuitement moyennant une inscription sur le site et le respect des conditions d'utilisation. Dans BDOH, les données sont naturellement organisées par Observatoires, qui sont administrés indépendamment par les unités de recherche qui en ont la charge ».

A ce stade, et après des années de fonctionnement, l'efficacité de l'outil ne semble donc plus à être démontrée mais son adéquation avec la variété des données produites en continu au sein de l'OTHU reste à être éprouvée. Suite à des essais concluants au sein d'une base test, INRAE propose (pour la première fois à un partenaire extérieur) la possibilité de mettre en place et d'héberger une base de données similaire à BDOH mais dédiée aux données en continu de l'OTHU. Cette base de données devrait être accessible d'ici fin 2021 à l'adresse https://data.othu.org.

Il est également intéressant de noter que BDOH est interopérable avec le système d'information d'OZCAR et que les jeux de données dans BDOH peuvent être envoyés automatiquement vers ce système d'information. La perspective d'une création automatique de fiches de métadonnées dans le catalogue (sans la saisie manuelle) serait également envisageable à plus long terme.

A ce jour, les différents formats (xls, csv, txt, tsv, dat…) ainsi que les différentes méthodes et codes de validation (lettres, chiffres…) représentent une première difficulté pour l'harmonisation des fichiers avant leurs dépôts dans la base de données OTHU. Il sera également nécessaire de définir des stratégies adaptées aux données en cours de production ainsi qu'à celles déjà collectées au cours des dernières années (Quelles données déposer ? Quelle quantité ? Quelles fréquences de dépôt ? Quel statut (brutes, validées) ? …).

Enfin, tout comme le catalogue de métadonnées OTHU, la formation des producteurs de données ainsi que le temps nécessaire à l'administration de ce nouvel outil seront indispensables pour garantir sa pertinence et son bon fonctionnement.

2. **Les données finalisées** (généralement liées à des campagnes ou projets ponctuels)

La gestion des données finalisées représente un défi bien différent en raison de la grande variété des formats (documents alphanumériques, photos, vidéos, cartes, modèles…). Après l'étude de nombreuses pistes, un outil semblant répondre aux besoins des différentes équipes de l'OTHU a été identifié : il s'agit de ZENODO.

Zenodo (https://zenodo.org/) est un répertoire de travaux de recherche, de logiciel et de données qui a été créé par le CERN grâce au programme-cadre européen pour la recherche et le développement Horizon 2020, sous le nom « OpenAIRE Orphan Record Repository », pour fournir aux chercheurs un lieu pour déposer des ensembles de données. Il a été lancé en 2013 pour permettre aux chercheurs de déposer les éléments nécessaires aux recommandations de science ouverte qui ne disposaient pas de dépôts institutionnels. En 2015, il a été renommé Zenodo en permettant à des chercheurs de déposer ou télécharger des fichiers jusqu'à 50 Go. Zenodo est une plateforme de dépôt d'archives ouvertes en libre accès qui fournit un identifiant numérique d'objet (DOI) afin de pouvoir les citer facilement (textes, feuilles de calcul, cartes, enquêtes audio, vidéo, images) dans tous les domaines de la science.

En 2021, une communauté OTHU a été créée sur Zenodo afin d'y référencer les jeux de données associés à l'observatoire (https://zenodo.org/communities/othu/). Cette première étape était essentielle

pour faciliter l'organisation, l'harmonisation et l'accès aux données OTHU au sein de cet outil. Des essais de créations de fiches et dépôts de données sont en cours. Il apparait dès maintenant que la mise en place de procédures et la formation des producteurs des données seront également nécessaires afin de généraliser l'utilisation de l'outil au sein de l'observatoire dans un avenir proche.

4.4 Perspectives

Après plusieurs années de réflexion et d'essais, la gestion des données de l'OTHU entre aujourd'hui dans une nouvelle ère. Répondant à la fois aux principes « FAIR » et aux besoins exprimés par les équipes membres de l'OTHU, la stratégie retenue pour la gestion des données et métadonnées de l'observatoire semble fournir l'ensemble des maillons nécessaires au respect du cycle de vie de la donnée :

- Création, traitement et analyse : Equipes membres de l'OTHU
- **Conservation** : Base de données OTHU, Zenodo et/ou outils spécifiques déjà exploités par certaines équipes membres de l'OTHU
- **Accès** : Catalogue de métadonnées OTHU
- **Réutilisation** : ZABR, GeoSuna, data.grandlyon, autres partenaires…

Les compétences et la stabilité des organismes assurant l'hébergement et la maintenance de ces outils *(la Métropole de Lyon pour MétaOTHU, INRAE pour un clone de BDOH et le CERN pour Zenodo*) devraient garantir la pérennité et le bon fonctionnement de ces derniers. Il apparait maintenant nécessaire de poursuivre la démarche en formant et en accompagnant les différentes équipes dans l'utilisation de ces derniers. Cette étape sera indispensable pour confirmer ou infirmer la pertinence des choix retenus.

Il reste néanmoins important de noter qu'une grande incertitude demeure sur les moyens humains disponibles au sein des différentes équipes membres de l'OTHU. Au-delà du temps nécessaire à l'administration de ces nouveaux outils, ces derniers nécessitent tous d'y allouer du temps au sein des différentes équipes pour assurer leur bon fonctionnement et leur pertinence (prise en main, formatage des fichiers, création et mise à jour de fiches, dépôts…). L'efficacité de la stratégie proposée sera entièrement corrélée à la disponibilité des différents producteurs de données.

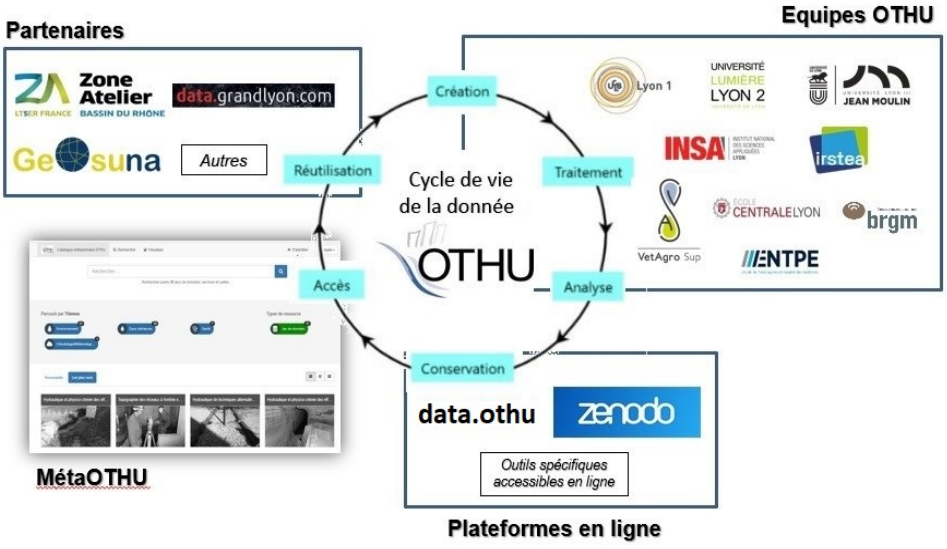


FIGURE 7: SCHÉMA DU CYCLE DE VIE DE LA DONNÉE OTHU

5 LES RÉSULTATS DE RECHERCHE

Pour traiter les questions scientifiques et atteindre les objectifs de l'OTHU, les chercheurs de la SFR s'appuient sur les données de l'OTHU et mènent des actions de recherche en lien avec de larges thèmes de recherche définis d'un commun accord. Les questions de recherche construites en concertation avec les partenaires opérationnels sont souvent élaborées à partir d'une analyse des préoccupations opérationnelles autour de la gestion de l'eau en ville. Les grands thèmes définis pour la période considérée dans le cadre de ce rapport sont représentés à la Figure 8.

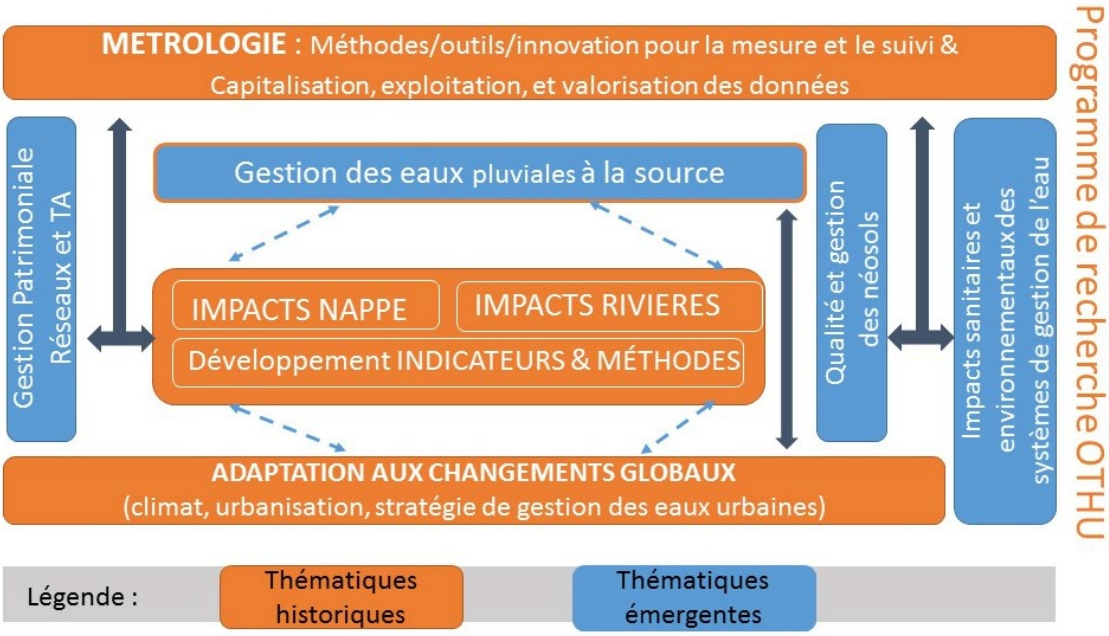


FIGURE 8: THEMES DE RECHERCHE OTHU

Par rapport aux thèmes de recherche de la période précédente (2013-2016), les thèmes qui ont été traités sur la période considérée ont été reformulés en fonction des nouveaux enjeux ; les objets d'étude ont été recentrés autour de 3 sites pérennes, de sites ateliers et satellites. Les suivis en cours, à venir (projets financés dans le cadre de l'accord SFR/AERMC, AERMC/ZABR, nouveaux projets ANR et H2020) ou déjà disponibles à l'issue des projets déjà réalisés (par exemple données MicroMegas) ont permis et permettront d'alimenter les recherches en lien avec les 7 grands thèmes définis. Pour simplifier la lecture de cette partie « Résultats de recherche », les résultats obtenus en lien avec les 7 thèmes sont présentés selon 4 axes principaux, à savoir : (i) caractérisation et transfert des flux d'eau, de contaminants et de sédiments ; (ii) la perception et les performances des ouvrages de gestion des eaux urbaines ; (iii) l'évaluation des impacts des rejets urbains par temps de pluie ; (iv) la gestion intégrée des eaux urbaines dans un contexte de changements globaux.

5.1 Caractérisation/ transfert des flux d'eau, de contaminants et de sédiments

5.1.1 FONCTIONNEMENT DES BASSINS VERSANTS ET RÉPONSE HYDROLOGIQUE

EQUIPES: INRAE RIVERLY

5.1.1.1 Problématique et questions scientifiques

La réponse hydrologique d'un bassin versant est le résultat d'une multitude de processus en interaction. Elle est contrôlée par de nombreux facteurs, encore mal connus. De ce fait, la question de la compréhension fine de l'impact de l'artificialisation des sols sur le fonctionnement d'un bassin versant est une question de recherche ouverte. En particulier, le rôle du compartiment sol reste encore mal maîtrisé.

Les questions scientifiques abordées depuis 2017 concernent l'étude des processus au niveau du compartiment sol, le développement et l'exploitation de signatures hydrologiques pour caractériser les processus dominants dans un bassin, et l'analyse de facteurs déterminants dans la genèse des crues en contexte périurbain.

5.1.1.2 Démarche / Méthode

Les résultats présentés sont essentiellement issus de 3 thèses, celles de Pedro Sanzana (2018), Ivan Horner (2020), William Pophillat (thèse en cours), ainsi que de collaborations développées dans le cadre de l'IR OZCAR (2 stages de Master en 2020 et 2021). Le travail a également bénéficié du soutien du projet bilatéral France-Chili PHC ECOS-Sud (évaluation et modélisation des impacts hydrologiques et morphologiques du développement urbain dans les bassins versants périurbains) et du projet « Crues de l'Yzeron » financé par le SAGYRC.

La démarche mise en œuvre a fait appel à l'association entre observation de terrain et modélisation. L'observation de terrain correspond à l'exploitation des données acquises sur le long terme dans le cadre de l'OTHU ainsi qu'à la réalisation de campagnes de mesures ponctuelles. Le travail s'est en grande partie appuyé sur le site du bassin versant de l'Yzeron, en tant que site de développement ou d'application des méthodes, mais également sur d'autres sites hors de l'OTHU dans le cadre de collaborations (site du plateau du Moulon, thèse de William Pophillat ; site d'Estero Las Hualtatas au Chili, thèse Pedro Sanzana). L'intégration du bassin de l'Yzeron dans l'IR OZCAR a également permis de développer des approches croisées inter-bassins.

La modélisation, et principalement la modélisation hydrologique distribuée, à base physique, a été mise en œuvre pour investiguer plus en détails les processus à l'œuvre dans les bassins versants, en particulier les relations entre humidité du sol et intermittence du cours d'eau (modèle PUMMA) et les interactions surface-nappe (modèle couplé WEAP–MODFLOW, modèle URBS).

L'ensemble des résultats est impossible à synthétiser dans le présent document, une sélection de quelques résultats marquants est donc présentée ici.

5.1.1.3 Quelques résultats marquants

a) Interaction surface / nappe

Le travail de thèse de William Pophillat (2019-2022) porte sur l'interaction surface-nappe en zone urbaine et dans un contexte de nappe peu profonde, et en particulier sur l'impact des ouvrages

d'infiltration à l'échelle d'un quartier ou d'un petit bassin versant, en interaction avec les structures urbaines souterraines (réseaux d'assainissement, sous-sols des bâtiments, dispositifs d'exhaure). Avec la généralisation des ouvrages d'infiltration à la source, on peut en effet se demander dans quelle mesure l'augmentation de la recharge de la nappe ne risque pas de générer une hausse de son niveau et des problèmes pour la gestion des infrastructures urbaines souterraines. Un travail de modélisation a été effectué, en intégrant dans le modèle URBS une composante à base physique représentant le comportement de la nappe, avec un maillage irrégulier adapté à la forme des objets urbains. Un important travail de validation de cette composante a été réalisé, par comparaison à des modèles de l'état de l'art (HYDRUS1D et FEFLOW) sur des cas d'étude virtuels, en s'assurant notamment d'une bonne représentation de la structure spatiale des niveaux piézométriques et de la réponse temporelle de la nappe, y compris en milieux hétérogènes (Pophillat et al., 2021). La Figure 9 représente les résultats de l'application du modèle sur un bassin versant virtuel de 500m par 500m, comportant l'ensemble des éléments urbains d'intérêt (constructions denses et résidentielles, routes, parkings, ouvrages d'infiltration et zones naturelles). Plusieurs scénarios de structures souterraines ont été testés (aucune structure, seulement le réseau d'assainissement, ou le réseau + les sous-sols). Ces résultats montrent l'important effet de drainage des structures souterraines (et notamment le drainage des eaux infiltrées dans les ouvrages d'infiltration), qui font baisser le niveau de la nappe autour de leur localisation et modifient considérablement les directions d'écoulement. En conséquence, ces structures doivent être prises en compte pour une estimation juste de l'impact de différentes stratégies d'infiltration en contexte de nappe peu profonde.

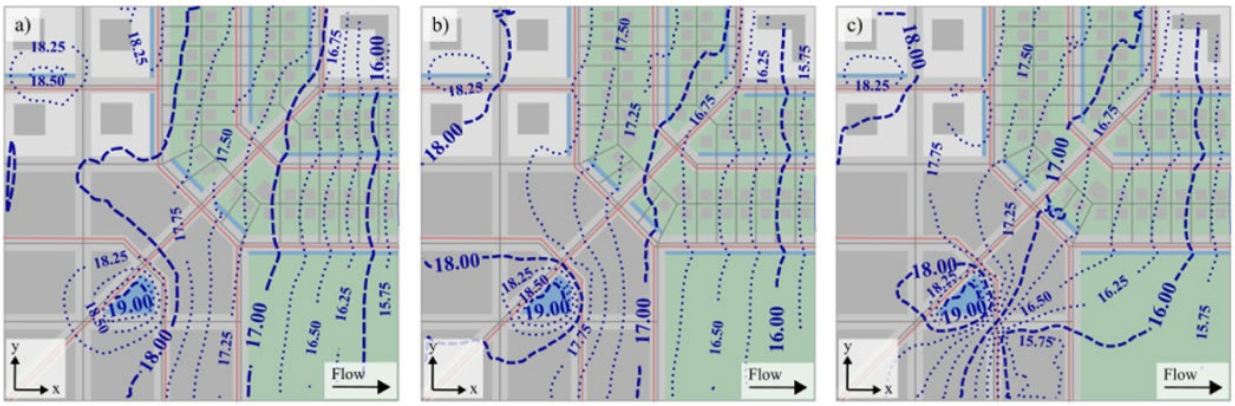


FIGURE 9 : SIMULATION DE L'EFFET SUR LE NIVEAU DE LA NAPPE DE 3 SCÉNARIOS D'INTERACTION ENTRE LA NAPPE ET LES STRUCTURES SOUTERRAINES : A) AUCUNE STRUCTURE ; B) UNIQUEMENT LE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT ; C) RÉSEAU + SOUS-SOLS DES IMMEUBLES. NIVEAUX PIÉZOMÉTRIQUES EN FIN DE SIMULATION, BASSIN VIRTUEL DE 500M * 500 M COMPORTANT DES ZONES URBAINES DENSE OU RÉSIDENTIELLE, NATURELLES, ROUTES ET PARKINGS, ET DISPOSITIFS D'INFILTRATION (SOURCE : POPHILLAT ET AL., 2021)

b) Signatures hydrologiques pour caractériser les processus dominants et la réponse des bassins versants

Les signatures hydrologiques sont des indicateurs quantitatifs calculés à partir de données d'observation, ciblés sur différents processus hydrologiques, fonctions ou compartiments du bassin versant, à différentes échelles temporelles (bilans annuels, variations saisonnières, réactivité à un événement pluvieux etc). Ces signatures permettent d'objectiver les principales caractéristiques du fonctionnement d'un bassin. L'enjeu scientifique autour du développement et de l'utilisation de ces signatures est de s'assurer de leur robustesse, représentativité spatiale et temporelle, et également leur pouvoir discriminant, c'est à dire leur capacité à identifier des bassins similaires ou différents (McMillan et al., 2017). Nous avons travaillé sur des signatures construites à partir de données pluie-

débit dans le cadre de la thèse d'Ivan Horner (2020), mais également de données d'humidité du sol (Branger et McMillan, 2019).

La Figure 10 montre deux signatures calculées à partir de données d'humidité du sol, caractérisant la capacité moyenne de stockage d'eau du sol (capacité au champ) et la forme d'évolution saisonnière typique de l'humidité du sol (forme de la distribution, unimodale en cas de variation faible au cours de l'année, bimodale en cas de fort contraste été-hiver par exemple), appliqués sur les données d'un bassin versant en Nouvelle-Zélande (Branger et McMillan, 2019). On voit que ces deux signatures sont relativement robustes par rapport au type de capteur, profondeur et position dans la pente, mais par contre montrent une sensibilité importante à la couverture du sol. En particulier, les données issues d'un sol sous couvert forestier présentent une capacité au champ supérieure, ainsi qu'une moindre variabilité saisonnière. Cela est en accord avec les résultats obtenus par ailleurs avec des essais d'infiltration (Braud et al., 2017).

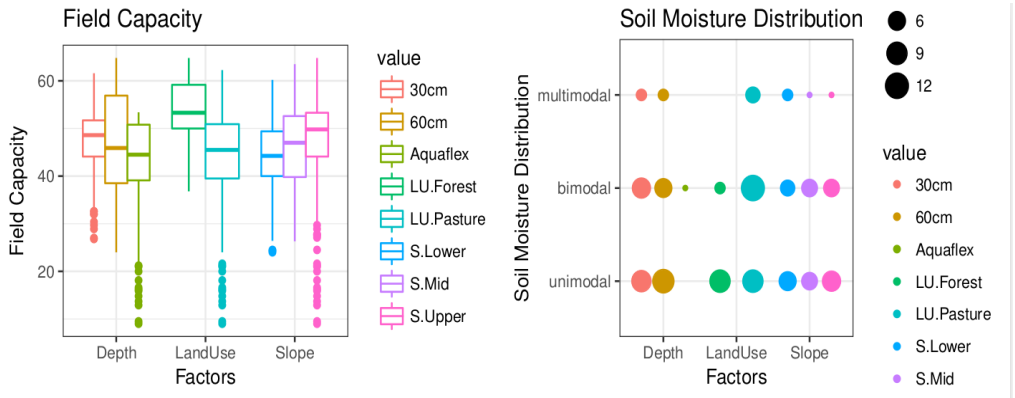


FIGURE 10 : VARIABILITÉ DE 2 SIGNATURES HYDROLOGIQUES ISSUES DE DONNÉES D'HUMIDITÉ DU SOL (CAPACITÉ AU CHAMP (GAUCHE) ET FORME DE LA DISTRIBUTION (DROITE), EN FONCTION DU TYPE DE CAPTEUR, DE SA PROFONDEUR, DE L'OCCUPATION DU SOL ET DE LA POSITION DANS LA PENTE (SOURCE : BRANGER & MCMILLAN, 2019)

La capacité des signatures à identifier des bassins versants au comportement différent a été explorée lors de 2 stages de Master (Ka, 2020 et Roger, 2021), en s'appuyant sur les bassins versants de l'IR OZCAR dont fait partie le bassin versant de l'Yzeron. Le travail a été réalisé à partir des signatures pluie-débit définies par Horner (2020), et sur 30 bassin versants (Braud et al., 2021). Une analyse en composantes principales a été réalisée en utilisant les valeurs de signatures et les caractéristiques climatiques et physiographiques des bassins versants comme variable explicatives. Les bassins versants ont ensuite été classifiés à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique. Les résultats sont présentés Figure 11 Ils permettent de relier les signatures aux différentes variables explicatives, confirmant ou infirmant leur interprétation a priori. On peut ainsi distinguer les signatures décrivant le bilan hydrologique global, plutôt liées à la pluie, la pente du bassin versant et la couverture forestière ; les signatures décrivant la saisonnalité apparaissent plutôt liées à la température et à l'occupation du sol agricole ou urbaine ; les signatures décrivant le comportement intermittent des bassins sont quant à elles liées davantage à l'évapotranspiration. La classification en clusters permet de grouper entre eux des bassins similaires du point de vue des signatures hydrologiques. Les sous-bassins de l'Yzeron, seul bassin significativement urbanisé de l'échantillon, apparaissent dans la moyenne des bassins à réaction plutôt rapide et sans contribution souterraine importante, au même titre que d'autres bassins situés pour la plupart en zone Méditerranéenne (sans pour autant être fortement intermittents). En conclusion, les résultats montrent une bonne capacité de ce jeu de signatures à décrire et discriminer le comportement des bassins versants. Les bassins intermittents, quant à eux,

nécessitent des traitements et signatures particulières (Fovet et al., 2021), qui ont été abordées dans le stage de Master de Chloé Roger (2021).

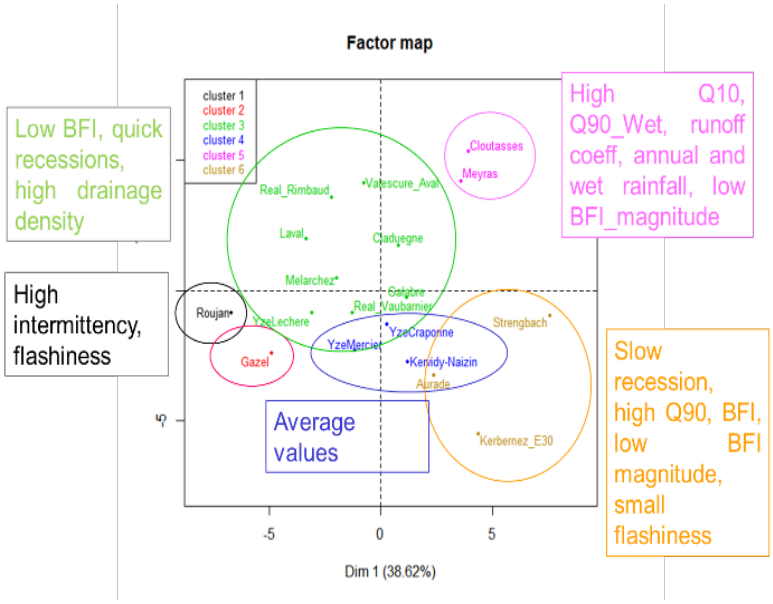


FIGURE 11 : : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES SIGNATURES HYDROLOGIQUES EN FONCTION DES CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS (CLIMAT ET PHYSIOGRAPHIE) (GAUCHE) ET CLUSTERING DES BASSINS SELON CES RÉSULTATS (DROITE) (SOURCE : BRAUD ET AL., 2021).

c) Facteurs déterminants dans la genèse des crues

La réponse hydrologique d'un bassin versant est multifactorielle et dépend des caractéristiques de l'événement pluvieux (cumul, intensité, durée), mais aussi de l'état initial du bassin versant (saturation des sols notamment), ainsi que d'autres facteurs, en particulier en milieu urbain et périurbain (artificialisation des sols, ouvrages de rétention, interactions avec le réseau d'assainissement). La différence entre une crue débordante, donc problématique du point de vue des gestionnaires et du public, et non débordante, tient donc à des facteurs difficiles à identifier. Sur le bassin versant de l'Yzeron, une étude a été réalisée pour tenter de caractériser les déterminants des crues et si possible des valeurs de seuils (Braud et al., 2018). 236 épisodes de pluie significative ont été extraits sur la période 1988-2016 et analysés statistiquement. Les valeurs de pics de débit ont été mises en regard des caractéristiques de l'événement pluvieux (cumul, intensité maximale horaire), mais aussi de caractéristiques de l'état du bassin versant (débit initial, précipitation antérieure), et analysés à l'aide de la méthode CART (Classification and Regression Trees). Les résultats sont représentés Figure 12. 5 clusters ont été identifiés. Le cluster correspondant aux débits les plus élevés, le cluster 5, correspond aux cumuls de précipitation les plus importants (> 88,5 mm). On remarque que le cluster 4, qui génère aussi des débits importants, correspond à des cumuls nettement moins élevés mais un état initial du bassin versant très humide (débit initial et cumul à 30 jours). Le cluster 3 est intermédiaire, correspondant à des cumuls assez importants (mais moins que le cluster 5) et un état initial assez humide (mais moins que le cluster 4). Ces résultats permettent de fournir des valeurs précises de seuils de vigilance aux gestionnaires pour la gestion du risque inondations sur un bassin versant.

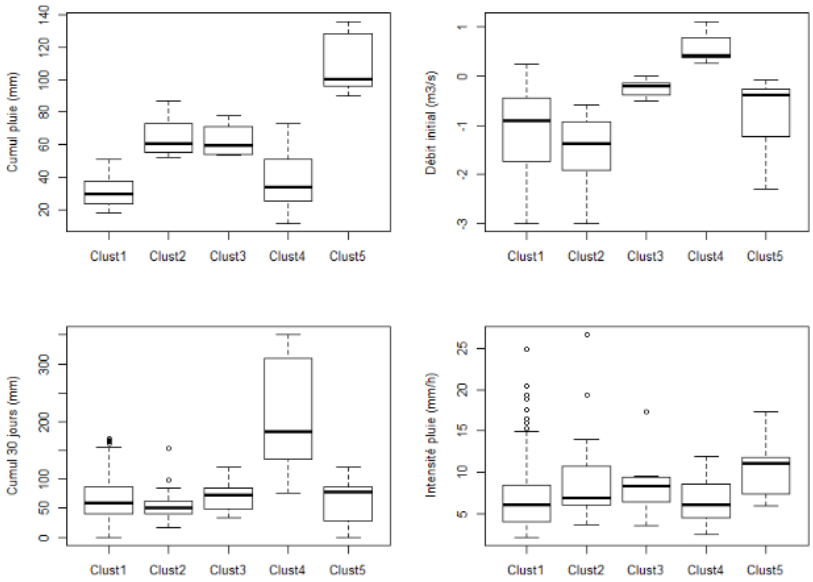


FIGURE 12 : CARACTÉRISTIQUES DES ÉPISODES DE CRUE EN TERMES DE CUMUL DE PLUIE, DÉBIT INITIAL, CUMUL DE PLUIE SUR LES 30 JOURS PRÉCÉDENTS ET INTENSITÉ DE PLUIE MAXIMALE. LES ÉPISODES SONT GROUPÉS PAR CLUSTERS CORRESPONDANT À DES PICS DE DÉBITS CROISSANTS (SOURCE : BRAUD ET AL., 2018)

5.1.1.4 Collaboration

En dehors des équipes de l'OTHU, ces travaux ont été réalisés en collaboration avec les équipes des observatoires de l'IR OZCAR, ainsi que pour la thèse de William Pophillat avec le Cerema et l'Université Gustave Eiffel (programme OPUR). Au niveau international, notre réseau de collaborations s'est étendu à l'université catholique du Chili (Cedeus, Centre for Sustainable Urban Development), ainsi qu'avec le département de Géographie de l'Université de San Diego aux USA (Hilary McMillan) et le NIWA (National Institute for Water and Atmospheric Research), Nouvelle-Zélande.

5.1.1.5 Perspectives

Les perspectives sont nombreuses, notamment sur la poursuite du travail sur les signatures hydrologiques, et en particulier dans le cadre de l'IR OZCAR. Le développement et l'exploitation de signatures hydrologiques sera poursuivi, notamment pour ce qui concerne les données d'humidité du sol et les signatures d'intermittence. La collaboration avec le Cerema et l'Université Gustave Eiffel autour de la modélisation sera elle aussi poursuivie (continuité de la thèse de William Pophillat et échanges autour de la modélisation plus large échelle).

On peut noter les liens entre les résultats présentés ici et ceux de la fiche 5.1.2 (sources de contaminants dans les bassins), car les contaminants peuvent servir d'indicateurs pour tracer les chemins de l'eau dans le bassin versant et être utilisés pour valider les modèles (thèse d'Olivier Grandjouan), ainsi que la fiche 5.4.1 (hydrologie et changement global), pour le montage du modèle hydrologique distribué utilisé dans le projet Conscequans.

5.1.1.6 Production scientifique

a) Thèses

Horner, I., 2020. Construction et évaluation de signatures hydrologiques pour le diagnostic et l'amélioration d'un modèle hydrologique distribué, Université Grenoble-Alpes, France, https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02928272

Pophillat, W., en cours. Conséquences d'une systématisation des pratiques d'infiltration à la parcelle des pluies courantes à l'échelle de petits bassins versants. Apports de la modélisation intégrée. Université Grenoble-Alpes, soutenance prévue en février 2022.

Sanzana, P., 2018. Characterization and modeling of hydrological processes in periurban catchments located in the Piedmont of Santiago (Chile), Pontifica Universidad de Chile, Chile.

b) Articles

Braud, I., Desprats, J.F., Ayral, P.A., Bouvier, C., Vandervaere, J.P., 2017. Mapping topsoil field-saturated hydraulic conductivity from point measurements using different methods, J. Hydrology and Hydromechanics, 65(3), 264-275, DOI: 10.1515/johh-2017-0017, https://doi.org/10.1515/johh-2017-0017

Branger, F., McMillan, H. Deriving hydrological signatures from soil moisture data. Hydrological Processes. 2020; 34: 1410–1427. https://doi.org/10.1002/hyp.13645

Fovet, O., Belemtougri, A., Boithias, L., Braud, I., Charlier, J.B., Cottet, M., Daudin, K., Dramais, G., Ducharne, A., Folton, N., Grippa, M., Hector, B., Le Coz, J., Legal, L., Martin, P., Moatar, F., Molenat, J., Probst, A., Riotte, J., Vidal, J.P., Vinatier, F., Datry, T., 2021. Intermittent rivers and ephemeral streams: perspectives for critical zone sciences and research on socio-ecosystems, WIREs Water, 8(4), e1523, https://doi.org/10.1002/wat2.1523

Fuamba, M.; Branger, F.; Braud, I.; Sanzana Cuevas, P.; Sarrazin, B.; Jankowfsky, S.; Batchabani, E., 2019. Value of distributed water level and soil moisture data in the evaluation of a distributed hydrological model: Application to the PUMMA model in the Mercier catchment (6.6 km2) in France, vol. 569, p. 753-770, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.035

McMillan, H.; Westerberg, I., Branger, F., 2017. Five guidelines for selecting hydrological signatures. Hydrological Processes, vol. 31, n° 26, p. 4757-4761, https://doi.org/10.1002/hyp.11300

Rahmati, M., Weihermüller, L., Vanderborght, J., Pachepsky, Y.A., Mao, L., Sadeghi, S.H., Moosavi, N., Kheirfam, H., Montzka, C., Van Looy, K., Toth, B., Hazbavi, Z., Al Yamani, W., Albalasmeh, A.A., Alghzawi, M.Z., Angulo-Jaramillo, R., Antonino, A.C.D., Arampatzis, G., Armindo, R.A., Asadi, H., Bamutaze, Y., Batlle-Aguilar, J., Béchet, B., Becker, F., Blöschl, G., Bohne, K., Braud, I., Castellano, C., Cerdà, A., Chalhoub, M., Cichota, R., Císlerová, M., Clothier, B., Coquet, Y., Cornelis, W., Corradini, C., Coutinho, A.P., de Oliveira, M.B., de Macedo, J.R., Durães, M.F., Emami, H., Eskandari, I., Farajnia, A., Flammini, A., Fodor, N., Gharaibeh, M., Ghavimipanah, M.H., Ghezzehei, T.A., Giertz, S., Hatzigiannakis, E.G., Horn, R., Jiménez, J.J., Jacques, D., Keesstra, S.D., Kelishadi, H., Kiani-Harchegani, M., Kouselou, M., Kumar Jha, M., Lassabatere, L., Li, X., Liebig, M.A., Lichner, L., López, M.V., Machiwal, D., Mallants, D., Mallmann, M.S., de Oliveira Marques, J.D., Marshall, M.R., Mertens, J., Meunier, F., Mohammadi, M.H., Mohanty, B.P., Pulido-Moncada, M., Montenegro, S., Morbidelli, R., Moret-Fernández, D., Moosavi, A.A., Mosaddeghi, M.R., Mousavi, S.B., Mozaffari, H., Nabiollahi, K., Neyshabouri, M.R., Ottoni, M.V., Ottoni Filho, T.B., Pahlavan-Rad, M.R., Panagopoulos, A., Peth, S., Peyneau, P.E., Picciafuoco, T., Poesen, J., Pulido, M., Reinert, D.J., Reinsch, S., Rezaei, M., Roberts, F.P., Robinson, D., Rodrigo-Comino, J., Rotunno Filho, O.C., Saito, T., Suganuma, H., Saltalippi, C., Sándor, R., Schütt, B., Seeger, M., Sepehrnia, N., Sharifi Moghaddam, E., Shukla, M., Shutaro, S., Sorando, R., Stanley, A.A., Strauss, P., Su, Z., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Taguas, E., Teixeira, W.G., Vaezi, A.R., Vafakhah, M., Vogel, T., Vogeler, I., Votrubova, J., Werner, S., Winarski, T., Yilmaz, D., Young, M.H., Zacharias, S., Zeng, Y., Zhao, Y., Zhao, H., Vereecken, H., 2018. Development and analysis of the Soil Water Infiltration Global database. Earth Syst. Sci. Data, 10(3): 1237-1263. https://doi.org/10.5194/essd-10-1237-2018.

Sanzana, P ; Gironás, J. ; Braud, I. ; Branger, F. ; Rodriguez, F. ; Vargas, X. ; Hitschfeld, N. ; Muñoz, J.F. ; Vicuña, S. ; Mejía, A. ; Jankowfsky, S., 2017.A GIS-based urban and peri-urban landscape representation toolbox for hydrological distributed modeling, Environmental Modelling & Software, vol. 91, p.168-185, https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.022.

Sanzana, P., Gironás, J., Braud, I., Hitschfeld, N., Branger, F., Rodriguez, F., Fuamba, M., Romero, J., Vargas, X., Muñoz J.F., Vicuña, S., Meija, A., 2019. Decomposition of 2D Polygons and their effect in hydrological models, Journal of Hydroinformatics, 21(1), 104-122, https://doi.org/10.2166/hydro.2018.031.

Sanzana, P., Gironás, J., Braud, I., Muñoz, J.-F., Vicuña, S., Reyes-Paecke, S., de la Barrera, F., Branger, F., Rodríguez, F., Vargas, X., Hitschfeld, N., Hormazábal, S., 2019. Impact of Urban Growth and High Residential Irrigation on Streamflow

and Groundwater Levels in a Peri-Urban Semiarid Catchment. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 55(3): 720-739, https://doi.org/10.1111/1752-1688.12743.

Pophillat, W., Sage, J., Rodriguez, F., Braud, I., 2021. Dealing with shallow groundwater contexts for the modelling of urban hydrology – A simplified approach to represent interactions between surface hydrology, groundwater and underground structures in hydrological models, Environmental Modelling & Software, 144, 105144, https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105144.

c) Jeux de données

Rahmati et al., 2018. Development and Analysis of Soil Water Infiltration Global Database, https://doi.org/10.1594/PANGAEA.885492

Gonzalez-Sosa, E., Braud, I., Dehotin, J., Lagouy, M., Branger, F., Mastachi-Loza, C., 2019. Infiltration campaign in the Mercier sub-catchment (Yzeron catchment, periphery of Lyon France) https://doi.org/10.5281/zenodo.3352164

d) d) Communications à conférences

Araki, R., McMillan, HK., Branger, F., Wiekenkamp, I., 2021, Diagnostic tools to differentiate soil moisture dynamics under contrasting land-uses

Braud, I., Ka, O., Ayral, P.-A., Blanchouin A., Boithias, L., Branger, F., Folton, N., Fovet, O., Hector, B., Horner, I., Galle, S., Josselin, D., Kuppel, S., Lajeunesse, E., Le Bouteiller, C., Legout, C., Molénat, J., Nord, G., Peugeot, C., Pierret, M.-C., Probst, A., Probst, J.-L., Raclot, D., Tallec, G., 2021. Use of hydrological signatures to characterize the hydrological functioning of catchments from the OZCAR French Critical Zone, 1st OZCAR - TERENO Conference, Strasbourg, October 5-7 2021, poster.

Roger, C., Fovet, O., Braud, I., Grippa, M. Hector, B., Molénat, J., Audry, S., Branger, F., Folton, N., Le Bouteiller, C., Nord, G., Probst, A., Probst, J.-L., Raclot, D., Riotte, J., Ruiz, L., Zitouna, R., Datry, T., 2021. Which hydrological signatures of intermittence of rivers and streams in order to identify causes and ecological impacts ?, 1st OZCAR - TERENO Conference, Strasbourg, October 5-7 2021, poster.

Sanzana, P., Gironas, J, Braud, I., Hitschfeld, N., Vargas, X., Vicuña, S., Muñoz, J.F., 2018. Impacto de la urbanización en un acuífero del piedemonte andino sobre los flujos bases de une cuenca periurbana, XXVIII Congreso LatinoAmericano de Hydráulica, 18-21 septembre 2018, Buenos Aires, Argentina, 2 pp.

Sanzana, P., Gironas, J, Braud, I., Hitschfeld, N., Vargas, X., Vicuña, S., Muñoz, J.F., Villegas, R., Rubio, E., Herrera, R., 2018. Herramientas hydroinformaticas y consideraciones para modelar procesos superficiales y subterráneos acoplados mediante WEAP-MODFLOW, Proceedings XXVIII Congreso LatinoAmericano de Hydráulica, 18-21 septembre 2018, Buenos Aires, Argentina, Vol.2, 1221-1236.

e) Stages et rapports

Ahrouch, S., 2017. Evaluation des modèles pour la prévision des crues sur le bassin de l'Yzeron. Projet de fin d'études, ENS3, Grenoble.

Braud, I., Breil, P., et Lagouy, M., 2018. Surveillance, prévision des crues et inondations dans le bassin de l'Yzeron : Étude de définition d'un système d'interprétation des relations entre la saturation des sols, les précipitations et les débits., Rapport final, INRAE, SAGYRC.

Ka, O., 2020. Caractérisation des régimes hydrologiques des bassins versants de l'Infrastructure de Recherche OZCAR à l'aide de signatures hydrologiques.

Roger, C., 2021. Quelles signatures hydrologiques de l'intermittence des cours d'eau et des rivières pour en identifier les causes et les impacts écologiques ?, Master2 TELENVI (Télédétection / Environnement), Université Rennes2 et Agrocampus Ouest.

5.1.2 SOURCES DE CONTAMINATION DANS LES BASSINS VERSANTS

EQUIPES : INRAE RIVERLY, LEM Vet Agro UCBL

5.1.2.1 Problématique et question scientifique

Les sources de contaminants chimiques et biologiques retrouvés dans les petits cours d'eau des bassins versants d'usage mixte (notamment périurbains) sont nombreuses. Elles sont par exemple associées au ruissellement et à l'érosion depuis les terres agricoles, depuis les surfaces urbaines imperméabilisées, aux rejets ponctuels de déversoirs d'orage, de stations de traitement des eaux usées et d'émissions industrielles. Or ces cours d'eau sont particulièrement sensibles à ces contaminations, du fait de leur proximité avec les sources et de leur faible capacité de dilution. De plus, le changement climatique risque d'affecter encore davantage leur capacité de dilution en raison d'étiages de plus en plus sévères. Pour une meilleure gestion des ressources en eau et de leur qualité à l'échelle des bassins versants (ex. gestion des déversoirs d'orage et ouvrages à la source, zones tampon, etc.), il est nécessaire d'inférer les contributions relatives de l'ensemble de ces sources de contaminants, et si possible les quantifier. Pour cela, il faut identifier et caractériser les sources, documenter leur variabilité temporelle, et tracer l'évolution de leur mélange jusqu'à l'exutoire d'un bassin versant, en lien notamment avec l'activité humaine sur le bassin versant et sa trajectoire.

5.1.2.2 Démarche / Méthode

Cette problématique est principalement abordée dans le cadre de deux thèses actuellement en cours (thèses d'Amine Boukra et Olivier Grandjouan) et de stages, ainsi que du projet IDESOC financé par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse via l'accord-cadre avec la ZABR (2021-2022). Elle s'appuie sur le site du bassin versant de l'Yzeron, ainsi que sur le bassin versant de la Cladugne qui fait partie de l'OHM-CV/site atelier Rivières Cévenoles de la ZABR et de l'IR OZCAR. Le 6ème programme de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR6) y contribue aussi via une action d'identification et quantification des sources urbaines de contamination dans le Rhône.

La méthodologie développée croise plusieurs approches :

- la cartographie de l'usage des sols et des enquêtes de terrain pour identifier les sources potentielles de contaminants ;

- l'observation de terrain, par la réalisation de campagnes de prélèvements et d'analyses de paramètres physico-chimiques et microbiologiques en divers points du réseau hydrographique (sources et exutoires), mais aussi par le développement et/ou la mise en œuvre de méthodes « low cost » (spectres UV-visible, germcatchers). Sur le bassin versant de l'Yzeron, l'observation récurrente a été étendue à un suivi qualité depuis 2017 (incluant des éléments traces et majeurs, et des paramètres microbiologiques), avec une mesure par mois entre 2017 et 2019, et depuis 2019 par des prélèvements en rivière lors d'événements hydrologiques (3 événements échantillonnés à ce jour sur deux stations) ;

- la construction de signatures (ou empreintes) chimiques et microbiologiques spécifiques de chaque source, utilisées pour estimer, à l'aide de modèles de mélange, les contributions relatives des sources ;

- la modélisation hydrologique spatialisée à l'aide du modèle J2000P, de manière à compléter / vérifier les contributions relatives des différents compartiments hydrologiques et des sous-bassins

élémentaires correspondant aux sources, et à proposer une base pouvant être utilisée ensuite en contexte de changement global.

5.1.2.3 Résultats

Les thèses et projets étant encore en cours, seuls des résultats intermédiaires sont présentés ici.

a) <u>Identification des sources potentielles sur le bassin de l'Yzeron</u>

Une remise à jour de la cartographie de l'occupation des sols a été réalisée sur la base d'images Sentinel2 de l'année 2020 (Bétemps, 2021). Des enquêtes de terrain ont été menées sous la forme d'entretiens auprès d'agriculteurs, centres équestres, collectivités et associations présentes sur le territoire. Les entretiens portaient sur la localisation des parcelles agricoles, l'utilisation d'engrais et/ou de produits phytosanitaires (localisation et dates), la présence d'animaux (nature, localisation, dates) et l'utilisation de produits vétérinaires, et la transformation éventuelle de la production agricole et la gestion des eaux associée. Les informations recueillies ont été associées au Registre Parcellaire Graphique et compilées dans une base de données. La Figure 13 présente un résultat issu de cette base de données, la localisation des parcelles agricoles sujettes à épandage soit de fumier, soit d'engrais, soit de produits phytosanitaires. Ces informations vont permettre d'identifier les sous-bassins élémentaires producteurs de différentes catégories de contaminants.

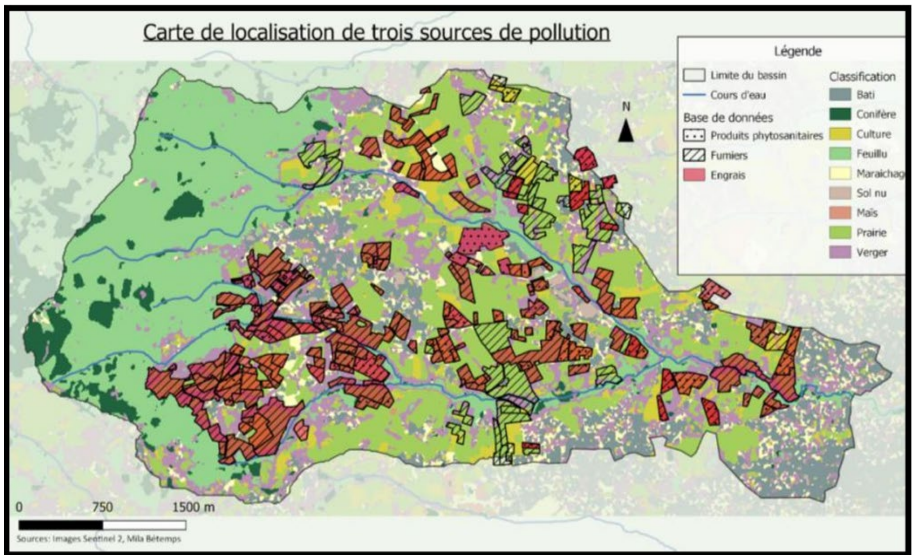


FIGURE 13: LOCALISATION DE SOURCES DE POLLUTION POTENTIELLES : PARCELLES AGRICOLES AVEC ÉPANDAGES D'ENGRAIS, DE FUMIER OU DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES SUR LE BASSIN VERSANT DE L'YZERON (SOUS-BASSIN DU RATIER). SOURCE : BÉTEMPS, 2021

b) <u>Construction des signatures biogéochimiques</u>

►Identification préliminaire à partir des prélèvements mensuels

Un premier travail d'identification des marqueurs correspondant à différentes sources a été réalisé à partir de l'analyse statistique des données de chimie des eaux issues des prélèvements mensuels entre 2017 et 2019 sur les stations du Mercier et du Ratier (Grandjouan, 2021). Les prélèvements ont été réalisés manuellement à date fixe, en dehors des événements pluvieux. Les concentrations mesurées sont donc représentatives de la dynamique de long terme (saisonnière) du bassin versant, et donc plutôt liées aux composantes lentes des écoulements (contributions de la nappe et de la subsurface). Les paramètres considérés sont les paramètres majeurs (anions/cations, carbone organique dissous - COD, silice), les métaux dissous, ainsi que plusieurs paramètres microbiologiques. Une analyse de premier niveau (corrélations) a permis d'identifier les paramètres au

comportement similaire, et d'identifier des paramètres « représentatifs » utilisés pour une analyse plus poussée. Les concentrations mesurées ont été mises en regard de caractéristiques hydro-climatiques de façon à caractériser simplement l'état du bassin versant au moment du prélèvement (débit moyen le jour et la veille du prélèvement, indice de précipitations antérieures). La Figure 14 montre les résultats d'une analyse en composantes principales des concentrations utilisant les caractéristiques hydro-climatiques comme variables explicatives. On peut distinguer un groupe de paramètres (COD, Ni, Al,...) corrélés positivement avec ces variables . Cela signifie que les concentrations sont plus élevées lorsque le bassin versant est dans un état humide (débit de la veille élevé, pluies antérieures élevées), ce qui correspond avec une contribution souterraine plus importante quand le débit de la rivière augmente. A l'inverse, un autre groupe (sulfates - SO4, Sr) est corrélé négativement. Cela peut être interprété comme la contribution d'une autre source souterraine qui, à la différence de la première, reste stable dans le temps et se trouve diluée en période de hautes eaux. Cette analyse préliminaire permet donc déjà d'identifier des sources potentielles, qui pourront être confirmées ou affinées par les données actuellement en cours d'acquisition.

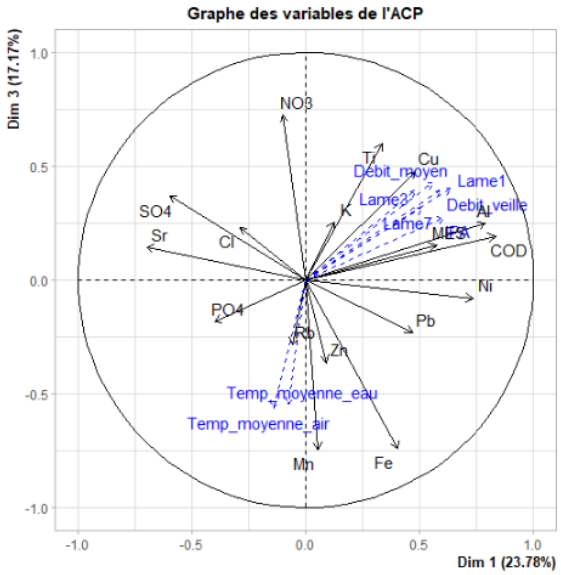


FIGURE 14 : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES CONCENTRATIONS EN DIFFÉRENTS PARAMÈTRES CHIMIQUES EN FONCTION DE CARACTÉRISTIQUES HYDRO-CLIMATIQUES. SOURCE : GRANDJOUAN, 2021.

►Empreintes des sources de matière organique

La matière organique peut aussi être utilisée comme traceur d'origine des masses d'eau. Un des objectifs de la thèse d'Amine Boukra est d'identifier des marqueurs physico-chimiques propres à des types de sources naturelles et anthropiques de la matière organique dissoute (MOD), en combinant plusieurs techniques d'analyses pertinentes (principalement, spectrophotométrie UV-visible couplée ou non à la chromatographie d'exclusion stérique, fluorescence 3D et chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution). Ce travail se focalise sur les sources diffuses de MOD à l'échelle de trois bassins versants (dont celui de l'Yzeron) et des sources ponctuelles anthropiques comme les rejets de station d'épuration ou les déversoirs d'orage. Les premiers résultats ont permis de distinguer les sources naturelles des sources anthropiques de MOD ainsi que les sources diffuses de MOD d'origine forestière et agricole (Boukra et al., 2021).

►Traçage des contributions à l'écoulement à partir des données microbiologiques

La microbiologie peut aussi fournir des informations précieuses sur les sources de contamination. La quantification des bactéries totales (qPCR gène 16S) renseigne sur les niveaux de contamination bactérien. La quantification des bactéries du genre Bacteroides (qPCR amorces universelles toutes

espèces Bacteroides) renseigne sur le niveau de contamination d'origine fécale. Les bactéries du genre Bacteroides sont présentes dans le tractus intestinal des animaux à sang chaud et présentent une spécificité d'hôte permettant leur suivi dans des environnements complexes par la technique de qPCR (PCR quantitative sur ADN extraits des échantilllons), il existe de nombreux « marqueurs » spécifiques de l'hôte au sein de ce genre bactérien (humain, ruminant, porc, équin, chien, volaille, oiseau…). La Figure 15 présente des résultats obtenus lors de la campagne de prélèvement sur événement de mai 2021. Cet événement remarquable (90 mm en 24h) a été échantillonné pendant les 12 premières heures de montée. Les concentrations relatives de marqueurs spécifiques d'hôte (qPCR des bactéries du genre Bacteroides de l'homme HF183, des ruminants, des porcins et du chien) permettent d'identifier l'arrivée d'eaux provenant de sources différentes. La figure montre que l'ensemble des marqueurs spécifiques testés (homme, ruminant, porc et chien) sont détectés dans les différents échantillons à des proportions variables. On note une contribution importante de la contamination d'origine humaine au niveau du Ratier, alors qu'au niveau du Mercier, la contamination provenant des ruminants est la plus visible. D'autres cibles spécifiques d'hôte sont disponibles et mériteraient d'être analysées (équin, volaille, oiseau…) pour affiner les origines des sources de contamination.

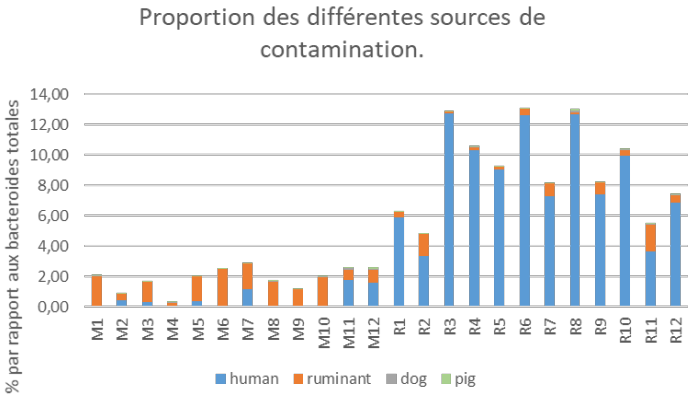


FIGURE 15 : PROPORTION DES BACTEROIDES SPÉCIFIQUES DE L'HÔTE PAR RAPPORT AUX BACTEROIDES TOTAUX LORS DE L'ÉVÈNEMENT DE MAI 2021 (M=MERCIER 1 À 12 ; R=RATIER 1 À 12).

L'ensemble des données présentées ci-dessus sont issues des prélèvements d'eau des 2 rivières filtrées et dont l'ADN a été extrait. Additionnellement, un outil de prélèvement passif, le germcatcher (sachet de billes d'argile, Figure 16), a été testé afin d'avoir une vision plus intégrative des sources potentielles de contamination des cours d'eau. En effet, ce dispositif est incubé plusieurs jours dans la rivière puis des analyses identiques (qPCR sur ADN extrait des biofilms se développant à la surface des germcatchers) ont été réalisées. Le test effectué sur la période du 07 au 28/06/21 donne un bon développement du biofilm avec un niveau de contamination bactérienne important (Raby, 2021). De plus les marqueurs de la contamination fécale (*Bacteroides* spécifiques d'hôte) sont détectables.

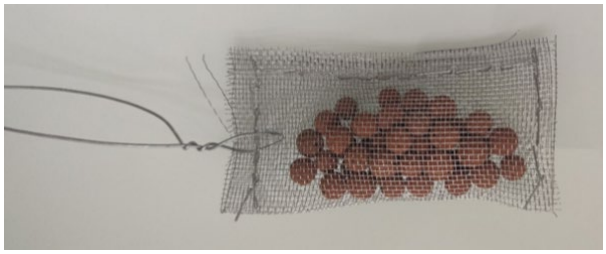


FIGURE 16 : GERMCATCHERS.

5.1.2.4 Collaboration

Outre les équipes OTHU INRAE Riverly et LEM, ce travail est réalisé en collaboration avec l'IGE et l'UMR PACTE de l'université Grenoble-Alpes. La thèse d'Olivier Grandjouan est également soutenue par l'EUR H2O, avec l'implication de TU Delft (Markus Hrachowitz) dans le suivi de la thèse. Le projet IDESOC a également une forte collaboration avec les acteurs opérationnels du territoire, notamment sur l'Yzeron le syndicat de rivière (SAGYRC). Dans le cadre du projet OSR6, nous avons débuté une collaboration avec les acteurs opérationnels du Grand Lyon.

5.1.2.5 Perspectives

Cette thématique en émergence va continuer à se développer dans les années à venir, notamment à travers un projet ANR (ANR CHYPSTER) récemment accepté et qui va démarrer fin 2021, avec les mêmes partenaires que le projet IDESOC (coordination INRAE Riverly), une thèse proposée par l'équipe du LEM sur l'impact des sources exogènes de taxons bactériens et pollutions chimiques sur les dynamiques de coalescence des communautés de biofilms en rivière péri-urbaine. Le projet CHYPSTER abordera l'impact du changement climatique et des trajectoires d'occupation du sol du bassin versant sur la qualité des eaux, en lien avec la thématique « changement global » de l'OTHU. A plus long terme, on envisage aussi un croisement avec les scénarios de gestion des eaux, qu'elles soient pluviales urbaines (lien avec le projet Conséquans, voir fiche 5-4-1) ou agricoles via les retenues collinaires.
En parallèle, nous allons continuer les travaux de recherche sur la caractérisation et la quantification des apports urbains de contaminants particulaires dans le Rhône (cf. stage J. Rogé, 2021). L'objectif est de poursuivre le développement d'une méthodologie permettant d'estimer les flux de contaminants particulaires des zones urbaines de l'agglomération de Lyon vers le Rhône. Des prélèvements et analyses sont prévues à l'exutoire de l'Yzeron en temps de pluie.

5.1.2.6 Production scientifique

a) Thèses

Boukra, A., thèse en cours. Caractérisation intégrée de la matière organique dissoute étude d'empreintes physicochimiques et recherche de marqueurs pour tracer les sources de pollutions anthropiques ; université de Lyon, INRAE-RiverLy.

Grandjouan, O, thèse en cours. Apports de la biogéochimie pour l'évaluation et l'amélioration d'un modèle hydrologique distribué en milieu péri-urbain ; université de Lyon, INRAE-RiverLy.

b) Mémoires de stage

Sigaud, D., 2018. Première analyse de données physico-chimiques produites par Irstea Lyon-Villeurbanne sur les ruisseaux du Ratier et du Mercier à l'ouest de Lyon, licence professionnelle Milieux Aquatiques et Eaux Pluviales, Université Lumière Lyon 2.

Bétemps, M., 2021. Diagnostic de l'occupation du sol et de l'utilisation des produits chimiques sur le bassin versant de l'Yzeron (Rhône) : utilisation combinée d'enquêtes et de données cartographiques pour identifier les sources de contaminants et leur localisation. Mémoire de fin d'études Polytech Tours. Stage réalisé au sein de l'UMR PACTE, université Grenobles-Alpes.

Raby, M., 2021. Validation d'un outil de suivi des sources de contamination microbiologique en cours d'eau, stage de BTS.

Rogé, J., 2021. Identification et quantification des sources urbaines de contaminants dans le Rhône, ENSIL-ENSCI, Université de Limoges. Stage réalisé au sein de l'UR RiverLy, INRAE.

c) Communications

Amine Boukra, Matthieu Masson, Corinne Brosse-Quilgars, Mahaut Sourzac, Myriam Arhror; Loïc Richard, Edith Parlanti, Cecile Miège, 2021. Approche multi-analytique pour étudier les sources de matière organique dissoute dans un bassin versant périurbain, 27ème édition de la Réunion des Sciences de la Terre RST du 1-5 novembre 2021 à Lyon.

5.1.3 APPROCHE EN COLONNES DE LABORATOIRE : TRANSFERT DES POLLUANTS ET DES BACTÉRIES DANS LES SOLS

EQUIPES : ENTPE IAPHY et LEM et Hors OTHU Université Gustave Eiffel (UGE)

5.1.3.1 Problématiques et questions scientifiques

Les colonnes de laboratoire sont un outil pratique pour étudier le transfert des polluants et des bactéries dans les sols, en conditions environnementales contrôlées. L'observation des polluants in situ induit un nombre important d'écueils techniques et scientifiques. On rencontre en premier lieu des problématiques d'échantillonnage (problème de représentativité de l'ensemble du site) et de détection des polluants qui sont souvent présents en faibles teneurs (mais suffisantes pour induire de la toxicité). En second lieu, le contrôle des conditions de transferts est impossible sur le terrain, notamment aux regards de l'injection de polluants (risque associé à l'injection de pollution, contrôle difficile de la concentration, des conditions acido-basiques et rédox, de l'homogénéité du milieu, etc.). Pour ces raisons, les colonnes de laboratoire sont un outil formidable pour simuler divers scénarios de pollution des sols. Le transfert des polluants au travers des colonnes de laboratoire est caractérisé en termes de profil de rétention (localisation des polluants retenus dans les colonnes) et d'élution (concentration en sortie des colonnes). L'analyse de ces signaux et leur modélisation permettent de caractériser le transfert et la rétention des polluants dans les sols investigués et d'identifier les mécanismes d'adsorption des polluants impliqués.

Dans le cadre des études menées par l'OTHU, un ensemble de tests de colonnes de laboratoire ont été réalisés pour investiguer le transfert et la rétention de polluants émergents (nanoparticules, bactéries) dans les sols sous les bassins d'infiltration. Ce rapport présente le principe des colonnes de laboratoire et quelques travaux illustratifs des essais travaux réalisés avant de proposer une synthèse. Les résultats ont aussi été obtenus dans le cadre du projet INFILTRON (www.infiltron.org, Dispositif INFILTRON pour une évaluation des fonctions infiltration & filtration des sols urbains dans un contexte de gestion des eaux pluviales). Les travaux présentés ont été effectués par deux des partenaires du projet, à savoir, l'UGE (équipe LEE, du département GERS de l'IFSTTAR), le LEM (Équipe UMR Écologie Microbienne, Université Lyon 1 et VetAgro Sup) et le LEHNA IAPHY (situé à l'ENTPE).

5.1.3.2 Démarche scientifique et méthodes

La démarche repose sur l'injection en conditions contrôlées de polluants modèles (minéraux, organiques ou biologiques) dans des colonnes de laboratoire simulant un sol urbain, naturel ou agricole en place. Les conditions en laboratoire sont pleinement contrôlées, notamment en termes de conditions d'injection (concentration du polluant et forme chimique fixée, espèces bactériennes et nombre de cellules fixé), en termes de conditions d'écoulement (écoulement uniforme et permanent), de conditions environnementales (température de la pièce), de conditions d'oxydo-réduction (contrôle ou suivi).

Le dispositif colonnes de laboratoire comprend (Figure 1) : (i) les colonnes remplies de matériaux, soit manuellement (sol remanié) ou par carottage in situ, (ii) un système de pompes péristaltique permettant d'injecter les solutés en conditions d'écoulement permanent, (iii) un système de cellules de mesures (pH, conductivité électrique, fluorescence, dans certains cas), et (iv) une balance sur laquelle repose la colonne pour le suivi de la masse d'eau dans le système. Dépendamment des expérimentations réalisées, les cellules de mesure en sortie peuvent différer ou être remplacées par un auto échantillonneur automatique. Trois types de colonnes sont testées dans cette étude (Figure

17) : (i) une colonne homogène (sable de Hostun), une colonne macroporée (même sable avec un tube perforé pour simuler un macropore permettant les échanges d'eau et de solutés avec la matrice environnante) et une deuxième colonne macroporée (même système que précédemment mais un tube plein simulant un macropore imperméable aux échanges avec la matrice environnante). Le macropore est sensé représenter l'effet d'une racine ou d'un biopore dans le milieu. On cherche à déterminer son influence sur le transfert des polluants en fonction de sa perméabilité. Enfin, on a effectué une série de colonnes sans filtre de sortie pour certaines colonnes. Ce filtre permet d'éviter que des particules ne sortent de la colonne pour les sols fins. On s'est aperçu que le filtre modifiait les écoulements pour les systèmes macroporés (Raimbault et al., 2020).

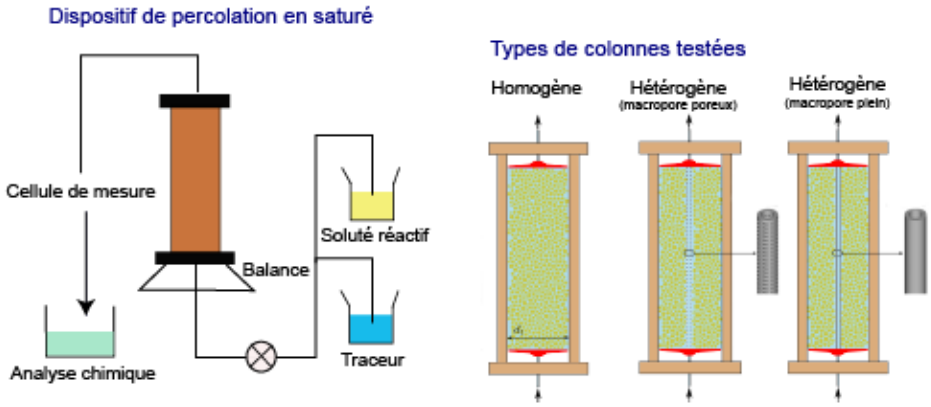


FIGURE 17 : PRINCIPE DES ESSAIS COLONNES : DISPOSITIF D'INJECTION DES SOLUTÉS (GAUCHE) ET TYPES DE COLONNES TESTÉES DANS CETTE ÉTUDE (DROITE)

Les expérimentations commencent par une étape de saturation en eau des colonnes, avant injection des solutés ou des bactéries. L'injection se fait en conditions d'écoulement permanent (débit constant fourni par la pompe péristaltique). L'injection des solutés et des bactéries commence par l'injection d'eau conditionnée pour « laver le système », avant l'injection des solutés d'intérêt (polluants ou bactéries étudiées). On ajoute l'injection d'un traceur (soluté non réactif suivant parfaitement l'eau) pour caractériser l'écoulement dans la colonne et repérer les potentiels dysfonctionnements (écoulements de parois, par exemple). En fin d'expérimentation, les échantillons prélevés en sortie de colonne sont analysés pour déterminer les courbes d'élution : concentration en sortie en fonction du temps. La matrice peut être prélevée pour déterminer le profil de polluants retenus. L'observation des profils n'a pas été effectué dans le cadre des travaux présentés.

Dans cette étude, des nanoparticules d'argent (Ag-NPs@citrate) ont servi de polluants modèles et ont été injectées à une concentration de 4 mg/L. La détermination de la quantité de nanoparticules a été réalisée par digestion des échantillons dans l'aqua regia avant détermination de la concentration en argent par spectrométrie d'adsorption atomique (SAA). Les bactéries ont été injectées sous forme de souches isolées (*Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa* et *Nocardia cyriacigeorgica*) ou de communautés entières (issues d'eau de surverse de bassin de rétention). Le nombre de cellules bactériennes a été contrôlé à l'aide de l'IDEXX Colilert®, de l'IDEXX Pseudalert® (Quanti-Tray®/2000) et par ensemencement en gélose BHI. Concernant l'injection de communautés bactériennes issues des eaux de bassins d'infiltration, les eaux ont été préconcentrées 100 fois avant en raison de la faible concentration en bactéries au moment de l'échantillonnage. Pour ces eaux, la caractérisation des communautés bactériennes a été effectuée par extraction d'ADN (kits DNeasy Blood & Tissue) et la quantité et la qualité de l'ADN ont été mesurées à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis nanodrop.

Enfin, pour les deux lots d'expérimentations, des traceurs anioniques (KNO_3 et KB_r) ont été utilisés pour tracer l'eau et caractériser les écoulements dans les colonnes. Enfin, des colonnes complémentaires ont été réalisées avec des sels de gadolinium (agent contrastant) avant observation à l'Imagerie à Résonance Magnétique (IRM) pour « voir » les transferts au sein des colonnes. Les nanoparticules d'argent (Ag-NPs@citrate) ont été injectées dans tous les types de colonnes (homogènes et macroporées avec les deux types de macropores), alors que les bactéries ont été injectées exclusivement dans les colonnes homogènes. Le transfert bactérien dans les colonnes macroporées (avec transfert trop rapide dans le macropore), aurait rendu très complexe la caractérisation des bactéries en sortie de colonnes.

5.1.3.3 Résultats

Les résultats mettent en évidence l'effet de la macroporosité sur les transferts (Figure 18). Le macropore sert de conduit préférentiel, ce qui se traduit par un transfert rapide et efficace du traceur de l'eau (KNO3) et des nanoparticules d'argent. Cela est typique quand on observe la courbe d'élution du traceur (Figure 18, courbe bleue). La courbe présente deux pics, le premier correspondant aux traceurs ayant emprunté le macropore et le second par la matrice autour du macropore. A contrario, l'élution des bactéries (Figure 18b) ne montre qu'un seul pic, du fait de l'absence de macropore. On montre donc bien l'effet « néfaste » du macropore qui conduit les polluants et permet un transfert préférentiel très rapide. La présence de deux pics ou d'un seul pic résulte dans ce cas de l'écoulement (fortement perturbé ici par le macropore). On peut noter un second pic quasi-inexistant pour les nanoparticules d'argent, avec essentiellement un pic principal (Figure 18a, points rouges). Ce pic principal sort au même moment que le pic du traceur (Figure 18, ligne bleue), et correspond donc aux nanoparticules ayant emprunté le macropore. En zoomant un peu, on trouve bien le deuxième pic, mais de très faible magnitude (Figure 18, encadré à droite). Ce deuxième pic correspond bien aux nanoparticules ayant transité par la matrice. Les nanoparticules ayant transité par la matrice se sont retrouvées dans des conditions favorables pour leur rétention et n'ont donc pu sortir de la colonne, expliquant la faible magnitude. On comprend bien l'élution des polluants (nanoparticules et bactéries) dépend donc de l'écoulement et de sa nature (homogène versus hétérogène) ainsi que de la réactivité de la matrice vis-à-vis des polluants (i.e., la capacité de cette matrice à adsorber ou retenir les polluants).

La modélisation numérique a été réalisée pour simuler l'écoulement et le transfert des traceurs et potentiellement des polluants (Figure 19). L'étude numérique ici se base sur la résolution des équations d'écoulement classique en milieu poreux (lois de Darcy-Brinckman dans la matrice poreuse et de Navier Stockes dans le macropore). La modélisation a permis de bien retranscrire la dynamique observée, avec une parfaite correspondance entre les courbes d'élution observées et modélisées et en cohérence parfaite avec les images IRM caractérisant le transfert des solutés dans la colonne. Les images modélisées montrent bien le déplacement en premier lieu dans le macropore (couleur dans le macropore avec déplacement rapide) et dans la matrice (front horizontal). Les solutés dans le macropore sont légèrement déviés et forment un cône s'étendant vers les parois des colonnes en raison du filtre placé en tête de colonne (Figure 19 PV2-PV3). Le cône finit par s'évaporer assez rapidement (Figure 19, PV4). Cette séquence (PV1-PV4) illustre bien la trajectoire des solutés ayant emprunté le premier pic (Figure 3a, courbe bleue). Le second pic est exclusivement formé par les solutés ayant transité par la matrice (Figure 19 PV4-PV8).

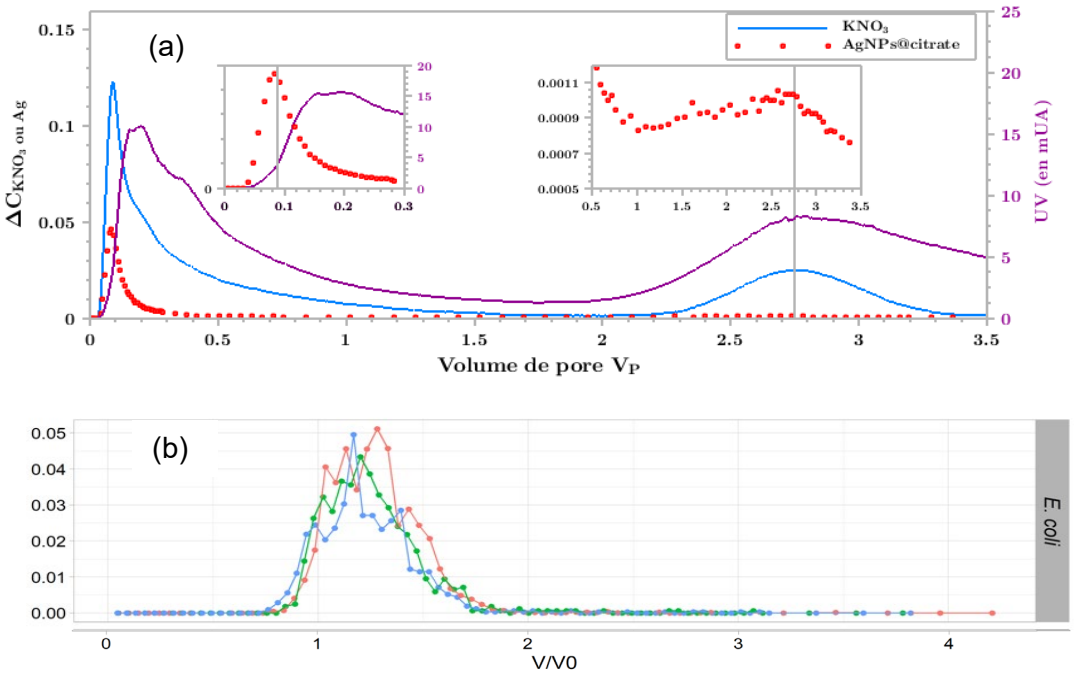


FIGURE 18 (A) ELUTION DES NANOPARTICULES D'ARGENT (POINTS ROUGES), DU TRACEUR (LIGNE BLEUE) ET FLUORESCENCE UV (LIGNE VIOLETTE) POUR UNE COLONNE MACROPORÉE ET (B) ÉLUTION DES BACTÉRIES DANS UNE COLONNE HOMOGÈNE

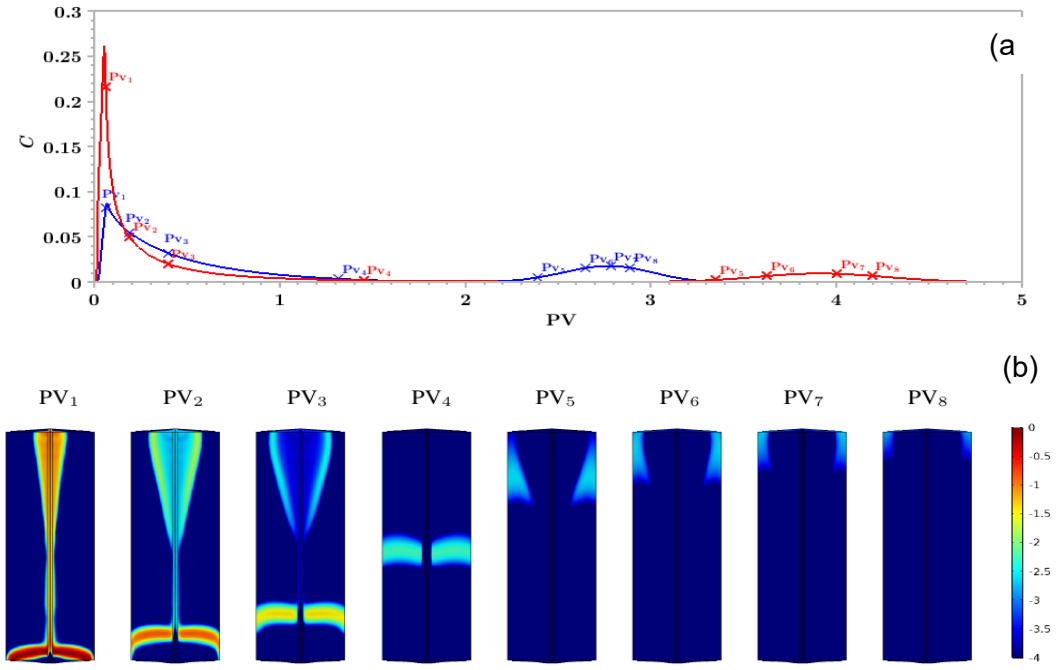


FIGURE 19 : (A) ELUTION MODÉLISÉE DU GADOLINIUM (COURBES BLEUE ET ROUGE) ET MODÉLISATION DE LA CONCENTRATION DANS LE MILIEU POREUX EN FONCTION DU TEMPS ET DU VOLUME ÉLUÉ (PV).

L'analyse des données (expérimentation et observation IRM) montrent bien que les solutés ne se restreignent pas à un compartiment macropore ou matrice. Des échanges ont lieu entre ces deux zones, tel que démontré ci-dessus. Ces échanges sont fondamentaux dans la mesure ou une partie des polluants conduits par le macropore peuvent finir par passer par la matrice et donc s'adsorber ou se faire retenir à ce niveau. Les données avec le macropore plein (aucun échange permis) ont en revanche donné lieu à deux élutions à travers le macropore et la matrice bien décorrélées et déconnectés. Ces travaux montrent aussi l'importance de considérer tous les aspects expérimentaux,

incluant la géométrie et la spécificité des colonnes (dont les filtres) qui déterminent la réponse globale. En effet, le filtre joue un rôle non négligeable.

5.1.3.4 Production scientifique

Ces travaux ont donné lieu à plusieurs conférences présentées à l'EGU (European Geoscience Union, https://www.egu.eu/) et des productions scientifiques publiées ou en cours d'écriture et de soumissions. On notera en particulier les articles de S. Batany et J. Raimbault pour l'aspect transfert (Raimbault et al., 2020) et l'article de Y. Colin (Colin et al., 2020) pour la caractérisation des bactéries dans les eaux pluviales. Par ailleurs, ces travaux ont permis à S. Batany et J. Raimbault de soutenir leurs thèses.

Batany, S., Peyneau, P.-E., Lassabatère, L., Béchet, B., Faure, P., Dangla, P., 2019. Interplay between molecular diffusion and advection during solute transport in macroporous media. Vadose Zone J. 18. https://doi.org/10.2136/vzj2018.07.0140

Colin, Y., Bouchali, R., Marjolet, L., Marti, R., Vautrin, F., Voisin, J., Bourgeois, E., Rodriguez-Nava, V., Blaha, D., Winiarski, T., Mermillod-Blondin, F., Cournoyer, B., 2020. Coalescence of bacterial groups originating from urban runoffs and artificial infiltration systems among aquifer microbiomes. Hydrol. Earth Syst. Sci. 24, 4257–4273. https://doi.org/10.5194/hess-24-4257-2020.

Raimbault, J., Peyneau, P.-E., Courtier-Murias, D., Bigot, T., Gil Roca, J., Béchet, B., Lassabatère, L., 2020. Investigating the impact of exit effects on solute transport in macropored porous media. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 2020, 1–20. https://doi.org/10.5194/hess-2020-494.

Thèses :

Batany, S., 2016. Influence d'un macropore sur l'écoulement et le transport de solutés en milieu poreux: expérimentations sur sol modèle macroporé et simulations numériques. Université de Paris Est, Paris.

Raimbault, J., 2021. Polluants émergeants et infiltration des eaux urbaines : processus de transfert de nanoparticules en milieu poreux hétérogène. Université de Nantes, Nantes.

5.1.3.5 Collaborations

Ces travaux ont été l'opportunité de faire travailler ensemble notamment trois laboratoires dont deux (LEHNA IAPHY et LEM) activement impliqués au sein de l'OTHU et un laboratoire nantais (UGE, LEE) fortement impliqué au SAP (Site Atelier pluridisciplinaire), ceux deux observatoires faisant partie du SNO Observil (https://osuna.univ-nantes.fr/services-dobservation/sno-observil-1). Ces relations inter-observatoires sont un plus évident. Ces travaux ont aussi permis de mettre en place le banc d'injection de bactéries en colonnes de laboratoire au LEM, ce qui était l'un des objectifs du projet INFILTRON. Les dispositifs colonnes de l'IGE ont aussi été utilisés avec profit.

5.1.3.6 Perspectives

Ces travaux offrent des avancées significatives pour la compréhension des transferts au sein des systèmes macroporés en vue de leur prise en compte dans l'étude du transfert des polluants dans la zone non saturée et de la gestion des systèmes de bio-rétention – bio-infiltration. Dans la suite de ces travaux, des études similaires vont permettre de comparer divers types de polluants et de bactéries dans des systèmes variés. L'outil colonne permet de varier les configurations en termes de diamètre du macropore, sa position du macropore dans le milieu, de son degré de connexion avec le milieu (le macropore peut être fermé dans un de ses côtés ou être coupé en deux par positionnement d'une strate textile). Ces travaux vont permettre aux équipes ayant collaboré sur ce projet de continuer leur collaboration.

A RETENIR

L'outil colonne de laboratoire a été développé et utilisé pour quantifier le transfert de polluants émergeants (nanoparticules et bactéries) dans les sols étudiés. Les colonnes de laboratoire s'avèrent un outil précis et puissant pour mettre en évidence les modalités de transferts des polluants émergeants dans les sols homogènes et hétérogènes et pour identifier les mécanismes physiques et géochimiques responsables de ces transferts. Leur application au contexte systèmes de bio-rétention bio-infiltration s'est avéré particulièrement pertinent.

5.1.4 CARACTÉRISATION DES SÉDIMENTS DES BASSINS DE RETENUE-DÉCANTATION ET MODÉLISATION DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LEUR CONTAMINATION

EQUIPES: INSA DEEP, LEM VetAgro Sup UCLB , ISA UCBL , ENTPE IAPHY

5.1.4.1 Problématiques et questions scientifiques

La contamination des eaux pluviales urbaines est avérée depuis plusieurs années. On sait par exemple que les métaux, les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP, et certaines bactéries pathogènes sont véhiculés sous forme majoritairement particulaire dans les eaux pluviales urbaines. L'apparition de plusieurs contraintes règlementaires (en particulier la Directive Cadre Européenne sur l'Eau - DCE) et la perception des risques écotoxicologiques poussent plusieurs collectivités à mettre en place des techniques dites alternatives pour la gestion de ces eaux contaminées. L'une de ces techniques consiste à stocker l'eau pendant un certain temps afin de permettre une dépollution par décantation. Ces ouvrages sont appelés bassins de retenue-décantation des eaux pluviales. Les bassins de retenue-décantation ont trois fonctions principales : stocker les eaux pluviales pour éviter les inondations à l'aval, favoriser la décantation, éviter la remise en suspension et la remobilisation des polluants décantés vers l'aval. Les dépôts ainsi constitués représentent des zones de contamination importante. Ces ouvrages sont des écosystèmes à part entière avec un habitat faunique très riche et un risque très élevé de contamination des milieux aquatiques superficiels ou souterrains vers lesquels les eaux transitant par ces systèmes sont rejetées. En outre, ces ouvrages nécessitent un entretien et une gestion particulière, impliquant des expositions des techniciens lors d'opérations diverses (curages). Il est donc indispensable de maîtriser les mécanismes à la base du comportement hydrodynamique de ses ouvrages, de caractériser les contaminants présents dans le dépôt et de prédire la distribution des contaminants dans le but de mieux concevoir et gérer de manière durable les sédiments accumulés au sein de ces ouvrages.

L'ouvrage étudié dans le cadre de cette étude est le Bassin de retenue-décantation Django Reinhardt (BDR) situé à Chassieu et connecté à un bassin d'infiltration. Trois objectifs sont visés :

- Mesures expérimentales du champ de vitesse au niveau de la surface libre du bassin à l'aide de la méthode LSPIV (Large-Scale particle image velocimetry, en anglais) pour une meilleure compréhension du comportement hydrodynamique et la prédiction des zones de dépôt
- Modélisation de la décantation et de la remise en suspension des sédiments contaminés accumulés et détermination des zones où les sédiments pourraient facilement être lessivés et transférés vers le bassin d'infiltration à l'aval.

- Détermination des zones du bassin où les sédiments sont les plus contaminés grâce à l'intégration de la relation entre la vitesse de chute et les teneurs en métaux dans les modèles multiphasiques de transport solide.

5.1.4.2 Démarche scientifique et méthode

Afin de caractériser les polluants particulaires à l'entrée du Bassin de retenue-décantation Django Reinhardt (BDR), un nouveau dispositif composé d'un leaping-weir et d'un hydrocyclone (LW- HTS) a été conçu (figure 1). Le LW-HTS opère une séparation solide-liquide dans les eaux pluviales grâce à la force centrifuge générée par le mouvement rotatif de l'eau du fait d'une entrée tangentielle au niveau de l'hydrocyclone. Le dispositif LW-HTS a de bonnes performances de piégeage pour les particules les plus grossières et que quasiment la totalité des particules entrant au niveau du leaping-weir est piégée dans la boîte de piégeage connectée à l'hydrocyclone. Le LW-HTS est ensuite utilisé pour l'échantillonnage de sédiments à l'entrée de BDR et les caractéristiques (granulométrie notamment) des sédiments semblent comparables à celles des particules piégées dans le bassin.

FIGURE 1. DISPOSITIF D'ÉCHANTILLONNAGE DES SÉDIMENTS À L'ENTRÉE DU BDR (DISPOSITIF COMPOSÉ D'UN LEAPING WEIR, HYDROCYCLONE ET UN CAISSON DE PIÉGEAGE DE SÉDIMENT).

Concernant l'analyse du comportement hydrodynamique du BDR à l'aide de la LSPIV, la méthode est tout d'abord évaluée en comparant ses résultats avec ceux obtenus à l'aide du vélocimètre acoustique Doppler (ADV) à l'échelle pilote (utilisation du pilote DSM – dispositif de surveillance et de maîtrise des flux). La technique LSPIV a été ensuite appliquée pour mieux comprendre les directions principales (recirculations) des écoulements et pour expliquer la distribution spatiale des sédiments dans le BDR.

Sur la base du modèle hydrodynamique évalué, des simulations de la remise en suspension des sédiments en place et de leur décantation sont réalisées. En effet, les dépôts contaminés peuvent être remis en suspension en fonction des conditions hydrodynamiques et transportés ailleurs dans le bassin ou vers la sortie et alimenter le bassin d'infiltration. Les pourcentages de sédiments remis en suspension et ceux qui s'échappent du bassin pour différentes conditions de flux sont quantifiés.

Étant donné que les dépôts contaminés peuvent avoir une influence sur la qualité des eaux superficielles et souterraines à l'aval, les mécanismes de transport de ces sédiments et la répartition spatiale de la contamination dans le bassin ont été investiguées. La corrélation entre les teneurs en Fe (choisi comme indicateur de cette contamination dans le cadre de cette étude), Cr, Cu, Ni, Pb dans les

sédiments et la vitesse de chute est tout d'abord établie. Un vaste ensemble de données (209 groupes d'échantillons, 5 campagnes, 6 points d'échantillonnage comprenant l'entrée et le fond du bassin) a été exploité pour la recherche de corrélations. La relation établie entre la teneur en Fe et la distribution de la vitesse de chute des sédiments a été intégrée dans un modèle 3D multiphasique permettant de simuler la distribution spatiale de la contamination des sédiments présents dans un bassin de retenue décantation.

5.1.4.3 Résultats

Les résultats l'analyse du comportement hydrodynamique à l'aide de la LSPIV mettent en evidence principalement une zone au centre du bassin avec des vitesses de surface faibles et une recirculation centrale. Cette recirculation centrale rallonge le temps de séjour et entraine la sédimentation. Les mesures de champ de vitesse de surface basées sur LSPIV peuvent être utilisées pour évaluer des modèles numériques et prédire les zones de dépôt de sédiments.

Concernant la modélisation de la remise en suspension, comme attendu, les résultats montrent que les particules fines ont plus tendance à se remettre en suspension et à être transférées vers la sortie. Les particules accumulées aux points P04 et P07 (voir la localisation des points à la Figure 20) sont plus susceptibles de se remobiliser par rapport aux sédiments situés à d'autres endroits du bassin, ce qui est cohérent avec le fait que ces deux points sont situés à la fin des trajectoires des particules. Ainsi les points concernés devraient être les zones préférentielles à curer.

Les teneurs en Fe et en Pb ont une corrélation très significative avec la vitesse de chute, suivies des teneurs en Cu et Cr. Comme attendu, les variabilités spatio-temporelles sont observées pour les vitesses de chute et pour les teneurs en métaux. Une équation décrivant la corrélation entre la teneur en Fe et la vitesse de chute est obtenue et permet de prédire la distribution spatiale des teneurs en Fe dans le BDR (voir Figure 20). Compte tenu de sa forte relation avec les métaux lourds, le Fe peut être considéré comme un bon indicateur de la contamination des sédiments en certains polluants métalliques piégés. La Figure 20 montre la distribution spatiale de la teneur en Fe dans le BDR. P07 et P02 sont fortement contaminés, ce qui devrait être les zones nécessitant une gestion spécifique. Les résultats obtenus constituent une aide à la conception de ces ouvrages et à une meilleure gestion des sédiments accumulés.

En conclusion, les résultats montrent que P02, P04, P07 représentent des zones où les sédiments sont fortement contaminés et pourraient facilement être remis en suspension et s'échapper du bassin. Ces zones doivent être gérées de façon prioritaire.

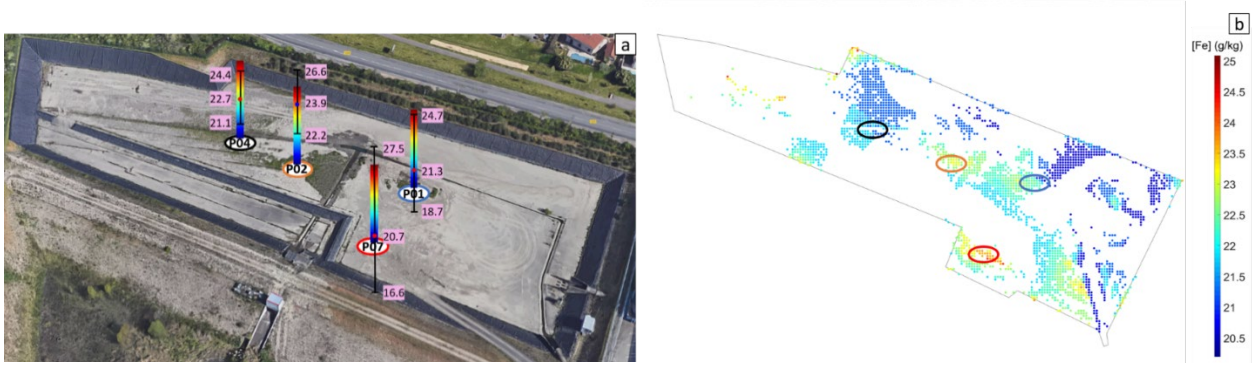


FIGURE 20 (A) TENEURS EN FE MESURÉES - [FE] EN G/KG DE MATIÈRE SÈCHE) AUX POINTS P01, P02, P04, P07 – INDICATION DU MINIMUM, MOYENNE ET MAXIMUM, (B) DISTRIBUTION SIMULÉE DES TENEURS EN [FE] – LES POINTS P01, P02, P04, P07 SONT ENTOURÉS EN BLEU, ORANGE, NOIR ET ROUGE, RESPECTIVEMENT.

L'utilisation du Fe comme indicateur et de la modélisation CFD ou d'une autre approche de modélisation semblent appropriée pour localiser les zones hautement contaminées nécessitant une gestion spécifique. Par conséquent, moins de quantités de sédiments seront extraites et pourraient être gérées directement *in situ*. Cette nouvelle stratégie de gestion contribue également à une réduction des coûts liés au transport, au traitement et à la valorisation des sédiments.

5.1.4.4 Production scientifique

a) Revues internationales

Zhu, X., Lipeme Kouyi, G. (2019). An analysis of LSPIV-based surface velocity measurement techniques for stormwater detention basin management. Water Resources Research, 55(2), 888-903. https://doi.org/10.1029/2018WR023813

Zhu, X., Chatain, V., Gautier, M., Blanc-Biscarat, D., Delolme, C., Dumont, N., ... & Lipeme Kouyi, G. (2019). Combination of Lagrangian Discrete Phase Model and sediment physico-chemical characteristics for the prediction of the distribution of trace metal contamination in a stormwater detention basin. Science of The Total Environment, 134263. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134263

Hexiang, Y., Vosswinkel, N., Ebbert, S., Lipeme Kouyi, G., Mohn, R., Uhl, M., & Bertrand-Krajewski, J.-L. (2020). Numerical investigation of particles' transport, deposition and resuspension under unsteady conditions in constructed stormwater ponds. *Environmental Sciences Europe*, 32, 76. Open access https://doi.org/10.1186/s12302-020-00349-y

Wiest, L., Baudot, R., Lafay, F., Bonjour, E., Becouze-Lareure, C., Aubin, J.-B., Jame, P., Barraud, S., Lipeme Kouyi, G., Sébastian, C., Vulliet, E. (2018). Priority substances in accumulated sediments in a stormwater detention basin from an industrial area. *Environmental Pollution*, 243, 1669-1678. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.138

Becouze-Lareure, C., Lipeme Kouyi, G., Gonzalez-Merchan, C., Bazin, C., Sebastian, C., Barraud, S., Perrodin, Y. (2018). Spatial and temporal dynamics of sediment ecotoxicity in urban stormwater retention basins: Methodological approach and application to a pilot site close to Lyon in France (2018). *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 53 (13), 1123-1130. https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1529894

Bernardin-Souibgui, C., Barraud, S., Bourgeois, E., Aubin, J.-B., Becouze-Lareure, C., Wiest, L., Marjolet, L., Colinon, G., Lipeme Kouyi, G., Cournoyer, B., Blaha, D. (2018). Incidence of hydrological, chemical, and physical constraints on bacterial pathogens, Nocardia cells, and fecal indicator bacteria trapped in an urban stormwater detention basin in Chassieu, France. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (25), 24860-24881. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1994-2

b) Revues nationales

Lipeme Kouyi, G., Barraud, S., Becouze-Lareure, C., Blaha, D., Perrodin, Y., Wiest, L., Aubin, J.-B., Toussaint, J.-Y., Vareilles, S., Mandon, C., Bernardin-Souibgui, C., Marti, R., Bourgeois, E., Marjolet, L., Cournoyer, B. (2018). Caractérisation des sédiments d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales et éléments pour la gestion. *Techniques Sciences & Méthodes*, 65-75.

c) Actes de conférences internationales - Présentation orale

Zhu X., Lipeme Kouyi G. (2017). Use of free surface velocity measurements in a stormwater detention basin to validate CFD model, 23rd EJSW – Monitoring urban drainage systems, Chichillianne, 15-20 May 2017.

Zhu X., Lipeme Kouyi G., Becouze-Lareure C, Barraud S, Bertrand-Krajewski J.-L. (2017). 3D numerical modelling of resuspension and remobilization of sediments in a stormwater detention basin. Aquaconsoil, Lyon, 26-30 june 2017.

Zhu X., Miguet S., Lipeme Kouyi G. (2017). Application of Large Scale Particle Image Velocimetry to measure surface velocity field in a stormwater detention basin and to validate CFD model. ICUD, Prague, 10-15 September 2017.

Haboub K., Zhu X., Maruéjouls T., Bertrand-Krajewski J-L., Vanrolleghem P.A. (2019). A new approach of measuring TSS settling velocity based on turbidity measurements. 9th International Conference on Sewer Processes & Networks - SPN9, Aalborg, Denmark, 27-30 August.

5.1.4.5 *Collaborations*

Collaboration avec le LIRIS Lyon 2 (Pr. Serge Miguet).

5.1.4.6 **Perspectives**

Poursuite des analyses de corrélations entre le fer et vitesses de chute des sédiments dans d'autres bassins de l'Othu. Tests de bioindicateurs pour caractériser la contamination des sédiments (projet OFB en préparation porté par l'interobservatoire URBIS).

▸ A RETENIR

- Mise au point d'un dispositif de type Leaping Weir couplé à un hydrocyclone pour échantillonner les sédiments des eaux pluviales à l'entrée d'un bassin de retenue- décantation
- Utilisation de la technique LSPIV pour la caractérisation du comportement hydrodynamique du bassin et identifier les zones de dépôt.
- Développement d'un modèle multiphasique 3D permettant de simuler la distribution spatiale de la contamination en métaux des sédiments
- Le Fer semble être un bon indicateur de contamination des sédiments permettant de prioriser le curage (stratégie de dragage ciblé)

5.1.5 DÉVELOPPEMENT ET ÉVALUATION DE STRATÉGIES DE GESTION DURABLE DES SÉDIMENTS DE BASSINS D'INFILTRATION ET DE RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES – PROJET DESIR

EQUIPES : INSA DEEP, LEM VetAgro Sup, ENTPE LEHNA, BRGM, GRAIE, PROVADEMSE INSAVALOR

5.1.5.1 Problématiques et questions scientifiques

Les bassins de rétention et d'infiltration (BR et BI) sont utilisés comme technique alternative de gestion des eaux de pluie depuis bientôt 30 ans. Leur fonctionnement normal les amène à accumuler des matières en suspension sous forme de sédiments. Les gestionnaires de ces ouvrages considèrent en général qu'il est nécessaire de curer régulièrement le lit de ces ouvrages pour maintenir leurs fonctionnalités d'origine, le stockage temporaire des eaux de pluie et/ou leur infiltration. Cependant, en l'absence de données consolidées et de réglementation spécifique, il n'y a aucune recommandation pour la gestion de ceux-ci. De plus, les sédiments excavés (lors des opérations de curage) tombent immédiatement sous le coup de la réglementation des déchets, limitant ainsi les possibilités de traitement et de valorisation. La gestion de ces sédiments représente ainsi un coût important pour les gestionnaires, alors même qu'ils peuvent constituer une ressource minérale potentielle dans un contexte de soutenabilité de l'exploitation des ressources naturelles. L'accumulation au fil du temps de contaminants métalliques et métalloïdes (Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, As…) et organiques (HAP, PCB, PCDD/F, alkylphénols, pesticides…) représente un verrou majeur limitant les filières de valorisation. Ces filières de gestion, traitement et/ou valorisation, sont actuellement de plus mal identifiées. Plusieurs objectifs résultaient donc de ce constat :

i. La nécessité d'identifier les principaux paramètres influençant la qualité géochimique des sédiments urbains, et en particulier leur contamination. Les caractéristiques du bassin versant jouent-elles un rôle prépondérant ? Cette question permet d'envisager par la suite une reproductibilité des solutions à différentes échelles, ainsi que la possibilité de mutualiser différents sédiments.
ii. Déterminer les fonctions de ces sédiments pouvant être considérés comme des néosols (fonction biologique, écologique, esthétique, sociétale…), afin de valoriser ces espaces souvent considérés comme marginaux au sein des espaces urbains, en espaces intégrés et pourvoyeurs de fonctions écosystémiques
iii. Identifier les filières de gestion et de valorisation de ces résidus qui sont employées actuellement, et étudier les possibilités de valorisation les plus adaptées.

5.1.5.2 Démarche scientifique

La démarche suivie dans ce projet est d'établir une base de connaissances à partir de l'état actuel des connaissances sur le sujet, en particulier sur la géochimie de ces systèmes et des sédiments qui s'y accumulent. L'étude statistique de données existantes doit permettre de comprendre la variabilité intra- et inter-sites qui caractérise les systèmes, et le cas échéant d'identifier les paramètres susceptibles de la régir. Cette première partie est complétée également de la mise en place d'expérimentations sur des points verrous qui auront été identifiés.

La seconde partie du projet est dédiée à la gestion actuelle de ces sédiments urbains. Une première étape consiste à identifier les pratiques opérationnelles, en interrogeant des gestionnaires de différentes origines ou de différents métiers : services des municipalités, chercheurs institutionnels, professionnels de la gestion des déchets. Cette enquête qualitative permet ensuite, lors d'une seconde étape, la création de scénarios de gestion à partir d'un état des lieux actuel, intégrant autant que possible des réflexions menées sur la possibilité de valorisation de ces matériaux dans différents domaines (génie civil, technique routière, etc…). Enfin, dans une troisième étape, une méthodologie de comparaison multicritères est ensuite mise en œuvre afin de servir d'outil d'aide à la décision pour les gestionnaires.

5.1.5.3 Résultats

Sur la géochimie des sédiments urbains, trois aspects particuliers de ces sédiments ressortent : leur fort contenu en matière organique fraîche et réactive, la granulométrie fine des particules qui le constituent, et une poly-contamination inorganique et organique élevée. Ces caractéristiques rendent donc leur gestion parfois compliquée pour les gestionnaires face au manque de visibilité sur les filières adéquates de gestion. En particulier lorsqu'il s'agit de minimiser les volumes envoyés en Installations de Stockage de Déchets pour favoriser le réemploi et la valorisation. Une démarche d'interrogation qualitative des gestionnaires a montré les principales problématiques qu'ils rencontrent face à la gestion de ces sédiments : une gestion souvent empirique et pragmatique, avec peu de moyens financiers et humains, impliquant une grande hétérogénéité des pratiques à l'échelle nationale mais aussi sur un même territoire. Le corollaire de ces problématiques est un accès limité à des données de bonne qualité, empêchant un état des lieux fiable et quantitatif. Globalement, il y a très peu de visibilité sur les filières employées pour la gestion des sédiments urbains, leur qualité ou les quantités qui transitent, sont traitées, valorisées ou éliminées. De manière générale, la revue de ces pratiques permet d'envisager deux axes de réflexion. D'une part, une gestion in-situ optimisée des sédiments, à travers la végétalisation des bassins et des dispositifs de prétraitements. Cet aspect a pour objectif d'appréhender les ouvrages et les sédiments dans une vision de gestion intégrée, pouvant permettre de minimiser les curages pour favoriser une approche plurifonctionnelle de ces bassins. D'autre part, la gestion ex-situ est celle qui a lieu lorsqu'il y a curage du fond des bassins. Un état des pratiques actuelles montre la diversité des voies de traitements et des filières de gestion, bien que peu de travaux soient disponibles sur la valorisation spécifique des sédiments urbains. Un diagramme de synthèse de la gestion des sédiments urbains a été proposé (Figure 21).

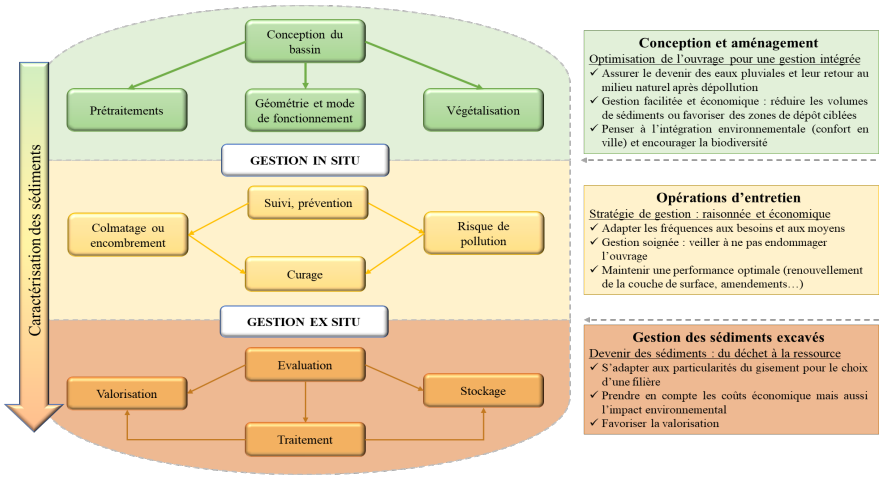


FIGURE 21: DIAGRAMME DE SYNTHÈSE DE LA GESTION DES SÉDIMENTS URBAINS.

Afin de guider les gestionnaires dans leur processus de décision, nous avons orienté nos recherches vers la formulation d'un outil d'aide à la décision, un outil opérationnel permettant de nous aider dans le choix de ces filières. Prenant en compte la diversité de gestion envisageable et les différents critères d'évaluation de natures variées pouvant influencer le choix d'une filière, nous avons choisi d'utiliser une méthode d'analyse multicritère. 12 scénarios ont été construit à partir de briques élémentaires similaires (gisement, curage, analyses) et différentes (prétraitement(s), traitement, valorisation ou élimination) (Figure 22. Cette analyse multicritère, dont les résultats sont à interpréter avec prudence, met en avant certaines filières, notamment celles employant des sédiments inertes. Elle fait également ressortir certaines solutions de gestion des sédiments non inertes, telles que le traitement en station d'épuration ou l'utilisation d'unités pilotes tel qu'ATTRISED. Le mauvais classement de solutions à priori intéressantes (plateformes de regroupement et de traitement avant valorisation) met en évidence la dépendance de l'analyse aux données nécessaires, à la définition des objectifs sous forme de critères et d'indicateurs, et aux priorités accordées aux différents critères par les décideurs. Ainsi, la portée de cette analyse est à nuancer devant le manque de données disponibles sur le sujet, et l'applicabilité des résultats en conditions réelles (leur transfert opérationnel) dépendra fortement d'une meilleure accessibilité des données (ou de leur production) pour réaliser une analyse plus fine et plus pertinente.

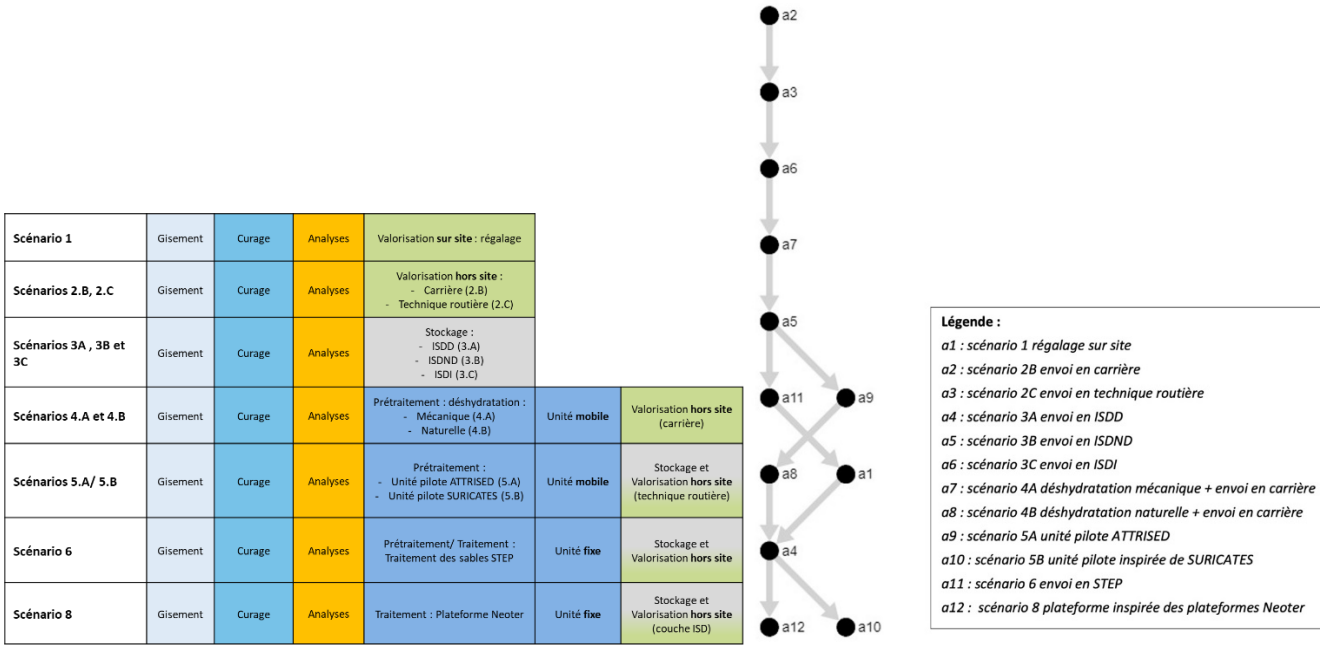


FIGURE 22 : 12 SCÉNARIOS CONSTRUITS POUR L'AMC AVEC LES DIFFÉRENTES BRIQUES QUI LES COMPOSENT, ET RELATIONS FINALES DE SURCLASSEMENT.

5.1.5.4 Production scientifique

En premier lieu, deux livrables ont été réalisés pour l'Agence de l'Eau au titre des attendus du projet. Le premier concerne les tâches 1 et 2 (État des lieux sur les sédiments urbains et leur gestion, et analyses complémentaires). Le second livrable présente les résultats des tâches 3 et 4 (scénarios de gestion, et analyse multicritère).

D'autre part, des articles sont en cours de rédaction (pour soumission dans des revues scientifiques internationales), et notamment :

- Un article sur l'analyse des données issues du programme FAFF-GESSOL, avec un focus sur l'impact des bassins versants.
- Un article issu du livrable 1, prévu dans Techniques Sciences et Méthodes, faisant l'état des lieux des modes de gestion des sédiments issus de l'assainissement pluvial.
- Un article issu du second livrable, prévu dans Environnement, Industrie et Déchets, autour de l'intérêt et des limites de l'analyse multicritères pour le choix d'un scénario de gestion des sédiments urbains.
- Un dernier article issu de la thèse de Qiufang Zhan, issu des expérimentations complémentaires portant sur la matière organique dans les sédiments urbains.

La production scientifique comprend également la participation à plusieurs webinaires et conférences, au titre desquels :

09/11/2020 – Webinaire INDURA, avec le CEREMA et APRR : « Sédiments pluviaux d'assainissement urbain et autoroutier : connaissances et gestion actuelle »

21/01/2021 – Matinée académique AXELERA "Les matières solides des eaux résiduaires et pluviales : traitement et valorisation", organisée avec le pôle commun de recherche RESEED

18/03/2021 – 5éme café Echanges / Discussions OTHU : « Les sédiments de bassins de rétention et infiltration des eaux pluviales : état de l'art des techniques de gestion »

27/05/2021 – 9émes journées doctorales en hydrologie urbaine (JDHU), conférence nationale sans actes.*Julien Couvidat, Qiufang Zhan, Vincent Chatain, Cécile Delome, Mathieu Gautier, Gislain Lipeme Kouyi, Thierry Winiarski (2021). La signature géochimique urbaine des sédiments de bassins d'infiltration et de rétention des eaux pluviales. 9émes journées doctorales en hydrologie urbaine, Strasbourg (online), 26-27 mai 2021.*

08/07/21 – Goldschmidt 2021, conférence internationale sans actes.*Julien Couvidat, Qiufang Zhan, Vincent Chatain, Laëtitia Bacot, Mathieu Gautier, Damien Tedoldi, Gislain Lipeme Kouyi, Cécile Delome, Thierry Winiarski (2021). Is there a specific pollution in sediments of urban stormwater basins? Goldschmidt 2021, Lyon (online), 04-08 juillet 2021.*

24/09/2021 – CafeT SNO Observil, "Spécificités des sédiments de l'assainissement pluvial et possibilités de valorisation"

<u>Stages et rapports :</u>

Milena Chabert (2020). Gestion opérationnelle des sédiments de l'assainissement pluvial – Etat de l'Art. Mémoire de 4eme année de Génie Energétique et Environnement, laboratoire DEEP, INSA de Lyon.

Morgane Bouchard (2021). Gestion opérationnelle des sédiments de l'assainissement pluvial. Mémoire de SIRD, 4eme année de Génie Energétique et Environnement, laboratoire DEEP, INSA de Lyon.

Titouan Bouëtard-Peltier (2021). Caractérisation bio-physico-chimique et potentiel d'évolution de la matière organique des sédiments de l'assainissement pluvial. Rapport de stage de deuxième année de génie Biologique (IUT Lyon 1), laboratoire DEEP, INSA de Lyon.

5.1.5.5 Collaborations

Ce projet est réalisé dans le cadre de l'accord-cadre OTHU-Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, et est effectué en collaboration avec le laboratoire DEEP-INSA, le GRAIE, le LEHNA-ENTPE, VetAgroSup, le BRGM, PROVADEMSE et la métropole du Grand Lyon.

5.1.5.6 Perspectives

Les résultats de ce projet ont permis de définir des perspectives pour la construction d'un second projet, plus ambitieux. En particulier :

La question des quantités de sédiments gérées chaque année dans les bassins se pose de manière évidente lorsqu'il s'agit d'identifier des filières susceptibles de les accueillir pour valorisation. Il paraît ainsi nécessaire d'une part de mieux consigner les volumes gérés, et d'ouvrir ces données aux acteurs de la recherche, et d'autre part d'identifier des méthodologies de modélisation de l'accumulation des sédiments dans les ouvrages. La question sur l'enregistrement et le partage des données se pose d'autant plus qu'elle est cruciale lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre des outils d'aide à la décision dont le modèle nécessite des données pour fonctionner correctement.

Concernant **l'aide multicritère à la décision en matière de choix de scénarios de gestion**, il est aussi possible de mettre en œuvre à l'échelle laboratoire ou pilote certains scénarios pour générer les données nécessaires, et les évaluer. Nous avons montré au cours de cette étude que peu de travaux se sont intéressés à la valorisation spécifique des sédiments urbains. Or, ces sédiments sont bien spécifiques par rapport à d'autres matériaux sédimentaires. Les scénarios de gestion inspirés d'autres types de sédiments nécessitent donc d'être testé sur ces matériaux différents.

L'impact du bassin versant urbain sur la qualité des sédiments a bien été identifié. Cependant, plusieurs questions restent en suspens, et en particulier la variabilité qualitative des sédiments entre les BI et BR. Une étude globale sur un bassin versant très étendu, tel que celui de la métropole de Lyon, pourrait permettre une analyse fine de la qualité globale des sédiments urbains dans différentes zones géographiques d'un même ensemble, et d'observer s'il subsiste des différences en fonction des types d'ouvrages, ou des environnements. De plus, il est souvent difficile d'évaluer la contamination de ces matériaux, car aucune législation ne statue sur leur qualité. Le développement d'une méthodologie pourrait ainsi permettre dans un premier temps de discriminer les qualités géochimiques des différents sédiments selon leur contamination, par exemple.

La question des prétraitements nécessite un approfondissement quant à leur utilité, et leur performance. De même, la question de l'impact de la végétation sur les sédiments, et sur le fonctionnement des ouvrages, semble une question cruciale quant aux fonctions écosystémiques qui peuvent être réalisées par ces ouvrages.

▶ **A RETENIR** - Le projet DESIR a permis de faire un état des lieux complet sur la gestion des sédiments urbains, issus de l'assainissement pluvial. Ce sédiment spécifique, et différent des autres matériaux sédimentaires, est pénalisé par des contaminants ubiquistes dans les environnements urbains. Sa gestion par des entités différentes et variées entraîne une grande hétérogénéité des pratiques. Très peu de données sont disponibles sur les qualités ou les quantités de sédiments urbains gérés en France. De même, la valorisation spécifique de ces sédiments est très minoritaire dans la littérature. Une méthodologie d'analyse multicritère a été développée pour comparer des scénarios de gestion réalistes à des fins d'aide à la décision. Les résultats mettent en avant des scénarios « économes » ou employant des sédiments inertes. Cependant, ces résultats sont à prendre avec précaution car le manque criant de données pour nourrir l'analyse dessine les limites de cette approche méthodologique.

5.2 Impacts environnementaux et sanitaires des effluents urbains (sur homme et milieux : nappes et rivières)

5.2.1 NAPPES : QUANTIFICATION DES PERTURBATIONS PHYSICO-CHIMIQUE & METROLOGIE

EQUIPES: E3S UCBL, LEM VetAgro Sup UCLB , ISA UCBL, Hors OTHU –IGE Université Grenoble

5.2.1.1 Problématiques et questions scientifiques

Étant donné l'importance cruciale des eaux souterraines pour l'alimentation des sociétés modernes, les techniques de recharge des nappes par des eaux de surface ont été largement développées pour réalimenter « artificiellement » les aquifères. En milieu urbain fortement imperméabilisé, la pratique visant à collecter les eaux de ruissellement pluvial et à les infiltrer vers la nappe a été développée initialement pour limiter les crues en ville lors d'épisodes orageux mais elle joue aussi un rôle significatif sur l'alimentation des nappes phréatiques. Néanmoins, les eaux de ruissellement pluvial sont chargées en contaminants chimiques et biologiques et peuvent produire des perturbations au niveau des nappes pouvant affecter à la fois la qualité de l'eau mais aussi le fonctionnement de l'écosystème souterrain.

Afin d'aboutir à des quantifications précises de ces perturbations, il a été nécessaire de développer des outils pertinents pour évaluer les transferts d'eau et de contaminants entre la surface et la nappe. En effet, les arrivées d'eau de ruissellement pluvial au niveau de la nappe créent des fluctuations des conditions physico-chimiques au niveau de la nappe (Figure 23) qui nécessitent d'adapter notre stratégie d'échantillonnage à cette dynamique. Cela est d'autant plus le cas pour les échantillonnages biologiques dont la dynamique de transfert est très difficile à appréhender. Dans ces conditions, le travail envisagé visait à définir une méthodologie permettant d'échantillonner les communautés microbiennes dans les nappes.

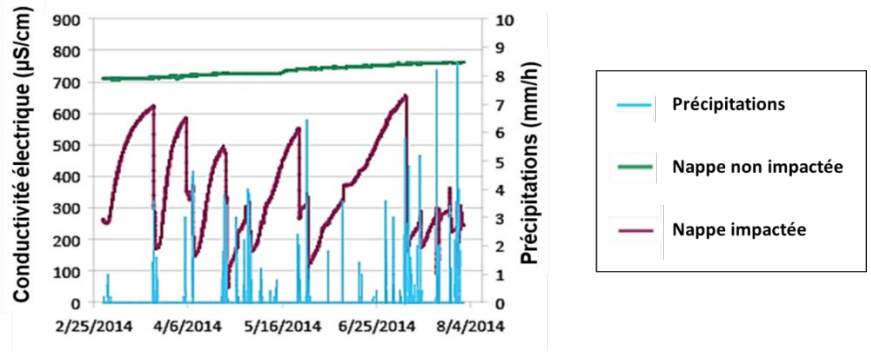


FIGURE 23 : DYNAMIQUE DE LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DANS UNE NAPPE SOUMISE (ZONE IMPACTÉE) OU NON (ZONE NON IMPACTÉE)
À UNE RECHARGE PAR DES EAUX DE RUISSELLEMENT PLUVIAL.

5.2.1.2 Démarche scientifique

Étant donnée la dynamique des systèmes souterrains impactés par l'infiltration des eaux pluviales (ex : baisse de conductivité électrique liée à l'arrivée d'eau pluviale faiblement minéralisée dans une eau de nappe très minéralisée,Figure 23), nos choix se sont portés sur l'utilisation de substrats artificiels permettant d'intégrer dans le temps les microorganismes présents dans la nappe. Ce développement méthodologique a été réalisé via un couplage d'une approche de laboratoire permettant de

sélectionner les supports inertes (billes de verre dépolies, billes d'argile et graviers) les plus efficaces pour capturer les communautés bactériennes dans trois eaux de qualité différentes et d'une approche de terrain permettant de faire le lien entre les communautés bactériennes présentes dans les eaux et celles retrouvées sur les supports sélectionnés préalablement en laboratoire.

Pour l'expérimentation en laboratoire, les trois matériaux « inertes » (billes de verre dépolies, billes d'argile, graviers) ont été incubés dans 3 types d'eau (eaux usées, eaux de surface, eaux souterraines) pendant 28 jours. Toutes les semaines pendant 28 jours, des échantillons ont été collectés pour mesurer le développement du biofilm (par mesure des protéines présentes sur les supports), son activité (par mesure des activités hydrolytique et déhydrogènasique des communautés présentes sur les supports) et la structure des communautés bactériennes retrouvés sur les supports (*par utilisation d'approches métabarcoding de la région V5-V6 du gène codant pour l'ARNr 16S).*

Sur le terrain, l'efficacité des supports sélectionnés en laboratoire a été testée en incubant pendant 10 jours les supports sur 6 sites d'infiltration. Pour chacun des 6 sites d'infiltration étudiés, la méthodologie retenue a consisté en l'utilisation de piézomètres situés en amont et en aval hydraulique de la nappe par rapport au bassin d'infiltration afin de disposer de zones en dehors et dans le panache d'infiltration généré par le bassin (Figure 24). A l'aide de ces piézomètres, il a été possible de collecter des eaux et d'incuber les supports. Des supports ont été aussi incubé dans les eaux de ruissellement arrivant dans les bassins afin d'avoir un test sur 3 types d'eau (eau de ruissellement, eau de nappe impactée et eau de nappe non impactée). Ainsi, les mesures réalisées sur les eaux et les supports sur les 6 bassins pour les trois types d'eau ont permis de tester in situ la capacité de notre méthodologie à capter les communautés bactériennes présentes dans la nappe.

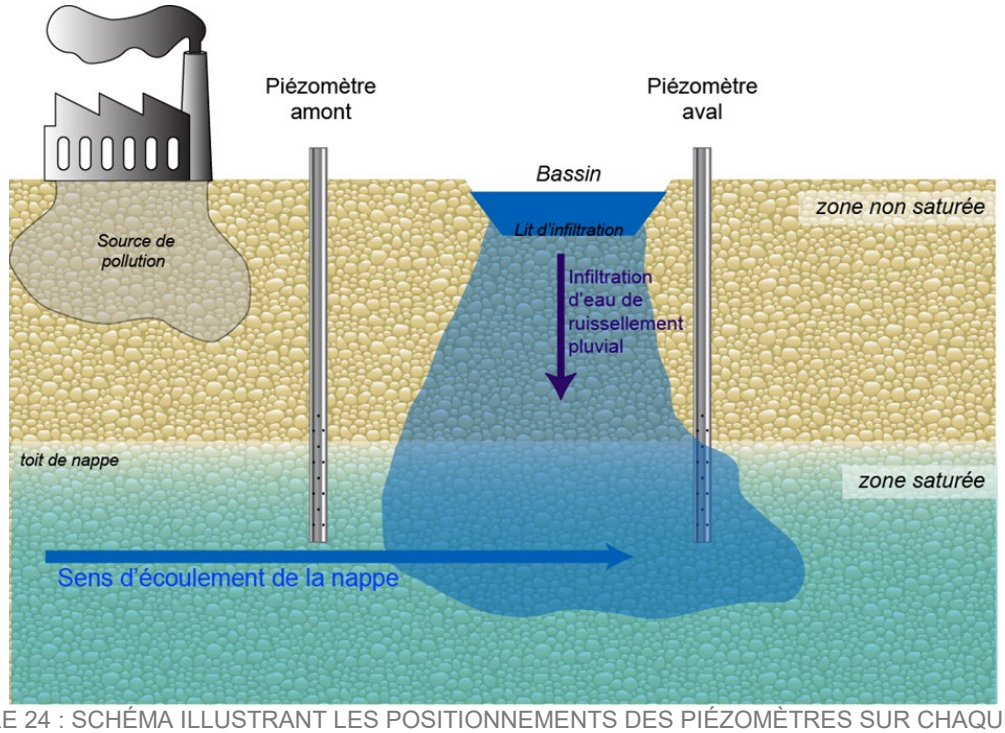


FIGURE 24 : SCHÉMA ILLUSTRANT LES POSITIONNEMENTS DES PIÉZOMÈTRES SUR CHAQUE SITE D'INFILTRATION AVEC UN PIÉZOMÈTRE NON IMPACTÉ (AMONT) ET UN PIÉZOMÈTRE IMPACTÉ (AVAL) PAR LE PANACHE D'EAU DE RUISSELLEMENT PLUVIAL DANS LA NAPPE.

5.2.1.3 **Résultats**

En laboratoire, il a été montré que, pour les trois types de supports, un diamètre de 8 mm était optimal pour faciliter le développement du biofilm (ce diamètre facilite le contact entre les supports et le milieu environnant). De plus, les supports billes d'argile et gravier étaient les plus efficaces pour faire pousser des biofilms dans trois types d'eau (eau de bassin d'infiltration, eau de nappe et eau usée, Figure 25). En zoomant sur les communautés bactériennes (par utilisation d'approches métabarcoding de la région V5-V6 du gène codant pour l'ARNr 16S), il a aussi été observé que les trois supports permettent de capturer et discriminer les communautés spécifiques des 3 eaux testées. Pour ces communautés, les trois supports capturent avec une efficacité d'au moins 80 % les taxons bactériens (OTUs) dans les eaux à partir du moment où 4 séquences de ces taxons ont été détectées dans les eaux. Cependant, il a été observé une meilleure efficacité des billes d'argile (8 mm) à refléter la diversité bactérienne présente que les billes de verre. De plus, le support argile étant bien plus facile à calibrer que le gravier naturel, ce support a été sélectionné pour effectuer des tests in situ.

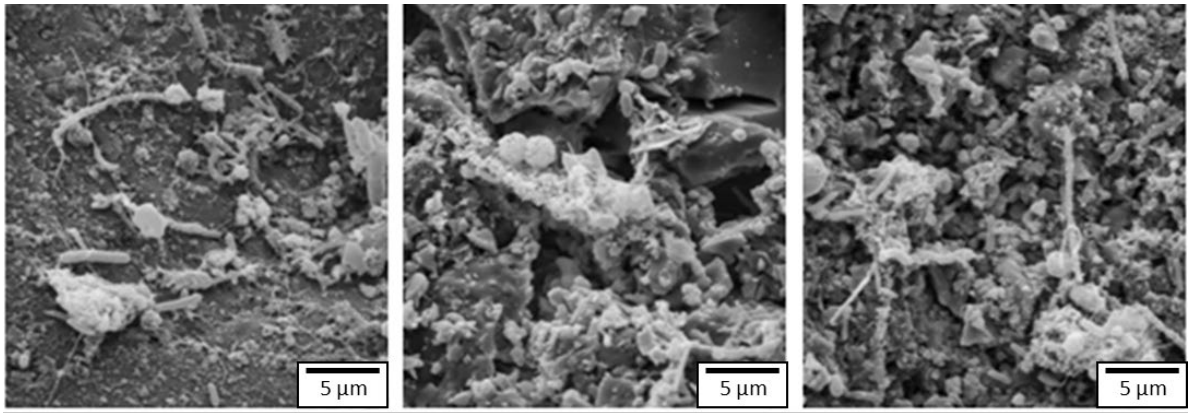


FIGURE 25 : IMAGES EN MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE (MEB) MONTRANT LE PLUS FORT DÉVELOPPEMENT MICROBIEN SUR LES SUPPORTS « BILLES D'ARGILE » (IMAGE DU MILIEU) ET GRAVIER (IMAGE DE DROITE) PAR RAPPORT À DES BILLES DE VERRE DÉPOLIES (IMAGE DE GAUCHE)

Sur la base de ces résultats, des billes d'argile d'un diamètre de 8 mm ont été incubées in situ en suivant le protocole présenté précédemment. Les résultats ont montré que la biomasse et l'activité des biofilms développés sur les billes d'argile étaient en lien avec les modifications physico-chimiques et en particulier la quantité de carbone organique dissous biodégradable dans la nappe. L'analyse de la structure génétique des communautés bactériennes retrouvées dans les eaux et sur les supports (métabarcoding sur la région V5-V6 du gène codant pour l'ARNr 16S) a permis d'observer l'impact de l'infiltration sur la diversité bactérienne. Nos résultats montrent que les billes d'argiles captent les groupes bactériens les plus abondants (en termes de nombre de séquences) dans les eaux. Le fait de travailler sur des supports incubés pendant 10 jours nous a aussi permis de détecter des groupes bactériens qui n'étaient pas détectés dans les eaux lors des 3 dates ponctuelles de collecte.

Au-delà de ce test méthodologique, nos résultats ont montré que la méthode était efficace pour détecter des différences de structure de communauté microbienne entre les types d'eau. Plus spécifiquement et en lien avec la quantité de carbone organique dissous biodégradable apporté par l'infiltration des eaux pluviales, il apparait que les communautés microbiennes sont plus abondantes, plus actives et plus diversifiées dans la nappe impactée par l'infiltration d'eau de ruissellement pluvial en comparaison avec la nappe non impactée (Figure 26).

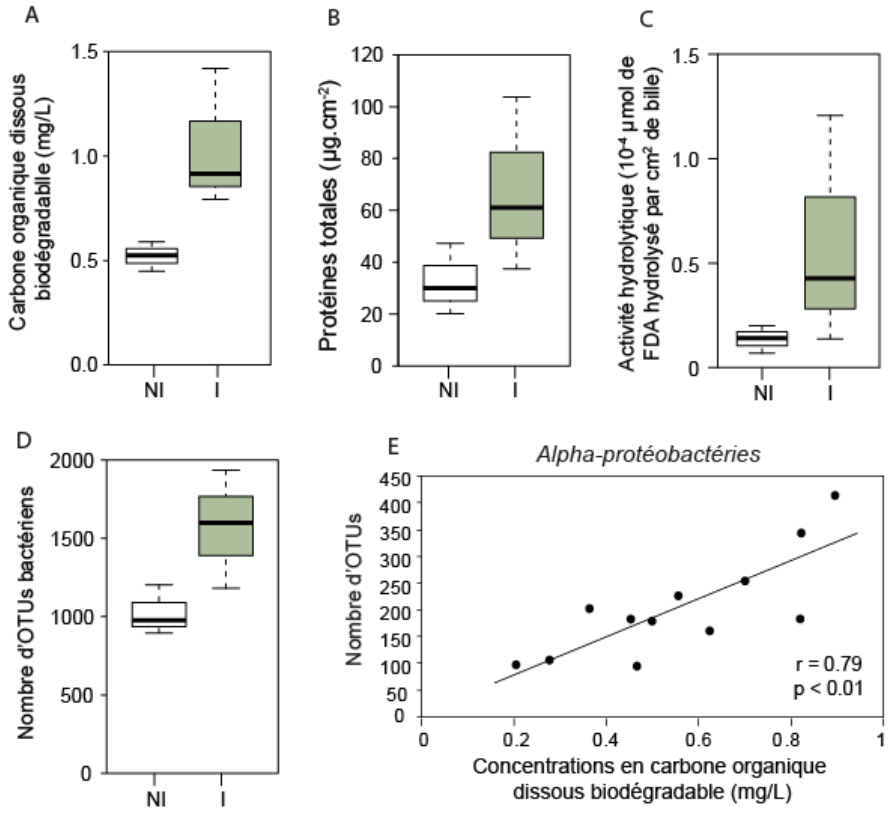


FIGURE 26: CARBONE ORGANIQUE DISSOUS BIODÉGRADABLE MESURÉ SUR LES EAUX (A), ET QUANTITÉ DE PROTÉINES (B), ACTIVITÉS MICROBIENNES (C) ET RICHESSE BACTÉRIENNE (D) MESURÉS SUR LES SUPPORTS BILLES D'ARGILE ENTRE ZONES DE LA NAPPE NON-IMPACTÉES (NI) ET IMPACTÉES (I) PAR L'INFILTRATION D'EAU DE RUISSELLEMENT PLUVIAL. CORRÉLATION ENTRE LA QUANTITÉ DE CARBONE ORGANIQUE DISSOUS BIODÉGRADABLE DANS LA NAPPE ET LA RICHESSE DU GROUPE BACTÉRIEN DES ALPHA-PROTÉOBACTÉRIES (E)

5.2.1.4 Production scientifique

Voisin, J., Cournoyer, B., & Mermillod-Blondin, F. (2016). Assessment of artificial substrates for evaluating groundwater microbial quality. Ecological indicators, 71, 577-586.

Mermillod-Blondin, F., Voisin, J., Marjolet, L., Marmonier, P. & Cournoyer, B. (2019) Clay beads as artificial trapping matrices for monitoring bacterial distribution among urban stormwater infiltration systems and their connected aquifers. Environmental Monitoring and Assessment 191, 58, 1-16.

Voisin J., Cournoyer B., Marjolet L., Vienney A. & Mermillod-Blondin F. (2020) Ecological assessment of groundwater ecosystems disturbed by recharge systems using organic matter quality, biofilm characteristics, and bacterial diversity. Environmental Science and Pollution Research 27, 3295-3308.

5.2.1.5 Collaborations

Ce travail a pu être réalisé via la collaboration entre les laboratoires LEHNA et LEM de l'OTHU.

5.2.1.6 Perspectives

L'utilisation du substrat bille d'argile est un outil très prometteur pour évaluer les changements microbiologiques dans les nappes perturbées par des infiltrations d'eaux de ruissellement pluvial. Cette méthodologie a été à la base de l'ensemble des expérimentations en microbiologie réalisées lors de l'ANR FROG. Celle-ci a d'ores et déjà été déployée pour d'autres projets scientifiques que ce soit sur le champ captant de la métropole de Lyon (projet PINTES sur la plateforme de recherche du champ captant de Crépieux-Charmy) ou encore sur des systèmes aquatiques karstiques sur la métropole de Chambéry (collaboration LEHNA-EDYTEM à l'Université Savoir Mont Blanc). Les perspectives sont donc nombreuses à ce travail car l'outil développé et testé permet de travailler sur

une large gamme de milieux aquatiques avec des comparaisons possibles du fait de la standardisation des supports de colonization pour les micro-organismes.

5.2.2 NAPPE - IMPACT PHYSICO-CHIMIQUE

EQUIPES: ISA UCBL, E3S UCBL, LEM VetAgro Sup UCLB, Hors OTHU –IGE Université Grenoble

5.2.2.1 Problématiques et questions scientifiques

Les systèmes aquatiques souterrains sont vitaux pour les écosystèmes qui en dépendent comme les rivières, les lacs et les zones humides. Ils régulent leurs débits et leurs niveaux et constituent également des réservoirs en eau cruciaux pour les populations humaines. Or, l'augmentation de la population mondiale et des activités urbaines entrainent une consommation croissante d'eau souterraine pour l'eau potable, mais aussi pour l'agriculture et l'industrie. De plus, les volumes d'eaux usées générés sont de plus en plus importants, de même que l'utilisation de substances chimiques de synthèse qui sont à même d'atteindre les systèmes aquatiques souterrains. Parmi les différentes sources de contamination des eaux souterraines, l'infiltration des eaux de ruissellement reste peu étudiée alors qu'elle peut constituer une source potentielle majeure de contamination des eaux souterraines.

Ces polluants émergents (pharmaceutiques et soins d'hygiène corporelle, drogues, hormones et stéroïdes, substances industrielles, sous-produits de désinfection et produits de dégradation des pesticides) ne font pas l'objet d'une surveillance systématique dans les eaux souterraines par manque de connaissance et ne sont pas encore réglementés. En France, ce sont les Agences de l'eau et les Offices de l'eau (et les collectivités) qui surveillent les états physico-chimiques et qualitatifs des eaux souterraines. Les prélèvements sont généralement semestriels mais peuvent aller jusqu'à quatre par an et plus. Or, la fréquence des prélèvements ainsi que le nombre de substances chimiques recherchées peuvent paraître insuffisants au regard des quelques 700 composés répertoriés comme présents dans l'environnement aquatique Européen. De surcroit, le mode d'échantillonnage le plus répandu pour les eaux souterraines est le prélèvement ponctuel. Celui-ci manque de représentativité temporelle étant donné qu'il n'intègre pas les évènements de pollution qui peuvent avoir lieu entre deux périodes d'échantillonnage.

5.2.2.2 Démarche scientifique

L'analyse des contaminants organiques dans les eaux souterraines est un défi car ils sont généralement présents à des concentrations faibles (ng/L à pg/L). De plus, les teneurs en contaminants peuvent être variables dans les zones de l'aquifère impactées par des eaux de surface comme à l'aplomb de bassins d'infiltration. Dans ce contexte, les échantillonneurs passifs, tels que ceux basés sur les disques Empore™ (ED), sont des outils prometteurs puisqu'ils intègrent les évènements de pollution qui peuvent avoir lieu entre deux périodes d'échantillonnage et que l'accumulation des micropolluants sur l'échantillonneur engendre une diminution des limites de détection. Cependant, leur déploiement dans les eaux souterraines est difficile car le diamètre interne des puits de forage est généralement inférieur à celui des dispositifs.

Le challenge était donc de développer un nouveau type d'échantillonneur par ED spécialement conçu pour un déploiement dans les eaux souterraines, et d'étudier l'applicabilité de l'échantillonnage passif à des fins qualitatives et (semi-)quantitatives pour des pesticides et pharmaceutiques polaires et semi-

polaires. Ainsi, un nouvel échantillonneur par ED au design simple, peu coûteux et robuste a été conçu, en collaboration avec l'université de Portsmouth (Royaume-Uni). Des expériences en laboratoire (étapes de conditionnement et d'élution des disques d'extraction, développement et optimisation de la méthode globale d'analyse) et sur le terrain (déploiement dans les eaux souterraines au cours de trois campagnes) ont été entreprises. Dans un premier temps, les extraits issus des échantillonneurs déployés sur les 5 sites de systèmes d'infiltration de l'OTHU ont été analysés par spectrométrie de masse haute résolution (HRMS), afin de déterminer les substances pertinentes à suivre dans la suite du projet. Puis, une étude cinétique d'adsorption de ces substances sur les échantillonneurs (Figure 27) a été réalisée en laboratoire afin, notamment, le temps d'exposition optimal. Enfin, trois campagnes d'exposition sur sites ont été menées pour étudier l'impact des pratiques d'infiltration sur la contamination des eaux souterraines.

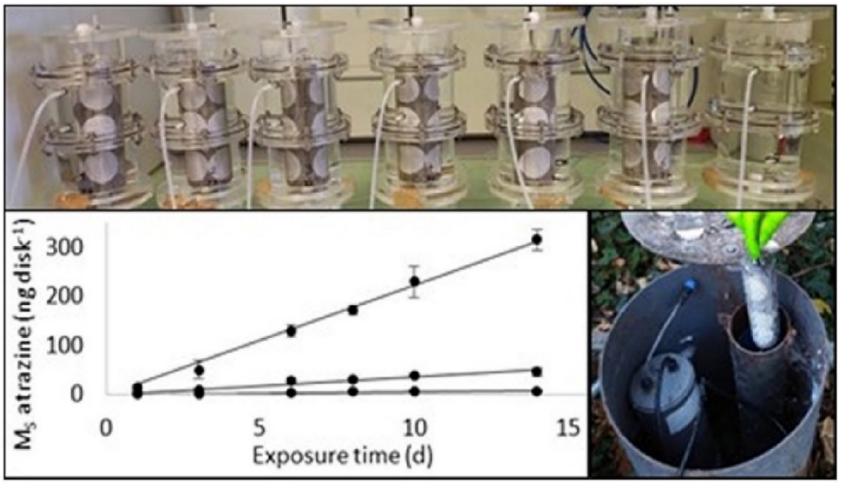


FIGURE 27: ECHANTILLONNEURS EN LABORATOIRE ET SUR LE TERRAIN ET CINÉTIQUE D'ACCUMULATION DE L'ATRAZINE SUR LES DISQUES ED

5.2.2.3 **Résultats**

Dans un premier temps, le déploiement in situ des échantillonneurs sur les cinq systèmes d'infiltration a permis de réaliser un screening de pesticides et pharmaceutiques "suspectés", après une analyse par HRMS des extraits d'eaux souterraines et de ruissellement. Cette stratégie s'est révélée pertinente puisqu'elle a permis la détection de 101 contaminants suspects (fongicides, herbicides, insecticides, indicateurs d'activité humaine, antibiotiques, antiépileptiques, antihypertenseurs et anti-inflammatoires non stéroïdiens ainsi que leurs métabolites), et la confirmation de 40 sur 43 d'entre eux. Grâce au screening de suspects, des composés moins connus/recherchés habituellement de la littérature ont été identifiés (bromacil, fluopyram, lamotrigine...). Des contaminants probablement présents à de très faibles concentrations ont également pu être détectés grâce à la diminution des limites de détection due au rassemblement des éluats de plusieurs disques d'extraction. Ce screening nous a permis de déterminer une liste de 16 pesticides et pharmaceutiques pertinentes à suivre dans les eaux souterraines, dont 2 fongicides (dont l'un autorisé et l'autre autorisé seulement dans certains produits de protection), 6 herbicides interdits (excepté le diuron dans certains produits de protection), 2 insecticides autorisés, 2 métabolites d'herbicides et 4 pharmaceutiques.

L'étude cinétique en laboratoire a permis d'étudier l'accumulation de 4 de ces micropolluants (atrazine, hexazinone, metolachlor, sulfamethoxazole) dans des conditions les plus proches possibles de celles observées dans les eaux souterraines de nos sites d'études (paramètres physico-chimiques de l'eau, température, débit et écoulement au travers des échantillonneurs), à 3 différentes concentrations. La

concentration des composés ne semble pas avoir d'influence sur les profils d'adsorption et des taux d'échantillonnages compris entre 0,018 ± 0,007 et 0,047 ± 0,001 L/jour et une durée du régime cinétique de 10 jours en moyenne ont pu être déterminés. En extrapolant ces taux d'échantillonnage, un semi-quantification des 16 substances a pu être réalisée dans les eaux souterraines. Le diuron, la DEA, métabolite de l'atrazine, et l'atrazine sont les trois composés quantifiés avec les concentrations maximales (time-weighted average concentrations (CW)) les plus élevées, avec respectivement 127 ± 49, 62 ± 24 et 61 ± 3 ng/L. La DEA, la simazine, le diuron, l'atrazine et le DEET sont les cinq composés quantifiés avec les concentrations (CW) médianes les plus élevées, avec respectivement 21, 15, 14, 13 et 12 ng/L.

Enfin, pour la première fois, l'impact de l'infiltration des eaux de ruissellement urbain sur la contamination des eaux souterraines par des pesticides et pharmaceutiques a pu être étudié à l'aide de notre système d'échantillonnage passif. Au cours de trois campagnes, les échantillonneurs ont été déployés sur 4 sites pendant 10 jours dans des piézomètres en amont et en aval des bassins d'infiltration, ainsi que dans des réservoirs récupérant les eaux de ruissellement qui entrent dans ces mêmes bassins. Nous avons pu observer que l'infiltration contribue à la contamination des eaux souterraines pour certains contaminants (fluopyram, diuron, lamotrigine, carbendazim, imidaclopride) alors que pour d'autres déjà présents antérieurement, l'infiltration a probablement engendré une dilution (atrazine, DEA, 2,6-dichlorobenzamide, simazine). Enfin pour d'autres encore, les effets de l'infiltration sont variables d'un site à l'autre. Par ailleurs, ni l'épaisseur de la zone non saturée des sites, ni les propriétés physico-chimiques des composés (i.e. pKa, log Dow, indice GUS) n'ont pu être corrélés à la contamination des eaux souterraines en aval des bassins d'infiltration. Il semblerait que les contaminations anciennes des compartiments environnementaux ainsi que les différences dans les propriétés des sols, le transport hydrologique et les processus microbiens seraient à l'origine du manque de tendance claire parfois observé.

5.2.2.4 Production scientifique

a) Publications dans des revues internationales à comité de lecture

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E., 2020. Emerging polar pollutants in groundwater: potential impact of urban stormwater infiltration practices. Environmental Pollution, 115387.

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Fones, G.R., Mills, G.A., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E., 2020. Calibration and field application of an innovative passive sampler for monitoring groundwater quality. Talanta 208, 120307.

Pinasseau, L., Wiest, L., Fildier, A., Volatier, L., Fones, G.R., Mills, G.A., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E., 2019. Use of passive sampling and high resolution mass spectrometry using a suspect screening approach to characterise emerging pollutants in contaminated groundwater and runoff. Science of the Total Environment. 672, 253–263.

b) Thèse

Lucie Pinasseau. Développement et déploiement d'échantillonnage passif pour l'analyse par spectrométrie de masse de polluants organiques émergents dans les systèmes aquatiques souterrains. Chimie analytique. Université de Lyon, 2020. Français. ⟨NNT : 2020LYSE1189⟩. ⟨tel-03358246⟩

c) Communications internationales avec actes

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E. Suspect screening of emerging pollutants in groundwater and runoff using passive sampling and high resolution mass spectrometry. Novatech, 2019, Lyon.

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E. Use of passive sampling and high resolution mass spectrometry using a suspect screening approach to characterize emerging pollutants in contaminated groundwater and urban stormwater runoff. Spectrométrie de Masse et Analyse Protéomique (SMAP), 2019, Strasbourg, poster.

d) Communications nationales avec actes

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E. Echantillonnage passif et screening de pesticides et pharmaceutiques des eaux souterraines et de ruissellement. Santé Environnement et Molécules (SEM), Rovaltain, 2018, Valence - Prix du meilleur poster étudiant.

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E. Criblage suspect de polluants émergents dans les eaux souterraines et de ruissellement par échantillonnage passif couplé à la spectrométrie de masse haute résolution. Groupe Français des Pesticides (GFP), 2019, Montpellier.

5.2.2.5 Collaboration internationale

Le système d'échantillonnage passif de micropolluants organiques, spécialement adapté à un déploiement dans les eaux souterraines, a été conçu en collaboration avec l'équipe de l'Université de Portsmouth (Royaume-Uni) qui est à l'origine des Chemcatcher®.

5.2.2.6 Perspectives

L'utilisation combinée de l'échantillonnage passif et d'un screening de suspects après une analyse par HRMS s'est révélée pertinente mais il serait intéressant de confirmer davantage de composés parmi ceux suspectés. Présentement, 40 sur 43 ont été confirmés par les étalons analytiques disponibles et il serait pertinent de valider le workflow développé pour le screening sur un plus grand nombre de composés. Cela permettrait également de conforter le fait que l'utilisation combinée de l'échantillonnage passif et d'un screening de suspects après une analyse par HRMS est pertinente. Par ailleurs, un screening non ciblé par HRMS suivi d'un traitement statistique des données (comparaisons d'empreintes) permettrait de compléter les résultats et d'obtenir une vision plus exhaustive de l'état de contamination des eaux souterraines et de l'impact des pratiques de recharges artificielles des aquifères souterrains.

En ce qui concerne l'étude de l'impact de l'infiltration, afin d'améliorer une compréhension globale rendue difficile par le grand nombre de paramètres à prendre en compte lors de l'infiltration des eaux de pluie, il conviendrait d'effectuer des études supplémentaires sur les processus de sorption, désorption et dégradation microbienne qui se produisent dans le sol et la zone non saturée de chaque site. Il pourrait également être pertinent de suivre des contaminants plus récents qui ne se seraient pas encore accumulés dans les compartiments environnementaux. Ceci permettrait éventuellement d'observer des tendances plus claires de l'effet de l'infiltration sur la désorption et/ou dilution des contaminants.

▸ À RETENIR

Une contamination des eaux souterraines par des pesticides et substances pharmaceutiques a pu être observée grâce à l'utilisation d'un système d'échantillonnage passif novateur combiné à l'analyse par spectrométrie de masse.

L'étude de l'impact de l'infiltration sur cette contamination a révélé des tendances contrastées selon les micropolluants : un effet de dilution pour les composés aujourd'hui interdits, et un effet de concentration ou un effet variable selon les sites pour les composés actuellement utilisés.

5.2.3 NAPPES : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES DES EFFLUENTS URBAINS SUR LA MICROBIOLOGIE DES NAPPES PHRÉATIQUES : DÉVELOPPEMENT ET APPLICATION DE L'APPROCHE MÉTA-CODES-BARRES ADN DU GÈNE TPM – ANR FROG

EQUIPES : LEM VetAgro Sup UCLB, E3S UCBL,ISA UCBL, Hors OTHU –IGE Université Grenoble

5.2.3.1 Problématiques et questions scientifiques

L'urbanisation exerce de multiples pressions sur les habitats naturels et en particulier sur les milieux aquatiques, notamment en imperméabilisant les surfaces et en réduisant la capacité d'infiltration des sols. Ces changements peuvent modifier la vitesse et le volume des eaux de ruissellement (ER) et engendrer des inondations. Ils modifient les processus de recharge des nappes phréatiques. Pour atténuer ces effets, des systèmes d'infiltration des eaux pluviales (*SIS, Stormwater Infiltration System*) sont positionnés à l'exutoire de certains bassins-versants urbains. Ces SIS permettent une recharge des aquifères (*MAR, managed aquifer recharge*) et réduisent les inondations. Cependant, ces ER représentent une source majeure de pollution diffuse, et leur infiltration dans le sol peut avoir des effets sur l'état écologique des aquifères et sols urbains incluant un développement de formes biologiques indésirables.

La zone vadose (ZV, partie du sous-sol non saturée d'eau) d'un SIS peut agir comme un filtre naturel pour les polluants (éléments traces métalliques et hydrocarbures) et les micro-organismes entraînés par les eaux de ruissellement. L'efficacité des SIS à prévenir le transfert des contaminants vers les aquifères dépend à la fois de facteurs abiotiques tels que la nature du milieu (roches, sable et autres éléments du sol), les propriétés physiques (granulométrie, indice d'hydrophobicité, organisation), la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement, et de facteurs biotiques (couverture végétale, systèmes racinaires, vers et invertébrés, activité des micro-organismes). Si l'épaisseur de la ZV est identifiée comme l'un des paramètres-clés expliquant les transferts chimiques tels que le phosphate et le carbone organique, son impact sur les transferts de micro-organismes a été peu étudié.

Pour déterminer l'impact de l'infiltration d'eaux de ruissellement sur l'état microbiologique des nappes phréatiques, il est fait appel au concept de coalescence des communautés microbiennes. Adapté aux aquifères urbains alimentés par les SIS, ce concept prédit que les communautés microbiennes en aval des SIS (AV) reflètent la coalescence (assemblages de communautés et tri sélectif) des communautés microbiennes de l'aquifère en amont (AM) du SIS avec celles très différentes des eaux de ruissellement (ER) (Figure 28).

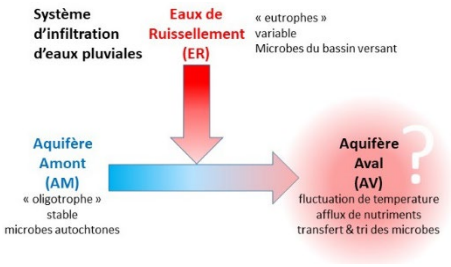


FIGURE 28. COALESCENCE DES COMMUNAUTÉS MICROBIENNES DANS UN SIS.

Pendant les événements de pluie, les communautés microbiennes de la litière végétale, des déchets urbains, du sol et d'autres particules sont remises en suspension par les processus d'érosion de

surface induits par le ruissellement. Ces communautés vont fusionner et générer un nouvel assemblage résultant des contributions relatives des divers sous-bassins versants. Les contraintes écologiques dominantes conduiront ensuite progressivement cette coalescence vers l'organisation là mieux adaptée. Les communautés qui en résultent peuvent être très efficaces pour dégrader les polluants urbains piégés dans les SIS mais peuvent aussi perturber les équilibres écologiques des aquifères oligotrophes peu profonds.

5.2.3.2 Démarche scientifique et méthodes

L'impact des SIS sur l'état microbiologique des nappes phréatiques a d'abord été exploré dans un SIS modèle avec une ZV épaisse (site Django) puis dans six SIS avec des ZV fines ou épaisses (sites Django, Feyzin, Grange Blanche, IUT, Minerve, Raquin ; étude multicentrique). Dans les deux cas, les communautés bactériennes de ruissellement urbain et celles natives de l'aquifère connecté ont été décrites par méta-code-barre ADN (*DNA metabarcoding) tpm* dans le but de détecter les taxons et fonctions ayant un potentiel de dangerosité, ainsi que d'identifier les variables environnementales explicatives du processus de coalescence et de la colonisation de la nappe par certaines bactéries allochtones liées à des pollutions organiques (matières fécales), industrielles, ou domestiques. Le gène *tpm* permet de suivre plusieurs dizaines de genres et centaines d'espèces. La diversité des espèces codant ce gène est indiquée dans Pozzi et al. (2021).

a) <u>Effet de l'épaisseur de la zone vadose et du temps de transit</u>

L'épaisseur de la ZV avait été identifiée comme un des paramètres-clés expliquant les transferts chimiques mais son rôle était moins clair en ce qui concerne les communautés microbiennes qui traversent les SIS. L'incidence de l'épaisseur de la ZV sur les différences de diversité (nombre d'espèces) et de composition des communautés bactériennes entre sites restait à préciser. Le gène marqueur 16S rRNA des études précédentes n'avait permis qu'une analyse au niveau des genres bactériens. Au sein d'un genre, il est fréquent d'observer des dynamiques spatio-temporelles fortement différenciées entre espèces. De plus, il est à noter que l'épaisseur de la ZV n'est pas systématiquement corrélée au TT, puisque selon le matériau, son niveau de colmatage et l'existence de flux préférentiels, des ZV d'épaisseur identique peuvent avoir des TT très différents. Il ressort donc que si les SIS avec des ZV épaisses (>10m) retiennent mieux les éléments chimiques transférés depuis la surface (une propriété à mettre en lien avec la quantité de matériau disponible pour filtrer les apports), ce sont les SIS avec les TT les plus lents (>80h) qui réduisent le plus (facteur 4 environ) la quantité d'espèces bactériennes tracées par le marqueur *tpm* et transférées depuis la surface. Si la ZV et le TT sont importants pour limiter l'impact d'un SIS sur l'aquifère receveur, le TT est primordial pour limiter l'impact microbiologique (voir entre autres Colin et al. 2020).

b) <u>Bactéries libres (eau) versus les formes se développant en biofilm</u>

La stratégie d'échantillonnage choisie a permis d'étudier deux fractions bactériennes contrastées des formes codant le gène *tpm*. La première était celle vivant à l'état libre dans l'eau (grab sample) et la seconde était celle vivant sous forme de biofilm ayant adhéré à des *germcatchers* (billes d'argile stériles) au cours du temps (échantillon intégratif). Aucune différence significative de diversité alpha (richesse spécifique) et beta (dissimilarité de paires de communautés) n'a été détectée entre ces deux fractions sur la base des données méta-barcoding *tpm* (*Pseudomonas, Aeromonas, Xanthomonas*). Toutefois, une analyse innovante de la diversité zeta (nombre d'espèces n partagées par n échantillons) a permis de mettre en évidence des processus d'assemblage très différents. Dans les échantillons d'eau, il était plus fréquent de trouver les espèces les plus communes plutôt que les plus rares, un signe d'assemblage associée à une spécificité en termes de niche écologique, alors que dans les échantillons

de biofilm, les espèces rares et communes étaient plus variables. Par ailleurs, il y avait davantage de partage d'espèces entre les échantillons d'eau qu'entre ceux de biofilms, indiquant moins d'obstacle à la dispersion des bactéries de l'eau que dans les biofilms des germcatchers (où les bactéries sont plus susceptibles de coloniser la matrice du sous-sol). L'étude simultanée d'échantillons d'eau et de biofilms s'est révélée donc assez complémentaire.

c) <u>L'infiltration rapide des eaux de ruissellement induit une réorganisation des communautés microbiennes des aquifères</u>

Alors qu'une pollution classique érode la richesse spécifique (nombre d'espèce) et augmente l'équitabilité (équilibre de répartition des espèces), l'étude multicentrique (basée sur les amplicons de variants de séquençages (ASV) du gène *tpm*) a démontré (i) une augmentation significative de la richesse et l'équitabilité dans les eaux et les biofilms de l'aquifère impacté par l'infiltration pour les SIS à TT rapide (<16h), et (ii) l'absence d'effets pour les SIS à TT lent (>80h). Dans les SIS à TT rapide où l'épuration des eaux de ruissellement pourrait être incomplète, les apports abondants de nouveaux taxons allochtones ainsi que de nutriments favorisant certains taxons autochtones initialement peu abondants pourraient expliquer cette augmentation conjointe de la richesse et de l'équitabilité. L'importance relative de ces deux phénomènes reste à déterminer. Ce qui est certain, c'est que les SIS à temps de transit lent permettent une meilleure épuration des taxons bactériens transférés depuis la surface par les eaux de ruissellement, y compris pour des taxons pathogènes opportunistes de l'humain, de l'animal et des plantes comme *Herbaspirillum aquaticum, Pseudomonas fluroresens, P. alcaligenes, P. flavescens, P. frederiksbergensis, P. koreensis, P. simiae, P. aeruginosa, Stenotrophomonas acidaminiphila* and *S. terrae*.

d) <u>Coalescence des communautés bactériennes de surface et de l'aquifère</u>

Sur le site Django, une analyse SourceTracker (basée sur les unités taxonomiques opérationnelles (OTU) du gène de l'ARNr 16S) a détecté une coalescence significative entre les communautés bactériennes des eaux de ruissellement, des sols du SIS et des échantillons d'eau et de biofilm de l'aquifère. Les communautés bactériennes de l'eau de l'aquifère impacté par le SIS avaient pour principales sources connues les communautés des eaux de ruissellement (23-59 % de contribution), celles en amont du SIS (0,02-12,6 %), et celles des sédiments du bassin de rétention (0,02-9 %) et des sols du bassin d'infiltration (0,8-3,8 %). Les communautés bactériennes de biofilm de l'aquifère impacté par le SIS avaient pour principales sources les communautés des eaux de l'aquifère en amont (39%), des eaux de ruissellement (33%), des sédiments du bassin de rétention (20%) et des sols du bassin d'infiltration (<4 %).

Sur l'ensemble des six 6 SIS étudiés, l'infiltration d'eau de surface dans l'aquifère a induit un processus distinct de coalescence des communautés de bactéries arborant le gène *tpm* qui dépend de la durée du TT. La contribution moyenne des communautés des eaux de surface (47.95%) était d'un ordre de grandeur supérieur à celle de l'aquifère amont (4.41%) pour les communautés de l'aquifère aval dans les SIS à TT plus rapide, alors que ces contributions étaient d'un ordre de grandeur plus faible et similaire (13.14-13.61%) pour les communautés de l'aquifère dans les SIS à TT plus lent. De façon intéressante, les communautés *tpm* de biofilms ont beaucoup mieux retenu la contribution relative des eaux de ruissellement, quel que soit le TT (Figure 29).

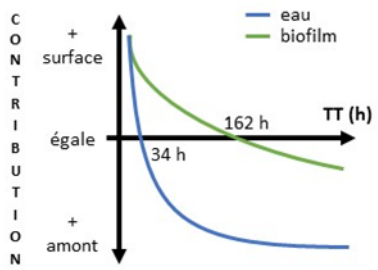


FIGURE 29. CONTRIBUTIONS RELATIVES DES COMMUNAUTÉS DE SURFACE ET DE L'AQUIFÈRE AMONT AUX COMMUNAUTÉS DE L'AQUIFÈRE AVAL.

e) Genres bactériens potentiellement pathogènes détectés en surface et dans l'aquifère

Dans les échantillons d'eau de l'aquifère du site Django, les genres bactériens les plus abondamment partagés (>1 %) étaient *Pseudomonas, Nitrospira, Neisseria, Streptococcus* et *Flavobacterium*. Les fonctions susceptibles d'être réalisées ont été inférées par FAPROTAX et étaient principalement la dénitrification et la nitrification (sauf *Streptococcus*) donc liées au cycle de l'azote et à la production d'énergie en milieu oligotrophe. Dans les échantillons de biofilm de l'aquifère, les genres *Pseudomonas, Duganella, Massilia, Nocardia, Flavobacterium, Aquabacterium, Novosphingobium, Sphingobium, Perlucidibaca* et *Meganema* étaient le plus abondamment partagés. Les fonctions étaient le plus souvent associées à la dégradation des hydrocarbures (*Novosphingobium, Sphingobium, et Nocardia*) et à une occurrence de gènes de virulence (*Duganella, Massilia, Nocardia, et Aquabacterium*). Un ensemble de genres bactériens potentiellement dangereux a été utilisé pour illustrer la coalescence des taxons bactériens parmi les échantillons de l'aquifère (Figure 30)

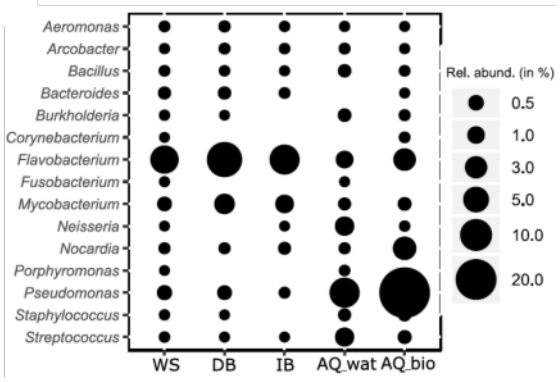


FIGURE 30. GENRES BACTÉRIENS POTENTIELLEMENT PATHOGÈNES DANS LES DIFFÉRENTS COMPARTIMENTS DU BASSIN VERSANT. ABONDANCE RELATIVE DES GENRES BACTÉRIENS DÉTECTÉS À LA FOIS DANS LES COMPARTIMENTS SUPÉRIEURS ET L'AQUIFÈRE. WS : EAUX DE RUISSELLEMENT DU BASSIN VERSANT ; DB : SÉDIMENTS DU BASSIN DE RÉTENTION ; IB : SÉDIMENTS DU BASSIN D'INFILTRATION ; AQ_WATER : EAUX DE L'AQUIFÈRE ; AQ_BIO : BIOFILMS DES *GERMCATCHERS* DE L'AQUIFÈRE

f) Production scientifique

Colin, Y., Bouchali, R., Marjolet, L., Marti, R., Vautrin, F., Voisin, J., Bourgeois, E., Rodriguez-Nava, V., Blaha, D., Winiarski, T., Mermillod-Blondin, F., Cournoyer, B., **2020**. Coalescence of bacterial groups originating from urban runoffs and artificial infiltration systems among aquifer microbiomes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 24, 4257–4273. https://doi.org/10.5194/hess-24-4257-2020

Colin, Y., L. Marjolet, R. Marti, R. Bouchali, F. Vautrin, V. Rodriguez-Nava, D. Blaha, T. Winiarski, J. Voisin, F. Mermillod-Blondin, B. Cournoyer. 2019. Significant transfer of bacteria from runoff to groundwater impacted by alternative

stormwater management techniques. Full paper in the Proceedings of the 10th Novatech Intl Conference. Pp. 1-4. http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/1C23-127COL.pdf.

Mermillod-Blondin, F., Voisin, J., Marjolet, L., Marmonier, P., Cournoyer, B., **2019**. Clay beads as artificial trapping matrices for monitoring bacterial distribution among urban stormwater infiltration systems and their connected aquifers. *Environ. Monit. Assess*. 191, 58.

Pozzi, A.C.M, Colin Y., Marjolet L., Mermillod-Blondin F., Cournoyer B., **In Preparation**. Selective sorting among aquifer bacterial communities triggered by stormwater infiltration systems is dependent upon vadose zone transit time and land use.

Pozzi, A.C.M., R. Bouchali, L. Marjolet, B. Cournoyer. **2021**. The *tpm* metabarcoding DNA sequence database for taxonomic allocations using the Mothur and DADA2 bio-informatic tools (Version 2.0.1). https://zenodo.org/badge/DOI/10.5281/zenodo.5018786.svg

Voisin, J., Cournoyer, B., Vienney, A., Mermillod-Blondin, F., **2018**. Aquifer recharge with stormwater runoff in urban areas: Influence of vadose zone thickness on nutrient and bacterial transfers from the surface of infiltration basins to groundwater. *Sci. Total Environ*. 637–638, 1496–1507.

5.2.3.3 Collaborations

Equipe BPOE, Ecologie Microbienne (LEM) -- UMR CNRS 5557, UMR INRA 1418, Université Lyon 1 & VetAgro Sup

Equipe E3S et ENTPE, Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés (LEHNA) -- UMR CNRS 5023, Université Lyon 1

5.2.3.4 Perspectives

Afin de déterminer les fonctions qui ont permis à certaines espèces bactériennes de coloniser l'aquifère avec succès, des travaux de génomique comparative ont été entrepris. Des isolats de deux genres bactériens comportant de nombreuses espèces pathogènes opportunistes (*Pseudomonas* présents dans les eaux de ruissellement du bassin versant et les biofilms, et d'*Acinetobacter* et *Nocardia* détectés dans les bassins d'infiltration), ont été obtenus, phénotypés et génotypés. De l'ADN environnemental provenant du bassin d'infiltration modèle Django a également été séquencé par approche métagénomique (séquençage non-ciblé de la totalité des ADN bactériens) dans le but d'affiner notre compréhension des fonctions réalisées par les bactéries des eaux et biofilms des aquifères en amont et en aval du SIS ainsi que dans les sédiments du bassin de rétention. Les gènes identifiés pourront être classés dans les grandes catégories fonctionnelles dont le fonctionnement du cycle de l'azote ou la transformation des sources de carbone et de polluants mais également en termes d'association à certaines pathologies infectieuses chez l'Homme. Les biais de répartition des gènes pourront donc être évalués en fonction de l'origine du prélèvement et de l'impact des eaux de ruissellement.

5.2.4 NAPPE : MODÉLISATION ET TRANSFERTS DES CONTAMINANTS VERS LA NAPPE

EQUIPES : E3S UCBL et Hors OTHU –IGE Université Grenoble, LEM VetAgro Sup UCLB , ISA UCBL, INSA DEEP

5.2.4.1 Problématiques et questions scientifiques

L'un des verrous majeurs associés à la quantification de l'impact de la recharge des nappes concerne l'évaluation des transferts d'eau et de contaminants à l'échelle des ouvrages. En effet, si l'utilisation de piézomètres dans les zone impactées et non impactées par la recharge de la nappe permet de visualiser des effets à l'échelle locale (Figure 31), elle ne permet en aucun cas d'avoir une vision de l'impact global de l'ouvrage sur la nappe. L'objectif de cette action était d'obtenir cette image globale de l'impact du fonctionnement des bassins en termes d'hydraulique et de transferts des solutés à travers la construction d'un modèle 3D englobant le bassin d'infiltration et l'aquifère sous-jacent.

5.2.4.2 Démarche scientifique

Pour assurer une représentation réaliste de ce système, il est nécessaire de disposer de données détaillées concernant le bassin (Modèle Numérique de Terrain), son alimentation (débit d'eau injecté au cours du temps, chroniques de niveau d'eau dans le bassin, concentrations…) et la dynamique de l'aquifère (plusieurs piézomètres répartis autour du bassin dans un rayon d'une centaine de mètres avec un suivi des charges hydrauliques et d'indicateurs de la qualité de l'eau comme la conductivité électrique pour les transferts d'eaux pluviales). Pour cette raison, le modélisation 3D a été appliquée au site de Django-Reinhardt (commune de Chassieu, 69) qui est très bien instrumentés et dispose d'un monitoring des entrées et de la nappe depuis environ 20 ans (Figure 31).

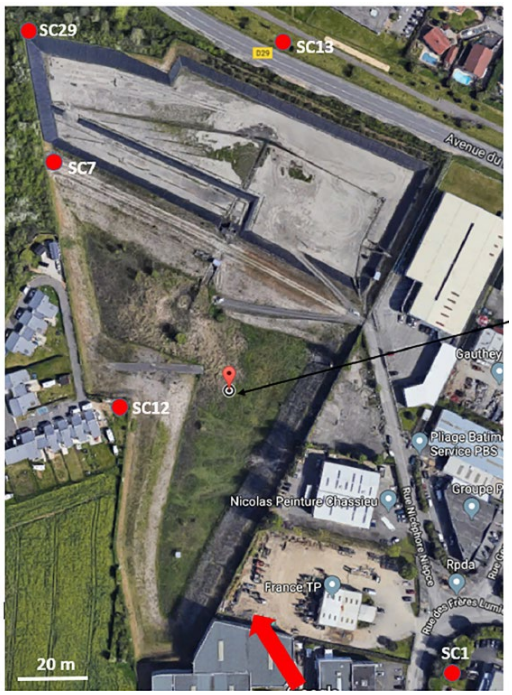


FIGURE 31 : VUE AÉRIENNE DU BASSIN D'INFILTRATION DE DJANGO-REINHARDT (CHASSIEU) AVEC LA LOCALISATION DES PIÉZOMÈTRES UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION 3D. LA FLÈCHE ROUGE INDIQUE LE SENS D'ÉCOULEMENT DE LA NAPPE.

5.2.4.3 Résultats

Le travail réalisé a permis d'obtenir un modèle 3D décrivant les mesures observées de façon satisfaisante. À partir de cela, le modèle offre une vision détaillée des distributions spatiales et temporelles des variables hydrauliques (charge, vitesses) et chimiques (concentration, flux de solutés) dans l'aquifère impacté par le fonctionnement du bassin. Il a ainsi permis d'évaluer le transfert d'un polluant dans la nappe. Par exemple sur la Figure 32, le panache d'un polluant parfaitement mobile (délimité ici à 20 % de la concentration injectée) est représenté avec une propagation et une dilution progressive dans l'aquifère au cours du temps. On peut noter un piégeage par capillarité significatif (≈25 % de la quantité injectée) dans la zone non saturée sous le bassin qui persistera jusqu'à la prochaine pluie.

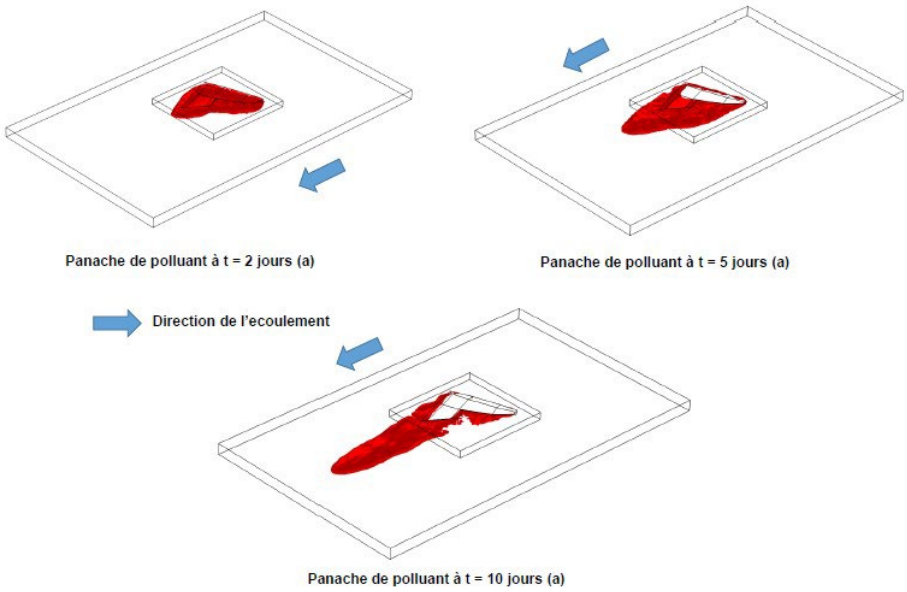


FIGURE 32 : ÉVOLUTION DU PANACHE DE POLLUANT AU COURS DU PROCESSUS D'INFILTRATION-DRAINAGE

La contamination de l'aquifère est naturellement plus sensible en aval hydraulique de la nappe et à proximité immédiate du bassin. Cependant, la modélisation met bien en évidence la complexité du phénomène de mélange des eaux en provenance du bassin avec l'eau de la nappe. Dans un piézomètre localisé en bordure immédiate du bassin, les concentrations observées diminuent significativement avec la profondeur du point de prélèvement et peuvent être très faibles au fond de l'aquifère si celui-ci présente des vitesses d'écoulement élevées. Dans le contexte de l'aquifère fluvio-glaciaire du site Django-Reinhardt, l'homogénéisation des concentrations sur la totalité de l'épaisseur de l'aquifère nécessite par exemple un parcours de cent à deux cents mètres en aval du bassin.

5.2.4.4 Production scientifique

Bahar T., Oxarango L., Castebrunet H., Rossier Y. & Mermillod-Blondin F. (2021) 3D modelling of solute transport and mixing during managed aquifer recharge with an infiltration basin. Journal of Contaminant Hydrology, 103758.

5.2.4.5 *Collaborations*

Ce travail a pu être réalisé via la collaboration entre les laboratoires LEHNA, INSA-DEEP et IGE (Université Grenoble Alpes).

5.2.4.6 *Perspectives*

La modélisation développée a permis de mieux intégrer la « diversité » des écoulements sur l'impact de la recharge de la nappe par des eaux pluviales. Le couplage de ces travaux avec l'analyse de contaminants via des capteurs passifs (chemcatchers et germcatchers) est très prometteur pour passer d'une évaluation à l'échelle de piézomètres vers une évaluation des impacts à l'échelle de l'ouvrage. L'installation de nouveaux piézomètres sur un autre bassin (le bassin de l'IUT) est une première étape devrait permettre d'envisager le même travail de modélisation sur le site de l'Eco-Campus. La comparaison des résultats obtenus sur les bassins de Django-Reinhardt et de l'IUT est une perspective intéressante car elle permettra d'avoir une comparaison possible des flux d'eau et de contaminants associés entre deux systèmes présentant des caractéristiques très différentes en termes d'épaisseur de zone non saturée et de temps de transfert de l'eau de la surface vers la nappe (le temps de transfert moyen est inférieur à la journée sur le site de l'IUT alors qu'il est supérieur à 5 jours sur le site de Django-Reinhardt, Voisin et al. 2018).

5.2.5 REJETS URBAINS DE TEMPS DE PLUIE ET GESTION DE LEURS IMPACTS SUR LES COURS D'EAU

EQUIPES : EVS Université Lyon 2, INRAE RIVERLY

5.2.5.1 Problématiques et questions scientifiques :

Les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sont la principale perturbation anthropique de rivières urbaines. Ils modifient le régime des crues, et sont ainsi à l'origine d'une évolution géomorphologique notable dite morphogène (capable de modifier la forme d'un tronçon de rivière) dont la fréquence a doublé ces dernières décennies. L'effet des RUTP est étroitement dépendant de l'imperméabilisation du bassin versant et de la plus ou moins grande proportion de surfaces urbaines connectées au réseau de drainage principal. L'impact géomorphologique majeur est l'incision, qui déstabilise les ouvrages (ex. buses, ponts), entraine des pertes foncières, l'abaissement du niveau piézométrique, l'appauvrissement biologique par érosion de la zone hyporhéique et l'érosion des berges.

Les RUTP apportent une charge organique importante à la rivière, ce qui induit des processus d'autoépuration consommateurs de l'oxygène dissous, vital pour la faune aquatique, ainsi que des nutriments sous forme notamment de fertilisants, et éléments traces métalliques potentiellement toxiques, des composés organiques de synthèse comme des résidus de médicaments, des détergents ou des pesticides. Or, un cours d'eau possède une capacité naturelle d'autoépuration (physique, chimique et biologique) variable et non monotone d'amont en aval lui conférant des capacités de résistance ou de résilience aux RUTP selon ses caractéristiques locales. L'OTHU expérimente la possibilité de restaurer, voire d'amplifier la capacité d'autoépuration d'un petit cours d'eau grâce à des Solutions fondées sur la Nature (SfN) en agissant sur l'hydro-géomorphologie du lit et les flux d'Accepteurs Terminaux d'Electrons (ATE), comme l'oxygène, voire des anodes (électro-bioremédiation).

5.2.5.2 Démarche scientifique

Notre démarche vise à optimiser les SfN actuellement testées et d'en concevoir de nouvelles. Cela nécessite d'acquérir une meilleure connaissance du fonctionnement des rivières et de les organiser. A cette fin nous avons développé un modèle conceptuel du fonctionnement éco-hydrologique.

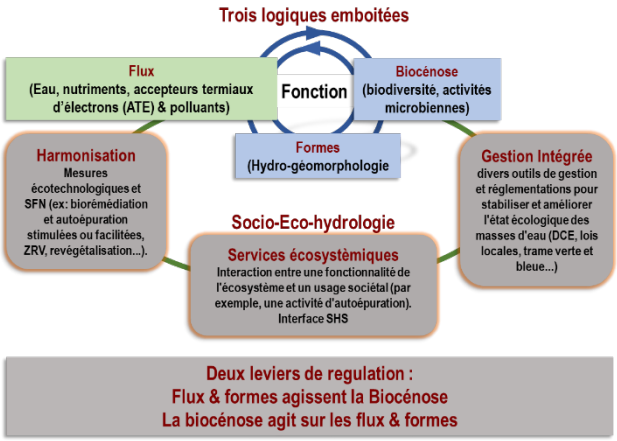


FIGURE 33: REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES TROIS LOGIQUES FONCTIONNELLES D'UN ÉCOSYSTÈME ET LEUR INTÉGRATION AUX DEUX MODES D'ACTION SOCIÉTALE SUR L'ÉCOSYSTÈME

En raison de la cohérence fonctionnelle inhérente à tout écosystème, les variations fonctionnelles d'une masse d'eau peuvent être considérées comme les réponses du système structuré à des changements selon trois logiques imbriquées : logiques Forme-Flux-Processus (voir le cycle supérieur de la Figure 33). Ce modèle de fonctionnement régit les relations entre les disciplines essentielles à notre approche intégrée du fonctionnement écologique des rivières, comme par exemple la fonction d'autoépuration, associant la géomorphologie (forme), l'hydrologie (débit d'eau), la physico-chimie (flux de nutriments, d'accepteurs terminaux d'électrons (ATE) et de polluants) et la bio-géochimie (activités métaboliques, assimilation et biodégradation).

Les différentes fonctions identifiées permettent de concevoir le type d'installation en fonction des types de pollution à traiter et de leurs caractéristiques. Ce modèle conceptuel fournit un cadre opérationnel pour l'action (identification des leviers sociétaux d'action sur l'écosystème). La Figure 33 présente la régulation duale de l'état d'un hydrosystème reliant nos trois logiques structurantes aux deux modes d'action sociétale : 1) la régulation et les mesures ; et 2) la gestion et les actions sur l'écosystème, via des technologies ou des méthodologies agissant sur la morphologie, les flux, et/ou la biocénose. L'interaction de ces trois logiques conduit à la formation de « points de métabolisme amplifié », qui doivent être localisés et quantifiés. Ce modèle constitue notre cadre d'intégration des connaissances et de conception de stratégies et équipements pour atténuer la pression anthropique sur la ressource et préserver les écosystèmes dans des environnements fortement modifiés.

L'approche développée sur 2017-2021 vise à optimiser l'apport sur site des ATE nécessaires à l'autoépuration. Pour cela nous agissons sur la structuration physique du milieu pour favoriser des milieux poreux favorables à l'apport naturel d'ATE (ex.: O_2) ou par contrôle passif du redox du milieu via une anode à potentiel fixe, source inépuisable d'ATE.

5.2.5.3 Résultats

Notre modèle conceptuel du fonctionnement éco-hydrologique a permis l'identification de SfN appliquées à la remédiation des hydro-systèmes.

►**Seuil poreux sur la Chaudanne à Grezieu-la Varenne** : Un premier prototype composé de trois seuils poreux réalisés en rondins de bois placés juste en aval d'un déversoir d'orage et répartis sur 67 m a permis de créer naturellement des bancs de sable filtrants, issus des arènes granitiques du bassin. La géométrie et la porosité des seuils ont favorisé l'infiltration d'eau polluée en particulier durant les faibles débits. La pollution piégée (MO, N et P) est ensuite naturellement auto-épurée par la micro-biocénose hébergée dans le sédiment sableux.

Durant les crues, le sédiment est remanié et ce brassage permet un flux important de d'O_2 dissous dans les couches les plus profondes. Un suivi sur une année a montré l'élimination quasi totale de la pollution biodégradable des RUTP déversés et interceptés par ce dispositif. Une pollution plus résistante (ex : métaux et certains composés organiques de synthèse, comme les PCB) reste naturellement piégée dans les sédiments.

►**Électro-bio-remédiation, à Nagaa Diab (Egypte)**. Suite aux résultats de thèse de Lucas Jobin (2015-2018) démontrant la possibilité de multiplier par dix la biodégradation de la MO tout en diminuant de 30% la production de CH_4 en milieu anoxique. Sur cette base, un pilote a été conçu et installé dans un village de basse Egypte, afin d'épurer les eaux vannes de deux habitations et de recycler les eaux pour désaliniser les sols.

►**Epis poreux sur le Ratier**. Ces structures ont été créées dans le cadre du projet européen JPI-Water ATENAS (*To ally technology, nature and society for integrated urban water management*). Elles constituent l'un des sites de démonstration d'ATENAS. Nous avons ici adapté l'approche de modulation morphologique développée sur la Chaudanne (publications et communications 2017 à 2021) afin de prendre en compte le changement d'échelle (fois 5) et respecter la contrainte de continuité hydraulique à bas débit. Après étude topographique, hydromorphologique et hydraulique en crue, les lieux d'implantation et les dimensions ont été déterminés début 2019. Les épis ont été réalisés en novembre 2019. Le choix des implantations a été discuté avec le SAGYRC, le SIAHVY et

l'association de pêche afin d'intégrer les contraintes et objectifs de chacun. Après une année de fonctionnement, les épis ont montré leur capacité à augmenter la longueur et l'épaisseur du filtre sableux. Celui-ci s'est avéré très efficace pour piéger la matière organique dont la biodégradation a été confirmée par des analyses en laboratoire. L'activité de biodégradation microbienne (micro-biocénose) est donc bien stimulée par le dispositif en épis. Les épis ont été restructurés en septembre 2021 suite à leur érosion partielle par des crues successives. La reconstruction, réalisée avec de nouveau l'appui financier du SAGYRC, a utilisé des éléments concassés de plus forte granulométrie afin d'assurer la stabilité des épis face aux crues. Ce type de solution pourrait être répliqué sur d'autres petits cours d'eau du bassin de l'Yzeron pour compléter des actions d'amélioration du réseau d'assainissement portées par le SIAHVY. En effet, le linéaire des réseaux unitaires est important et le coût de restauration de même. Les surverses des tronçons de réseau unitaire peu accessibles pourraient être traitée à l'aide des épis poreux, cela d'autant plus que le nombre de surverses devrait diminuer avec les déconnexions réalisées en amont.

L'axe de recherche a bénéficié du soutien financier des projets suivants :

- 2015-2018 ANR-14-OHRI-0016 projet El Hamico (thèse Lucas Jobin)
- 2017-2018 Campus-France: PHC Imhotep projet Mareoti 3785QA
- 2018-2019 Horizon 2020 # 689162, AfriAlliance Action Group, projet SoWat (électro-bioremédiation à Nagaa Diab);
- 2019-2021 Water JPI Joint Call/ANR-18-WTW7-0005-04, projet ATENAS 2019-2021 (épis poreux sur le Ratier)

5.2.5.4 Production scientifique 2017-2021

a) Articles

Breil P, Pon M-N, Armani G, Amer R, Peinaar H, Philippe Namour Ph 2021, Nature-based solutions of bioremediation in water environment, in *Sustainable Solutions for Environmental Pollution* ed: Nour Shafik El-Gendy, Wiley (accepté)

Roveretto M, Namour Ph, Raffin G, 2021, Mise au point de méthodes de prélèvement et d'analyse dans le but d'identifier et de quantifier des émissions gazeuses en réseau d'assainissement, *Instrumentation Mesure Métrologie*, (accepté).

Gervaix J, Breil P, Poly F, Namour Ph, 2021, SNIFFER : un dispositif de prélèvement des gaz émis par les sédiments d'un cours d'eau *Instrumentation Mesure Métrologie*, 20:4, 223-233, doi.org/10.18280/i2m.200407).

Abu El-Magd S., Taha T.H., Pienaar H.H, Breil P., Amer R.A., Namour Ph., 2021, Assessing Heavy Metal Pollution Hazard in Sediments of Lake Mariout, Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, 104116, doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104116.

Navratil O., M.A. BOUKERB, F. Perret, P. Breil, C. Caurel, L. Schmitt, J. Lejot, S. Petit, L. Marjolet, B. Cournoyer (2020). Responses of streambed bacterial groups to cycles of low-flow and erosive floods in a small peri-urban stream. *Ecohydrology*, doi: 10.1002/eco.2206

Namour Ph, Jobin, L 2018, Electrochemistry, a tool to enhance self-purification in water systems while preventing emission of noxious gases (greenhouse gases, H2S, NH3), *Current Opinion in Electrochemistry*, 11, 25-33, doi: 10.1016/j.coelec.2018.07.003.

Jobin L, Jose C, Pages Ch, Rafin G, Saupin X, Jame P, Jaffrezic-Renault N, Namour Ph, 2018, Methanogenesis control in bioelectrochemical systems: a carbon footprint reduction assessment, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1):803-810. doi 10.1016/j.jece.2017.12.033.

Jobin L, Namour Ph, 2017, Bioremediation in water environment: controlled electro-stimulation of organic matter self-purification in aquatic environments, Special Issue 71-Bioremediation and Biodegradation, *Advances in Microbiology*, 7:12, 813-852.doi: 10.4236/aim.2017.712064.

b) Conference invitée

Namour P. 2021, "Electro-bioremediation of wastewater, Manage the redox conditions of biodegradation", City of Scientific Research and Technological Applications (SRTA-City), Alexandria, Egypt, 26/08/2021.

Namour P. 2021, "Hydraulic design of Nagaa Diab pilot field for wastewater reuse (dark & grey) ", City of Scientific Research and Technological Applications (SRTA-City), Alexandria, Egypt, 26/08/2021.

c) Conférences internationales

Amer R, Hosny T, Salama E, Ihab D, Abu El-Magd S, Pienaar H, Ramukhwatho F, Breil P, Namour Ph, Tailor Made Socio Economic Approaches for Integrated Water Management in Rural to Urban Driven Mutations, Africa Water Association annual congress, 24-27/02/20, Kampala (Uganda). hal-03127593.

Amer R, Hosny T, Salama E, Ihab D, Abu El-Magd S, Pienaar H, Ramukhwatho F, Breil P, Namour Ph, Tailor Made Socio Economic Approaches for Integrated Water Management in Rural to Urban Driven Mutations: SoWat, 20th WaterNet/Water Research Fund for Southern Africa/Global Water Partnership (WARFSA/GWP-SA) Symposium, 30/10-01/11/19, Johannesburg (South Africa).

Amer R, Hosny T, Pienaar H, Ramukhwatho F, Breil P, Namour Ph, Tailor-made socio economic approaches for integrated water management in rural to urban driven mutations, Water Resources Dialogue: China-Africa Water Forum Series # 7, 22-27/07/19, Windhoek, (Namibia) keynote. hal-03127686.

Schmitt L, Namour Ph, Breil P, Lafont M, Grospretre L, Jacob-Rousseau N, Navratil O, Delile H, Eschbach D, Jezequel C, Cournoyer B, Interdisciplinary and interlocked spatio-temporal studies to enhance efficiency and sustainability of environmental management of streams impacted by urbanization, 4th International Symposium on Flash Floods in Wadi Systems (4th ISFF2018), 4-6/12/18, Casablanca (Morocco).

Sbartai A, Jaffrezic N, Namour Ph, Determination of WFD metals in wastewater using micro-machined Boron-Doped Diamond (BDD) sensor, Water Micro-pollutants: from detection to removal, 26-28/11/18, Orléans (France).

Breil P, Pons MN, Namour Ph, Biodegradation of urban stormwater pollution in a sequence of constructed porous riffles in a seasonal stream, 6th China-Africa Water Resources Forum, 23-27/07/18, Sharm El Sheikh (Egypt), p45-46.

Breil P, Gervaix J, Namour Ph, Pons MN, Potier O, Biodegradation of urban stormwater pollution in a sequence of constructed porous riffles in a Mediterranean creek, Proceedings of 1st Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI 2017), 22-25/11/17, Sousse, (Tunisia), p145-147. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-70548-4_48

Breil P, Namour Ph, Pons MN, Potier O, Amplification of the self-purification of urban intermittent rivers in complement to flooding control. International Symposium "Ecohydrology for the Circular Economy and Nature-Based Solutions towards mitigation/adaptation to Climate Change". 26-28/07/17, Lodz (Poland).

d) Conférences nationales

Maurice N, Durozier M, Pochet C, Jost G, Namour Ph, Adouani N, Pons MN, Caractérisation de la matière organique dissoute dans une zone de rejet de grande taille, Journée thématique du groupe français de l'IHSS (Contribution des matières organiques dans la contamination environnementale), 27/09/19, Perpignan (France).

Jobin L, Namour Ph, Eletrochemical control of organic matter biodegradation in sediment, ResMO2018 : 'La matière organique dans tous ses états', 4-7/02/18 Trégastel (France).

Pons MN, Namour Ph, Breil P, Baguettes de bois pour l'évaluation des gradients redox en zone hyporhéique : comment interpréter leur lecture ? 42èmes Journées Scientifiques du GFHN, 28-29/11/17, Irstea Lyon (France).

Breil P, Doumbia M, Namour Ph, Pons MN, Biodégradation des rejets d'un déversoir d'orage dans un massif poreux artificiel en cours d'eau urbain, 41èmes Journées Scientifiques du GFHN, 23-25/01/17, Observatoire de Haute-Provence (France).

Pons MN, Zhang Y, Adouai N, Breil P, Namour Ph, Monitoring the hyporheic zone of small urban river with wooden sticks, Aquaconsoil: Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources, 14th International Conference, 26–30/06/17, Lyon (France).

5.2.5.5 Collaborations

- SIAHVY et SAGYRC pour le bassin de l'Yzeron
- Université de Lorraine, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, Nancy (France)
- City of Scientific Research and Technology Applications (SRTA-City), Department of Environmental Biotechnology, New Borg El Arab, Alexandria (Egypt)
- Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Pretoria (South Africa)
- University of the Free State, Centre for Environmental Management Faculty, Natural and Agricultural Sciences, Bloemfontein, (South Africa)

5.2.5.6 Perspectives

Le projet ATENAS termine fin 2022. D'ici là les mesures physico-chimiques seront maintenues afin d'évaluer l'efficacité de piégeage et de bio-transformation de la matière organique par les épis. Le plan d'expérience consiste à vérifier si l'effet des épis poreux permet de réduire l'impact du cours d'eau du Ratier sur la qualité écologique du Charbonnières qui chute d'une classe du fait de cette confluence. L'objectif est aussi de vérifier l'intérêt d'une SfN dont le coût total (réalisation et matériaux) est d'environ 2.5 k€ par épis poreux.

Les échanges avec le SAGYRC (partenaire associé du projet ATENAS), comme avec le SIHAVY (contrat de collaboration de recherche), indiquent un potentiel de réplication. Les travaux menés sur les liens entre typologie hydro-géomorphologique et flux hyporhéiques (voir liste des publications scientifiques) pourront servir de base à une pré-localisation des épis poreux selon la capacité d'autoépuration (variable dans l'espace) des petits cours d'eau de l'Yzeron et la présence de déversoirs d'orage. En effet, si l'action poursuivie par le SIHAVY est bien de réduire les rejets de temps de pluie en déconnectant le plus possible les eaux pluviales des réseaux unitaires, il ne sera pas possible d'éliminer toutes les surverses liées à des pluies intenses. Les petits cours d'eau n'ayant pas de capacité de dilution, la réduction de l'impact passe par une action d'éco-ingénierie qui augmente la capacité d'autoépuration au niveau de zones clés.

►**À RETENIR:** La capacité d'autoépuration (CA) des petits cours d'eaux intermittents ou saisonniers n'est pas une fonction monotone de l'amont vers l'aval. Elle peut être nulle (écoulement sur roche mère) ou modulée par une zone hyporhéique développée ou encore une dilution par contact temporaire avec un aquifère. L'impact des RUTP sur ce type de cours d'eau va surtout dépendre de l'équilibre entre charge polluante et CA locale. Il est possible de créer (cours d'eau sur roche mère), restaurer (cours d'eau urbains rectifiés) ou amplifier (surcharges de pollution) la CA par des aménagements géomorphologiques pensées selon une logique éco-hydrologique (cf. Figure 1).

La disponibilité en ATE (O_2, NO_3^-, Fe^{3+}, Mn^{4+}, SO_4^{2-}, CO_2) contrôle la CA. Le gain d'énergie libre $\Delta G^{0'}$ récupérable par la respiration dépend du potentiel redox du couple impliqué. Un potentiel fixe de 100 mV, active la CA (X 10) et diminue la production de H_2S, CH_4 et N_2O (Jobin 2018). La CA peut être stimulée par un apport d'ATE à haut $\Delta G^{0'}$ (O_2) ou de façon électrochimique, avec une anode à potentiel fixe, source infini d'ATE, dans un dispositif poreux piégeant la pollution.

5.3 Perception, fonctionnement et performance des ouvrages de gestion des eaux urbaines (centralisés et à la source)

5.3.1 INFILTROMÉTRE PETIT ANNEAU ET GRAND ANNEAU - ANR INFILTRON

EQUIPES : ENTPE IAPHYe t INSA DEEP

5.3.1.1 Problématiques et questions scientifiques

Les bassins d'infiltration ont été développés pour infiltrer les eaux pluviales dans le sous-sol et limiter les apports aux réseaux usuels. Néanmoins, l'infiltration de volumes importants d'eau pluviale sur des surfaces restreintes peut induire des soucis de colmatage en lien avec la sédimentation en surface des matières en suspensions transportées par les eaux pluviales. Cette sédimentation, amenant la formation d'une couche sédimentaire en surface, peut nuire à la capacité d'infiltration et donc au fonctionnement de l'ouvrage. Cette problématique requiert donc de caractériser l'évolution temporelle de la perméabilité en fond de bassin d'infiltration. Dans cet objectif, l'équipe LEHNA - IAPHY a développé différents sets d'infiltromètres permettant la mesure de l'infiltration en surface. Ces infiltromètres ont des tailles différentes correspondant à des surfaces d'infiltration contrastées. Les infiltromètres de petite taille infiltrent l'eau au sein d'un anneau de 15 cm de diamètre (approximativement) et ont été automatisés pour une mesure automatique de la lame d'eau infiltrée (Concialdi et al., 2020). L'infiltromètre de grande taille infiltre l'eau dans un anneau de 50 cm de diamètre, et concerne donc une surface ~10 fois plus grande. Les deux approches sont complémentaires car les infiltromètres petits anneaux permettent de caractériser l'infiltration de manière ponctuelle avec une activation de la matrice essentiellement, accompagné d'un nombre restreint de macropores. Au contraire, l'infiltromètre de grande taille permet d'activer une surface plus grande et donc probablement les réseaux de macropores et de fissures dans le sol sous-jacent, permettant d'approcher la perméabilité « en grand » et donc de proposer une valeur plus réaliste de la capacité d'infiltration des bassins dans leur ensemble. On s'attend donc à ce que la combinaison de ces deux tailles apporte une information riche sur l'effet des sédiments et du colmatage sur la perméabilité en grand des ouvrages d'infiltration. Les résultats présentés ci-dessous illustrent l'apport des deux infiltromètres sur divers sites incluant les bassins et tranchées d'infiltration mais aussi des surfaces urbaines perméables (surfaces enherbées). Ces travaux ont été obtenus dans le cadre de l'ANR INFILTRON (www.infiltron.org, Dispositif INFILTRON pour une évaluation des fonctions infiltration & filtration des sols urbains dans un contexte de gestion des eaux pluviales).

5.3.1.2 Démarche scientifique et méthodes

Les expérimentations réalisées reposent sur l'utilisation des infiltromètres automatisés petits anneaux ainsi que l'infiltromètre de plus grande taille mis au point dans le cadre de l'ANR INFILTRON. Ces dispositifs ont été testés dans les sites de l'observatoire de l'OTHU.

►**Dispositifs petits anneaux.** Les infiltromètres automatisés sont constitués d'une bouteille Mariotte qui sert en même temps de réservoir, avec une hauteur effective de stockage de 74 cm et de 5.13 L (Figure 34, gauche). Ce volume correspond à une infiltration totale cumulée de 280 mm pour un anneau de diamètre de 15 cm (dimension utilisée dans cette étude). Le système de Mariotte permet d'imposer une charge constante pendant l'essai correspondant à une hauteur d'eau en surface de ~2-6 mm. Le système repose sur le sol au-dessus de l'anneau d'infiltration (de taille voulue) à l'aide d'un trépied dont la hauteur peut être réglée. Le dispositif comprend deux capteurs de pression Arduino permettant le suivi de la pression et donc de la hauteur d'eau dans le réservoir en fonction du temps.

Ces dispositifs sont reliés à un datalogger « maison » pour le stockage en temps réels des séries de mesures. Ces séries peuvent être récupérées facilement et permettent de déterminer la courbe cumulée d'infiltration reliée la hauteur d'eau infiltrée (volume infiltré divisé par la surface de la zone d'infiltration). Les plans de ces dispositifs sont téléchargeables sur le site web https://bestsoilhydro.net (Concialdi et al., 2019). Sur le site, **le déploiement** des dispositifs est assez simple. Le sol est préparé en surface, avec la tonte de la végétation en évitant la perturbation de la structure du sol. Les anneaux sont ensuite positionnés à même le sol et enfoncés doucement, la partie biseautée facilitant leurs insertions dans le sol. Le contact entre le sol et les parois de l'anneau est ensuite colmaté en compactant le sol à proximité, de sorte à empêcher les écoulements de bord parasites. Finalement, une feuille de plastique est posée sur chaque anneau et lestée avec un volume d'eau. La feuille en plastique empêche toute infiltration avant le début de l'essai. Les dispositifs sont ensuite positionnés sur chacun des anneaux et connectés au système d'acquisition. Le système d'acquisition est connecté et activé, amenant la création d'un nouveau fichier nommé "Run XX.csv" ou XX désigne le nombre du fichier (nombre croissant à chaque allumage du système). Les données commencent à être acquises en continu. Quand tout est prêt, les opérateurs retirent une à une les feuilles de plastique, permettant de lancer les tests d'infiltration. En fin d'expérimentation, un échantillon de sol est prélevé au milieu des anneaux pour déterminer la densité du sol. Des échantillons de sol sont aussi prélevés dans le sol à proximité pour déterminer la teneur en eau initiale. Toutes ces données complètent la donnée infiltrométrique en vue de la caractérisation hydrodynamique du sol par l'algorithme BEST (Angulo-Jaramillo et al., 2019).

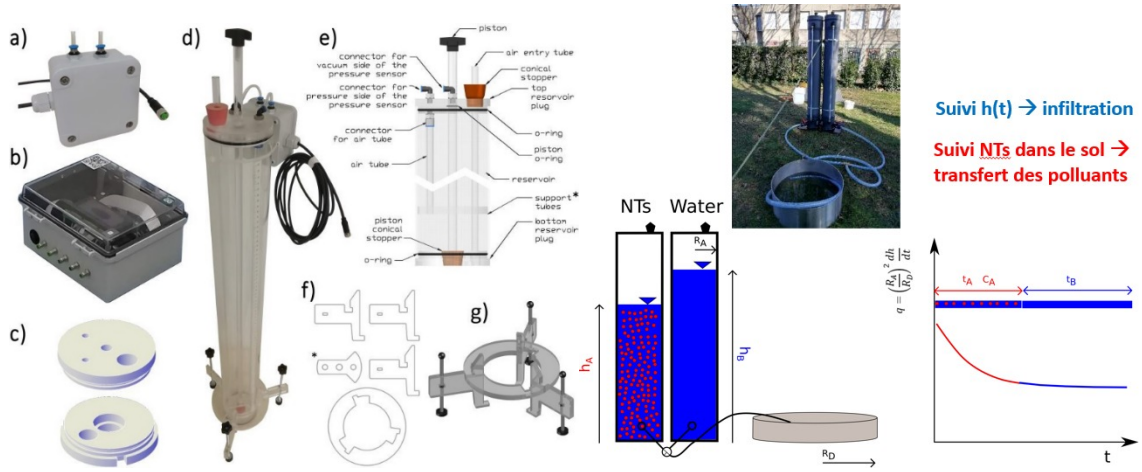


FIGURE 34: GAUCHE : INFILTROMÈTRES AUTOMATISÉS AVEC A) CAPTEUR DE PRESSION DIFFÉRENTIELLE, B) SYSTÈME D'ACQUISITION DE DONNÉES, C) TÊTES DU RÉSERVOIR POUR LES PARTIES HAUTE ET BASSE, D) L'INFILTROMÈTRE DANS SON ENSEMBLE, E) DÉTAILS DU RÉSERVOIR PARTIES HAUTE ET BASSE, F-G) PLAN DU TRÉPIED ; DROITE : DISPOSITIF INFILTRON-EXP, INFILTROMÈTRE POUR GRAND ANNEAU POUR L'INJECTION D'EAU ET DE NANO-TRACEURS (NANOPARTICULES).

►**Dispositif grand anneau.** Le dispositif d'infiltration grand anneau, produit phare visé par le projet INFILTRON, a été mis au point pour assurer le suivi simultané de l'infiltration cumulée (hauteur d'eau infiltrée) en fonction du temps et l'injection de nanoparticules dans le sol. Le dispositif (Figure 1, droite) est constitué de deux réservoirs identiques reliés entre eux par un système de tuyaux dont la sortie est posée au centre de l'anneau d'infiltration de grande taille (50 cm de diamètre). Ce dispositif permet l'infiltration d'eau à charge constante. En effet, le niveau d'eau imposé dans l'anneau est fixé par les deux entrées d'air des deux réservoirs qui sont localisées à la même hauteur (à 5 cm du bas). Deux règles (une par réservoir) permettent le suivi du niveau d'eau dans chaque réservoir. Sur le terrain, **le déploiement** de l'infiltromètre grand anneau est relativement simple. Le grand anneau est positionné

sur une surface plane, et un film plastique est mis en place sur l'anneau avant d'être lesté par un volume d'eau. Les réservoirs et le système de tuyaux sont installés. Avant l'essai, les deux réservoirs sont remplis d'eau puis sont activés, en ouvrant les robinets de la prise d'air jusqu'à stabilisation de la pression dans les réservoirs tout en gardant fermés les robinets de connexion avec les tuyaux. Une fois prêts, le robinet entre le réservoir de gauche et le système de tuyau sont ouverts. La feuille de plastique est alors retirée pour lancer l'essai, le chronomètre est activé et la décroissance du niveau d'eau dans le premier réservoir est suivi. Une fois vidé, le second réservoir peut prendre la suite (en fermant les robinets du premier réservoir et en ouvrant ceux du deuxième réservoir). Les nanoparticules peuvent alors être injectées selon la modalité voulue. On a représenté une injection de type créneau en Figure 34, mais n'importe quel signal peut être envoyé. Pour l'instant, on a privilégié l'injection des nanoparticules directement dans l'anneau.

►**Les deux dispositifs permettent l'injection de nanoparticules** (injection au centre de l'anneau). Ces nanoparticules ont été développées dans le cadre du projet INFILTRON pour simuler le comportement des polluants urbains dans l'environnement et pour être détectables au radar géologique. Leurs cœurs (magnétite) fonctionnent comme des aimants et interagissent avec les ondes électromagnétiques (permettant leur détection au radar). Leurs cœurs sont recouverts d'une gangue en silice qui peut être fonctionnalisée (greffes de fonctions chimiques) pour ajuster leur charge de surface. Ces nanoparticules, constituées de magnétite et de silice, sont inertes pour l'environnement.

►**Sites d'études.** Les deux infiltromètres ont été testés sur les sites principaux ou satellites de l'OTHU : (i) campus de l'ENTPE, École Nationale des Travaux Publics de l'État (Vaulx-en-Velin), avec deux zones enherbées différentes (ENTPE-1 et ENTPE-2), (ii) tranchée du parking drainant nouvellement installé dans le cadre du CPER éco-campus et situé sur le campus de la Doua (Université Lyon 1, Villeurbanne), (iii) Bassin d'infiltration de l'IUT situé sur le campus de la Doua (Villeurbanne), (iv) Bassin d'infiltration Django Reinhardt, situé sur la commune de Chassieu (banlieue de Lyon), et (v) Bassin d'infiltration Minerve situé sur la commune de Bron. Ces sites ont déjà fait l'objet de pas mal d'étude au sein du laboratoire LEHNA-IAPHY et servent de site de référence, notamment le bassin d'infiltration Django Reinhardt (Bouarafa et al., 2019).

5.3.1.3 Résultats

Les essais ont été concluants pour tous les essais grands et petits anneaux. Des séries d'approximativement 10 infiltrations petits anneaux ont été réalisées pour tous les sites. Pour les grands anneaux, nous avons pu réaliser 4 expérimentations pour le site ENTPE 1, 3 expérimentations pour le site ENTPE 2, 4 pour le parking drainant de la Doua, 7 pour le bassin d'infiltration de l'IUT, et un seul pour les deux bassins d'infiltration Django Reinhardt et Minerve. On note des similarités entre toutes les courbes avec une forme typique des essais d'infiltration (Figure 35, gauche), c'est-à-dire une partie concave (régime transitoire) au début suivi d'une partie plus linéaire en fin de parcours (régime stationnaire). La comparaison entre les données infiltrométriques obtenues avec les petits anneaux et le grand anneau met en évidence la similarité des infiltrations obtenues et une infiltration totale de ~ 300 mm (les dispositifs ont été dimensionnés pour fournir la même quantité d'eau infiltrée).

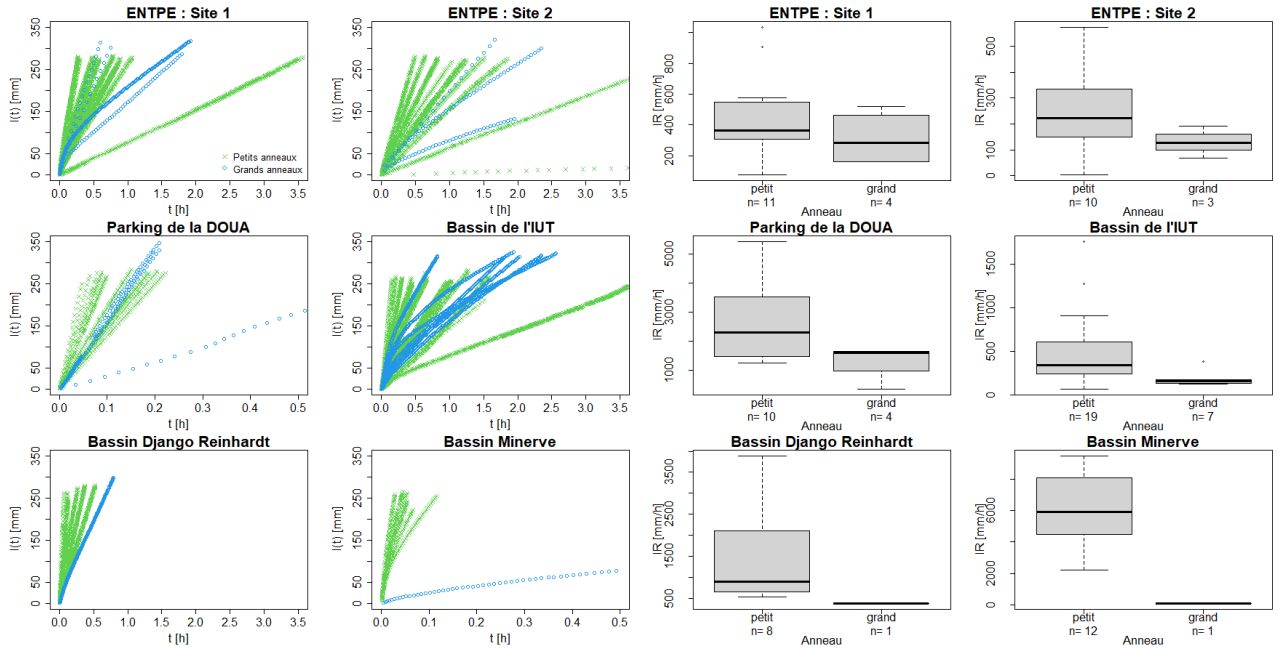


FIGURE 35 : LAMES D'EAU INFILTRÉES OBTENUS AVEC LES PETITS ET LES GRANDS ANNEAUX (GAUCHE) ET TAUX D'INFILTRATION CORRESPONDANTS (DROITE).

On a aussi calculé la valeur des taux d'infiltration moyens (Figure 2, droite). Ces taux correspondent à l'infiltration totale divisée par la durée de l'infiltration et quantifient une capacité globale. On peut considérer le taux d'infiltration comme un indicateur global de la capacité d'infiltration. Les deux dispositifs présentent des données avec des moyennes (et médianes) comparables, sauf pour les deux bassins d'infiltration Django Reinhardt et Minerve avec des infiltrations beaucoup plus faibles pour le cas des grands anneaux (Figure 35, droite). En revanche, on remarque pour tous les cas que les boites à moustache sont plus étendues pour les petits anneaux, traduisant une variabilité plus grande d'un essai à l'autre. Cette variabilité traduit le fait d'un échantillonnage surfacique du sol plus aléatoire pour les petits anneaux et, au contraire, plus « homogénéisant » pour les grands anneaux. Des résultats complémentaires ont été obtenus avec le radar géologique, mais essentiellement pour les petits anneaux (Di Prima et al., 2020). Le traitement des données essais au grand anneau sont en cours.

5.3.1.4 Production scientifique

Ces travaux ont donné lieu à plusieurs conférences présentées à l'EGU (European Geoscience Union, https://www.egu.eu/) et des productions scientifiques publiées ou en cours d'écriture et de soumissions. On notera en particulier les articles de revue sur les dispositifs petits anneaux et l'utilisation du radar géologique (Concialdi et al., 2019; Di Prima et al., 2021, 2020) :

Bonneau, J., Lipeme Kouyi, G., Lassabatere, L., Fletcher, T. (2021). Field validation of a physically-based model for bioretention systems. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127636 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127636

Bouarafa, S., Lassabatere, L., Lipeme Kouyi, G., Angulo-Jaramillo, R. (2019). Hydrodynamic Characterization of Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) by Using Beerkan Infiltration Experiments. *Water*, 11, 660. Open access. https://doi.org/10.3390/w11040660

Concialdi, P., Di Prima, S., Bhanderi, H.M., Stewart, R.D., Najm, M.R.A., Gaur, M.L., Angulo-Jaramillo, R., Lassabatere, L., 2019. An open-source instrumentation package for intensive soil hydraulic characterizationa. J. Hydrol. 124492.

Di Prima, S., Giannini, V., Roder, L., Stewart, R.D., Abou Najm, M.R., Longo, V., Winiarski, T., Angulo Jaramillo, R., Pirastru, M., Lassabatere, L., Roggero, P.P., 2021. Using GPR surveys and infiltration experiments for assessing soil physical quality of an agricultural soil. Presented at the EGU General Assembly 2021, pp. EGU21-2034.

Di Prima, S., Winiarski, T., Angulo-Jaramillo, R., Stewart, R.D., Castellini, M., Abou Najm, M.R., Ventrella, D., Pirastru, M., Giadrossich, F., Capello, G., Biddoccu, M., Lassabatere, L., 2020. Detecting infiltrated water and preferential flow pathways through time-lapse ground-penetrating radar surveys. Sci. Total Environ. 726, 138511. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138511

5.3.1.5 Collaborations

Ces essais ont été l'occasion de collaborations fortes entre le LEHNA (équipe IAPHY à l'ENTPE) et le laboratoire DEEP (INSA de Lyon), notamment dans le cadre du projet INFILTRON. A l'international, les liens sont forts avec l'Université de Sassari, l'Université de Palerme (Italie) et l'université de Melbourne (Australie). Les équipes mutualisent leurs efforts tant sur les aspects expérimentaux que sur les développements numériques et notamment l'obtention du modèle d'infiltration Infiltron-mod qui doit permettre à terme de modéliser les résultats expérimentaux pour quantifier les capacités d'infiltration et de filtration des polluants.

5.3.1.6 Perspectives

Cette étude a permis de mettre en évidence la complémentarité des deux infiltromères mis au point et l'intérêt d'associer des dispositifs de dimensions contrastées. Les infiltromètres automatisés destinés aux anneaux de petites tailles permettent de caractériser en grand nombre une infiltration ponctuelle alors que l'infiltromètre de grande taille, Infiltron-exp, permet de caractériser l'infiltration en grand, approchant ainsi la valeur de perméabilité et d'infiltrabilité aux plus grandes échelles. Ces travaux vont donner suite à d'autres investigations et travaux de recherche. Le projet INFILTRON sera l'occasion en premier lieu de développer et généraliser l'utilisation du radar géologique pour déterminer le bulbe d'infiltration sous les anneaux, notamment pour détecter les nano-traceurs développés pour mimer les polluants urbains. Il s'agit en toute fin d'obtenir les deux indicateurs d'infiltrabilité des sols et leurs capacités de retenir (filtrer les polluants urbains et émergeants). Dans ce contexte, les nano-traceurs sont utilisés comment agent contrastant de l'eau permettant de visualiser en direct des chemins de l'eau, mais aussi comme simulateurs de polluants modèles urbains. Dans ce contexte, on compte leur conférer des propriétés spécifiques (en termes de charge de surface et surface spécifiques) permettant de simuler les principaux polluants urbains in situ.

▸ **A RETENIR** – Ces travaux ont été l'occasion de mettre au point une gamme d'infiltromètres pour la mesure de la perméabilité des sols urbains été systèmes d'infiltration à diverses échelles (échelle ponctuelle et échelle du mètre). Les petits infiltromètres ont été automatisés pour permettre une mesure rapide, efficace et facile à multiplier. Le grand infiltromètre est un prototype qui permet d'assurer une infiltration sur de grandes surfaces et donc de prendre en compte à échelle réelle à la fois la matrice du sol et les réseaux de macropores et de fractures présents in situ. Des nano-traceurs (nanoparticules) ont aussi été mises au point pour être détectables de manière non-intrusive (radar géologique), ne poser aucun problème de toxicité et simuler le transfert des polluants émergeants et urbains.

5.3.2 PERFORMANCE DE DISPOSITIFS À LA SOURCE ET CONDITIONS D'APPROPRIATION PAR LES ACTEURS INSTITUTIONNELS ET LES USAGERS

EQUIPES : INSA DEEP, EVS Université Lyon2 /ENS

5.3.2.1 Problématiques et questions scientifiques

L'OTHU s'est intéressé pendant plus d'une décennie aux dispositifs alternatifs centralisés de gestion des eaux pluviales comme les bassins de retenue ou d'infiltration. Cependant la gestion des eaux pluviales (EP) en milieu urbain a connu ces dernières décennies des changements fondamentaux de paradigme favorisant des solutions dites « à la source » et des infrastructures fondées sur la nature (e.g. noues ou toitures végétalisées, jardins de pluie, chaussées réservoirs). Ces dispositifs se différencient par le fait qu'ils sont fortement intégrés à l'aménagement car souvent plurifonctionnels et qu'ils font intervenir potentiellement une plus large gamme d'acteurs dans leur cycle de vie (usagers, maîtres d'ouvrage, services publics ou privés en charge de l'eau, de la voirie, des espaces verts ou de l'urbanisme) aux cultures techniques et aux organisations très différenciées. Cette complexité suscite des interrogations. Parmi elles, figurent : (i) les performances réelles de ces dispositifs à la source vis-à-vis de la gestion des polluants et en particulier des micropolluants (MP) pointés par la Directive Européenne sur l'Eau et (ii) l'analyse des pratiques, de la perception et des représentations qu'en ont les acteurs qui leur sont liés (usagers, prescripteurs, concepteurs, maîtres d'ouvrage et gestionnaires). La problématique de la pérennisation des dispositifs et leurs performances (gestion patrimoniale) a été abordée sur la période. Nous n'aborderons ici cependant que les deux premiers points qui ont été davantage développés.

5.3.2.2 Démarche scientifique

➔ En matière de comportement des systèmes alternatifs vis-à-vis des micropolluants (MP)

L'étude s'est appuyée sur le suivi *in situ* de quatre sites :

(i) **trois sites décentralisés** drainant des eaux de ruissellement de parking sur le campus Lyon Tech La Doua : deux parkings de même facture de 290 m² et 270 m² dont les eaux sont évacuées respectivement par une noue végétalisée et une tranchée de graves. Le troisième site est un parking en chaussée à structure réservoir (CSR) et revêtement drainant de 90 m². Ces ouvrages sont étanchés en fond de fouille pour les besoins expérimentaux. Une zone de référence en chaussée traditionnelle imperméable de 90 m² contigüe à la chaussée réservoir permet une comparaison des flux d'eau et de polluants entre un système classique de parking imperméable et des systèmes alternatifs de gestion à la source. Les performances sont mesurées entre celles d'un dispositif à source (parking munis d'une noue, CSR ou tranchée) et d'un dispositif traditionnel (parking imperméable). Chaque site, y compris le parking de référence, comprend son propre dispositif métrologique en sortie d'ouvrage comprenant une double mesure de débit traitée au pas de temps de 2 min (débitmètre à auget et débitmètre électromagnétique pour capter une large gamme de débits) et d'un système de prélèvement d'eau dans des bonbonnes en verre ou en plastique suivant les polluants analysés (voir le descriptif des sites au § 3.1). Les prélèvements sont asservis aux débits ou volumes de manière à disposer d'un échantillon représentatif de la pluie échantillonnée (concentrations moyennes évènementielles). Les analyses sont menées sur phases dissoute et particulaire.

(2) **un site centralisé** (bassin de retenue Django Reinhardt) permettant de comparer, sur une même base, performances des dispositifs à la source à celles d'un dispositif centralisé. Rappelons que ce bassin collecte des eaux pluviales via un réseau séparatif drainant une zone de 185 ha imperméabilisé à plus de 70%.

Les MP visés ont été ceux qui ont pu être déjà détectés dans des études antérieures sur la qualité des EP dont on sait qu'ils peuvent présenter des dangers pour la santé ou pour l'environnement. Au total ont été considérées 59 substances issues de cinq familles : les éléments traces métalliques (**ETM**), les **pesticides**, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP**), les retardateurs de flammes bromés (**PBDE**) ou encore des **alkylphénols** entrant dans la composition de nombreux matériaux utilisés en ville ou liés aux activités urbaines.

➔ En matière de caractérisation des perceptions et modes de représentation des dispositifs techniques et de leur rôle dans le piégeage des micropolluants par les différents niveaux décisionnels d'acteurs

Le parti pris a été d'observer et de recueillir le discours des usagers et des acteurs qui jouent un rôle dans la gestion des eaux pluviales à différents échelons territoriaux. La démarche a comporté trois volets.

- Le premier a traité de la perception et des connaissances que peuvent avoir les usagers à propos des techniques à la source et des micropolluants au sein d'un espace délimité ;
- Le deuxième a concerné la manière dont les acteurs de l'eau considèrent les dispositifs à la source et les micropolluants et la manière dont ils envisagent ces dispositifs comme moyen de traiter les micropolluants ;
- La troisième traite de la question de la possible inertie organisationnelle des collectivités dans leur appropriation d'une stratégie de contrôle à la source.

Pour cela, plusieurs approches été retenues : une enquête par entretiens auprès des acteurs de l'eau du Grand Lyon (n=24), une analyse textuelle de deux revues, l'une généraliste (La Gazette des Communes), l'autre spécialisée (TSM) et une enquête par questionnaire auprès d'usagers du campus Lyon Tech La Doua (n=828). Le troisième volet a également fait l'objet d'une démarche originale de type socio-anthropologique basée sur l'immersion longue d'une chercheuse au sein de différents services de la métropole et de la ville de Lyon.

5.3.2.3 Résultats

➔ En matière de comportement des systèmes alternatifs vis-à-vis des micropolluants (MP)

Concernant les eaux issues des systèmes de référence (sortie du parking imperméable et exutoire de réseau séparatif alimentant le bassin de retenue). Des MP de la liste de la DCE sont bien présents au sein des eaux d'apport aux systèmes centralisés comme décentralisés sans différence majeure. Sur les 59 substances recherchées, toutes ont été détectées au moins une fois sur un des sites à l'exception du dibenzo(a,h)anthracène. Les eaux constituant les apports aux différents dispositifs sont sans surprise **chargées en** : (i) **ETM** notamment en As[1], Cr[1], Cu[1], Pb[2], Zn[1] et de manière moins marquée en Cd[3] et en (ii) **HAP** notamment lourds (Fluoranthène[2], Benzo(b)fluoranthène[3] ou Benzo(g,h,i) pérylène[3]) avec des concentrations proches ou dépassant les valeurs de NQE. **Elles**

1 Substance à surveiller Arrêté du 17 octobre 2018,
2 Substance prioritaire selon la Directive Cadre Eau, Dir 2013/39/EU
3 Substance prioritaire dangereuse selon la Directive Cadre Eau, Dir 2013/39/EU

sont relativement peu chargées en pesticides ou en alkylphénols (valeurs inférieures aux NQE) et en PBDE mais souvent présentes ; polluants, qui rappelons le, peuvent être des perturbateurs endocriniens nocifs même à faible dose.

Les concentrations mesurées pour ces sites de référence se situent dans les fourchettes des valeurs de la littérature quand elles existent. Il n'y a pas de différence majeure entre les gammes de concentrations en entrée des systèmes centralisés et décentralisés. Mais, pour certaines substances, on peut noter des valeurs médianes plus élevées pour les apports du bassin versant de grande taille en entrée du bassin de retenue.

Concernant les performances des systèmes à la source *vs* le système centralisé. L'efficacité en termes d'abattement des micropolluants des dispositifs testés se mesure à leur aptitude à restreindre : les concentrations (processus bio-physico-chimiques) et les volumes d'eau. Plus les volumes déversés sont restreints, moins de polluants associés sont susceptibles d'être rejetés. **La diminution des volumes est donc un premier levier pour limiter les flux polluants sortant des dispositifs**. La Figure 36 montre les abattements volumétriques des quatre dispositifs. Le bassin de retenue est étanche et fonctionne sur un principe de décantation. Il n'abat pas de volume (le volume entrant lors d'une pluie est pratiquement le même que celui de sortie et ce, pour les 127 évènements mesurés sur la période de 2015 à 2018). La noue en revanche absorbe souvent la totalité des pluies observées sur la même période (63% d'entre elles) montrant le fort pouvoir de rétention d'eau du substrat de la noue pour les petites pluies mesurées.

Les techniques à la source sont plus efficaces que les systèmes centralisés pour réduire les micropolluants. Pour les substances majoritairement fixées aux les MES, à savoir ETM, HAP et PBDE, les concentrations sont réduites et ce malgré la grande variabilité des niveaux de pollution observés. Pour les substances majoritairement en phase dissoute, comme les pesticides, les concentrations ne sont pas réduites. Pour certaines d'entre elles (carbendazime, diuron) des relargages sont observés sur le bassin centralisé.

Les efficacités en masse au m² actif du bassin de rétention restent, pour la quasi-totalité des substances, inférieures à celles des ouvrages de gestion à la source. La capacité de décantation du bassin, si elle impacte de manière non négligeable la pollution en phase particulaire, apparait toutefois comme moins efficace que les processus intervenant au cours de la percolation de l'eau dans les systèmes de gestion à la source toute famille de polluants confondue et présentant en outre un abattement de volume important. Le système présentant un substrat végétalisé est particulièrement efficace. Nous donnons ci-dessous l'exemple des HAP et des Alkylphénols.

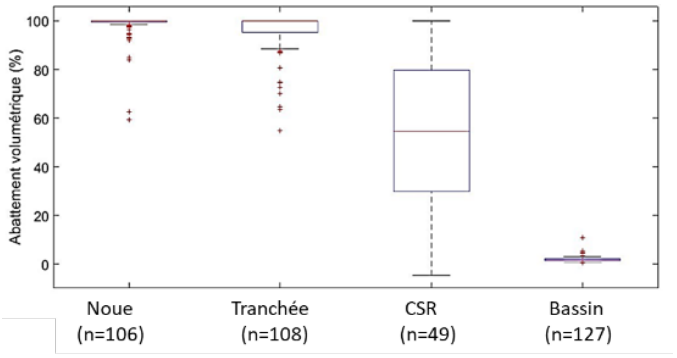
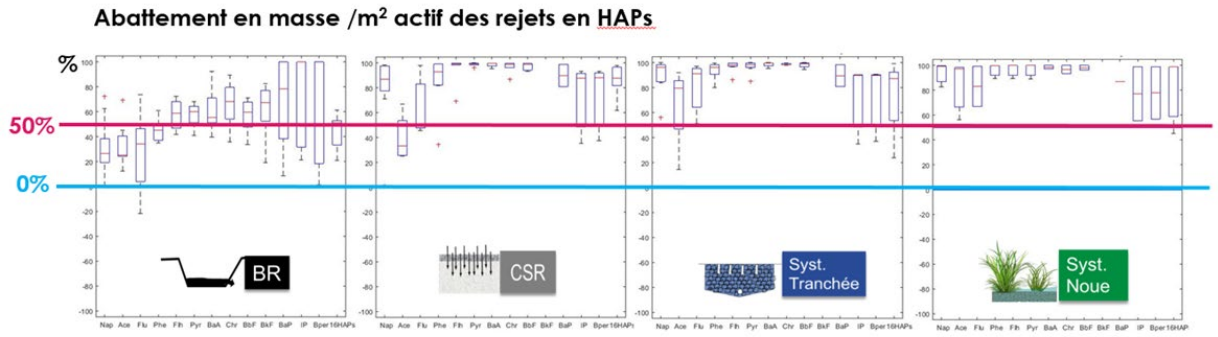
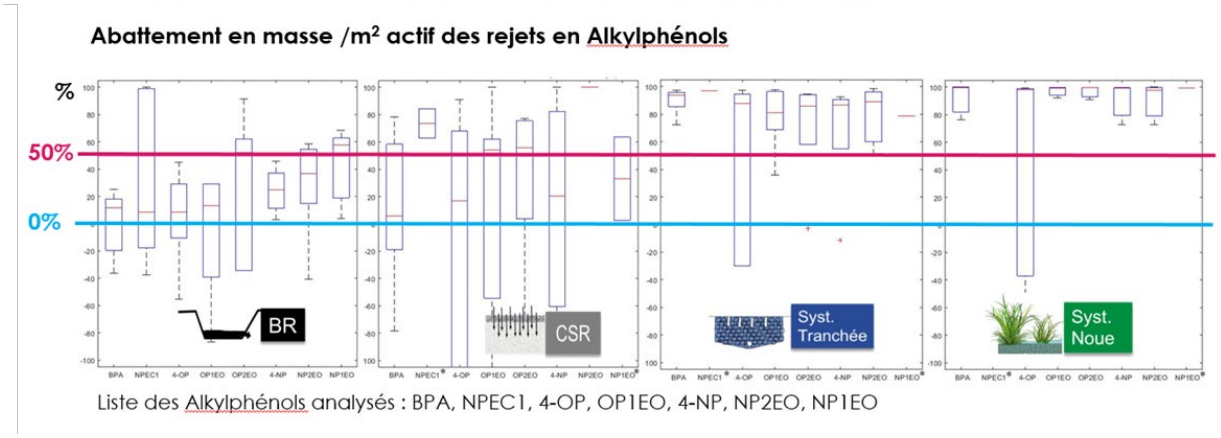


FIGURE 36. ABATTEMENT VOLUMÉTRIQUE (%) POUR LES SITES ÉTUDIÉS ET POUR LES N ÉVÈNEMENTS PLUVIEUX ANALYSABLES





Nap	Naphtalène	**Flh**	Fluoranthène	**BkF**	Benzo(k)fluoranthène
Acy	Acénaphthylène	**Pyr**	Pyrène	**BaP**	Benzo(a)pyrène
Ace	Acénaphtène	**BaA**	Benzo(a)anthracène	**IP**	Indeno(1,2,3-cd)pyrène
Flu	Fluorène	**Chr**	Chrysène	**D(a,h)A**	Dibenzo(a,h)anthracène
Phe	Phénanthrène	**BbF**	Benzo(b)fluoranthène	**Bper**	Benzo(g,h,i)pérylène
A	Anthracène				

BPA	Bisphénol A	**OP2EO**	Octylphénol-di-éthoxylé
NPEC1	Nonylphenol-1-carboxylé	**4-NP**	4-Nonylphénol
4-OP	4-Tert-Octylphénol	**NP2EO**	Nonylphénol-di éthoxylé
OP1EO	Octylphénol-mono-éthoxylé	**NP1EO**	Nonylphénol-mono-éthoxylé

FIGURE 37. ABATTEMENTS EN MASSES AU M² ACTIF SUR L'ENSEMBLE DES SITES POUR LES DEUX FAMILLES DE MICROPOLLUANTS (HAP ET ALKYLPHÉNOLS) PAR RAPPORT AUX SITES DE RÉFÉRENCE (ENTRÉE DU BASSIN DE RETENUE ET PARKING IMPERMÉABLE)

▶A RETENIR

L'analyse des résultats sur l'ensemble des campagnes réalisées lors du programme montre que les abattements en masse sont bien meilleurs sur la noue qui possède un substrat végétalisé au fort pouvoir d'absorption de l'eau (abattement des volumes) que sur le bassin de retenue/décantation qui n'en abat pas, couplé à un fort pouvoir de filtration.

➔ En matière de caractérisation des perceptions des dispositifs techniques et de leur rôle dans le piégeage des micropolluants par les différents niveaux décisionnels d'acteurs

Il ressort que :

- Il y a une vraie culture de site à promouvoir pour expliquer, montrer et former les personnels en charge de leur gestion qu'elle soit publique ou privée. Les personnels techniques ou en charge de l'entretien des espaces extérieurs sur le campus, par exemple, ignorent la fonction gestion

des EP et considèrent parfois l'eau en surface par temps de pluie comme un dysfonctionnement. Les observations in situ croisées avec les entretiens indiquent que le manque de lisibilité (compréhension du fonctionnement des ouvrages) peut être problématique notamment lors d'épisodes de chantier où une noue végétalisée est considérée comme une simple pelouse et donc parcourue par les engins alors que la même située au voisinage mais présentant une surface en galets est respectée.

- Les visites de sites de gestion des EP à la source avec un panel de personnels de différents services dans le cadre du projet « ville perméable » de la métropole de Lyon a montré la difficulté d'entretenir un dispositif dont on ne comprend pas immédiatement le fonctionnement ou le bien fondé. La lisibilité des ouvrages par les usagers, les riverains et surtout par les gestionnaires est importante pour la pérennité des dispositifs et éviter les mes-usages.
- Le maintien des performances passe par une stratégie de gestion patrimoniale impliquant une bonne cohésion des acteurs à l'échelle des collectivités territoriales
- Le développement d'une stratégie de systématisation du contrôle à la source à l'échelle de collectivités se heurte encore au cloisonnement des services (les dispositifs sont plus transversaux que les services susceptibles de les gérer), aux statuts des ouvrages et aux responsabilités en termes d'entretien. Cossais (2021) note par exemple sur la métropole lyonnaise que *le service de nettoiement et le service des espaces verts sont réticents vis-à-vis des ouvrages végétalisés et des revêtements perméables. La stagnation, voire la baisse des moyens financiers à leur disposition, malgré l'augmentation constante des surfaces à entretenir, les rend sceptiques vis-à-vis d'aménagements requérant des interventions manuelles. Les égoutiers, quant à eux, voient dans la multiplication des techniques alternatives une remise en cause de leur métier, de leur statut d'insalubrité et des avantages qui y sont liés.* Cela est complexifié par le fait que certains services (gestion des espaces verts par exemple) peuvent mobiliser des compétences à l'échelle communale, alors que la gestion des EP est intercommunale comme sur la métropole lyonnaise. Il y a donc une double difficulté à mettre en cohésion les services d'une même collectivité ou plusieurs collectivités aux intérêts parfois divergents.

La connaissance de la pollution des eaux pluviales quels que soient les dispositifs techniques est peu développée. La pollution des eaux et *a fortiori* les micropolluants sont rarement abordés spontanément dans les entretiens avec les acteurs de la gestion des eaux pluviales. La définition des micropolluants ne va pas de soi. Les acteurs techniques enquêtés citent en moyenne quatre familles (métaux lourds et hydrocarbures, pesticides et médicaments même si ces derniers sont peu associés aux eaux pluviales). Les attentes en matière de connaissances sont fortes (quels impacts sur le milieu, quel niveau de risque liés aux micropolluants ? sont des questions récurrentes). Il en est de même dans le corpus de littérature technique. Les micropolluants sont rarement cités et quand ils le sont, ils sont associés à la gestion par réseau (déversoir d'orage, réseau unitaire), pas aux techniques alternatives.

Il y a du travail de sensibilisation encore à mener auprès de tous les acteurs notamment les usagers des territoires. La pollution est identifiée par les usagers comme un enjeu important (notamment sur le campus) mais paradoxalement la qualité de l'eau n'est pas une préoccupation énoncée. Les préoccupations majeures sont les déchets et la pollution atmosphérique. Les MP ne sont donc pas identifiés comme à fort enjeu ni pour des gestionnaires ni pour des usagers.

5.3.2.4 Production scientifique

a) Thèses

Cossais N. (2021). *Les rôles différenciés de l'organisation des collectivités dans la fabrique de la ville perméable*. Thèse de doctorat Université de Tours, UMR CNRS 7324 CITERES – UMR CNRS 5600 EVS. Thèse CIFRE Métropole de Lyon. 618 p

Garnier R. (2020). Systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales : Contribution à l'analyse de performances conjointes en matière d'hydrologie quantitative et de piégeage de micropolluants. Comparaison systèmes à la source – système centralisé. Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon (Laboratoire DEEP). 318 p.

b) Articles dans revues ou conférences internationales (par ordre alphabétique du 1er auteur)

Ah-Leung S. (2019) Les dispositifs techniques de gestion des eaux pluviales à l'épreuve des publics : le cas des techniques alternatives de la métropole de Lyon *10th international conference on Urban Water NOVATECH.* 1-5 july 2019. 4 p.

Ah-Leung S. S., Rivière-Honegger A., Comby E., Cottet M., Cossais N., (2019). Perceptions et représentations des micropolluants et des techniques alternatives : l'exemple des usagers de l'Ecocampus Lyon Tech La Doua, *10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon,* 1-5 july 2019, 4 p.

Comby E., Cottet M., Rivière-Honegger A., Cossais N., Barraud S., Becouze-Lareure C., Mandon C. 2016. Les micropolluants dans les eaux pluviales : quelles représentations en ont les acteurs de la gestion ? *9th international conference NOVATECH*, 28 june-1st July 2016, Lyon, 4 p.

Cossais N., Andrew O. Thomas, Cherqui F., Morison P., Bos D., Martouzet D., Sibeud E., Honegger A., Lavau S., Fletcher TD. (2017) "Understanding the challenges of managing SUDS to maintain or improve their performance over time", Conference on Urban drainage, 10-15 septembre 2017, Prague, Czech Republic.

Cossais N., Martouzet D., Rivière-Honegger A., (2019). Fabriquer la Ville Perméable : jeu d'acteurs et étapes clés à la Métropole de Lyon, *10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon,* 1-5 july 2019, 4 p.

Cossais N., Thomas A.O., Cherqui F., Morison P., Bos D., Martouzet D., Sibeud E., Honegger A., Lavau S., Fletcher T.D. (2017) Understanding the challenges of managing SUDS to maintain or improve their performance over Time. 1*4th international Conference on urban drainage*, Prague, 10-15 September 2017. 9 p.

Flanagan K., Ah-Leung S., Bacot L., A. Bak, Barraud S., Branchu P., Castebrunet H., Cossais N., De Gouvello B., Deroubaix J.-F., Garnier R., Gromaire M.-C., Honegger A., Neveu P., Paupardin J., Peyneau P.-E., Ramier D., Rodriguez F., Ruban V., Seidl M., Thomas E., Varnede L. (2019). Development of a Guideline for Evaluating the Performance of Multi-objective Sustainable Drainage Systems (SuDS), *10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon,* 1-5 july 2019, Lyon.4p.

Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Cherqui F., Winiarski T., Vacherie S. (2017). Micropollutant removal efficiency: hydraulic monitoring and sampling strategy for source control stormwater control measures. 1*4th international Conference on urban drainage*, Prague, 10-15 September 2017. 9 p.

Garnier R., Castebrunet H., Barraud S. (2019). Micropollutant removal efficiency of stormwater source control measures – The case of Lyon Tech La Doua. *10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon,* 1-5 july 2019, Lyon.4 p.

Garnier R., Castebrunet H., Cherqui F., Vacherie S., Barraud S. (2018). Micropollutants removal efficiency of stormwater control measures: comparison of centralized vs source control systems, IWA World Water Congress, 16-21 September 2018, Tokyo, Japan.

Garnier R., Castebrunet H., Fardel A., Flanagan K., Gromaire M.-C., Ramier D., Rodriguez F., Barraud S. (2018). Monitoring and sampling methodology of source control systems for environmental assessment in Lyon, Nantes and Paris. IWA World Water Congress, 16-21 September 2018, Tokyo, Japan.

Garnier R., Castebrunet H., Sébastian C., Barraud S. (2019). Micropollutants removal efficiency of stormwater control measures: comparison of a centralized system with source control structures. 10th international conference NOVATECH.

Gromaire MC, Barraud S., Rodriguez F., Bak A., Branchu Ph, Castebrunet H., Flanagan K, Garnier R., Neveu P, Paupardin J, Ramier D., Ruban V., Seidl M, Thomas E, Varnède L.9(2019). How efficient are SUDS for micropollutant management? Feedback from Matriochkas, MicroMégas and Roulépur projects. *10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon,* 1-5 july 2019,, Lyon.4p.

Werey C., Cherqui F., Le Nouveau N., Garnier R., Fletcher T., Barraud S., Le Gauffre P. (2017). Research and operational needs to improve the asset management of stormwater control measures, *International Conference on The Leading Edge Sustainable Asset Management of Water and Wastewater Infrastructure (LESAM)*, 20-22 june 2017, Trondheim, Norway, 8 p.

c) Article et communications dans des conférences nationales (par ordre alphabétique du 1er auteur)

Comby E., Cossais N., Cottet M., Honegger A. (2016). Les micropolluants invitent-ils à une gestion différente des eaux pluviales ? L'exemple du territoire du Grand Lyon, poster, *Salon aquaterritorial*, Mulhouse.

Comby E., Honegger A., Cottet M., 2017, « Représentations et gestion des micropolluants dans les eaux pluviales, entre complexité, incertitudes et peurs », *Doctoriales de l'eau*, Montpellier, juin 2017, Lien:

Comby E., Rivière-Honegger A., Cottet M., Ah-Leung S. et Cossais N. (2019), « Les « techniques alternatives » sont-elles envisagées comme un outil de gestion qualitative des eaux pluviales ? », *Développement durable et territoires*, Vol. 10, n°3 | Décembre 2019 |

Cossais N. (2016). Gestion à la source des eaux pluviales : évolution des services techniques et des métiers. Approche socio-anthropologique au sein de la Métropole de Lyon. Récompensé meilleure présentation des JDHU 2016.

Cossais N., Honegger A., Sibeud E., Martouzet D. (2018). Gestion à la source des eaux pluviales : évolution des services techniques et des métiers. Approche socio-anthropologique au sein de la Métropole de Lyon, *TSM*, p. 41-53.

Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Vacherie S. (2016). Mesure d'efficacité des systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales en matière d'abattement de micropolluants et comparaison systèmes à la source / systèmes centralisé : Métrologie hydraulique et stratégie de prélèvements. 7eme Journées Doctorales de l'Hydrologie Urbaines (JDHU), Nantes, 11-12 octobre 2016. 4 pages. Récompensé meilleur poster des JDHU 2016.

Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Vacherie S. (2017). Measurement of various SUDS efficiency regarding micropollutants removal: hydraulic metrology and sampling strategy for source control and centralized systems, *23rd EJSW: Monitoring urban drainage systems*. 15 - 20 May 2017, Chichilianne, France, 4 p.

Garnier R., Castebrunet H., Barraud S. (2018). Mesure de l'efficacité des systèmes de gestion des eaux pluviales à la source en matière d'abattement de micropolluants : comportement en matière d'abattement de flux d'eau, de métaux et d'HAP. 8eme *Journées Doctorales de l'Hydrologie Urbaines*, Paris, 7-9 novembre 2018, 8 p.

d) Autres

Bacot L., Barraud S., Lagarrigue C. (2020) Devenir des micropolluants au sein des ouvrages de gestion des eaux pluviales source. https://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/actesyntheses/GRAIE-L4B-MicroMegas-TApollutions-VFIN.pdf

Flanagan K., Barraud S., Gromaire M.-C., Rodriguez F., Ah Leung S., Bacot L., Ramier D., Varnede L., Honegger A., Deroubaix J.- F. (2021 à paraître). Guide Méthodologique pour l'évaluation des performances d'ouvrages de maîtrise à la source des eaux pluviales. Editions OFB.

5.3.2.5 Collaborations

Cette thématique s'est appuyée principalement sur trois projets (MicroMegas financé par l'OFB complété par MicreauPluie (labex IMU), Ec'EauCampus issu du contrat de plan Etat / Région AURA 2015-2020 qui a contribué au développement d'un nouveau site OTHU. Elle a associé les laboratoires DEEP et EVS, la direction de l'eau du Grand Lyon, l'agence de l'Eau RMC, l'OFB et le GRAIE. Elle s'est inscrite en outre dans une démarche collective des trois observatoires français (OPUR, OTHU et

ONEVU) qui a permis de définir des modalités communes de suivi scientifique, des indicateurs communs permettant des comparaisons sous différentes conditions organisationnelles et climatiques. Un guide est sous presse (Flanagan et al, 2021).

5.3.2.6 Perspectives

Quatre axes majeurs sont à considérer :

- Continuer à réaliser les suivis des sites de manière à étoffer la base de données sur les performances hydrologiques et en termes de pollution ;
- Etudier l'évolution dans le temps des dispositifs notamment vis-à-vis du colmatage et de la qualité des sols ;
- Développer des indicateurs mesurables de suivi des performances s'inscrivant dans une approche de gestion patrimoniale des dispositifs à la source ;
- Développer une analyse à l'échelle du territoire permettant de mesurer les impacts globaux d'une stratégie de contrôle à la source en lien avec la « fabrique » et l'évolution de la ville qui intègre à la fois les impacts sur les différents compartiments : impact des rejets en lien avec la dynamique des rénovations urbaines sur les milieux aquatiques de surface, les eaux souterraines et les sols urbains, impact sur le microclimat urbain (infrastructures vertes et ilot de fraicheur).

5.3.3 PERFORMANCE DES OUVRAGES – SYSTÈMES INNOVANTS ET ÉCONOMES POUR LA SURVEILLANCE ET LA GESTION DE LA QUANTITÉ ET QUALITÉ DES EAUX PLUVIALES

EQUIPES : EVS Université Lyon2, INSA DEEP, INRAe, ISA UCBL, GRAIE

5.3.3.1 Contexte du projet Cheap'eau

Cheap'Eau est un projet OTHU/Agence de l'Eau de 24 mois visant à concevoir et évaluer des systèmes innovants et économes pour la surveillance et la gestion de la quantité et qualité des eaux pluviales (EP) en différents points d'un système d'assainissement. Cheap'Eau souhaite ainsi proposer des réseaux de surveillance des eaux pluviales qui soient : 1) libres (i.e. basés sur des technologies open-source) ; 2) accessibles (i.e. matériels low-cost commercialisés auprès du grand public) ; 3) adaptables et robustes ; et 4) communicants (i.e. basés sur l'Internet des Objets, IoT). Les systèmes Cheap'Eau produisent des chroniques de données et/ou des alertes quant à la quantité et la qualité des EP dans les réseaux, les déversoirs d'orage, les ouvrages de gestion alternatifs des eaux pluviales et les milieux aquatiques récepteurs. L'objectif de Cheap'Eau est de démontrer la faisabilité et l'intérêt du concept de chaîne métrologique à bas-couts auprès des bureaux d'étude, collectivités et laboratoires de recherche.

5.3.3.2 Highlight 1 : L'avis des bureaux d'étude et collectivités quant aux capteurs low-cost, connectés et open-source

L'enquête en ligne réalisée en juin 2020 auprès des acteurs de l'eau, montre globalement la faible connaissance de ces solutions de suivi (systèmes à bas coûts, IoT, et open source) et de leur potentialité par les gestionnaires. D'autre part, les réponses manifestent globalement un faible engouement des collectivités pour la réalisation des systèmes en interne : les collectivités ne veulent pas fabriquer leurs propres systèmes de suivi. En revanche, elles préfèrent être utilisatrices de ces systèmes clé-en-main. Ainsi, Cheap'Eau se positionnera en tant qu'aide et conseil auprès des collectivités pour une meilleure définition de leurs besoins en métrologie des EP (technique de

mesure, communication, gamme et fréquence de mesure). Ce support leur permettra de choisir parmi les nombreux fournisseurs en fonction des milieux à étudier et des objectifs fixés (eg. suivi d'ouvrage, alerte). Enfin, Les besoins exprimés par les gestionnaires se sont principalement orientés sur les aspects quantitatifs des EP ; la qualité de l'eau n'étant pas (ou peu) présente. Pour compléter et approfondir ce travail d'enquête, Ægir mène des entretiens ciblés et ouverts auprès des gestionnaires et bureaux d'étude. Compte tenu de la faible connaissance des solutions bas couts et connectées, et de l'absence de règlementation pour le suivi des EP, contrairement au suivi des STEP, seuls des entretiens individuels nous permettront d'avoir des informations plus précises sur leurs besoins et l'état des connaissances des collectivités/BE. Ces besoins sont très peu formalisés, un travail important de Cheap'Eau sera donc de montrer quelles nouvelles possibilités peuvent offrir ces nouveaux systèmes à bas-couts.

5.3.3.3 Highlight 2 : Les développement et tests des systèmes Cheap'Eau

Les partenaires de Cheap'Eau ont favorisé le développement de systèmes de mesure de paramètres très souvent suivis en hydrologie : hauteur d'eau, température, humidité du sol.
En parallèle, Cheap'Eau a commencé à constituer une liste détaillée des capteurs low-cost disponibles commercialement pour différents paramètres (hauteur d'eau, humidité relative de l'air, humidité dans le sol, pH, conductivité, pluie, turbidité, débit, vitesse du vent et rayonnement solaire).

Concernant la hauteur d'eau, ont été testés plusieurs prototypes de mesure soit par ultrasons (deux modèles testés), par laser (un modèle), et par pression (deux modèles). Certains de ces tests ont été réalisés en étroite collaboration avec des chercheurs australiens de l'Université de Melbourne.Des tests sont également actuellement menées sur les stations météorologiques à bas-coûts, pour permettre d'obtenir au plus près de l'ouvrage les paramètres liés à l'air (température et humidité notamment), la pluviométrie, le rayonnement solaire, ainsi que la vitesse et la direction du vent.
Un système d'acquisition permettant d'optimiser la consommation énergétique (sur batterie et panneau solaire) et de communiquer les données via un réseau LoraWan ou Sigfox a été développé. Il permet de mesure tout ou certains des paramètres suivant : la hauteur d'eau, la température, la turbidité et la mesure du biopotentiel électrique d'arbres rivulaires de bassin d'infiltration. Ce système est encapsulé dans un tube PVC qui a fait ses preuves pendant un an sur un terrain en montagne (avec des écarts de température, d'humidité et d'ensoleillement) et assurant le fonctionnement du système sur la longue durée.

Le cout global du système est actuellement inférieur à 200 €. Il nous offre actuellement une première version d'un prototype fonctionnel pouvant être testé et évalué sur le terrain et comparé à des sondes commerciales traditionnelles (Figure 38).

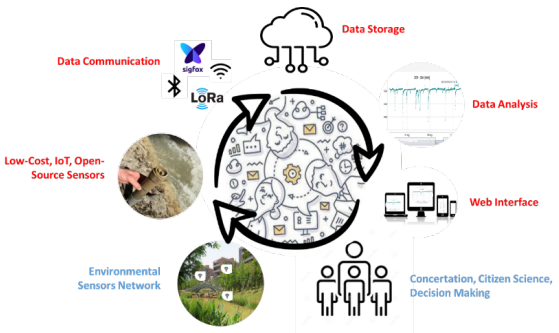


FIGURE 38: PROJET CHEAP EAU, DE L'ÉLABORATION DES CAPTEURS, LEUR MISE EN PLACE JUSQU'À LA VISUALISATION DES DONNÉES ET LEUR PARTAGE. APPARAISSENT EN ROUGE LES ÉTAPES TRAITÉES PAR LE PROJET CHEAP'EAU.

(a)

(b)

(c)

(d)

FIGURE 39: QUELQUES EXEMPLES DE PROTOTYPES RÉALISÉS DANS LE CADRE DU PROJET CHEAP EAU : (a) SYSTÈME DE SUIVI DE LA HAUTEUR D'EAU PAR ULTRASON, PORTES DES ALPES, PHOTO F. CHERQUI, (b) DÉVELOPPEMENT D'UNE SONDE DE MESURE DE LA TURBIDITÉ, BRON, PHOTO BENOÎT ANQUEZ, (c) TEST D'UNE STATION MÉTÉOROLOGIQUE LOW-COST (À GAUCHE) EN PARALLÈLE D'UNE STATION DE RÉFÉRENCE (À DROITE), VILLEURBANNE, PHOTO QINGCHUAN ZHU (d) MESURE DE HAUTEUR D'EAU PAR PRESSION, PORTE DES ALPES, PHOTO F. CHERQUI

5.3.3.4 Highlight 3 : Le partage des données IoT via la plateforme Ode

Ode - pour OpenDataEau - est une plateforme ouverte rassemblant et donnant libre accès en temps réel à la surveillance environnementale produite par les laboratoires de recherche publics : INSA DEEP, CNRS-EVS, CNRS-ISA, INRAE. Elle a pour objectif de communiquer et de mettre à disposition du plus grand nombre des données sur l'eau, et plus particulièrement sur la climatologie, l'hydrologie et la géomorphologie fluviale. Cet outil s'adresse donc à tous les acteurs de l'eau qui accepte de partager librement les données qu'ils produisent : collectivités locales, bureaux d'études, chercheurs, associations et grand public.

Nos objectifs s'inscrivent dans les perspectives de la Science Ouverte, en particulier aux principes des données FAIR (facilité de recherche, accessibilité, interopérabilité et réutilisation). Plus particulièrement Cheap'Eau vise à :

- Disséminer des données gratuites et brutes, sans interprétation ni traitement ;
- Fournir une plateforme en ligne pour surveiller nos environnements proches (par exemple, les eaux urbaines, les rivières, les bassins versants) en temps quasi réel à l'aide d'objets de surveillance environnementale connectés ;
- Suivre nos systèmes de surveillance afin d'améliorer leur maintenance et la qualité des séries temporelles produites ;
- Proposer une interface simple pour la visualisation et le téléchargement des données ;

- Offrir une plateforme en ligne pour effectuer les premières analyses de séries temporelles, par exemple : la température sur différents sites ou la comparaison de variables environnementales sur une même station.

5.3.3.5 Productions scientifiques

Anquez B, Perret F, Cherqui F, Navratil O, Namour Ph, Design and assessment of innovative low-cost, and open-source sensors for monitoring stormwater turbidity in urban water, 10th Franco-Spanish Workshop CMC2-IBERNAM, Novembre 25 th-26 th 2021, Arcachon, (France).

Bourjaillat B, Perret F, Cherqui F, Navratil O, Namour Ph, Low cost sensor for environmental and hydrological monitoring through tree electro-physiological signals, 10th Franco-Spanish Workshop CMC2-IBERNAM, Novembre 25 th-26 th 2021, Arcachon, (France).

Namour Ph, Perret F, Bertrand-Krajewski JL, Cherqui F, Jose C, Fakri-Bouchet L, Jaffrezic N, Bacot L, Caltran H, Lacaille S, Montplot A, Beguin P, Lagarrigue C, Navratil O, Cheap'Eau, Innovative low-cost solutions for monitoring urban water management systems, Prospective INSU, Nouveau Capteurs environnementaux, 15-17/01/20, Banyuls/Mer (France).

Perret F, Krieg-Rabeski P, Maurer L, Namour Ph, Legout C, Freche G, Guyard H, Navratil O, Design and field-test of an operational low-cost and open-source system for river water quality monitoring Workshop "Low-cost Sensors and Microsystems for Environment Monitoring", 20-21/05/19, Toulouse (France). hal-03127722.

Cherqui, F., James R., Poelsma P., Burns M.J., Szota C., Fletcher T. and Bertrand-Krajewski J.-L. (2020) A platform and protocol to standardise the test and selection low-cost sensors for water level monitoring, H2Open Journal, 3(1), 437-456. https://doi.org/10.2166/h2oj.2020.050.

Cherqui, F., James R., Poelsma P., Szota C., Burns M.J., Fletcher T. and Bertrand-Krajewski J.-L. (2021) Real-time monitoring of water level at low-cost, The International Conference on Urban Drainage, 25-28 October 2021.

Zhu Q., Cherqui F., Bertrand-Krajewski J.-L. (2021) Design and test of a low-cost weather station for monitoring green roofs, The International Conference on Urban Drainage, 25-28 October 2021.

5.3.4 PERFORMANCES DES OUVRAGES : MÉLANGE DES EAUX À L'AVAL D'UNE CONFLUENCE – AMÉLIORATION DE LA MODÉLISATION DES FLUX

EQUIPES : LMFA ECL/INSA, INRAe, INSA DEEP

5.3.4.1 Problématiques et questions scientifiques :

La thèse porte sur le mélange de deux écoulements à surface libre à l'aval de leur confluence. La finalité opérationnelle est de mieux paramétrer le mélange des flux polluants, dissous et particulaires, dans les cours d'eau et les réseaux d'assainissement. Les questions scientifiques étaient d'expliquer les grandes disparités observées dans la littérature sur l'efficacité de ce mélange, qui nécessite une longueur à l'aval de la confluence qui varie, selon les cas, de quelques fois à quelques centaines de fois la largeur à la confluence. L'examen de ces questions devait permettre de proposer une loi incluant les paramètres géométriques et hydrauliques de la confluence.

5.3.4.2 Démarche Scientifique :

La démarche scientifique s'est articulée autour de trois volets complémentaires.

Le premier était basé sur des expérimentations de terrain à la confluence Rhône-Saône. Des mesures de conductivité – qui est un scalaire passif conservatif – ont été effectuées depuis un bateau sur plusieurs sections (1 section amont pour chaque cours d'eau puis plusieurs sections à l'aval de leur confluence, jusqu'au port E. Herriot). Ces mesures ont permis de caractériser le mélange entre les deux cours d'eau, pour trois régimes assez distincts (étiage, nival et pluvial). Le second volet a mis en œuvre des expériences de laboratoire, avec une technique de mesure de concentration originale utilisable en circuit fermé, basée sur de la PH-métrie, et fournissant ainsi une base de données précise et plus détaillée que ce qui est permis sur le terrain au vu des échelles considérées.

Le troisième et dernier volet, à partir de la connaissance acquise expérimentalement, était une étude paramétrique du mélange à l'aval de confluence, associant l'analyse dimensionnelle et des simulations numériques hydrodynamiques 3D (logiciel commercial StarCCM+).

5.3.4.3 Résultats :

La méthodologie appliquée aux mesures sur la confluence Rhône-Saône a donné des résultats probants, permettant notamment l'estimation du coefficient de mélange transverse ε_y et par la suite de la longueur L_m nécessaire au mélange des deux affluents. Les mesures ont mis en évidence qu'une brusque stratification verticale peut survenir sous certaines conditions hydrauliques (notamment, du rapport des débits respectifs des affluents). En l'absence de celle-ci, en revanche, les formulations classiques, moyennées sur la verticale et basées sur un coefficient de mélange transverse, modélisent correctement le mélange. D'un point de vue opérationnel, ces résultats ont permis d'établir une formulation qui est en cours d'implémentation dans le code de simulation hydro-sédimentaire 1D Adis-TS, ce qui était un objectif clair dès le début de la thèse.

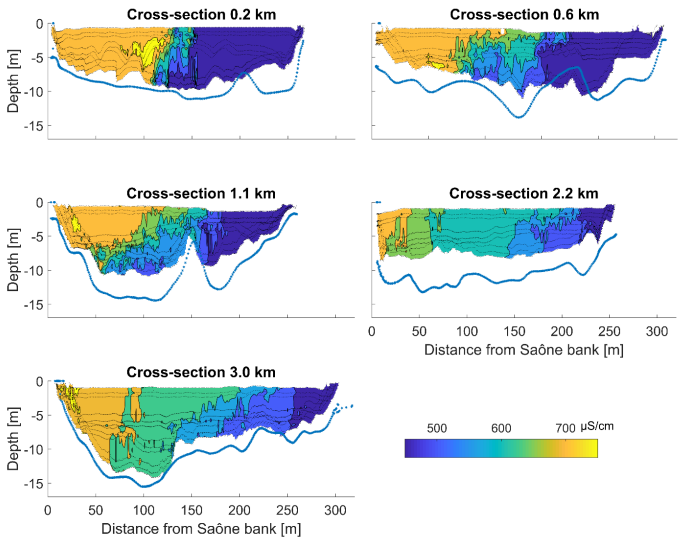


FIGURE 40: MESURES TERRAIN DE CONDUCTIMÉTRIE MONTRANT LE MÉLANGE ESSENTIELLEMENT TRANSVERSE ENTRE LES EAUX PROVENANT DE LA SAÔNE (ORANGÉ) ET DU RHÔNE (BLEU MARINE) DANS DES SECTIONS SUCCESSIVES À L'AVAL DE LA CONFLUENCE (DISTANCE INDIQUÉE EN KM). FIGURE EXTRAITE DE POUCHOULIN (2019).

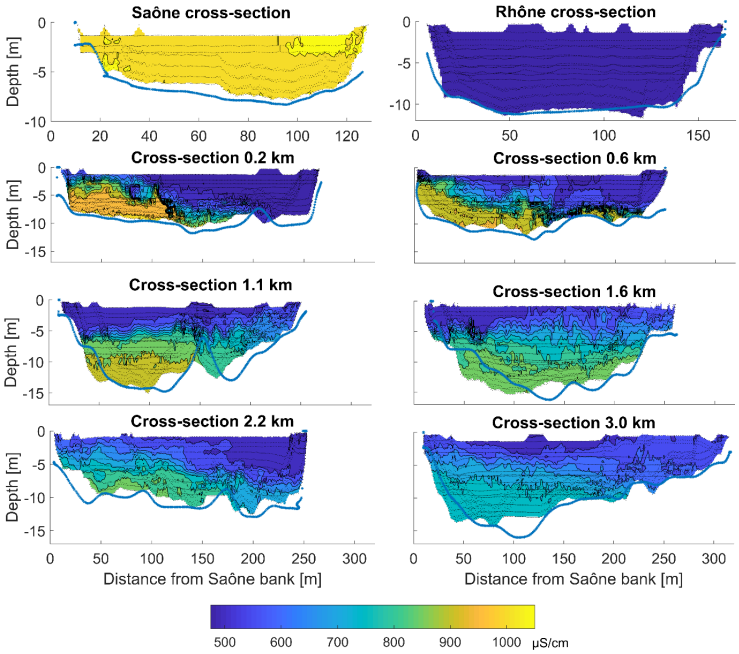


FIGURE 41: MESURES TERRAIN DE CONDUCTIMÉTRIE MONTRANT LA RAPIDE STRATIFICATION DES EAUX PROVENANT DE LA SAÔNE (JAUNE ET ORANGÉ) ET DU RHÔNE (BLEU MARINE) À DES SECTIONS SUCCESSIVES À L'AVAL DE LA CONFLUENCE (2 SECTIONS AMONT PUIS SECTIONS À DES DISTANCES INDIQUÉES EN KM). FIGURE EXTRAITE DE POUCHOULIN (2019).

En ce qui concerne les mesures de laboratoire, la nouvelle technique de mesure mise en œuvre, basée sur la PH-métrie, a donné des résultats prometteurs. Elle présente de véritables atouts pour les laboratoires hydrauliques : aucun besoin d'accès optique et, surtout, la possibilité de réaliser des expériences de très longue durée en boucle fermée. Elle a prouvé sa capacité à mesurer une distribution de concentration dans des écoulements fortement 3D, révélant l'effet de courants secondaires sur le mélange. En revanche, sa mise en œuvre assez coûteuse, en temps et en réactifs, a limité son utilisation pour une étude paramétrique du mélange.

L'étude paramétrique a donc été menée de façon numérique, afin d'établir une relation prédictive de la longueur nécessaire au mélange L_m. Elle a montré que dans le cas d'une géométrie simple et sans différence de densité entre les affluents, l'ordre de grandeur de la longueur nécessaire au mélange L_m dépend au premier ordre de sa géométrie, c'est-à-dire de sa largeur relative *(*rapport largeur/profondeur *b/h)* et de l'angle entre les affluents. Les processus hydrodynamiques dominant le mélange dépendent des configurations : la diffusion turbulente lorsque l'angle de la confluence est faible (<30°) ou la largeur relative assez importante (*b/h*>10), l'advection (ou dispersion) par les courants secondaires hélicoïdaux sinon.

5.3.4.4 Production Scientifique :

a) Thèse :

POUCHOULIN, Sébastien. Mélange des eaux à l'aval d'une confluence: Amélioration de la modélisation des flux de contaminant dans les cours d'eau et les réseaux d'assainissement. 2019. Thèse de doctorat. INSA Lyon, Université de Lyon.

b) Articles de journaux :

Pouchoulin, S., Le Coz, J., Mignot, E., Gond, L., & Riviere, N. (2020). Predicting Transverse Mixing Efficiency Downstream of a River Confluence. *Water Resources Research*, *56*(10), e2019WR026367.

Momplot, A., Lipeme Kouyi, G., Mignot, E., Rivière, N., Bertrand-Krajewski, J.-L. (2017). Typology of the flow structures in dividing open channel flows. *Journal of Hydraulic Research*, 55 (1), 63-71. https://doi.org/10.1080/00221686.2016.1212409

Pouchoulin, S., Ramos, P. X., Mignot, E., Schindfessel, L., De Mulder, T., & Riviere, N. (2018). Discussion of "Tang, H., Zhang, H., & Yuan, S.(2018). Hydrodynamics and contaminant transport on a degraded bed at a 90-degree channel confluence". *Environmental Fluid Mechanics*, *18*(5), 1293-1295.

c) Congrès internationaux

Pouchoulin, S., Mignot, E., Rivière, N., & Le Coz, J. (2018, September). Numerical simulations on mixing of passive scalars in river confluences. In RiverFlow 2018 (p. 8).

Mignot, E, S. Pouchoulin, N. Riviere, 2017. Passive Scalar Mixing Efficiency in open-channel confluences, EGU (European Goesciences Union). Vienne, 23-28 Avril 2017

Pouchoulin S., E. Mignot, N. Riviere, G. Lipeme Kouyi., J. Le Coz. 2017. Impact of the shallowness on the passive scalar mixing efficiency in an open-channel confluence. Shallow Flows, 6–28 June 2017, Eindhoven, The Netherlands

5.3.4.5 Collaborations

Laboratoires OTHU impliqués : LMFA, INRAe, DEEP

5.3.4.6 Perspectives

Les conditions hydrodynamiques conduisant à la stratification verticale ou non de l'écoulement entre les deux confluences ne sont pas déterminées. Notamment, le nombre sans dimension pertinent pour prédire l'apparition de cette stratification – qui serait sans doute un nombre de Richardson modifié – reste une question ouverte. Les techniques mises en œuvre sur le terrain et en laboratoire seront améliorées et remises en œuvre dans de prochaines études.

5.3.5 PERFORMANCE DES OUVRAGES - APPROCHE MULTI-ÉCHELLE POUR ÉVALUER LA CAPACITÉ DU DSM-FLUX À PROTÉGER LES MILIEUX AQUATIQUES. QUANTIFICATION DES FLUX D'EAU REJETÉS PAR LES DÉVERSOIRS D'ORAGE ET INTERCEPTION DES POLLUANTS PARTICULAIRES.

EQUIPES : INSA DEEP, LMFA ECL/INSA

5.3.5.1 Problématiques et questions scientifiques :

La thèse s'est attachée à des solutions pour collecter des données sur le volume et la qualité d'effluents d'eaux urbaines. Au cours des quinze dernières années, les gouvernements de l'Union Européenne ont en effet été encouragés à collecter des données sur le volume et la qualité de tous les effluents ayant un impact environnemental significatif sur les milieux aquatiques récepteurs. Les méthodes de surveillance de ces flux nécessitent des améliorations, en particulier pour les déversoirs d'orage, structures complexes responsables en grande partie de la dégradation de la qualité des milieux récepteurs. Le DSM-flux (Dispositif pour la surveillance et maîtrise des flux d'eaux et polluants des réseaux d'eaux pluviales et unitaires) était au début de la thèse un tout nouveau dispositif. Destiné à être placé à l'exutoire de déversoirs d'orage, il est préconçu et pré-étalonné pour garantir les conditions hydrauliques appropriées pour mesurer les débits et volumes déversés, mais aussi les concentrations et masses de polluants qui y sont transportées. Les deux questions opérationnelles centrales étaient effectivement : (i) la capacité réelle du dispositif à fournir des données robustes sur les volumes déversés et (ii) sa capacité réelle à piéger les polluants particulaires, avant leur déversement dans le milieu naturel.

5.3.5.2 Démarche Scientifique :

Le travail a adopté une approche systématiquement multi-échelles, permise par la mise en œuvre de trois outils complémentaires. Un premier outil, expérimental, est le modèle réduit du DSM (figure ci-dessous), permettant des expériences en conditions contrôlées de laboratoire, et instrumenté en débit, en mesure de profondeurs et de vitesse à des positions variables. Il a été utilisé pour établir la loi d'ouvrage du DSM (relation hauteur-débit), sur une gamme de débits variés, et pour en prouver la robustesse en introduisant des perturbations amont. Ce premier outil dispose aussi d'une injection de sédiments fins à l'amont et de moyens pour caractériser leur dépôt, et ainsi l'efficacité du piégeage. Le second outil est la simulation numérique 3D des écoulements (logiciel commercial Ansys-fluent, avec modèle de turbulence et reconstruction de la surface libre par la méthode VOF). Il permet de modifier facilement les dimensions du dispositif pour étudier les effets d'échelle, tout en fournissant des données difficilement accessibles – tout au moins avec autant de détails – expérimentalement. Le troisième outil est un dispositif DSM de terrain – à l'échelle 1 donc – installé à l'exutoire d'un déversoir d'orage réel, à Sathonay-Camp, au nord de Lyon.

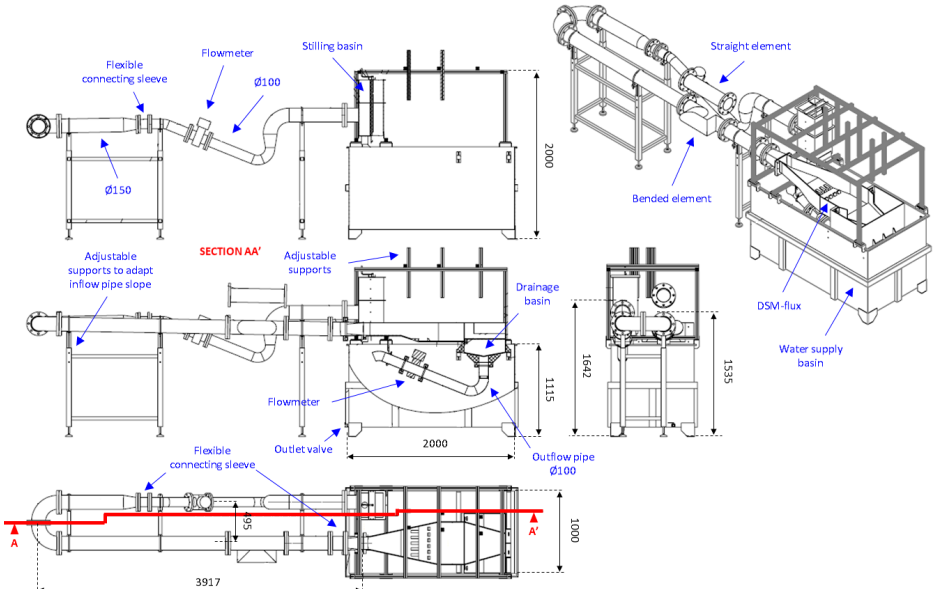


FIGURE 42: PLANS DU DSM À L'ÉCHELLE DE LABORATOIRE UTILISÉ LORS DE LA THÈSE ; FIGURE EXTRAITE DE MATE-MARIN (2019)

5.3.5.3 Résultats :

La relation permettant de mesurer le débit au passage du DSM-flux a été construite grâce à l'étude expérimentale sur modèle physique réduit, puis validée pour plusieurs configurations d'écoulement à l'amont du dispositif. Quelles que soient les conditions hydrauliques en amont (passage par un coude, présence d'obstacles…), les incertitudes relatives restent inférieures à 15% et 2% pour les débits et les volumes étudiés, respectivement. La relation hauteur-débit obtenue (figure ci-dessous) permet une estimation tout à fait correcte du débit et précise des volumes déversés, avec une grande robustesse par rapport aux conditions aux limites amont, ce qui était l'objectif principal du dispositif. La méthode de mesure a été validée *in situ* sur le dispositif à échelle réelle construit sur le terrain et fonctionnant en conditions réelles, pour les débits modérés ; des problèmes expérimentaux (possible mise en charge du réseau à l'aval) ne permettent pas de conclure pour les plus forts débits.

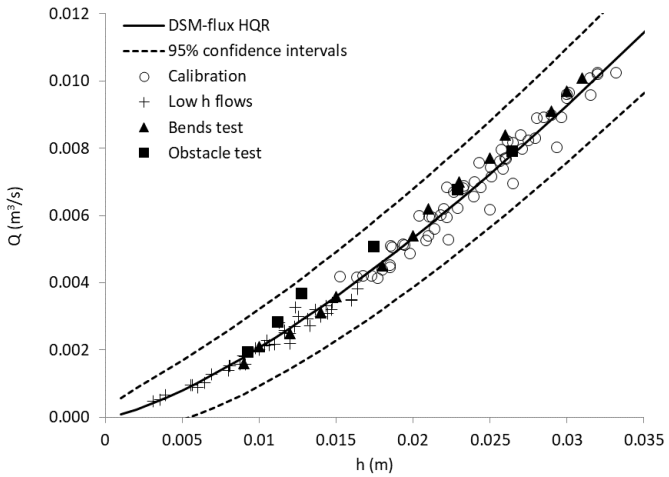


FIGURE 43: RELATION HAUTEUR DÉBIT DU DSM À L'ÉCHELLE DE LABORATOIRE : EXPÉRIENCES EN CONDITIONS NORMALES (SYMBOLES OUVERTS), AVEC DES PERTURBATIONS AMONT (SYMBOLES FERMÉS), POUR LES PETITES PROFONDEURS LAISSANT APPARAÎTRE DE L'ADHÉRENCE DE NAPPE (CROIX) ET CORRÉLATION EMPIRIQUE DÉDUITE (TRAIT PLEIN) ; FIGURE EXTRAITE DE MATE-MARIN (2019)

Grâce à sa conception originale, le DSM-flux favorise l'interception d'une fraction des polluants particulaires. L'hydrodynamique de ce dispositif de mesure a été analysée ainsi que les conditions qui engendrent la décantation des polluants particulaires. En fonction des conditions d'écoulement, il a pu retenir jusqu'à 50% de la masse totale des matières solides fines en suspension transitant par le dispositif, mais ce pourcentage diminue rapidement en fonction du débit. Les zones de dépôt sont, comme attendues, très fortement corrélées aux zones de faible énergie cinétique turbulente (TKE). Un résultat prometteur est que les sédiments érodés après leur déposition restent souvent à l'intérieur du dispositif, en se déposant dans d'autres zones plus calmes, ce qui explique la corrélation moins forte entre érosion et relargage par rapport à d'autres géométries de déversoir d'orage. La capacité de rétention du dispositif a été aussi observée sur le terrain et une méthodologie a été élaborée pour quantifier son efficacité de rétention lors d'études futures.

5.3.5.4 Production Scientifique :

a) Thèse :

MARIN, Ainhoa Mate. Multiscale approach to assess the DSM-flux capacity to mitigate impacts on the receiving waters: Quantification of overflow rates and interception of particulate pollutants from combined sewer overflows. 2019. Thèse de doctorat. INSA Lyon. Université de Lyon.

b) Articles de journaux :

Mate Marín, A., Rivière, N., & Kouyi, G. L. (2018). DSM-flux: A new technology for reliable Combined Sewer Overflow discharge monitoring with low uncertainties. *Journal of environmental management*, *215*, 273-282

c) Congrès internationaux

Maté Marín A., Lipeme Kouyi G., Rivière N. (2016). Stage-discharge relationship of the DSM-flux to measure overflow rates in combined sewer systems. 8th International Conference on Sewer Processes and Networks, 31 August-2 September 2016, Rotterdam, Netherlands.

Maté Marín A., Lipeme Kouyi G., Rivière N. (2017). Uncertainty analysis of the DSM-flux stage-discharge relationship: comparison of GUM and Monte Carlo approaches. 23rd European Junior Scientist Workshop, 15-20 May 2017, Chichilianne, France.

Maté Marín A., Rivière N., Lipeme Kouyi G. (2017). Uncertainty analysis of the DSM-flux stage-discharge relationship to measure CSOs: comparison of GUM and Monte Carlo approaches. 14th IWA/IAHR Int. Conference on Urban Drainage. 10-15 September 2017, Prague, Czech Republic.

d) Congrès nationaux - colloques

Maté Marín A., Lipeme Kouyi G., Rivière N. (2016). Vérification numérique de la relation hauteur – débit obtenue expérimentalement pour le DSM-flux. 7èmes Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine, 11-12 October 2016, Nantes, France.

Maté Marín A., Lipeme Kouyi G., Rivière N. (2017). Monitoring CSO volumes and quality with the DSM-flux. Colombian - French Conference on Urban Water Systems. 30 November – 1 December 2017, Lyon, France.

5.3.5.5 Collaborations

DEEP, LMFA, Grand Lyon (devenu Lyon-Métropole) , Provademse, Pulsalys, Région Auvergne Rhône Alpes, Université Lyon 1, INSAVALOR, Axelera, société SADE, Hydreka

5.3.5.6 Perspectives

La thèse a montré l'intérêt du dispositif et sa robustesse pour la mesure de débit à l'exutoire de déversoir d'orage. Les résultats quant à la rétention sont plus préliminaires : la capacité de rétention en fonction des paramètres hydrodynamiques et de ceux des sédiments reste à établir, pour proposer par exemple des stratégies de curage régulier et/ou l'installation de pièges à sédiments sur le fond du dispositif. Le dispositif

devrait être mis à profit pour d'autres études prévues dans un avenir proche, par exemple pour l'étude des micro-plastiques.

5.3.6 MODÉLISATION DES FLUX D'EAU ET DE DBO5 DÉVERSÉS AU NIVEAU DU DÉVERSOIR D'ORAGE DE VALENCE ROMANS AGGLO

EQUIPES : INSA DEEP, LMFA ECL/INSA

5.3.6.1 Problématiques et questions scientifiques

Il est maintenant bien établi que les déversoirs d'orages (DO) installés en réseau unitaire sont la principale source de pollution pour les milieux récepteurs en temps de pluie. La maîtrise de ces flux de pollution déversés par les DO requiert l'étude du fonctionnement hydraulique et du transport de polluants, véhiculés majoritairement sous forme particulaire en suspension. En France, les déversoirs latéraux sont les plus répandus. La modélisation 3D est l'approche numérique qui permet aujourd'hui de mieux appréhender la complexité des écoulements au sein de ces DO latéraux. A notre connaissance, il y a très peu d'études couplant modélisation 3D et données de débits et de concentrations en polluants collectées in situ sur le long terme et permettant de comprendre le fonctionnement hydraulique et vis-à-vis de la pollution d'un DO latéral complexe soumis à l'autosurveillance règlementaire.

La question centrale qui a guidé le travail de thèse CIFRE (entre DEEP et Valence Romans Agglo) est la suivante :

Comment caractériser l'écoulement tridimensionnel porteur de polluants et le flux de pollution déversé, en particulier les grandeurs responsables de la dispersion des polluants et le suivi de la demande biochimique en oxygène à 5 jours (DBO5), au niveau d'un déversoir d'orage latéral in situ en temps de pluie?

Pour traiter cette question, trois objectifs principaux ont été fixés, à savoir :

(i) réaliser des expérimentations et des simulations numériques (à l'aide des méthodes des volumes finis et de Boltzmann sur réseau) à deux échelles (laboratoire et terrain) pour comprendre le comportement hydrodynamique et la dispersion des polluants particulaires au sein d'un déversoir latéral; (ii) exploiter les outils de modélisation validés et les données expérimentales pour améliorer l'instrumentation du déversoir d'orage autosurveillé de la ville de Valence; (iii) vérifier si le critère de conformité sur la pollution (le flux de DBO5 déversé doit être inférieur à 5% du flux total collecté) est approprié par rapport à l'Arrêté du 21 juillet 2015 sur l'autosurveillance des réseaux d'assainissement.

5.3.6.2 Démarche scientifique et méthode

Dans un premier temps les mesures de débits amont, conservés et déversés ainsi que celles liées à la séparation particulaire au droit d'un déversoir latéral ont été réalisées en conditions contrôlées (mobilisation du site Atelier OTHU LMFA – croisement de canaux à surface libre, avec utilisation d'une des branches pour mimer une canalisation de décharge – voir Figure 44).

FIGURE 44. DÉVERSEMENT AU NIVEAU D'UN DÉVERSOIR LATÉRAL PILOTE.

Les données collectées ont permis d'élaborer, tester et valider les modèles 3D permettant de simuler le comportement hydrodynamique et la dispersion de polluants particulaires au passage d'un DO latéral en régime fluvial. Les options de modélisation appropriées (maillage, schémas de discrétisation, modèle de turbulence, conditions aux limites, critères de convergence) ont été sélectionnées et appliquées au cas d'étude du DO in situ appelé « Gambetta » exploité par Valence Romans Agglo (voir Figure 45).

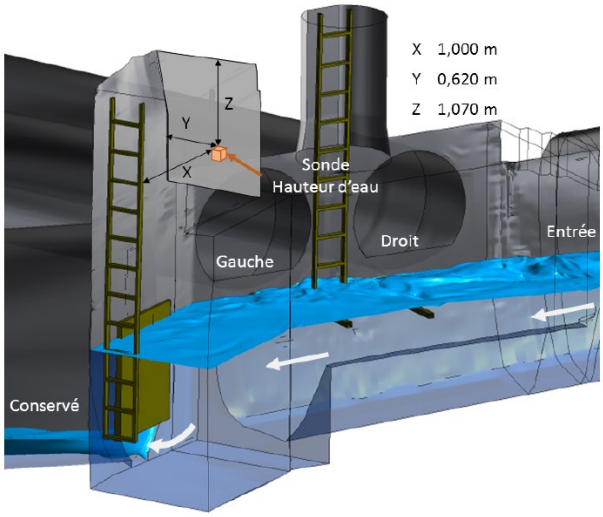


FIGURE 45: DO « GAMBETTA » AVEC LES DEUX CANALISATIONS DE DÉCHARGE (GAUCHE ET DROITE), LA VANNE DE CONTRÔLE DU DÉBIT CONSERVÉ. LES COORDONNÉES DE LA POSITION DU CAPTEUR DE HAUTEUR SONT ÉGALEMENT INDIQUÉES

Les modèles 3D, validés grâce aux résultats expérimentaux de laboratoire, ont permis de simuler le fonctionnement hydraulique du DO in situ « Gambetta ». Les résultats des simulations ont été ensuite vérifiées grâce aux données d'autosurveillance de la ville de Valence (données de débits amont, déversés et de hauteurs dans la canalisation amont et au niveau du déversoir- le capteur de hauteur était positionné à l'amont de la vanne de contrôle Figure 45). Une démarche de double validation de l'approche 3D, très rare dans la littérature, a donc été employée (validation en utilisant des données collectées en laboratoire en conditions contrôlée et in situ en situation instationnaire).

L'exploitation des résultats des simulations 3D ainsi vérifiés a permis de d'élaborer plusieurs lois de déversement. Ces modèles de déversement ont été employées pour estimer les flux de DBO5 (couplage avec les résultats des campagnes de prélèvement utiles à l'obtention des concentrations moyennes événementielles en DBO5). La demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO5) a été mesurée de manière alternative à l'aide de la méthode Enverdi® DBO. La méthode Enverdi® DBO mesure la demande biochimique en oxygène par mesure fluorimétrique de l'activité respiratoire bactérienne lors d'une incubation de 48 heures à 30°C. La fluorescence mesurée est convertie en mg/l d'oxygène (O2) grâce à des solutions étalons de DBO5 connue. Grâce à cette démarche, le critère de conformité sur la pollution a ainsi pu être construit et vérifié pour le cas du DO « Gambetta ».

5.3.6.3 Résultats

Les résultats obtenus montrent que : (i) la modélisation des écoulements à surface libre à l'aide de la méthode de Boltzmann sur réseau nécessite encore des développements importants, notamment la définition des conditions aux limites adéquates pour le cas des écoulements turbulents; (ii) une stratégie de modélisation 3D (à l'aide du modèle de turbulence RNG k-epsilon) permettant de prédire la répartition des débits en conditions contrôlées n'assure pas la reproduction de la répartition massique des polluants particulaires, du fait notamment de la difficulté à reproduire les courants secondaires; (iii) la même stratégie permet malgré tout d'identifier les zones d'échantillonnage et de simuler l'implémentation d'un capteur pour le suivi de la qualité des rejets d'un DO latéral par temps de pluie (e.g. le positionnement pertinent d'un turbidimètre in situ); (iv) la concentration en DBO5 (demande biochimique en oxygène sur 5 jours) était corrélée à la concentration en MES (matières en suspension), et donc le suivi de la DBO5 (paramètre règlementaire) pourrait être fait à partir des concentrations en MES (e.g. mesurées à l'aide d'un turbidimètre) sur le site d'étude.

Nous avons également constaté que les concentrations en DBO5 du flux déversé sont inférieures à celles liées au bilan 24 heures en entrée de la station d'épuration. Le critère de conformité réglementaire, fondé sur le flux de DBO5 déversé, est compris entre 3.9% et 5.3%, et le seuil réglementaire impose une valeur inférieure à 5% du flux total produit par le système de collecte. Ce résultat indique que la ville de Valence pourrait envisager d'analyser la conformité de leur système de collecte à l'aide de ce critère.

Enfin, ces travaux ont également permis de valider pour la première fois l'approche de modélisation 3D appliquée au cas d'un déversoir latéral complexe soumis à l'autosurveillance réglementaire grâce aux données in situ de hauteurs d'eau, débits amont et débits déversés (Figure 46 et Figure 47).

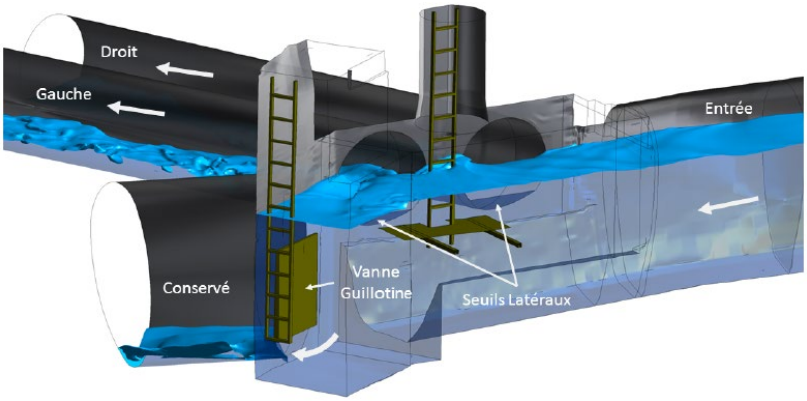


FIGURE 46. RÉSULTAT DE LA MODÉLISATION 3D DE LA SURFACE LIBRE AU NIVEAU DU DO « GAMBETTA »

Ils confirment l'emploi de l'approche 3D et des essais en laboratoire comme outils opérationnels permettant (i) de comprendre le comportement hydrodynamique d'un DO en temps de pluie, (ii) de mettre en place l'autosurveillance et (iii) d'analyser la conformité d'un système de collecte.

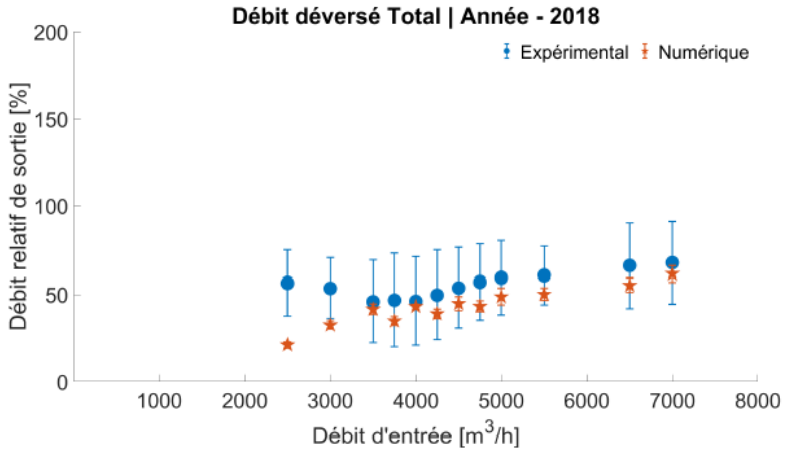


FIGURE 47 COMPARAISON DES DÉBITS DÉVERSÉS MESURÉS ET SIMULÉS AU NIVEAU DU DO « GAMBETTA »

5.3.6.4 Production scientifique

a) Revues internationales

Haussmann, M., Claro Barreto, A., Lipeme Kouyi, G., Rivière, N., Nirschl, H. & Krause, M. J. (2019).

Large-eddy simulation coupled with wall models for turbulent channel flows at high Reynolds numbers with a latticeBoltzmann method—Application to Coriolis mass flowmeter. *Computers&Mathematics with Applications*, *78*(10), 3285-3302. doi:https://doi.org/10.1016/j.camwa.2019.04.033

b) Actes de conférences internationales - Présentation orale

Claro Barreto, A., Lipeme Kouyi, G., Krause, M. J., Nathen, P. & Rivière, N. (2017a). Large-eddy simulation coupled with wall models for turbulent channel flows at high Reynolds numbers with a Lattice Boltzmann Method. In *26th International Conference on Discrete Simulation of Fluid Dynamics*, Erlangen, Allemagne

Claro Barreto, A., Lipeme Kouyi, G., Rivière,N. & Krause, M. J. (2017b). Validation of Large-Eddy simulation of open channel flow at high Reynolds number with a Lattice Boltzmann method. *Proceedings of the 14th ICUD-International Conference onUrban Drainage*, Prague, République Tchèque

c) Actes de conférences nationales - Présentation orale

Claro Barreto, A., Rivière, N. & Lipeme Kouyi, G. (2016). La méthode Lattice Boltzmann couplée au modèle LES pour la simulation des écoulements à surface libre - résultats préliminaires. *7èmes Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine (JDHU)*, Nantes, France.

5.3.6.5 Collaborations

Collaboration avec Valence Romans Agglo, DEEP et LMFA dans le cadre de la thèse CIFRE d'Alejandro Claro Barreto. Le laboratoire DEEP a établi une convention d'accueil avec l'Institut de technologie de Karlsruhe (Allemagne) pour permettre à Alejandro Claro Barreto de séjourner en Allemagne pour les besoins de sa thèse.

5.3.6.6 Perspectives

Le suivi en continu de la DBO5 déversée a été mis en place sur le site OTHU Atelier DSM (dispositif de surveillance et maîtrise des flux déversé). La démarche employée dans le cadre de la thèse CIFRE

va être déployée sur ce site Othu (utilisation de la méthode Enverdi DBO, couplage avec la modélisation 3D et les lois de déversement).

Les modèles 3D utilisés dans le cadre du projet CIFRE pour représenter la dispersion des polluants particulaires vont être adaptés et optimisés pour simuler le comportement des microplastiques au passage d'un DO latéral.

A RETENIR

- Double validation (en laboratoire et in situ) de la modélisation 3D des écoulements au droit d'un déversoir complexe soumis à l'auosurveillance

- Utilisation de la méthode Enverdi DBO pour la mesure de la DBO5 en 48h.

- La modélisation 3D et des essais en laboratoire constituent des outils opérationnels permettant (i) de comprendre le comportement hydrodynamique d'un DO complexe en temps de pluie, (ii) de mettre en place l'autosurveillance (établissement d'une relation hauteur-débit déversé fiable) et (iii) d'analyser la conformité d'un système de collecte (la ville de Valence Romans Agglo analyse la conformité de son système de collecte grâce au critère sur le flux de pollution)

5.3.7 HIREAU - COMMENT RECONSTITUER L'HISTOIRE DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT ET D'EAU POTABLE

EQUIPES : INSA DEEP, EVS et Hors OTHU - LIRIS UMR 5205

Le projet HIREAU a été réalisé grâce au soutien financier du LABEX IMU (ANR-10-LABX-0088) de l'Université de Lyon, dans le cadre du programme « Investissements d'Avenir » (ANR-11-IDEX-0007) géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Il a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche portant la référence ANR-09-VILL-004-01. Ce projet concerne le laboratoire DEEP de l'INSA de Lyon / Université Lyon 1, la Métropole de Lyon, l'entreprise Eau du Grand Lyon, l'UMR 5600 « Environnement Ville Société », le laboratoire LIRIS, et l'entreprise Veolia.

5.3.7.1 Pourquoi reconstituer l'histoire de ses réseaux ?

À Lyon, les réseaux d'assainissement et d'eau potable de la Métropole de Lyon s'étendent aujourd'hui respectivement sur 3250 km et 4045 km. Ces réseaux, initiés il y a plus de 150 ans, ont été construits et étendus pour et par la ville. Plus précisément, « à partir d'embryons de canalisations plus anciennes, un premier réseau caractéristique d'égouts et collecteurs se dessine en 1854 » (Scherrer, 1992). Cette histoire est très similaire dans l'ensemble des villes françaises, avec bien sûr des dates différentes (Goubert, 1984). La création des réseaux d'assainissement et d'eau potable, en France comme dans le reste de l'Europe, correspond à un paradigme, à une vision de la société et de son développement datant du XIXème siècle (Geels, 2006). L'émergence des réseaux s'est faite grâce à la coïncidence de nombreux facteurs (Chocat, 2009) tels que l'hygiénisme, le centralisme, le scientisme, la révolution industrielle et les capacités économiques de l'époque. Depuis, ces réseaux n'ont cessé de se développer (extension et densification) en relation avec le développement de la ville. En France, le taux de connaissance des dates de pose des réseaux d'assainissement et d'eau potable est très souvent faible (et en général nettement plus faible pour les réseaux d'assainissement). Pourtant, comme nous le décrivons ci-après, ces données deviennent de plus en plus importantes

aujourd'hui, pour mieux comprendre la ville et son urbanisation, pour des questions réglementaires, et enfin pour mieux gérer le patrimoine.

Depuis plusieurs années, l'enjeu de connaissance des réseaux est également devenu réglementaire. On pourra notamment citer l'obligation annuelle pour l'autorité organisatrice d'informer les usagers sur les services d'eau potable et d'assainissement (article L. 2224-5 du Code général des collectivités territoriales). Parmi les indicateurs relatifs à l'assainissement, l'indicateur de performance « *connaissance et gestion patrimoniale* » est fortement pénalisé par la non-connaissance des dates de pose des conduites. Pour l'eau potable, l'article D2224-5-1 du Code général des collectivités territoriales (décret n°2012-97 du 27 janvier 2012 - art. 1) impose un descriptif détaillé des ouvrages incluant « *la mention de l'année ou, à défaut de la période de pose* ». La réglementation préconise, lorsque l'année n'est pas précisément connue, de la substituer par une période (dépendant de l'ancienneté de l'ouvrage). Il semble évident que ces périodes de pose vont s'avérer très vite insuffisamment précises pour comprendre l'urbanisation de la ville ou pour mettre en œuvre une démarche efficace de gestion patrimoniale. Il est également possible que la réglementation évolue ces prochaines années vers des périodes de pose plus contraignantes.

Aujourd'hui comme demain, ce patrimoine existant impacte les pratiques de gestion patrimoniale. La gestion patrimoniale d'une infrastructure consiste à la maintenir en état, tout au long de son cycle de vie, pour optimiser le coût des opérations d'acquisition, d'exploitation ou de réhabilitation afin de fournir un niveau de service performant qui répond à la fois aux besoins et aux attentes et ce, en cohérence avec l'évolution des attentes des usagers, des technologies disponibles et du cadre réglementaire (Clayette, 2015). A court terme (< 5 ans), cela signifie choisir judicieusement quelles conduites investiguer et réhabiliter. Cela suppose également de construire une vision à moyen et long terme (> 30 ans) du point de vue financier. Face à des réseaux enterrés très majoritairement inaccessibles, et des taux d'inspection annuels inférieurs à 5% du linéaire pour l'assainissement, il est indispensable de pouvoir identifier a priori les conduites en mauvais état. L'histoire des réseaux et plus spécifiquement de chaque tronçon de conduite est un élément clef de prédiction de leur état : date de pose, mais également matériau constitutif, diamètre, localisation (sous chaussée…), profondeur. De nombreuses études ont montré l'importance primordiale de ces données pour estimer l'état actuel de détérioration des conduites et prédire leur dégradation (Ahmadi et al., 2014 ; Berardi et al., 2008 ; Davies et al., 2001 ; Large et al., 2014 ; Poinard, 2006 ; Venkatesh et al., 2008). Nos travaux montrent également, que la connaissance même imparfaite de la date de pose (période de pose plutôt que date précise) apporte une information majeure pour la pertinence des programmes d'investigations des conduites (Ahmadi et al., 2015). Elle permet également de mieux comprendre le vieillissement des conduites pour lesquelles un diagnostic a été réalisé (ex : vitesse de corrosion des canalisations métalliques).

5.3.7.2 Approches de reconstitution de la date d'installation des réseaux

Les travaux du projet de recherche HIREAU ont permis de recenser cinq approches différentes pour aider à la reconstitution des dates de pose des réseaux d'assainissement ou d'eau potable : (i) par les archives, (ii) par la datation des unités d'urbanisation et rues nouvelles, (iii) par la mémoire collective, (iv) par l'analyse in situ et/ou l'utilisation de règles métier, et (v) par l'exploitation ou l'exploration informatique s'appuyant sur les règles métier et/ou les données disponibles. La majeure partie du travail de recherche a consisté à tester sur le territoire de la Métropole les approches identifiées. Ces approches servent à reconstituer les données (date de pose) manquantes, mais elles pourront également permettre de confronter les données connues pour valider ou mettre en doute des dates de

pose déjà disponibles dans la base de données. Les expérimentations ont permis de mieux définir les approches, et leur performance, en fonction des connaissances initiales : dates de pose connues, données nécessaires, environnement urbain. Ces expérimentations visent à orienter le choix de la ou les approches les plus adaptées au contexte local du gestionnaire. Un comparatif des méthodes a également été établi en termes de ressources (temps et moyens humains) nécessaires, de précision, de compétences nécessaires pour la mise en œuvre, et de capacité à cibler une zone géographique précise. Le guide opérationnel (disponible sur le site du projet https://hireau.org) présente en détail ses approches et leur utilisation.

Il est également important de pouvoir mesurer l'avancement du travail, de même qu'il est important en fin d'étude de mesurer les gains (dates reconstituées, précision obtenue) et les ressources mobilisées (temps, personnes, moyens financiers). Hireau propose des indicateurs permettant de suivre et de mesurer la progression du travail. Ces indicateurs portent sur la connaissance des dates de pose, sur les moyens alloués au travail de reconstitution des dates, mais également sur d'autres améliorations de la base conséquente à l'utilisation des données du gestionnaire (comme par exemple la correction de matériaux, diamètres, etc. de tronçons de la base). Il est en effet utile de rappeler que des données non utilisées sont souvent non vérifiées. Le choix des indicateurs va dépendre des objectifs fixés par le maître d'ouvrage.

Le projet Hireau s'est terminé fin 2019 et il a abouti à : (i) un guide opérationnel à destination des collectivités et bureaux d'étude, (ii) l'amélioration de la connaissance des réseaux d'assainissement et d'eau potable de la Métropole de Lyon, (iii) Archistock : outil d'aide à la fouille d'archive, (iv) ainsi que deux scripts liés à l'apprentissage statistique : Preprocess et XGBoost.

A ce jour, la Métropole de Lyon continue d'utiliser certaines de ces approches pour accroître la connaissance de son réseau d'assainissement.

Tous les rendus du projet et les rapports liés aux récents développements sont disponibles sur https://hireau.org/.

5.3.7.3 Références et publications

a) Références

Ahmadi M., Cherqui F., De Massiac J.C. & Le Gauffre P. (2014) Influence of available data on sewer inspection program efficiency, Urban Water, 11(8), 641-656.

Ahmadi M., Cherqui F., De Massiac J.C. & Le Gauffre P. (2015) Benefits of using basic, imprecise or uncertain data for elaborating sewer inspection programs, Structure and Infrastructure Engineering, 11(3), 376-388.

Berardi, L., Giustolisi, O., Savic, D. and Kapelan, Z. (2008) An effective multi-objective approach to prioritisation of sewer pipe inspection. 11th International Conference on Urban Drainage, 31st August – 5th September, Edinburgh, Scotland, UK.

Chocat B. (2009) OSHU4 - Analyse performancielle des systèmes techniques urbains, Notes de cours de master Génie Civil MEGA, Lyon.

Clayette, S. (coord.) (2015) Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement / bonnes pratiques, aspects techniques et financiers ouvrage collectif réalisé par l'ASTEE et l'ONEMA, 248 p. https://www.astee.org/publications/gestion-patrimoniale-des-reseaux-dassainissement-bonnes-pratiques-aspects-techniques-et-financiers/

Davies, J. P., Clarke, B. A., Whiter, J. T. and Cunningham, R. J. (2001) Factors influencing the structural deterioration and collapse of rigid sewer pipes, Urban Water Journal, 3, 73-89.

Geels, Frank W. (2006) The hygienic transition from cesspools to sewer systems (1840-1930): The dynamics of regime transformation, *Research policy*, 35, 1069-1082.

Goubert J.P. (1984) La France s'équipe. Les réseaux d'eau et d'assainissement. 1850-1950. In: Les Annales de la recherche urbaine, N°23-24, 1984. Les réseaux techniques urbains. pp. 47-53. DOI : https://doi.org/10.3406/aru.1984.1094

Large, A. et Le Gat, Y. et Elachachi, S. M. et Renaud, E. et Breysse, D. (2014) Optimisation du renouvellement des canalisations d'eau potable : méthodes à « long terme » et à « court terme », 32èmes Rencontres de l'Association Universitaires de Génie Civil (AUGC), juin, Orléans, France.

Poinard, D. (2006) Modèles pour la conception de stratégies et de programmes de réhabilitation des réseaux urbains d'eau potable. Thèse de doctorat soutenue à l'INSA de Lyon, janvier, 243 p.

Scherrer, F. (1992) L'égout, patrimoine urbain - L'évolution dans la longue durée du réseau d'assainissement de Lyon, Thèse de Doctorat, Université Paris Val de Marne, 506 p.

Venkatesh, G., Ugarelli, R., Brattebo, H. and Saegrov, S. (2008) LCCA of wastewater pipeline network in Oslo. 11th International Conference on Urban Drainage, 31st August – 5th September, Edinburgh, Scotland, UK.

b) Liste des travaux publiés

Kraus V., Benkabou S.-E., Benabdeslem K. and Cherqui F. (2018) An improved Laplacian semi-supervised regression, 30th IEEE Int'l Conference on Tools with Artificial Intelligence, 5-7th November, Volos, Greece.

Kraus V., Benabdeslem K., Cherqui F. (2018) Régression Laplacienne semi-supervisée pour la reconstitution des dates de pose des réseaux d'assainissement, Extraction et gestion des Connaissances (EGC'18), 22-26 janvier, Paris, France.

Cherqui F., Benabdeslem K., Benkabou S. E., Chuzeville G., Erismann J., Gauthiez B., Glandut V., Graja S., Krauss V., Le Gauffre P., Ntissar T., Petit D., Poinard D., Texier F., Sahari S., Sibeud E., Reeb S., Ursely S. (2019) Guide opérationnel - version finale, projet HIREAU - Comment reconstituer l'histoire des réseaux d'assainissement et d'eau potable, projet financé par le LABEX IMU (ANR-10-LABX-0088) de l'Université de Lyon, Novembre, 44 p.

c) Livrable numérique

L'essentiel de la production numérique du projet concerne des données liées au réseau d'assainissement et d'eau potable de la Métropole de Lyon. Les données sont principalement des dates de pose accompagnées d'autres informations telles que la méthode de reconstitution ou la fiabilité accordée à la donnée.

Le projet a également permis de développer trois outils numériques qui sont présentés ci-dessous :

▶ Archistock : outil d'aide à la fouille d'archive

Dans le cadre du projet HIREAU, un outil Excel (avec macro) est proposé gratuitement pour faciliter ce travail de recensement, Figure 48 et Figure 49. Cet outil est téléchargeable sur le site web du projet : www.hireau.org ou directement ici : https://hireau.org/2018/04/25/archistock-outil-gratuit-daide-a-la-fouille-darchives/

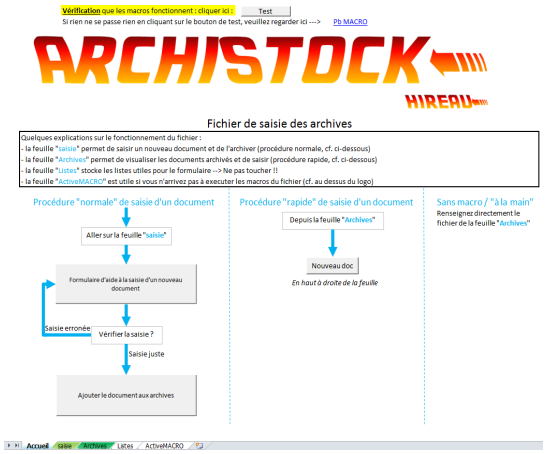


FIGURE 48: CAPTURE D'ÉCRAN DE L'OUTIL EXCEL ARCHISTOCK PERMETTANT DE FACILITER LE RECENSEMENT DES ARCHIVES ET DE LEUR CONTENU

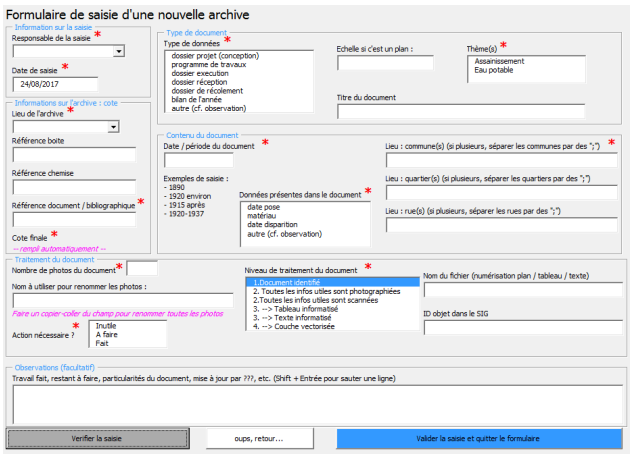


FIGURE 49: CAPTURE D'ÉCRAN DE L'OUTIL EXCEL ARCHISTOCK INDIQUANT LES INFORMATIONS À SAISIR (* INFORMATION OBLIGATOIRE)

L'outil *Archistock* permet de facilement stocker les informations sur le contexte (qui a fait la saisie ? où se situe le document ?) sur le type de document et son contenu, sur les traitements réalisés (photographies, numérisation, saisies des données sous forme de texte ou tableur, saisie dans le SIG). La Figure 49 présente une capture d'écran du formulaire de saisie. L'utilisation d'un outil de recensement du type Archistock permet de systématiser la saisie d'informations sur les archives et ainsi d'éviter d'oublier des informations importantes. Ce type d'outil permet aussi d'uniformiser la saisie lorsqu'elle est effectuée par plusieurs personnes.

▶ Scripts R pour le prétraitement et pour la génération du modèle de régression

Deux scripts ont été développés pour l'outil statistique R :

- **Preprocess** : ce script sert à prétraiter les données sur les conduites ;
- **XGBoost** : ce script permet la génération du modèle de régression.

Preprocess sert à visualiser l'ensemble des données de la base, il permet la détection d'éventuelles erreurs de saisie dans la base. Il permet également de filtrer les données pour disposer d'une base optimale pour la reconstitution des dates de pose. Il dispose d'une interface graphique pour faciliter son utilisation.

XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) est un modèle prédictif ensembliste (séquentiel) pour la reconstitution des dates de pose. Il dispose également d'une interface graphique. La Figure 50 et la Figure 51 présentent des résultats obtenus avec le script *XGBoost* sur la base de données des conduites d'eau potable de la Métropole.

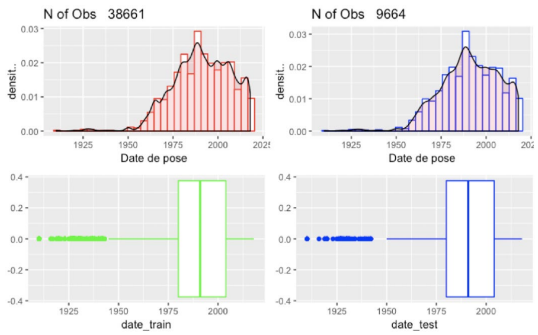


FIGURE 50 : APPRENTISSAGE-TEST (DATES DE POSE EAU POTABLE)

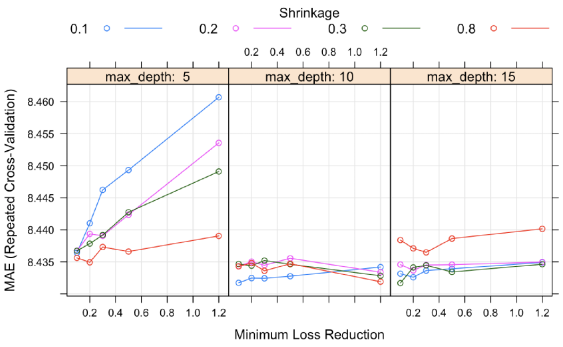


FIGURE 51 : MODÈLE POUR L'EAU POTABLE

▶ Gain pour la Métropole de Lyon

Le projet de recherche HIREAU a permis des échanges entre les chercheurs, les partenaires industriels et la Métropole. Ces échanges ont porté sur les données, mais également sur les connaissances / compétences nécessaires à la démarche de reconstitution des dates de pose.
Le guide opérationnel, dans sa version finale, présente l'ensemble des connaissances / compétences produites ou apportées par l'ensemble des partenaires durant le projet. Au-delà de ces connaissances, le partenariat a permis d'initier et d'accompagner la Direction de l'Eau de la Métropole dans sa démarche de reconstitution des dates de pose. Cet accompagnement a occasionné des discussions tant sur le plan scientifique qu'opérationnel. L'accompagnement a notamment porté sur la structuration des actions à réaliser pour collecter et capitaliser les informations.

Plus spécifiquement, il est possible d'identifier plusieurs points forts de l'accompagnement. Le développement de l'outil Archistock (cf. ci-dessous) a permis d'accompagner la fouille d'archives en identifiant les informations à collecter lors de l'analyse des documents. Le travail sur l'approche de datation basée sur les pratiques locales de pose des conduites (concernant l'eau potable) a permis de renforcer les méthodes et connaissances existantes et de consolider les résultats. Le croisement de la des données de pose des conduites en assainissement et en eau potable ont aidé à identifier les informations liées à l'urbanisme (datation des opérations d'urbanisme et datation des voiries) qu'il est pertinent d'exploiter.

La Direction de l'Eau est complètement dans une démarche volontaire et exemplaire de reconstitution des dates de pose. La démarche engagée depuis plus de deux ans a permis des avancées significatives de connaissances, et elle peut servir d'exemple pour de nombreuses collectivités souhaitant améliorer la connaissance de leur patrimoine.

Concernant l'avancée des connaissances, la Figure 52 ci-dessous illustre l'apport du projet.

L'histogramme en vert foncé présente la connaissance du patrimoine au démarrage du programme de recherche (début 2017). L'histogramme en violet présente le gain en connaissance pour le réseau d'assainissement de la Métropole. Sur un linéaire d'environ 3250 km, 769 km était connu en 2017 et aujourd'hui 922 km sont connus, soit une progression de connaissance de 153 km ou encore de 20%.

Si l'on considère la totalité du réseau (3250 km), le pourcentage du linéaire avec une date connue passe de 23,7% en 2017 à 28,4% aujourd'hui.

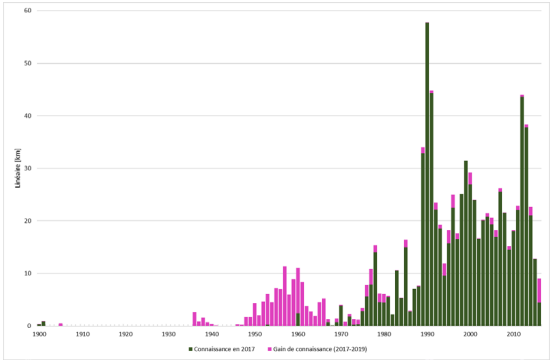


FIGURE 52: HISTOGRAMME DU LINÉAIRE DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT EN SERVICE AVEC DATES DE POSE CONNUES EN 2017 (769 KM SUR UN LINÉAIRE TOTAL DE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT DE 3 250 KM) ET DU GAIN DE CONNAISSANCE ENTRE 2017 ET 2019 (153 KM SOIT UN GAIN D'ENVIRON 20%).

5.4 Changements globaux

5.4.1 CHANGEMENT GLOBAL ET HYDROLOGIE : IMPACT DE L'INFILTRATION À LA SOURCE DES EAUX PLUVIALES À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT ET ROBUSTESSE FACE AUX CHANGEMENTS GLOBAUX : PROJET CONSCÉQUANS

EQUIPES: INRAE RIVERLY, INSA DEEP |

5.4.1.1 Problématique et question scientifique

La gestion des eaux pluviales « à la source » (noues infiltrantes, chaussées à structure réservoir, toitures végétalisées, etc.) est désormais courante et vise à favoriser rétention locale, infiltration et évapotranspiration pour « désimperméabiliser » et limiter les débits en réseau d'assainissement. Les effets de la généralisation de ces pratiques à l'échelle d'un bassin versant restent encore incertains, surtout dans un contexte d'urbanisation continue et de changement climatique. Le projet Conscéquans (2019-2021), financé par l'Agence de l'Eau RM&C (accord-cadre ZABR-Agence) a pour objectif de quantifier la vulnérabilité et la sensibilité d'un bassin versant péri-urbain à l'imperméabilisation et au changement climatique et de savoir dans quelle mesure l'implémentation de la gestion à la source peut limiter voire compenser ces effets hydrologiques. Quel est le niveau d'effort requis pour caractériser une « désimperméabilisation réussie » ?

5.4.1.2 Démarche / Méthode

La démarche employée pour répondre à cette question a fait appel à la modélisation hydrologique spatialisée. L'approche par simulation se justifie face à l'absence de données expérimentales à l'échelle de tout un bassin versant et pour pouvoir évaluer des scénarios futurs. Le modèle hydrologique distribué J2000P (Labbas et al. , 2015) a été mis en place sur le bassin versant périurbain du Ratier (20 km^2), sous-bassin versant de l'Yzeron (voir Figure 53). Ce modèle de simulation continue s'appuie sur un maillage irrégulier en HRUs (Hydrological Response Units). Il représente les processus hydrologiques « ruraux » (évapotranspiration, parittion infiltration / ruissellement, percolation vers la nappe, routage dans le réseau hydrographique), et prend également en compte les objets et processus urbains (ruissellement sur surfaces imperméables, réseaux d'assainissement, déversoirs d'orage). Une composante représentant les ouvrages d'infiltration à la source, validée par ailleurs sur des données d'observation (Bonneau et al., 2021) a été ajoutée et couplée aux composantes hydrologiques existantes. Une fois le modèle calé et validé sur la période présente à l'aide des observations de débit, plusieurs scénarios ont été construits et simulés. Les scénarios ont croisé changement climatique, évolution de l'urbanisation, et gestion des eaux pluviales. Pour les scénarios climatiques, une approche originale dite « bottom-up » par perturbation des chroniques existantes de précipitation et évapotranspiration, a été employée (Sauquet et al., 2019). Les scénarios d'urbanisation ont reposé sur les résultats du projet AvuPUR (Dodane et al., 2014). Les scénarios de gestion des eaux pluviales ont considéré une implémentation croissante des ouvrages d'infiltration à la source. 640 simulations continues sur 20 ans ont été réalisées avec J2000P en croisant ces scénarios. Pour chaque simulation, plusieurs indicateurs hydrologiques à l'échelle du bassin versant ont été calculés, mettant l'accent sur les bilans hydrologiques, la recharge de la nappe, l'impact sur la rivière en crue et étiage, et l'impact sur le réseau d'assainissement.

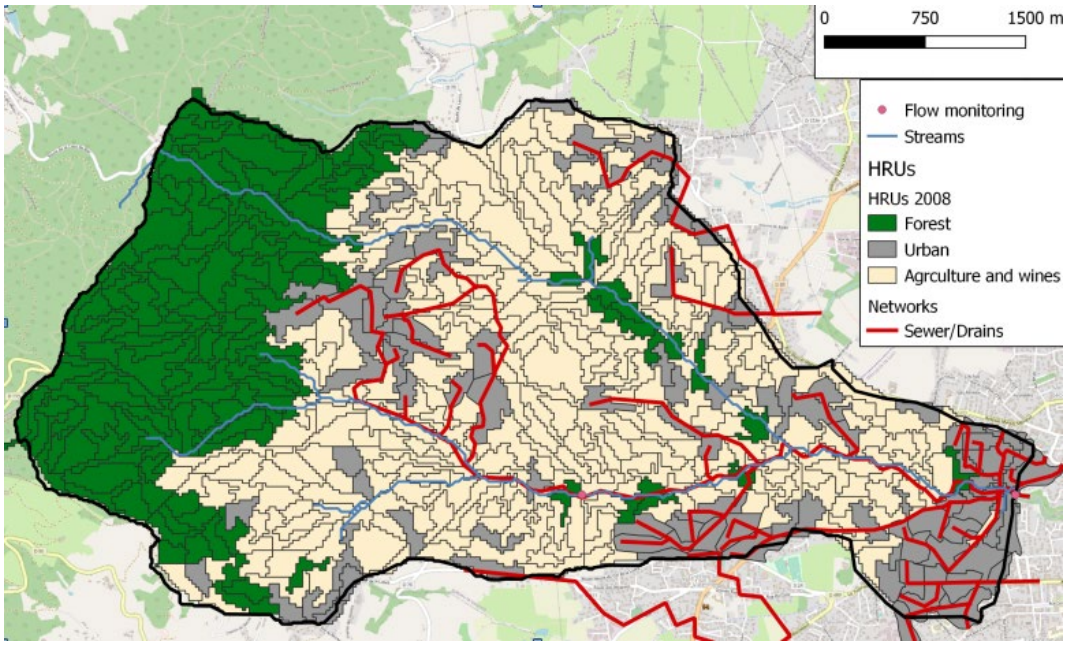


FIGURE 53 : MAILLAGE DU MODÈLE J2000P SUR LE BASSIN VERSANT DU RATIER (SOURCE : BONNEAU ET AL., 2021)

5.4.1.3 Résultats

a) <u>En climat présent</u>

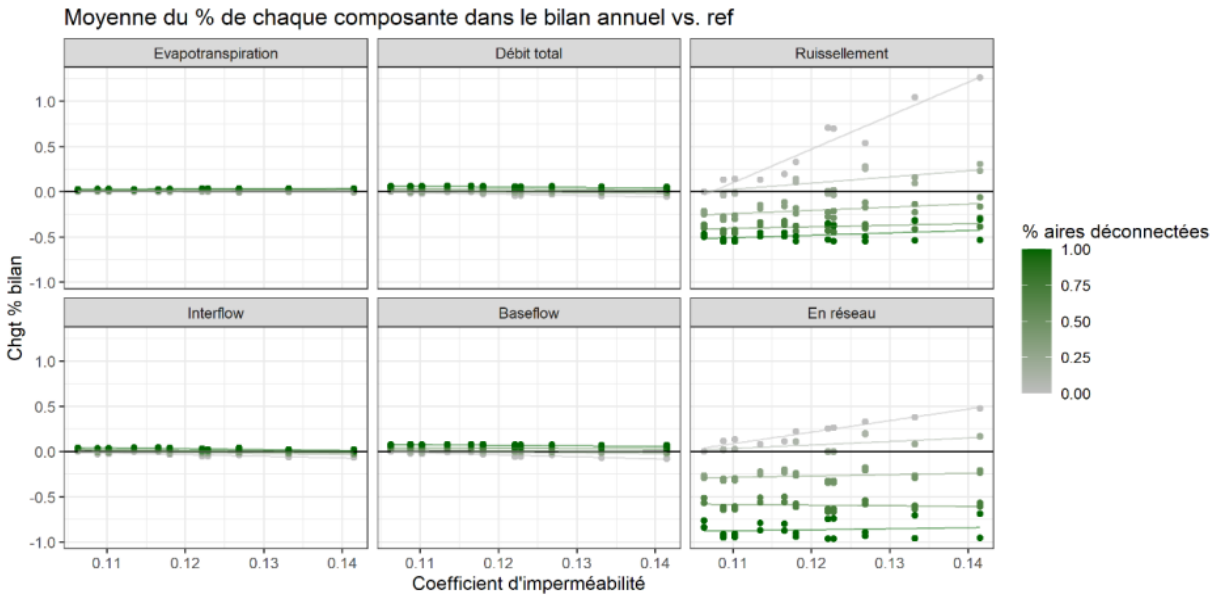


FIGURE 54 : IMPACT DE SCÉNARIOS D'URBANISATION (EXPRIMÉS EN TAUX D'IMPERMÉABILISATION) ET DE SCÉNARIOS DE GESTION (EXPRIMÉS EN % DE SURFACE DÉCONNECTÉE) SUR LES COMPOSANTES DU BILAN HYDROLOGIQUE EN CLIMAT PRÉSENT, EXPRIMÉ EN RELATIF PAR RAPPORT À LA SITUATION ACTUELLE (SOURCE : BONNEAU ET AL., 2021)

L'impact de l'augmentation de l'imperméabilisation sur le ruisseau est modeste : diminution des débits en rivière (-5% à -10%) et augmentation des pics de ruissellement, particulièrement en été (jusqu'à +50, +100% en évolution relative mais les débits estivaux étant faibles, les valeurs absolues ne représentent pas des gros débits). Les débits en réseau d'assainissement sont en revanche plus impactés avec une forte augmentation de la fréquence et des volumes rejetés au milieu par les

déversoirs d'orages (jusqu'à +200% dans le pire des cas), dans le cas d'une gestion traditionnelle, tout-tuyau.

b) Effets du changement climatique

Le changement climatique impacte fortement le régime d'écoulement du ruisseau : diminution des débits en Juillet-Aout (-20%, -50% en moyenne), fluctuations autour de la moyenne actuelle ou légère baisse en fonction des scénarios de Décembre à Mai (quelques %), et augmentation des débits en Juin et Septembre (+20%, +25% en moyenne). Les rejets du réseau vers le milieu, en gestion tout tuyau, augmentent dans tous les scénarios climatiques testés (jusqu'à +50% dans le pire des cas).

c) Mise en place de la gestion à la source des eaux pluviales

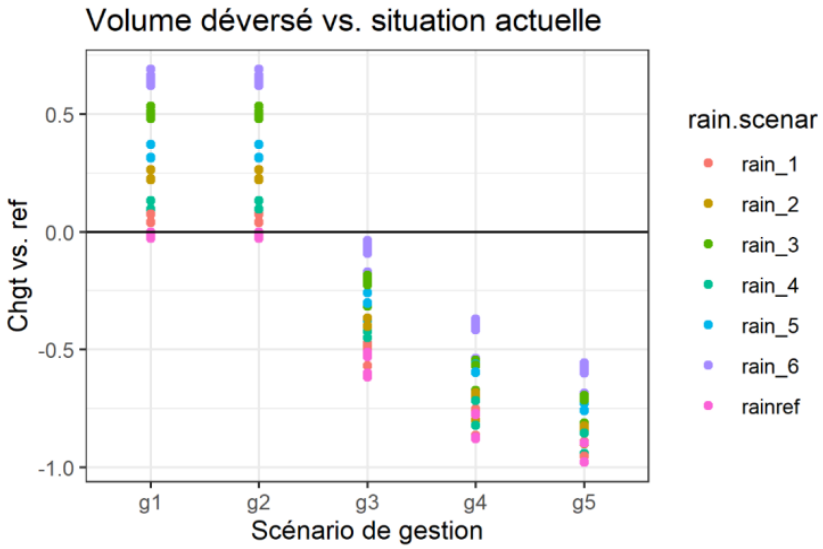


FIGURE 55 : IMPACT DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES (PRÉCIPITATION) ET GESTION DES EAUX PLUVIALES (G1 = TOUT TUYAU À G5 = DÉCONNEXION TOTALE) SUR LE VOLUME DÉVERSÉ PAR LES DÉVERSOIRS D'ORAGE (EXPRIMÉ EN RELATIF PAR RAPPORT À LA SITUATION ACTUELLE) (SOURCE : BONNEAU ET AL., 2021)

La gestion des eaux pluviales à la source semble permettre de compenser les effets de l'imperméabilisation, voire même d'amener progressivement la rivière vers un régime d'écoulement « pré-urbain ». En plus de la déconnexion des nouvelles surfaces imperméables, une déconnexion d'1/3 des surfaces imperméables existantes semble suffisante pour ramener les rejets sous leurs niveaux actuels, malgré l'imperméabilisation future. Face au changement climatique, la gestion à la source n'impacte que le réseau d'assainissement et semble limitée dans sa capacité à protéger le régime d'écoulement du ruisseau. Fréquence de rejet et volumes rejetés par les déversoirs d'orage diminuent sous leurs niveaux actuels avec un scénario de déconnexion ambitieux (déconnexion des surfaces imperméables futures et d'1/3 de l'existant, voir Figure 55). Dans notre cas d'application, les effets du changement climatique sur le régime hydrologique du cours d'eau ne peuvent en revanche pas être compensés par la seule gestion du ruissellement urbain, très certainement parce que sa contribution aux écoulements totaux du bassin versant est relativement faible.

Il semble donc que la généralisation des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales permet de rendre résilients les réseaux d'assainissement face aux changements futurs globaux, urbanisation et changement climatique cumulés. En revanche, on ne peut s'attendre à une restauration/protection du régime d'écoulement du ruisseau Ratier grâce aux seuls ouvrages de gestion à la source. La rivière étant fortement dépendante des contributions des zones agricoles et forestières du bassin versant, la

gestion à la source des eaux urbaines a un impact moindre sur le bilan total du bassin versant par rapport au changement climatique.

5.4.1.4 Collaboration

Le projet Conscéquans est porté par INRAE- Riverly et le laboratoire DEEP – INSA Lyon, en collaboration avec le Grand Lyon, le SIAHVY (Syndicat d'Assainissement de l'Yzeron) et le SAGYRC (Syndicat Mixte d'Aménagement de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières). Il a été identifié comme un projet pilote sur l'adaptation au changement climatique par le projet Life Eau & Climat, actuellement en cours.

5.4.1.5 Perspectives

Les perspectives de ce projet sont nombreuses. D'un point de vue scientifique les scénarios climatique, d'occupation des sols et de gestion des eaux pluviales pourraient être raffinés. En particulier, la stratégie de désagrégation des séries de pluie future peut être améliorée, en lien avec l'évolution rapide de l'état de l'art sur les projections climatiques et les valeurs extrêmes. De même, on pourrait imaginer améliorer les scénarios de gestion à la source, en considérant des types d'ouvrages différents. Enfin, il serait intéressant de mettre en regard le calage du modèle avec les connaissances acquises sur les chemins de l'eau dans un bassin versant périurbain (liens avec les fiches 5.1.1 et 5.1.2).

De façon plus large, l'approche développée dans le cadre de ce projet mériterait d'être étendue à d'autres bassins versants urbains et périurbains dans des contextes différents (climat, nature du sous-sol, type d'urbanisation), de façon à préciser les résultats obtenus. Une piste de collaboration intéressante existe avec le programme OPUR5 (Université Gustave Eiffel, LEESU) dont le thème 4 porte justement sur les stratégies d'adaptation.

A plus long terme, il est enfin envisagé d'étendre l'approche aux questions de qualité des eaux, et non plus à la seule hydrologie quantitative.

5.4.1.6 Production scientifique

Bonneau, J., Branger, F., Castebrunet, H., Lipeme-Kouyi, G., 2021. Construction et analyse par modélisation de scénarios de gestion quantitative à différentes échelles et robustesse des ouvrages à la source face aux changements globaux. Projet Conscéquans, rapport final

Bonneau, J., Kouyi, G.L., Lassabatere, L., Fletcher, T.D., 2021. Field validation of a physically based model for bioretention systems. Journal of Cleaner Production, 127636.https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127636

Bonneau, J., Branger, F., Castebrunet, H., Lipeme-Kouyi, G., 2020. Conscéquans : impact de l'urbanisation et du changement climatique sur les régimes d'écoulement des rivières de l'ouest lyonnais. *5e colloque des Zones Ateliers CNRS*, Nov 2020, En ligne, France. ⟨hal-03126935⟩

Bonneau, J., Branger, F., Castebrunet, H., Lipeme-Kouyi, G., 2020. Urbanisation, Climate Change and Stormwater Management Strategies: Modelling the Future Flow Regimes of Peri-Urban Streams in Lyon, France. *AGU Fall Meeting 2020*, Dec 2020, San Francisco, United States, https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03126926.

Sauquet, E., Richard, B., Devers, A., Prudhomme, C., 2019. Water restrictions under climate change: a Rhône–Mediterranean perspective combining bottom-up and top-down approaches. Hydrology and Earth System Sciences 23(9), 3683-3710

Références citées :

Dodane, C., Joliveau, T., Rivière-Honegger, A., 2014. Simuler les évolutions de l'utilisation du sol pour anticiper le futur d'un territoire. Analyse critique d'une expérience de géoprospective dans un bassin versant périurbain de l'agglomération lyonnaise. Cybergeo: European Journal of Geography.

Labbas, M.; Branger, F., Braud, I., 2015. Développement et évaluation d'un modèle hydrologique distribué périurbain prenant en compte différents modes de gestion des eaux pluviales. Application au Bassin de l'Yzeron (150 km2). Houille Blanche-Revue Internationale de l'eau, n° 5, p. 84-91

5.4.2 DIVERSITÉ MICROBIENNE DANS L'ENVIRONNEMENT URBAIN – PROJETS ANSES IOUQMER / MITI CNRS

EQUIPES :LEM VetAgro Sup, EVS, INSA DEEP

5.4.2.1 Problématiques et questions scientifiques

L'environnement urbain de surface est le plus exposé aux pollutions générées par les activités urbaines quotidiennes, et est fortement susceptible d'exposer les populations aux contaminants. Son étude sous l'angle de sa microbiologie pourrait permettre d'inférer les niveaux de contaminations, d'occurrence de formes pathogènes, et les risques inhérents aux formes d'existence qu'engendrent certaines morphologies dont les zones industrielles, commerciales ou résidentielles. Cette mise en relation pourrait permettre des actions correctives permettant de prévénir certaines expositions aux contaminants bactériens ou prévenir leur dérive génétique.

Cette action a donc consisté à étudier les relations entre activités (commerciales, récréatives, industrielles, etc) dans les espaces publics urbains selon différentes morphologies urbaines et les dangers bactériologiques. Les eaux de ruissellement et dépôts/sédiments urbains sur les espaces publics ont été utilisés comme « matrices » de référence représentatives, en termes de contenu, de l'incidence d'un ensemble d'activités urbaines sur les secteurs d'étude de l'OTHU. Ce projet a cherché également à documenter certains processus d'émission, d'exposition et de dissémination des contaminations microbiologiques en ville. Pour entreprendre ces travaux, trois sites d'observation avec différentes morphologies ont été étudiés (Figure 56) : (i) le BV urbain mi-plaine relié au site Django-R, (ii) le BV péri-urbain du site de la rivière Chaudanne à Grézieu-la-Varenne, et (iii) le secteur de la rue Garibaldi, un site satellite de l'OTHU avec implantation de noues.

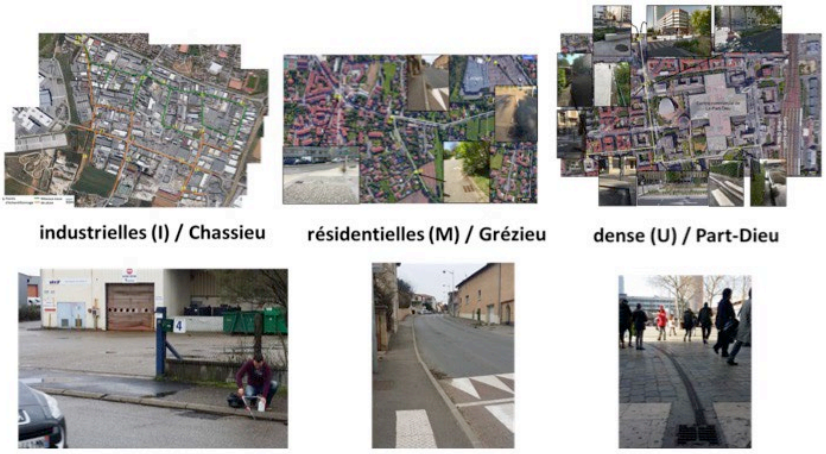


FIGURE 56. SECTEURS URBAINS DE L'ÉTUDE. (1) LA ZAC (I) MI-PLAINE DE CHASSIEU VERS EUREXPO ET LE STADE DE L'OL ABRITANT UNE CENTAINE D'ENTREPRISES, DES RESTAURANTS, HOTELS, ETC, (2) LA ZONE RÉSIDENTIELLE DE GRÉZIEU-LA-VARENNE – DENSITÉ MOYENNE (M) LOCALISÉE DANS L'OUEST LYONNAIS ET DANS LE SECTEUR DU BASSIN-VERSANT DE L'YZERON, ET (3) LE SECTEUR DE LA PART DIEU DONT LA RUE GARIBALDI - URBAIN DENSE LOCALISÉ VERS LE CENTRE COMMERCIAL ET LA GARE DE LA PART-DIEU (U). (SOURCE : MANDON ET AL.)

5.4.2.2 Démarche scientifique et méthodes

Analyses socio-urbanistiques. Une part importante de la contamination des eaux de ruissellement et dépôts urbains est liée aux objets et dispositifs techniques que requièrent les activités humaines individuelles et collectives. Outre les surfaces imperméabilisées dont les matériaux émettent un ensemble de contaminants, les objets et dispositifs techniques qui sont manipulés dans toutes les

activités sont considérés comme des vecteurs probables de la dissémination de micro-organismes en ville: des gobelets, bouteilles, emballages, les produits d'entretien comme les lingettes, papiers toilettes, mouchoirs pour s'essuyer, se nettoyer, etc. Nous avons donc effectué des enquêtes socio-urbanistiques via des observations directes, *in situ*, des objets et dispositifs techniques mobilisés dans les activités (Tableau 3. Méthodologie d'enquête par observations (source : Mandon et al.)Tableau 3). Ces enquêtes ont été effectuées sur les trois sites d'observation sélectionnés pour cette action (Figure 56). De plus, 20 points d'observations et de prélèvements des eaux de ruissellement ont été utilisés sur la ZAC (I), 4 sur la zone résidentielle (M) et 11 sur le quartier de la Part Dieu (U) en zone urbaine dense. Les enquêtes ont été répétées par une approche de découpage séquentielle des temps de l'activité sur les 3 sites de l'étude selon leurs temporalités sociales inhérentes (Tableau 3).

TABLEAU 3. MÉTHODOLOGIE D'ENQUÊTE PAR OBSERVATIONS (SOURCE : MANDON ET AL.)

Pour chaque points d'observation (= points de prélèvement)	**Types d' observations**	**Temporalité et sessions d'observation pour chaque point**		**Objectifs**
Observation des objets et dispositifs techniques formant les aménagements	Recensement des ODTSU et descriptions des configurations d'aménagement	1 session par terrain		Identifier les ODTSU et les configurations d'aménagement + déterminer les seuils (étanchéité/ délimitation entre espaces privés et espace public
Observations séquentielles des activités sociales sur l'espace public **30min / point / session**	Description des activités sociales sur l' espace public et : -ODTSU mobilisés -Déchets/traces laissées -Flux des activités (comptage des véhicules – modes doux - piétons)	ZI Chassieu (20 points) ⊙ 6h-10h: 2 sessions ⊙ 12h-14h30: 1session ⊙ 16h30-19h30: 1 session ⊙ 19h-23h: 2 sessions	Part-Dieu (12 points) et Grézieu-La-Varenne (4 points) ⊙ 7h30-9h30: 3 sessions ⊙ 10h-12h: 3 sessions ⊙ 12h-14h: 3 sessions ⊙ 14h30-16h30: 3 sessions ⊙ 17h-19h30: 3 sessions ⊙ 20h-00h: 3 sessions	Identifier les (1) différentes **temporalités des activités** (matin, midi, sorties du travail, soir) – (2) **leurs régularités ou fréquences** – (3) les **inférences** ou non entre activités observées et déchets/traces relevés
Observation des activités économiques et industrielles	Recensement des entreprises et commerces compris dans le périmètre d'observation	Zi Chassieu 1 session de recensement des entreprises	Part-Dieu et Grézieu-La-Varenne 1 session de recensement des commerces	Identifier les entreprises ou commerces présents autour des points d' observation - leur taille - leurs temporalités d'activités - leurs types d'activités
Observation des périmètres de ruissellement des eaux pluviales	Identification des directions des ruissellements passant par les points d'observation (avaloirs)	1 session par terrain		Comprendre (1) comment s'écoule l'eau pluviale pour (2) identifier les zones de lessivage des traces et déchets laissés par les objets dans les activités

Microbiologie des surfaces urbaines et analyses statistiques. Suite aux enquêtes socio-urbanistiques des sites I, M, & U, 60 points de collecte de matrices urbaines (eaux de ruissellement et dépôts urbains) ont été définis pour les sous-bassins versants sélectionnés. De grands jeux de données métacodes-barres génétiques / DNA metabarcoding (trois marqueurs : 16S rRNA, *tpm*, et *hsp65*), de dénombrements bactériens (classiques, et PCR quantitative; n=13 variables) et paramètres physico-chimiques ont été produits pour l'ensemble des sites urbains et matrices indiquées dans ce projet. Des quantifications de C-organique, matière en suspension, N-tot et P-tot, ont été effectués à partir des prélèvements, et nous avons pu bénéficier de grands jeux de données de l'OTHU (observatoire de terrain en hydrologie urbaine) regroupant plus de 1350 mesures de polluants chimiques pour les sites de l'étude dont des mesures des concentrations en éléments traces métalliques, HAP, et polluants émergents (Aigle et al. 2021). Des mesures de turbidité, T°, conductivité, pH, et > 3000 dénombrements bactériens classiques ont été réalisés. Plus de 4000 réactions de PCRq ont été effectuées.

5.4.2.3 Résultats

Analyses socio-urbanistiques. Les observations conduites sur les différents aménagements des sites ont confirmé que les secteurs de l'étude étaient fortement différenciés en raison des dispositifs techniques présents qui appellent des pratiques différenciées (Figure 57). Un tableau de données permettant une classification des observations et des confrontations entre sites a été produit. Des banques d'images des sites et des sous-bassins versants sélectionnés pour les enquêtes et analyses dans le cadre des autres tâches ont été produites. La Figure 57 llustre une partie des jeux de données produits par enquêtes socio-urbanistiques pour le site BV Mi-plaine connecté au site Django-R.

L'analyse de Wallace a permis de relier les sites sélectionnés pour les enquêtes en fonction des activités économiques et commerciales observées. Dès que la capacité des voies était réduite (en capacité de véhicules et en largeur), des activités de circulation piétonne voire des activités de jogging se sont développées. Ce type de voie s'avère plus sollicitée pour le stationnement des véhicules autant diurne que nocturne. Ces activités ont induit une concentration de déchets dont des contaminations fécales de l'espace public.

Microbiologie des surfaces urbaines.

- site BV mi-plaine (ZAC)

Le site Mi-plaine a fait l'objet d'enquêtes socio-urbanistiques très détaillées et a été notre référence pour l'implémentation / validation des modalités d'analyse des données de méta-barcoding et leurs confrontations avec les données socio-urbanistiques. Les données de meta-barcoding ont fait l'objet d'études statistiques pour en inférer (i) des indices de diversité en fonction des sous-bassins versants analysés mais également (ii) la structure génétique des communautés bactériennes présentes. Pour ce travail, les séquences meta-barcoding *tpm* et du gène 16S rRNA ont été traitées par les approches Mothur (OTU définies après un ré-échantillonnage aléatoire des séquences à un seuil fixe pour l'ensemble des points de prélèvement). Parmi les genres dominants observables par ces approches et potentiellement dangereux pour la santé humaine, les *Mycobacterium* et *Pseudomonas* ont été référencés. Les bactéries pathogènes étant rarement dominantes dans ce type de système, l'utilisation d'un marqueur universel comme le 16S rRNA permet difficilement la description de leurs populations. Des marqueurs plus sensibles ont donc été développés et utilisés (*hsp65* - Vautrin et al., 2021 ; *tpm* - Aigle et al., 2021). Les données *hsp65* ont permis de démontrer la vie « urbaine » de l'espèce *Nocardia cyriacigeorgica*, une espèce responsable d'infections cutanées, cérébrales, et pulmonaires dont le foyer environnemental restait à préciser. Les isolats urbains ont fait l'objet d'étude de virulence via des expérimentations avec un modèle « souris ». Ces souches ont été confirmées virulentes (Vautrin et al., 2021).

Les données de diversité du gène *tpm* ont montré une corrélation significative avec celles du gène 16S rRNA suggérant des effets similaires des variables socio-urbanistiques sur leur diversité (malgré des résolutions taxonomiques plus fines). Les genres détectés par le marqueur *tpm* représentaient en moyenne 6,28% (0,35 à 21,53% par échantillon) des genres détectés par le 16S rRNA. Les allocations taxonomiques au niveau du genre ont permis une classification de 62% des séquences *tpm* en 21 genres bien définis, et 22 genres ont été rattachés au « microbial dark matter » du microbiome urbain. Le « microbial dark matter » correspond à la diversité non-explorée à ce jour dans le règne des « Bacteria ». Seules des séquences *tpm* de *Pseudomonas* ont été retrouvées dans tous les échantillons analysés pour les sites OTHU analysés. Au niveau des espèces, plus de 50% des séquences *tpm* ont été classées dans 78 espèces bien définies. Des séquences *tpm* des espèces suivantes ont été détectées dans plus de 50% des échantillons : *Herbaspirillum aquaticum, Pseudomonas koreensis, Pseudomonas rhodesiae, Pseudomonas stutzeri, Pseudomonas anguilliseptica* et *Pseudomonas aeruginosa*.

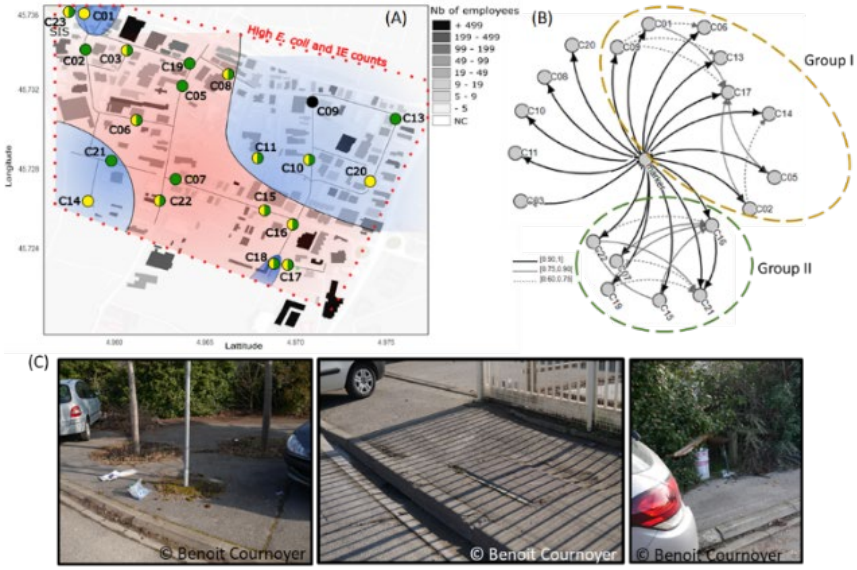
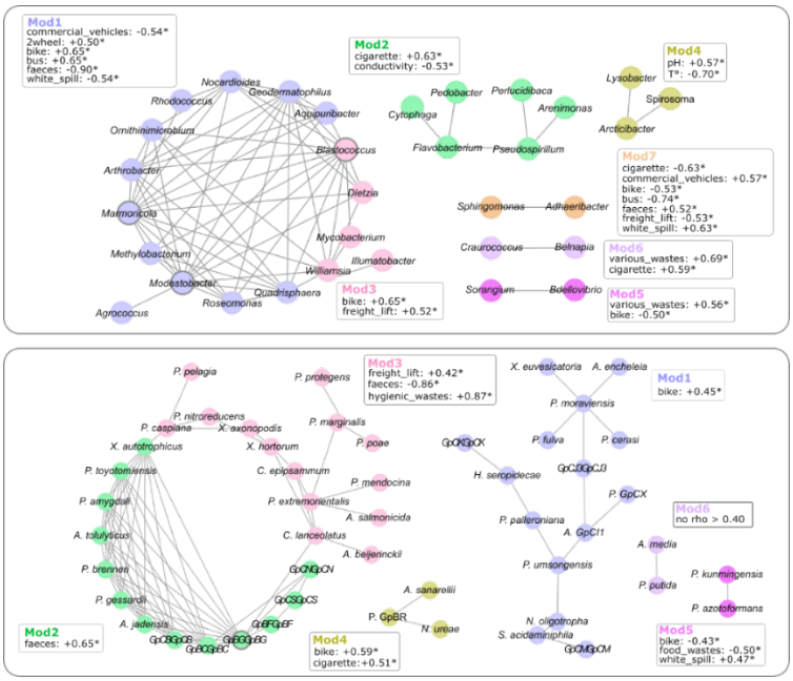


FIGURE 57 (A) REGROUPEMENT DES POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE SELON LES TYPOLOGIES OBSERVÉES ET ANALYSE DE SIMILARITÉS PAR APPROCHE WALLACE (B). DEUX GRANDS GROUPES DE TYPOLOGIES SONT INDIQUÉS, ET CORRESPONDENT À DES ZONES DE FORTES ACTIVITÉS (GROUP I) AVEC UNE FORTE OCCURRENCE DE VÉHICULES À MOTEUR THERMIQUE, ET (II) DES ZONES CALMES / IMPASSES PLUS PROPICES AUX CONTAMINATIONS LIÉES À L'HYGIÈNE. (C) PHOTOS DE DÉPÔTS/ SÉDIMENTS ET ZONES ANALYSÉES DANS CE TRAVAIL. (EXTRAIT DE BOUCHALI ET AL. 2021)

Deux approches statistiques ont été utilisées pour confronter les jeux de données meta-barcoding et socio-urbanistiques: (1) la régression linéaire multiple, et (2) l'analyse de réseaux de corrélation via l'approche MENA (Molecular ecological network analyses ; https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-113). La première approche a permis de tester les relations entre chacun des taxa bactériens (définis par signatures ADN des 16S rRNA ou *tpm*) et les variables mesurées. La deuxième approche a recherché les réseaux de taxa (définis par 16S rRNA ou *tpm*) pouvant expliquer certaines relations avec les variables mesurées en raison de probables dépendances / complémentarités fonctionnelles. Les nombres de séquences des genres *Novosphingobium* et *Sulfurospirillum* ont ainsi montré des relations négatives avec les valeurs de pH. Ces valeurs de pH étaient indicatrices d'une pollution chimique élevée aux points d'échantillonnage concernés (C14). Des relations significatives ont également été observées entre variables chimiques, socio-urbanistiques, et la structure génétique des bactéries codant le gène *tpm*. Ces résultats sont décrits dans Bouchali et al. (2021).

L'approche MENA a permis d'observer des réseaux de corrélation reliés aux variations des paramètres socio-urbanistiques (Figure 58). Ces réseaux sont structurés par des « keystone taxa » (espèces pivots) faisant le pont entre les taxa bactériens en raison de complémentarités métaboliques probables associées à l'utilisation des sources de carbone et d'énergie disponibles sur les surfaces urbaines e. g. hydrocarbures et matières fécales.



(A)

(B)

FIGURE 58. Réseaux de corrélation calculés à partir de la méthode d'optimisation de modularité du pipeline MENA pour (A) les genres inférés des données du gène 16S rRNA et (B) des espèces déduites des données tpm. Seuls les taxons bactériens détectés dans au moins 25 (pour l'ensemble de données rrs) ou 10 (pour le tpm) échantillons d'eau de ruissellement ont été utilisés pour les calculs. Seules les corrélations positives de Spearman supérieures à 0,7 sont représentées. La corrélation entre module et variables explicatives est indiqué dans les encadrés. Les astérisques indiquent les corrélations de Spearman p-value <0,001. (source : Bouchali et al.)

- analyses inter-sites

Les eaux de ruissellement des trois sites étudiés ont été trouvés contaminés par toutes les bactéries testées par dénombrement sur milieux sélectifs ou qPCR (*E. coli, S. aureus, L. monocytogenes, P. aeruginosa et A. caviae*), et les intégrons (1, 1 clinique, 2, & 3) pour au moins un sous-bassin versant. Une forte variance a été observée dans les jeux de données qPCR confirmant que certaines activités au sein d'un morphotype (urbain dense, péri-urbain, ZAC) impactent les niveaux de contamination observés.

Les concentrations en hétérotrophes totaux étaient significativement supérieures en zone urbaine dense (1.80^{E+08} CFU/100 ml eaux de ruissellement contre 6.6^{E+06} en zone péri-urbaine et 9.8^{E+06} en zone industrielle, p-value < 0.05). La ville semble plus favorable au développement bactérien sur les surfaces. Les entérocoques intestinaux et *Escherichia coli*, qui renseignent sur l'état de salubrité (contaminations fécales) ont été détectés dans les trois morphotypes avec des concentrations significativement supérieures en zone urbaine dense pour les *Enterococci.* Les marqueurs MST renseignant sur les Bacteroides humaines et canines ont été retrouvés dans les trois morphotypes, avec des proportions plus faibles pour les Bacteroides humaines par rapport aux canines. Les contaminations fécales canines (dénombrements qPCR) étaient plus abondantes en milieu urbain dense et zone résidentielle et plus faibles sur la zone industrielle. Les activités nocturnes ont été associées aux Bacteroides humaines sur le site ZAC Mi-plaine. Les intégrons de type 3 (dénombrements qPCR du gène int) ont montré une occurrence plus élevée sur la ZAC Mi-Plaine.

Les séquences 16S rRNA et tpm obtenues par approches méta-barcoding ont été comparées à celles des banques de données pour obtenir une image de la répartition des taxa bactériens. Le core microbiome urbain a ainsi pu être défini par l'occurrence d'au moins treize genres pour l'ensemble des

morphotypes (*Flavobacterium, Massilia, Chryseobacterium, Alkanindiges, Pseudomonas, Mycobacterium, Spirosoma, Sphingomonas, Hymenobacter, Rubellimicrobium, Sphingobacterium, Brevundimonas, Methylobacterium*). La Figure 59 présente les classifications observées avec le marqueur tpm. Certaines espèces du core microbiome ont pu être précisées (Figure 59a), ainsi que les espèces plus versatiles (microbiome flexible – Figure 59b). Les relations entre la répartition de ces espèces, les morphotypes urbains, et variables socio-urbanistiques ont été analysées par PCoA, RDA, régression linéaire multiple, et approche MENA (selon section précédente). La Figure 60 illustre certains biais de répartition.

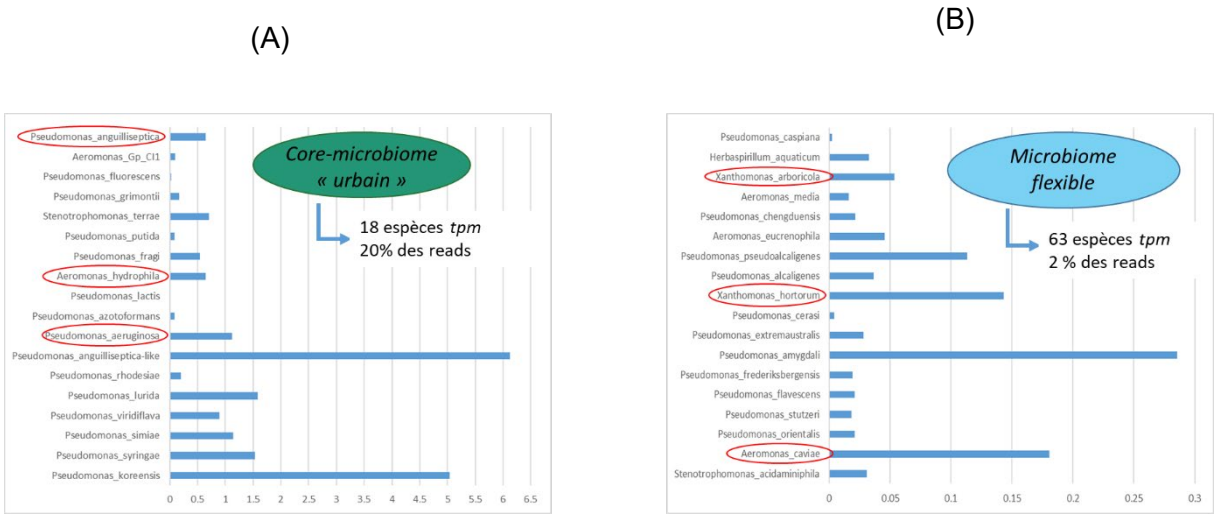


FIGURE 59PROPORTION RELATIVE DES SÉQUENCES TPM EN FONCTION DES ESPÈCES RETROUVÉES DANS (A) PLUS DE 50% DES PRÉLÈVEMENTS DES MORPHOTYPES « URBAIN DENSE » (GARIBALDI) ET PÉRI-URBAIN (GRÉZIEU-LA-VARENNE) OU (B) MOINS DE 50% DES PRÉLÈVEMENTS = MICROBIOME FLEXIBLE. (SOURCE : BOUCHALI ET AL.)

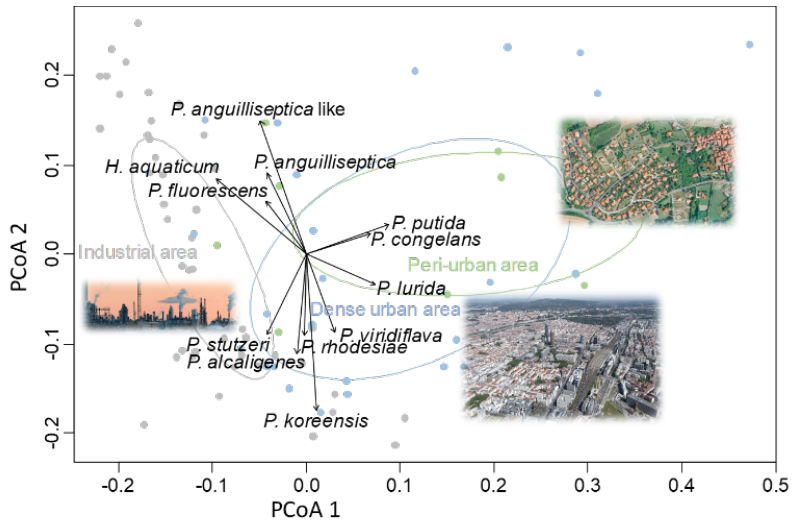


FIGURE 60. ANALYSE EN COORDONNÉES PRINCIPALES (PCOA) DES DIVERGENCES ENTRE PROFILS D'OTU CALCULÉES PAR L'APPROCHE WEIGHTED UNIFRAC. LES ELLIPSES SONT PROPORTIONNELLES À LA VARIANCE (ERREUR STANDARD) OBSERVÉE DANS LES ORDINATIONS INFÉRÉES POUR LES ÉCHANTILLONS D'UN MÊME GROUPE. BLEU = SITE U ; VERT = SITE M ; GRIS = SITE I. LES DIFFÉRENCES OBSERVÉES DANS L'ORGANISATION DES ORDINATIONS SONT SIGNIFICATIVES POUR TOUS LES CONTEXTES E. G. SITE I VERSUS LES AUTRES, OU SITE U VERSUS M, ETC (AMOVA, P<0.05). (SOURCE : BOURGEOIS ET AL.)

5.4.2.4 Production scientifique

a) Articles

Bouchali, R., C. Mandon, R. Marti, J. Michalon, A. Aigle, L. Marjolet, S. Vareilles, G. Lipeme Kouyi, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, and B. Cournoyer. 2021. Bacterial assemblages of urban microbiomes mobilized by runoff waters match land use typologies and harbor core species involved in pollutant degradation and opportunistic human infections. Sc. Total Env. (accepté)

Bouchali, R., C. Mandon, E. Danty- Berger, A. Géloen, L. Marjolet, S. Vareilles, G. Lipeme Kouyi, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, and B. Cournoyer. 2021. Runoff city center bacterial assemblages match socio-urbanistic patterns and explain the spread of highly cytotoxic PA7-like Pseudomonas aeruginosa cells. Environ. Res. (to be submitted soon)

Aigle, A., Y. Colin, R. Bouchali, E. Bourgeois, R. Marti, S. Ribun, L. Marjolet, A. C. M. Pozzi, B. Misery, C. Colinon, C. Bernardin-Souibgui, L.Wiest, D. Blaha, W. Galia, B. Cournoyer. 2021. Spatio-temporal variations in chemical pollutants found among urban deposits match changes in thiopurine *S*-methyltransferase-harboring bacteria tracked by the *tpm* metabarcoding approach. Sc. Total Env. 767: 145425 (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145425)

Vautrin, F., P. Pujic, C. Paquet, E. Bergeron, C. Martin, T. Marchal, H. Salord, J.-M. Bonnet-Garin, B. Cournoyer, T. Winiarski, V. Louzier, V. Rodriguez-Nava. 2021. Microbial risk assessment of *Nocardia cyriacigeorgica* in polluted environments, case of urban rainfall water. Computational and Structural Biotechnology Journal 19: 384–400. (https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.12.017)

Colin, Y., L. Marjolet, R. Bouchali, R. Marti, F. Vautrin, J. Voisin, E. Bourgeois, V. Rodriguez-Nava, D. Blaha, T. Winiarski, F. Mermillod-Blondin, B. Cournoyer. 2020. Coalescence of bacterial groups originating from urban runoffs and artificial infiltration systems among aquifer microbiomes. Hydrol. Earth System Sci. 24, 4257–4273. (https://doi.org/10.5194/hess-24-4257-2020)

Lipeme Kouyi G., S. Barraud, C. Becouze-Lareure, D. Blaha, Y. Perrodin, L. Wiest J.-B. Aubin, J. Y. Toussaint, S. Vareilles, C. Mandon, C. Bernardin-Souibgui, R. Marti, E. Bourgeois, L. Marjolet, Cournoyer B. 2018. Caractérisation des sédiments d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales et éléments de gestion. Caractérisation des sédiments d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales et éléments de gestion. TSM (Techniques Sciences & Méthodes) 9 : 65-75

Marti, R., C. Bécouze-Lareure, S. Ribun, L. Marjolet, C. Bernardin -Souibgui, J.-B. Aubin, G. Lipeme Kouyi, L. Wiest, D. Blaha, B. Cournoyer. 2017. Bacteriome genetic structures of urban deposits mobilized by runoffs are impacted by chemical pollutants and indicative of their origin. Sc. Reports. 7: 13219 (https://doi-org.inee.bib.cnrs.fr/10.1038/s41598-017-13594-8)

b) Conférences :

Bouchali, R., C. Mandon, E. Danty- Berger, A. Géloen, L. Marjolet, J.-Y. Toussaint, and B. Cournoyer. 2021. Pseudomonas aeruginosa au sein du microbiome urbain : biais de répartition en fonction des variables socio-urbanistiques, des réseaux de cooccurrence, et capacités métaboliques. 3e colloque national sur les *Pseudomonas*. Lac de Saint-Point (25), France, 18 & 19 octobre 2021

Bouchali, R., F. Vautrin, C. Mandon, Y. Colin, L. Marjolet, S. Vareilles, G. Lipeme Kouyi, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, D. Blaha, W. Galia, V. Rodriguez-Nava, et B. Cournoyer. Monitoring des microbiomes urbains : état actuel des données produites par l'observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU-ZABR). INSTRUMENTATION POUR LE SUIVI ENVIRONNEMENTAL : CYCLE D'ATELIERS NATIONAUX 2021. Atelier 1 - Mesure de la qualité de l'eau, 2 et 3 mars 2021. IES - Institut d'électronique et des systèmes, Montpellier

Bouchali, R., C. Mandon, Y. Colin, E. Bourgeois, R. Marti, J. Michalon, A. Gleizal, L. Marjolet, S. Ribun, S. Vareilles, G. Lipeme Kouyi, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, B. Cournoyer. 2019. Incidence des morphotypes urbains sur la structure des microbiomes et l'occurrence de formes pathogènes. IXème colloque de l'AFEM (Association Francophone d'Ecologie Microbienne), 5-8 novembre 2019, Bussang (France).

Bouchali, R., C. Mandon, Y. Colin, L. Marjolet, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, B. Cournoyer. 2019. Incidence des morphotypes urbains sur la répartition des espèces de Pseudomonas et la sélection de génotypes. 2e Colloque national sur les *Pseudomonas*, Voiron, France. Avril 2019

Colin, Y., L. Marjolet, R. Marti, R. Bouchali, F. Vautrin, V. Rodriguez-Nava, D. Blaha, T. Winiarski, J. Voisin, F. Mermillod-Blondin, B. Cournoyer. 2019. Significant transfer of bacteria from runoff to groundwater impacted by alternative stormwater management techniques. Full paper in the Proceedings of the 10th Novatech Intl Conference. Pp. 1-4. http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/1C23-127COL.pdf.

Polomé, P. 2018. Faire le lien entre les politiques publiques et la contamination environnementale. Colloque Contaminations Environnement Santé et Société. Colloque international interdisciplinaire – ESOF 2018. 4-6 juillet 2018, Toulouse, France

Bourgeois, E., R. Marti, C. Bernardin, Céline Bécouze, S. Ribun, L. Marjolet, A. Gleizal, S. Barraud, G. Lipeme Kouyi, L. Wiest, D. Blaha, B. Cournoyer. 2017. Spatio-temporal dynamics of TPMT-harboring bacteria among urban deposits reveal significant shifts in Pseudomonas and Aeromonas populations matching pollutant concentrations. EcotoxicoMic International Conference 2017. Lyon, Palais des Congrès.

Bourgeois, R. Marti, C. Bernardin, C. Bécouze, S. Ribun, L. Marjolet, A. Gleizal, S. Barraud, G. Lipeme Kouyi, L. Wiest, D. Blaha, B. Cournoyer. 2017. Analyse des changements de diversité et structure génétique des bactéries arborant la TPMT et colonisant les dépôts urbains : inférences sur l'incidence de polluants urbains sur la dissémination de formes pathogènes d'Aeromonas et Pseudomonas. Colloque de l'Association Francophone d'Ecologie Microbienne. Brest, France.

c) Presse grand public et vulgarisation :

Cournoyer, B. Interview 2021. Environnement : Des scientifiques lyonnais pointent les liens entre pollution urbaine et bactéries. Le Progrès (France), 18 avril 2021. https://www.leprogres.fr/environnement/2021/04/18/des-scientifiques-lyonnais-pointent-les-liens-entre-pollution-urbaine-et-bacteries#:~:text=Une%20%C3%A9tude%20men%C3%A9e%20par%20le,la%20pollution%20et%20les%20bact%C3%A9ries.

Cournoyer, B. Interview radio (podcast) – RCF – Lyon (France). 2021. Emission « Dis, Pourquoi » : Le lien entre pollution et microbes, présentée par Marie Leynaud. 6 avril 2021. https://rcf.fr/culture/le-lien-entre-pollution-et-microbe

Cournoyer, B. Interview 2021. Sciences & Innovation: des chercheurs lyonnais examinent la façon dont la ville favorise l'émergence de bactéries. Tribune de Lyon (France). https://tribunedelyon.fr/2021/03/29/des-chercheurs-lyonnais-examinent-la-facon-dont-la-ville-favorise-lemergence-de-bacteries-pathogenes/

Cournoyer, B. 2021. Les liaisons dangereuses entre polluants chimiques et microbiote des dépôts urbains. Actualités scientifiques, INEE CNRS. https://inee.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/les-liaisons-dangereuses-entre-polluants-chimiques-et-microbiote-des-depots-urbains

Cournoyer, B., L. Moulin. 2020. Coronavirus / M comme « microbiologie urbaine ». Tribune. Le Monde (France). 3 avril 2020. (https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/04/03/coronavirus-m-comme-microbiologie-urbaine_6035501_3234.html)

5.4.2.5 Collaborations

- UMR Ecologie Microbienne – U. Lyon 1 & VetAgro Sup : R. Bouchali (doctorant), E. Bourgeois (IR – financement ANSES), R. Marti (IR), L. Marjolet (IE), B. Youenou (IE), D. Blaha (MCU), A. Gleizal (AI), B. Tilly (TS), J. Voisin (doctorant), F. Vautrin (doctorant), V. Rodriguez-Nava (PU), W. Galia (MCF), B. Cournoyer (DR)
- UMR Environnement, Ville, Société - INSA Lyon : J. Y. Toussaint (PU), S. Vareilles (MCU), C. Mandon (doctorant), J. Michalon (CR)
- DEEP - INSA Lyon : Lipeme Kouyi G. (PR), S. Barraud (PR), C. Becouze-Lareure (IR), J.-B. Aubin (MCF)
- UMR GATE – LES – U. Lyon 2 : P. Polomé (PU)
- ISA – CNRS Lyon : L. Wiest (IR)

5.4.2.6 Perspectives

Nous proposons de poursuivre l'analyse des forçages environnementaux et des autres composantes des microbiomes des surfaces urbaines pour clarifier la nature des associations permettant à certaines bactéries pathogènes comme *P. aeruginosa* de survivre, voire de se multiplier, en ville, et de circuler sur ces surfaces. Pour réaliser ces travaux, nous allons poursuivre l'analyse de la microbiologie des dépôts et sédiments de la ZAC mi-plaine en développant des stratégies méta-omiques permettant d'accéder à la diversité des autres composantes biologiques pouvant expliquer l'occurrence de ces espèces bactériennes. De plus, nous allons approfondir l'étude des relations entre certains paramètres extrêmes opérant dans ces milieux (polluants chimiques, dessiccation) et les occurrences en gènes de virulence pour évaluer l'impact de ces pressions sélectives sur ce type d'éléments génétiques et les espèces associées. Les travaux sur l'évaluation des dangers sanitaires associés aux formes urbaines d'espèces pathogènes seront poursuivis.

► **A RETENIR**– Les données socio-urbanistiques et plans d'urbanisme ont pu être confrontées dans ce projet aux descripteurs des microbiotes urbains retrouvés dans les eaux de ruissellement et sédiments. Certaines typologies dont les impasses ont été associées à des comportements induisant (i) des contaminations chimiques, et (ii) des contaminations par des matières fécales, impactant la microbiologie des surfaces urbaines. Plusieurs espèces pathogènes ont été associées à ces contaminations dont *E. coli, les entérocoques intestinaux, Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Nocardia cyriacigeorgica et Aeromonas caviae. P. aeruginosa* est apparu un bio-indicateur très pertinent pour évaluer les niveaux de danger microbiologique en ville.

6 VALORISATION, DIFFUSION ET TRANSFERT DES RÉSULTATS AUPRES DES ACTEURS SCIENTIFIQUES ET PRATICIENS

Le rôle d'animation, de valorisation et de transfert des résultats de l'OTHU est tenu par le GRAIE depuis la mise en place du projet en 1999.

Le GRAIE – le Graie est le groupe de recherche, animation technique et information sur l'eau. Il mobilise et met en relation des acteurs de la gestion de l'eau, des milieux aquatiques et de l'aménagement urbain.Créé en 1985, le Graie réunit plus de 300 adhérents : professionnels publics et privés, collectivités, entreprises et laboratoires de recherche.

L'action du Graie vise à développer une culture partagée, fondée sur la connaissance et l'échange d'expérience, afin d'améliorer les pratiques en matière de gestion de l'eau.Le Graie contribue ainsi à l'appropriation des connaissances et à l'évolution des pratiques et de la réglementation sur l'eau.

Ses thèmes de réflexion : aide à la décision publique en matière de gestion urbaine de l'eau, les solutions durables de gestion des eaux urbaines par temps de pluie, la gestion intégrée des cours d'eau et des bassins versants, la problématique Eau et santé, sur le volet assainissement, les aspects juridiques de la gestion de l'eau

Ses modes d'actions :

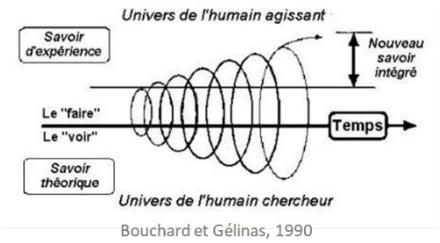
- Animer 5 dispositifs de recherche : la ZABR – Zone Atelier « bassin du Rhône », l'OTHU – Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine sur l'agglomération lyonnaise, SIPIBEL – Site pilote de Bellecombe sur les effluents hospitaliers et stations d'épuration en Haute-Savoie, l'OSR – Observatoire des Sédiments du Rhône et l'OHM VR – Observatoire Hommes Milieux Vallée du Rhône.
- Animer des réseaux régionaux d'échanges pour partager des expériences, formaliser les connaissances et co-construire des outils innovants à portée opérationnelle.
- Organiser des rencontres, conférences et colloques, de dimension locale à internationale
- Mobiliser des équipes de recherche sur des sujets nécessitant des compétences multiples
- Produire et diffuser des documents techniques, scientifiques ou de sensibilisation, et les mettre à la disposition de tous.
- Porter des messages à destination des pouvoirs publics pour contribuer à l'amélioration du cadre réglementaire.

Le GRAIE assiste les présidents de l'OTHU dans diverses tâches dont celle-ci. A l'inverse, l'implication de l'OTHU dans le GRAIE se traduit par la participation de ses membres aux différents groupes de travail (autosurveillance des réseaux, gestion des eaux pluviales, etc.), aux comités de programme des journées d'information du GRAIE et enfin aux exposés de résultats lors de ses journées.

Les actions de valorisation, de transfert et de diffusion des connaissances produites par l'OTHU sont définies et mises en place afin de toucher la communauté scientifique ainsi que les praticiens de la gestion urbaine de l'eau à l'échelle de l'observatoire, à une échelle régionale, nationale voire internationale.

QUELQUES DEFINITIONS :

- **VALORISATION** << ne se résume pas uniquement à l'exploitation commerciale des résultats de la recherche (pas notre objet au Graie) : elle s'appuie également sur le déploiement et l'échange des connaissances dans tous les domaines du savoir (SAVOIR-FAIRE, SAVOIRS COGNITIFS, SAVOIR THEORIQUE, SAVOIRS D'EXPERIENCE …)= elle varie selon le type d'acteurs visés et peut regrouper la Communication, la Diffusion, et le Transfert
- **TRANSFERT** >> vise l'appropriation des connaissances et à faire évoluer les pratiques



Bouchard et Gélinas, 1990

Si l'on regarde plus précisément au cours de ces 4 dernières années, on peut distinguer plusieurs actions :

6.1 Une capitalisation des connaissances

Du fait du caractère pluridisciplinaire de l'observatoire, un effort très important est fait pour capitaliser les connaissances produites par des équipes nombreuses manipulant des concepts scientifiques variés.

Les actions et les outils développés depuis la création de l'OTHU sont les suivants :

- Organiser régulièrement des **séminaires inter-chercheurs** (5 Séminaires internes réunissant parfois jusqu'à 40 participants - sur la période se sont déroulés : 3 séminaires stratégiques, un séminaire sur les données, un séminaire brainstorming sur le transfert et la valorisation);

- **Organiser des journées techniques, webinaires spécifiques OTHU** à destination des techniciens et des décideurs locaux, soit des colloques scientifiques nationaux et internationaux à destination des chercheurs (le séminaire scientifique OTHU de janvier 2017 (85 personnes), la restitution du programme de recherche Micro Mégas en décembre 2018 (82 participants), co-organisation d'un webinaire avec INDURA sur la traitabilité des sédiments de curage d'ouvrages pluviaux (94 inscris))

- **Structurer les actions de recherche par des projets finalisés et favoriser le montage de projets pluridisciplinaires** (e.g. ANR FROG, Programme MicroMegas, DESIR, CHEAP'EAU, DOmic parmi les plus récents...)

- Capitalisation des connaissances par la **rédaction de synthèse opérationnelle** : co-redaction de document de Synthèse par le Graie et les scientifiques (FICHE TECHNIQUE OTHU N°29 : "Méthode moléculaire pour l'identification du moustique" (sept. 2020); Synthèse opérationnelle du programme de recherche MicroMegas (sept. 2020 voir détails ci-dessous) , ANR Frog - Juillet 2021 fin du programme - Publication en décembre 2021 d'un guide opérationnel de synthèse des résultats)

- **Construction et réalisation d'un ouvrage collectif OTHU** | Grands messages et acquis pour la gestion durable des eaux pluviales en ville : travail colossal de recueil et formalisation des connaissances acquises dans le cadre de l'OTHU : la publication d'un bel ouvrage finalisé ! Il s'agissait de mobiliser et coordonner les scientifiques et partenaires techniques (ou utilisateurs) pour la rédaction d'un ouvrage collectif sur la gestion durable des eaux

pluviales en ville, relatant question par question, l'état des connaissances (résultats/acquis) de l'OTHU et leur application ou perspectives d'utilisation sur le terrain (retours d'expériences).

- Les chapitres/thématiques retenus pour structurer ce livre sont :
- Climat & pluies
- Hydrologie & anthropisation
- Gérer les RUTP pour protéger les milieux récepteurs
- Infiltration & transfert
- Ouvrages | éléments pour la conception et le fonctionnement
- Contaminant & polluant au sein des RUTP
- Métrologie & Observations
- Stratégie & aide à la décision

Chacun de ces thèmes sont déclinés en questions rédigées et relues par un binôme scientifique et opérationnel. Cette action est fondamentale pour valoriser toutes les données, connaissances et enseignements obtenu grâce aux scientifiques de l'OTHU et grâce au soutien de nos partenaires principaux que sont la Métropole de Lyon et l'Agence de l'eau RMC. Travail débuté en décembre 2017 - édition en décembre 2021.

- **Participation** également de chercheurs de l'OTHU à l'ouvrage coordonné par J-L. Bertrand Krajevski, F. Clemens et M. Lepot: "**Metrology in Urban Drainage and Stormwater Management: Plug and pray"**, https://doi.org/10.2166/9781789060119, eboook disponible en open-access.

▶Quelques exemples non exhaustifs plus détaillés sur la période 2017/2021

<u>Septembre 2020</u> : Synthèse opérationnelle du programme de recherche MicroMegas | Devenir des micropolluants au sein des ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source ou centralisés. Après 4 ans de recherche, ces techniques centralisées ou à la source :
>> Sont–elles perçues comme un danger pour l'environnement et la santé ou comme une opportunité de piégeage ?
>> Sont-elles réellement efficaces notamment vis-à-vis des micropolluants ?

Ce document synthétique et collectif, coordonnée par le GRAIE, apporte des réponses à ces interrogations.Il a été bâti à partir : des réflexions opérationnelles recueillies, des résultats de recherche et des enseignements acquis dans le cadre du programme.

<u>Novembre 2020 : Sédiments pluviaux d'assainissement urbain et autoroutier</u>

En appui sur le programme de recherche DESIR, GRAIE, l'OTHU et INSA Deep organisé en partenariat avec INDURA, CEREMA et APRR, un rapide webinaire de 1h sur *« Sédiments pluviaux d'assainissement urbain et autoroutier : connaissances et gestion actuelle »*

Depuis le début des années 90, les gestionnaires d'infrastructures (urbains, routiers, péri-urbains, etc.)

collectent les eaux pluviales et les gèrent notamment grâce à des bassins de rétention. Les sédiments charriés par ces eaux pluviales et retenus dans ces bassins, constituent un enjeu important en termes de gestion et de valorisation.

Les participants ont découvert à travers ce webinaire les enjeux pour les différents milieux, les caractéristiques de ces sédiments ainsi que les perspectives de recherche et de valorisation de ces matériaux.
Une occasion de confronter les problématiques urbaines et autoroutières grâce aux interventions des différents partenaires de cette rencontre ! VIDEO

6.2 Une diffusion des informations et des résultats

Outre les publications traditionnelles des laboratoires de recherche (revues, actes de conférences et de colloques, mémoires de thèses ou de Masters), et les rapports d'activité annuels (Rapport d'activité), la participation active dans la ZABR, H2O Lyon, LUS, IMU … et URBIS; les programmes de recherche qui s'appuient sur l'OTHU dépassent souvent le cadre stricte de l'agglomération lyonnaise et des équipes membres : Programmes ANR, Axelera, Appel à projets OFB, programmes européens.

Le Graie se charge également de la diffusion des informations et résultats de l'observatoire via la mise en forme des informations techniques et scientifiques issus des acquis de l'OTHU à travers :

-- les **groupes de travail régionaux du Graie** (autosurveillance, gestion des eaux pluviales), au sein desquels sont produites les fiches techniques et méthodologiques en matière de métrologie (LIEN), et est élaboré le programme de formation continue en partenariat avec Insavalor ;

-- La **mise à jour régulière du site internet de l'OTHU** avec les éléments d'actualités et les résultats de l'OTHU; En 2022, le site internet OTHU sera repris entièrement pour passer sur un autre CMS.
-- La diffusion en ligne des fiches techniques de l'OTHU : 29 fiches téléchargeables;

- **Réseaux Sociaux** : L'alimentation d'une page Twitter de l'observatoire (lien) ; d'une page Resaerchgate (lien) et d'une page LinkedIn (lien) ;

- La diffusion d'informations dans des **magazines spécialisés (presse)** ;

- La proposition de **communications OTHU** dans le cadre de manifestations techniques régionales, nationales et internationales, notamment via le comité joint IWA-IAHR d'hydrologie urbaine ;

- des **lettres d'information - brèves OTHU** à l'attention du comité de gestion, des chercheurs OTHU et des partenaires (85 personnes) (rythme 8-15 /an environ).

Enfin, l'OTHU s'inscrit aisément dans un cadre plus large avec **Novatech,** la conférence internationale sur les techniques et stratégies de gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Le Graie organise cette manifestation tous les trois ans à Lyon depuis 1992.
Elle permet aux acteurs de l'OTHU, de diffuser et valoriser les résultats de recherche et de favoriser le montage de projets internationaux notamment via les visites des sites expérimentaux proposés à chaque nouvelle édition de la conférence.
Autre point annexe, Novatech est également un très bon élément fédérateur entre doctorants de

l'observatoire, fortement mobilisés avec le GRAIE sur l'organisation pratique, devellopant ainsi l'esprit d'équipe.

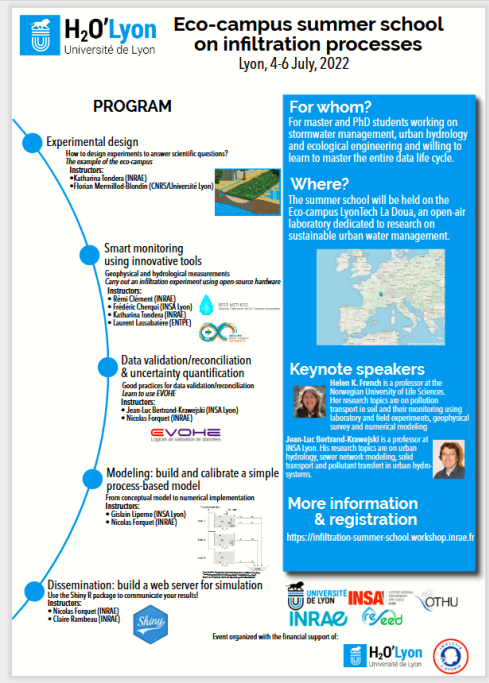
6.3 Un transfert académique et opérationnel

La partie transfert est une partie essentielle et de plus en plus développée dans le Graie et notamment en appui sur les connaissances acquises dans l'OTHU
De nombreux projets sont en cours et à venir (films didactiques sur les méthodes et outils OTHU, de plateformes d'échanges, ou encore de sketchnotes sont envisagés). Nous présentons ici quelques focus :

6.3.1 ÉCOLE D'ÉTÉ OTHU/RESEED ET PARCOURS DE MASTER INTERNATIONAL | FORMATION INITIALE –AVEC LE SOUTIEN DE H2O'LYON

6.3.1.1 Organisation en 2022 d'une école d'été

Titre de l'école d'été : *L'infiltration en question sur l'Eco-campus Lyon Tech La Doua: innovation digitale, traitement du signal et outils web pour la modélisation*



La gestion des eaux pluviales par des techniques alternatives est à présent largement adoptée de par le monde. Pour une bonne conception de ces ouvrages, la compréhension des mécanismes influençant l'infiltration de l'eau pluviale est essentielle et concerne tous les acteurs du domaine et tout particulièrement les étudiants et des chercheurs. L'équipe de recherche Reseed (Pôle commun de recherche INSA-INRAE sur les ressources, l'eau et les déchets) qui regroupe les chercheurs des laboratoires Deep and Reversaal de l'INSA de Lyon et d'INRAE propose une école d'été sur ce sujet, en appui sur l'OTHU (utilisation du site OTHU « Eco-campus/IUT La Doua ») et le Graie.
Fondée sur une pédagogie par projet, cette école se focalise sur l'utilisation de la métrologie à l'aide de capteurs innovants, autonomes, connectés, communicants, l'analyse des données et le calcul d'incertitudes, la modélisation et la dissémination des résultats via des outils web. Elle aura lieu du 4 au 6 juillet 2022 et est financée par l'EUR H2O'Lyon. L'organisation de cette école sur les thèmes phares de l'OTHU, sur un site OTHU et avec les acteurs OTHU, démontre la volonté de l'observatoire de s'impliquer un peu plus dans les actions de formation initiale portées par la majorité de ses tutelles. (15/20 participants envisagés)

6.3.1.2 Participation au montage du parcours international H2O'Lyon (Integrated Watershed Science)

La communauté des scientifiques de l'OTHU s'est investi dans le montage du parcours international H2O'Lyon (Integrated Watershed Science) de l'Ecole Universitaire de Recherche H_2O'Lyon qui ouvrira en septembre 2022 et dont l'observatoire servira de support pédagogique à l'interdisciplinarité. La question de la transmission de "l'approche OTHU" dans la formation initiale avait été débattue lors de conseils scientifiques antérieurs. C'est aujourd'hui concrétisé. Le parcours proposé a, en effet, pour objectif de former, à et par, la recherche des spécialistes des sciences de l'eau et des hydrosystèmes

capables d'appréhender les défis complexes de demain par la maitrise théorique et pratique de l'interdisciplinarité et la compréhension des enjeux socio-économiques liés à l'eau. Ce parcours original associera des étudiants issus des Masters disciplinaires lyonnais et étrangers traitant de la question de l'eau et des hydrosystèmes (M1) pour intégrer le parcours H2O'Lyon fondé sur une pratique avancée de l'interdisciplinarité (M2).

6.3.2 FORMATIONS CONTINUES

Depuis 2010, le Graie, l'OTHU et particulièrement le laboratoire DEEP de l'INSA Lyon ont mis en place un partenariat avec INSAVALOR (organisme de formation) pour contribuer au développement d'une culture commune de la gestion de l'eau, au-delà des rencontres informatives du GRAIE et des journées « Autosurveillance ». Ainsi plusieurs stages sont organisés annuellement plus particulièrement sur les thèmes suivants :

- Pratique de l'étalonnage des capteurs
- Validation et utilisation des données
- Pratique du traçage en réseau - Outil de vérification des débitmètres
- Calculer les incertitudes sur ses données, c'est possible !
- Instrumentation des déversoirs d'orages dans le cadre de l'autosurveillance.

En 2019, un programme de formation c'est également lancé en appui sur les résultats de recherche OTHU, le laboratoire Deep et des acteurs opérationnels de territoires sur la thèmatique " *Gérer les eaux pluviales à la source dans vos projets d'aménagement"*
Sur 2017/2021, 6 sessions "Autosurveillance" et 5 sessions "Eaux pluviales" de 12/19 participants ont été organisées. D'autres sessions et thèmes de formations sont en projet.

6.3.3 CAFÉS OTHU

Avec la crise sanitaire sur 2020/2021, pour garder un lien et poursuivre le transfert, l'OTHU et le Graie ont innové en proposant des « cafés OTHU » (7) et des webinaires sur le programme Cheap'eau (autour des systèmes innovants et économes pour la surveillance/gestion des eaux pluviales -20) permettant des rendez-vous plus réguliers afin d'établir une culture commune entre scientifiques et partenaires autour des thématiques de l'OTHU.

6.3.4 AIDE AU MONTAGE DE THÈSE CIFRE

Afin de développer la culture commune, le transfert entre les scientifiques et les acteurs opérationnels, l'OTHU et le Graie ont incité sur la période (comme le proposait dans sa thèse Mathilde Soyer) au développement de thèse CIFRE. Cela permet de faire les liens entre acteurs essentiels que sont les scientifiques et praticiens. Ce lien entre ces deux publics est réalisé grâce aux "Médiateurs sécants" que sont les stagiaires, les doctorant.e.s CIFRE, post-doc. Ce sont autant de leviers pour permettre un meilleur transfert.

La thèse Cifre de Nina Cossais (2021) " Les rôles différenciés de l'organisation des collectivités dans la fabrique de la ville perméable : La généralisation du contrôle à la source des eaux pluviales à la métropole de Lyon" en est un très bon exemple. Cette thèse est rattachée à l'OTHU et était portée par le Métropole de Lyon, Sciences de la Société Territoires, Economie et Droit – SSTED de Tours et UMR CNRS 7324 CITERES – UMR CNRS 5600 EVS Lyon.

A titre d'exemple, un autre projet de thèse CIFRE a été conçu/co-construit entre la Métropole de Lyon, l'INSA Deep, L'université Lyon 2 EVS et le Graie et sera lancée courant 2022. Sujet de recherche de la thèse : *"Suivi des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales et besoins à court, moyen et long-terme : quelles démarches et quels outils? Application sur le site de la Métropole de Lyon."*

6.3.5 VISITES TECHNIQUE DU SITE ECO-CAMPUS

En 2014, l'UDL, l'INSA deep, l'OTHU/GRAIE ont réalisés :
-- un Guide Grand Public pour découvrir et comprendre les techniques innovantes et douces de gestion des eaux pluviales sur le Campus Lyon Tech la Doua LIEN
-- Ainsi qu'un parcours pédagogique pour découvrir ces techniques *in situ* LIEN

Depuis de nombreuses déclinaisons, du parcours ont été réalisés sous différents formats.

Le Graie accompagné ou non des chercheurs OTHU organise régulièrement des visites des techniques de gestion à la source et centralisées. En moyenne 4 à 5 visites par an, pouvant réunir de 10 à 160 participants dans le cadre de différentes occasions : fête de la science, demande spontanée d'organismes ou d'entreprises (Veolia Eau, divers Bureau d'études, Aménageurs …) , d'écoles (organisation de visites pour l'ENGEES Strasbourg, l'ENTPE formation continue Master, …) .
La dernière visite en date a été organisée dans le cadre de la Journée d'échanges « Rendre les villes perméables » organisées par l'AERMC– délégation de Lyon en partenariat avec le GRAIE le 29 septembre 2021. Cet événement s'adressait aux élus, techniciens de services publics, bureaux d'études et entreprises privées souhaitant avoir des retours d'expériences sur les opérations de désimperméabilisation des sols dans les espaces publics (voiries, cours d'école…) mais aussi sur des espaces privés (parking par exemple). Était au programme de cette visite - variété, multiplicité des techniques, diversité des usages, conseils pratiques, recherches développées par l'OTHU ...
La visite a permis à plus de 160 participants d'avoir une illustration concrète de terrain de ces différents thèmes.
Les enseignants chercheurs organisent également très régulièrement des visites de terrain sur l'Ecocampus dans le cadre de leurs cours (formation initiale et continue) : INSA GCU, Master 2 UCBL Lehna E3s …

6.3.6 ÉCHANGES ET DISCUSSIONS FRANCE CANADA

Le Graie et Réseau Environnement (association canadienne ayant un mode d'action proche de celui du Graie) ont répondu conjointement et obtenus une aide dans le cadre de l'appel à projet pour la coopération France Québec 2018 portée pour la partie française par le ministère des affaires étrangères.

Le projet vise le développement et l'échange d'expertise entre Réseau Environnement (RE) et le Graie, sur une de leur thématique phare :"l'intégration de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain comme outil de résilience face aux changements climatiques". Le réseau thématique ainsi mobilisé rassemble scientifiques, concepteurs, aménageurs et gestionnaires d'ouvrage, afin de capitaliser les retours d'expérience sur les pratiques et connaissances. Les rencontres (réunions, colloques) permettent d'envisager des outils à mettre en œuvre pour un développement éclairé des projets multifonctionnels intégrés sur les territoires qui contribuent à la gestion durable des eaux pluviales.

Les résultats de l'OTHU sont au cœur des échanges et le réseau d'acteur est un véritable levier pour le transfert de connaissances.

En effet, deux Webinaires et une conférence sur 2020 et 2021, ont été organisés et ont permis de toucher à chaque rencontre entre 80 et 115 participants, en France, Suisse, Pays-Bas et Canada.

Ce partenariat, non scientifique à la base offre de belles opportunités de coopération internationale entre les collectivités et des perspectives de recherche potentielles.

6.3.7 PLAN D'ACTION NATIONAL "GESTION DURABLE DES EAUX PLUVIALES"

Au-delà des outils financiers, le plan d'action proposé par les Ministères de la Transition Ecologique (MTE) et de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales (MCTRCT), a été élaboré de façon collaborative et partenariale depuis 2019 au sein d'un COPIL national ou le Graie, l'OTHU et Urbis étaient présents.

Ce plan, qui sortira fin 2021, se donne donc comme ambition, à travers 24 actions, d'accompagner les acteurs de l'eau et de l'aménagement dans le développement d'une gestion plus durable des eaux pluviales.

Ces actions visent à travailler sur le cheminement de l'eau au sein de l'espace urbain tout en considérant les risques qui lui sont liés sur le territoire, afin de poser les fondements d'une vision résiliente et prospective de l'aménagement durable. L'Othu, le Graie et Urbis ont largement contribué à ce plan d'actions et sont pilotes de 3 actions et partenaires sur 10 autres.
Lien sur fiche de synthèse du plan

6.4 Perspectives de transfert et valorisation

Poursuivre et **développer la valorisation et particulièrement le transfert des résultats de recherche**, acquis au sein de l'OTHU, auprès des acteurs de l'assainissement (opérationnels et scientifiques).

- Diffuser et décliner les résultats présents au sein de l'**ouvrage collectif** OTHU. Cet objet portant les grands messages sur la gestion de l'eau est en cours d'élaboration
- **Développer la communication autour des messages,** utiliser de nouveaux médias/relais, de nouvelles formes (visites de terrain, webinaires…). A cette fin, le Graie va renforcer en 2022 son équipe communication en la portant à 3 personnes, au lieu d'une seule jusqu'à présent, augmentant de fait la force de communication au service de l'OTHU.Refonte du site internet de l'observatoire
- **Re-fonte du site internet de l'observatoire**
- **Échanger/discuter avec d'autres structures et observatoires en France** (OZCAR, SNO, URBIS …) ainsi qu'**à l'international** pour garder notre cohérence et notre vision prospective sur la valorisation (grâce au projet CO-UDLABS, et la coopération France Québec notamment)
- Poursuivre la **structuration d'actions de recherche de projets finalisés autour de questions opérationnelles** et favoriser le montage de projets pluridisciplinaires, innovants mêlant savoirs et questionnements opérationnels et scientifiques afin d'être à l'écoute des besoins scientifiques et opérationnels
- **Faire de Novatech 2023**, une véritable vitrine et une "mise en valeur" des connaissances et acquis de l'OTHU mais également comme un moment fédérateur entre les équipes de l'Observatoire

ZOOM sur le Stage de 3 mois – ingénieur ENTPE - Raphael MIGLIORI – 2020 « méthode et processus de sélection d'indicateurs pertinents en hydrologie urbaine » **encadré par le GRAIE et l'équipe de direction**
L'objectif était de produire une infographie à destination du site web de l'observatoire, infographie pouvant servir sur d'autres supports et médias de communication de l'OTHU. Nous nous sommes focalisé sur des indicateurs simples et faciles à mettre en œuvre, tout en prenant le temps d'étudier lesquels pourraient être les plus pertinents pour valoriser l'activité de l'observatoire, à plus ou moins long terme. Les indicateurs en page 3 sont issue de ce travail.
Cependant le benchmark et les interviews, nous ont également permis de mettre en valeurs d'autres opportunités de valorisation et seront développés dans les prochaines années notamment grâce à la refonte du site internet.
‣Disposer d'un tableau de bord des observations utile à la recherche ou au acteurs spécialistes (BE)MIEUX
‣VISUALISER les Observations de terrain et présentation des sites –cartographie interactiveEnfin, cette courte analyse prospective, met en avant également la dimension stratégique de ces indicateurs, qui peuvent non seulement aider l'observatoire à représenter et quantifier l'ampleur de son travail mais aussi à justifier ses financements. Ainsi, on pourrait s'aider d'indicateurs (à concevoir) pour évaluer globalement les performances de l'observatoire, choisir des orientations stratégiques, des objectifs à atteindre et donc des moyens à mobiliser pour cela.
De la même manière que l'on pilote un projet en évaluant son efficacité et en corrigeant ses faiblesses, des indicateurs, correctement classifiés et mis en cohérence, pourraient servir d'outil de pilotage et d'évaluation à l'OTHU. Cette dimension stratégique sera également envisagée et retravaillée par le Graie dans les années à venir avec l'appui du comité de gestion.

7 LES RELATIONS INTERNATIONALES

7.1 Carte partenariats

Au plan international, ces 4 dernières années ont été l'occasion pour l'OTHU de développer encore plus de collaborations de ses membres avec la communauté scientifique internationale. Les collaborations sont présentées dans la partie 5 sur les résultats de recherche. Elles sont nombreuses et variée avec des universités ou organismes de recherche étrangers avec pour la totalité d'entre elles des publications conjointes ou des projets en cours.

FIGURE 61: EXEMPLE DE COLLABORATIONS INTERNATIONALES SUR 2017/2021

7.2 Mobilités sortantes

Séjour de 12 mois de F. Branger en Nouvelle-Zélande (NIWA) en 2015-2016, séjour de 6 mois de G. Lipeme en Australie (University of Melbourne) en 2017.

Obstention d'un MSCA Individual Fellowship de la Commission Européenne par Frédéric Cherqui pour le projet « Innovative stormwater asset management in future cities (Mind4Stormwater) »,mobilité en Australie de 2ans (2018-2020).

7.3 Mobilités entrantes

- Accueil de M. Fuamba (Polytechnique Montréal, Canada), en 2014-2015 à INRAE, puis en 2022 à INSA-DEEP
- Accueil de Simone Diprima à l'ENTPE chaque année sur la période

7.4 Mobilité doctorants OTHU

En 2018 : séjour de Ivan Horner (doctorant INRAE) à l'Université de San Diego aux USA (3 semaines)

En 2019 : séjour de Alejandro Claro Barreto (doctorant DEEP) à l'institut des sciences et technologie de Karlsruhe en Allemagne (2 semaines).

En 2020 : mobilité accordée par l'école doctorale Chimie de Lyon à Qiufang Zhan (doctorant DEEP) pour un séjour de 3 mois à l'université du Québec UQAT. Mobilité non réalisée pour cause de COVID 19.

8 LES PERSPECTIVES RECHERCHE ET OUVERTURES

Les 7 grand thèmes présentés plus haut s'inscrivent dans les politiques de recherche de plusieurs établissements et organismes membres de la SFR/FED OTHU et ils sont en lien avec des enjeux environnementaux et/ou, de santé globale et impliquent de manière croissante des pratiques relevant de l'innovation digitale, notamment du fait d'un déploiement important de capteurs et d'une production intensive de données à gérer et à interpréter à l'aide des procédures « intelligentes ». En mobilisant ces 7 grands thèmes sur la période 2021-2025, l'OTHU constitue clairement un outil de collaboration entre établissements et organisations membres, et même au-delà.

Faire vivre ces thèmes et les actions de recherche associées nécessite la mobilisation de moyens financiers et humains importants. **La question du recrutement d'un ingénieur de recherche dédié à la SFR/FED OTHU reste toujours d'actualité.** Une partie des financements pour nos actions de recherche sera obtenue dans le cadre de l'accord SFR-OTHU/Agence de l'eau RMC signé le 19 avril 2019. En effet, suite au conseil scientifique de janvier 2017, l'Agence de l'eau RMC a souhaité conventionner sur un mode de financement par actions de recherche. Dans ce contexte, 4 actions de recherche ont été financées pour l'instant, à savoir : ***Cheap'Eau*** sur l'utilisation des capteurs low-cost pour surveiller les hydrosystèmes urbains, ***DESIR*** sur la traitabilité et la valorisation des sédiments des bassins de retenue/infiltration des eaux pluviales, ***NOGAS*** sur la gestion des gaz toxiques produits en réseau d'assainissement et ***DOmic*** sur la construction d'indicateurs microbiens pour évaluer la qualité des milieux récepteurs subissant les rejets d'un déversoir d'orage. Outre les 150 k€ apportés par an par la métropole de Lyon et les ressources financières mobilisées par les tutelles de la SFR (apport du ministère), **la SFR va ainsi bénéficier d'un financement supplémentaire apporté par l'Agence de l'eau RMC pour mener les actions de recherche co-construites dans le cadre du nouvel accord SFR-OTHU/Agence de l'eau RMC conclu pour 6 ans**.

Les autres sources de financement pour soutenir les actions recherche de la SFR proviennent notamment de l'ANR, OFB, du MTE, de l'ANSES, du CNRS (e. g. EC2CO, MITI) … (liste non exhaustive). Ces financements complémentaires permettent de garantir les suivis et les activités de recherche ne faisant pas partie du contour des projets retenus par l'AERMC.

Les objectifs visés sur la période 2021-2025 sont en adéquation avec les 7 thèmes de recherche, les actions de recherche financées par l'agence, les attentes opérationnelles de la Métropole de Lyon, les retombées scientifiques contribuant au rayonnement des tutelles de la SFR et peuvent être déclinés comme suit :

8.1 Observations – données

Au niveau des observations, nous allons poursuivre le gros effort sur le recensement, la bancarisation, la mise à disposition et la valorisation des données de l'observatoire, collectées sur plus de vingt ans. Cette capitalisation va s'appuyer en premier lieu sur le catalogue des métadonnées mis en ligne et interopérable grâce au support de la Métropole de Lyon, la mise à disposition aux équipes de l'OTHU de plusieurs outils de bancarisation / publication des données (BD OTHU, Zenodo), ainsi qu'un encouragement à la publication de ces données dans des bases de données en ligne et interopérables, ainsi qu'une mutualisation de bonnes pratiques en matière de qualification de ces données et les méthodes d'estimation des incertitudes.

Nous allons également poursuivre notre insertion dans la paysage de l'animation et de structuration de la recherche, notamment au niveau national (SNO Observil, OZCAR) et Européen (H2020 Co-UDLABS, H2020 eLTER), en particulier sur les questions de structuration et partage de la donnée.

Il y a également des enjeux pour l'acquisition des futures données de l'observatoire. Dans un contexte de ressources financières en baisse et de multiplication des points de mesure, ces enjeux sont liés au coût des réseaux de mesure, à leur maintenance, à leur consommation d'énergie, à leur performance et à leur durabilité. Nous allons poursuivre nos travaux sur la piste de recherche des capteurs low-cost et des capteurs communicants, comme par exemple dans le projet Cheap-Eau, mais aussi sur les innovations métrologiques d'échantillonnage (échantillonneurs passifs, chemcatcher, germcatcher) et/ou d'analyse de données (couplage échantillonneurs passifs et spectrographie de masse). Une autre piste de réflexion est aussi celle de l'organisation des réseaux de mesure, et de l'adéquation entre objet d'intérêt, capteurs et conditions de déploiement. Par exemple, sur le bassin versant de l'Yzeron, nous allons réfléchir aux contours que pourrait prendre une plate-forme de mesure « type bungalow OTHU » adaptée aux contraintes d'installation en milieu naturel (typique des bassins périurbains) c'est-à-dire sans accès à une alimentation électrique de secteur ni à l'internet haut débit.

Une autre priorité est également la poursuite des mesures sur le site le plus récent, celui de l'EcoCampus, en consolidant et en étoffant le suivi des techniques d'infiltration à la source. Par exemple, pour l'**instrumentation et le suivi hydrologique et thermique des toitures végétalisées, un** prototype de toit végétalisé est déjà installé (financement CPER OTHU). Un des objectifs est de mieux cerner l'effet de la végétalisation des toitures sur le climat local et environnant. Les données produites permettront également de tester et de valider des modèles de simulation du fonctionnement hydrologique de ces toitures sur le long terme. Enfin, un des défis scientifiques est de pouvoir mieux caractériser l'évapotranspiration (des méthodes de bilan de masse par pesée seront testées).

8.2 Recherche

Les perspectives de recherche seront gouvernées en grande partie par la finalisation des projets en cours ou acceptés (projets Cheap'eau, NoGas, Desir, DOmic, IDESOC, ANR INFILTRON, ANR Frog, ANR CHYPSTER, H2020 MULTISOURCE, TONIC, etc).

Les grandes thématiques qui apparaissent comme prioritaires pour les chercheurs de l'OTHU sont les suivantes :

- **l'étude du fonctionnement des ouvrages de gestion à la source,** du point de vue de l'hydrologie quantitative, mais aussi de la qualité de l'eau et de leur perception par la population. Ces ouvrages sont appelés à se généraliser dans les pratiques de gestion des eaux pluviales en ville, il est donc particulièrement important de connaître le fonctionnement, notamment dans un contexte de changement climatique (impact des événements extrêmes et canicules, besoins en eau pour les irriguer…), d'une grande variété de types d'ouvrage, par l'observation et/ou la modélisation.

- **La gestion patrimoniale des réseaux et des ouvrages.** En effet dans un contexte de changement global (climat, stratégies de gestion des eaux pluviales), le fonctionnement des ouvrages va évoluer dans le temps et la question de leur gestion sur les temps long devient cruciale. Les questions à aborder recouvrent notamment celle du maintien de la mémoire de la période historique (état et fonctionnement passés du réseau et des ouvrages), ainsi que le développement d'indicateurs de performance.

- **La prise en compte et l'estimation de l'impact du changement global à l'échelle du bassin versant.** Cela recouvre l'intégration du changement climatique, mais aussi des trajectoires d'évolution de la ville et de ses alentours (zones périurbaines) sur de grands territoires, et des stratégies de gestion des eaux pluviales, notamment la généralisation de l'infiltration à la source, en couplant quantité et qualité de l'eau, via des stratégies innovantes (identification des sources de contamination par exemple) permettant de réaliser des scénarios prospectifs.

- **La caractérisation et la gestion des sédiments dans les ouvrages**, en particulier l'estimation de leur niveau de contamination et les traitements possibles

- **La prise en compte de contaminants émergents et des préoccupations sanitaires**, en particulier les microplastiques et la gestion des gaz toxiques produits en réseau d'assainissement.

- La réflexion sur une **évolution de la métrologie classique, un changement de paradigme** (alertes et/ou mesures) et un **changement d'échelle** pour spatialiser les connaissances, aider à la décision

Ces grandes thématiques seront également l'occasion de poursuivre les collaborations avec le réseau URBIS (observatoires ONEVU et OPUR) et d'établir de nouvelles avec les membres du SNO Observil, à travers des programmes et actions communs, déjà existant ou en émergence tel que la feuille de route « eaux pluviales » du MTE, programmation OFB, etc.

8.3 Valorisation et transfert

Nos priorités seront les suivantes :

- Poursuivre et **développer la valorisation/le transfert des résultats de recherche**, acquis au sein de l'OTHU, auprès des acteurs de l'assainissement (opérationnels et scientifiques). Un **ouvrage collectif** permettant de diffuser les grands messages sur la gestion de l'eau est en cours d'élaboration (publication prévue lors du conseil scientifique).

- Valoriser sous forme de publications scientifiques, guides techniques, kits pédagogiques, programmes de formation, vidéos, fiches techniques et autres médias… les retombées des projets notamment ANR FROG (impact des eaux d'infiltration sur le fonctionnement des nappes souterraines), ANR INFILTRON (développement expérimental et modélisation de la filtration et du transfert de polluants dans les sols supports des techniques alternatives), ZABR/AERMC Conscequans (quantification des bénéfices liées à la systématisation des techniques alternatives à l'échelle d'un bassin versant) et SFR/AERMC (DESIR, Cheap'Eau, NoGas, DOmic)

- Mettre en place une **animation spécifique pour développer les liens entre la SFR/FED OTHU, l'institut convergence « Ecole urbaine de Lyon », l'EUR H2O'Lyon** à travers par exemple l'organisation récurrente d'une école d'été notamment autour de l'infiltration des eaux pluviales, avec des travaux pratiques sur le site OTHU Eco-Campus, cela permettrait également de mettre en valeur le lien Formation-Recherche sur les sites de la SFR OTHU. Dans ce contexte, une école d'été sera organisée sur le campus Lyon Tech La Doua autour des questions de mesure, modélisation de l'infiltration, avec un focus spécifique sur la science des données et l'utilisation des capteurs connectés, communicants et autonomes pour réaliser les suivis de l'infiltration.

- La **refonte du site Web de l'OTHU** en 2022 sera également une belle opportunité de communication, de mise en valeurs, de définition d'indicateurs et d'une charte graphique /d'un plan de communication piloté par le Graie sous l'impulsion du comité de gestion et de l'équipe de direction

ANNEXES

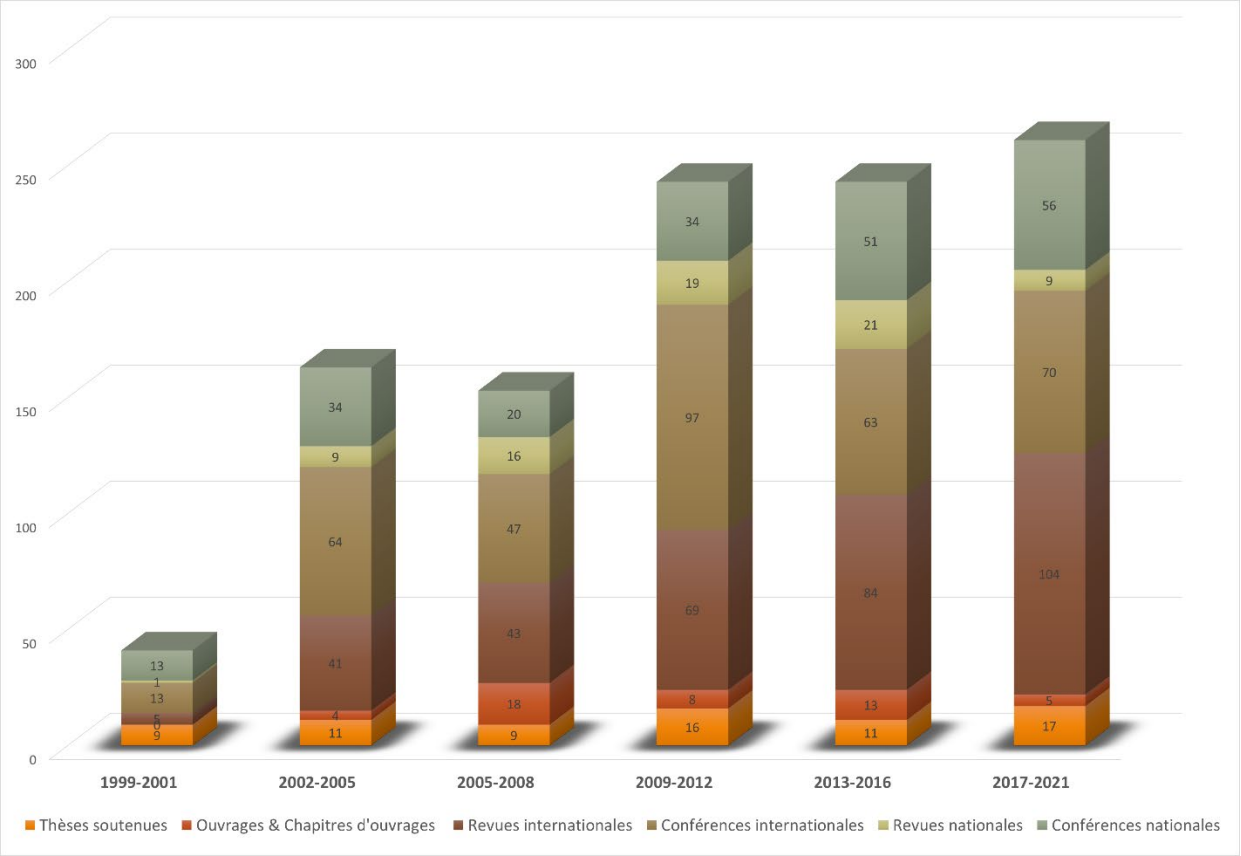
ANNEXE 1 : Productions scientifiques et techniques
ANNEXE 2 : Personnels
ANNEXE 3 : Aspects financiers
ANNEXE 4 : Documents complémentaires consultables

1 ANNEXE 1 | PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Sur la période 2017-2021, la production académique a été la suivante :

- **17** thèses soutenues (et 12 thèses en cours fin 2021)
- **2** HDR (Flora Branger, Florian Mermillod Blondin)
- **279** publications internationales dont :
  - articles dans revues internationales : **104**
  - ouvrages ou chapitres d'audience internationale : **1**
  - communications dans conférences internationales : **70**
- **205** publications nationales dont :
  - communications dans revues nationales : **9**
  - communications dans conférences nationales : **56**
  - ouvrages ou chapitres d'audience nationale : **4**
  - autres : **26** (stages, documents internes, séminaires ...)

PRODUCTION SCIENTIFIQUE OTHU 1999/2021



Thèses soutenues (17)

1. Ah-leung S. : Condition d'adoption des objets de nature en milieu urbain : analyse des effets sociaux, techniques, économiques et organisationnels de l'introduction d'un système de gestion et de traitement des eaux urbaines pluviales à base de filtres plantés de roseaux, Equipe EVS INSA – UMR CNRS 5600 (23/06/2017)
2. Baati Selma. Fabriquer et user des systèmes techniques. Le cas des systèmes d'assainissement urbain. Equipe EVS INSA – UMR CNRS 5600 (2021)
3. Bouarafa S. (2019). Influence des chemins préférentiels sur la migration de polluants au sein des dispositifs d'infiltration. Encadrement LEHNA IPE – INSA Lyon DEEP - soutenue le 3 octobre 2019
4. Chakroun, G.H., (2020). Préparation et étude du matériau chitosane et application dans le domaine des biocapteurs. "Thèse cotutelle internationale Lyon1/Tunis, soutenue le 10/11/2020 N°d'ordre NNT : 2020LYSE1215"
5. Claro-Baretto A. Expérimentations et modélisation LBM du transport de polluants au droit d'un ouvrage de dérivation. Financement : ANRT- CIFRE et Agglomération Valence-Romans-sur-Isère. Encadrement INSA Lyon DEEP - INSA LMFA (soutenue le 5 octobre 2020)
6. Cossais Nina : Comprendre l'organisation des collectivités : une clef pour fabriquer la ville perméable. Le cas de la métropole de Lyon. Encadrement EVS-Lyon 2 / Critères / métropole de Lyon thèse soutenue le 5janvier 2021
7. Garnier R.: Rôle des techniques alternatives sur la gestion des micropolluants dans les rejets urbains de temps de pluie - Comparaison systèmes centralisés / systèmes à la source- INSA Lyon DEEP (débutée en 2015 – 2020)
8. Lagadec L-R. : Évaluation et le développement de la méthode pour la cartographie IRIP tempête de ruissellement intense. Application au contexte de chemin de fer. IRSTEA SNCF (5/12/2017)
9. Mate Marin A. Evaluation de la capacité du DSM à protéger les milieux récepteurs – modélisation du comportement hydro-sédimentaire du DSM et construction des indicateurs d'impact. Thèse Région Rhône-Alpes et Direction de l'eau Métropole de Lyon- encadrement INSA Lyon DEEP - INSA LMFA (débutée en 2015) - thèse soutenue le 12 février 2019
10. Pigneret Mathilde:Réponses physiologiques à une pollution d'origine anthropique chez des organismes sentinelles et conséquences sur la qualité de l'eau des nappes phréatiques UCBL LEHNA E3S (2014) --- Soutenue en mars 2018
11. Pinasseau L. Développement et le déploiement des techniques d'échantillonnage passif pour l'étude des polluants organiques dans les systèmes aquatiques souterrains. Co-direction: ISA-Traces-UMR 5280 / LEHNA-E3S-UMR 5023. (2017-2021)
12. Pouchoulin Sébastien (2016-2019) : Mélange des eaux à l'aval d'une confluence – Amélioration de la modélisation des flux de contaminants dans les cours d'eau et les réseaux d'assainissement , Université de Lyon, Jérome Le coz, Nicolas Rivière et Emmanuel Mignot (INSA Lyon)
13. Raimbault, J., 2021. Polluants émergeants et infiltration des eaux urbaines : processus de transfert de nanoparticules en milieu poreux hétérogène. Université de Nantes, Nantes.
14. Sandoval S. Mesurages en continu et modélisation dynamique des flux polluants dans les systèmes d'assainissement urbains. Equipe DEEP- INSA Lyon. (5/12/2017)
15. Vautrin F : Milieu urbain et actinomycètes pathogènes, cas particulier des bassins d'infiltration. Co-direction Equipe scientifique : LEM – Université Lyon I – VetAgro- UMR CNRS 5557 / LEHNA –IPE - UMR 5023. thèse soutenue le 12 décembre 2019
16. Voisin J. Diversité microbienne dans les nappes phréatiques : influence de la connectivité hydrologique sur le transfert et le développement de bactéries pathogènes pour l'Homme. Co-direction LEM – Université Lyon I – VetAgro- UMR CNRS 5557 / LEHNA - UMR 5023 (2013) (12/07/2017)
17. ZHU X. Expérimentations et modélisation 3D du transport et de la décantation des micro-polluants dans les bassins de retenue-décantation – prise en compte des caractéristiques physico-chimiques. Thèse China Scholarship Council - encadrement INSA Lyon DEEP (débutée en 2015) - thèse soutenue le 26 juin 2019

+ Thèse en lien :

Attard, G., 2017. Impacts des ouvrages souterrains sur l'eau souterraine urbaine - Application à l'agglomération lyonnaise. Thèse de doctorat de l'Université de Lyon, 172 p.

Sanzana, P., 2018. Characterization and modeling of hydrological processes in periurban catchments located in the Piedmont of Santiago (Chile), Pontifica Universidad de Chile, Chile.

Horner, I., 2020. Construction et évaluation de signatures hydrologiques pour le diagnostic et l'amélioration d'un modèle hydrologique distribué, Université Grenoble-Alpes, France, https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02928272

Thèses en cours (12)

1. Asra A. - Modélisation hydrologique de l'infiltration dans les ouvrages de gestion à la source– ENTPE LEHNA / INSA DEEP - Thèse débutée en 2019
2. Bouchali R. Incidence des organisations et activités urbaines sur la structuration de la diversité bactérienne dont la dissémination d'espèces pathogènes et la sélection de génotypes virulents et résistants aux antimicrobiens - Ecologie Microbienne Lyon / INSA EVS - Thèse LUS débutée en 2019
3. Boukra, A., thèse en cours. Caractérisation intégrée de la matière organique dissoute étude d'empreintes physico-chimiques et recherche de marqueurs pour tracer les sources de pollutions anthropiques ; université de Lyon, INRAE-RiverLy.
4. Fernandes G. Dévelopement d'approches modélisatrice et infiltrométrique pour diagnostiquer le fonctionnement des ouvrages d'infiltration. Thèse ENTPE LEHNA/INSA DEEP (débuté en 2020)
5. Gogien F. Modélisation intégrée du fonctionnement d'un système d'assainissement dans un contexte de changement climatique- INSA DEEP - Thèse débutée en 2020
6. Grandjouan, O, thèse en cours. Apports de la biogéochimie pour l'évaluation et l'amélioration d'un modèle hydrologique distribué en milieu péri-urbain ; université de Lyon, INRAE-RiverLy.
7. Lebon Y. (2018-2021) Réponses des communautés microbiennes souterraines aux perturbations engendrées par les pratiques d'infiltration des eaux pluviales dans les nappes phréatiques - Thèse débutée en octobre 2018, Ecole doctorale E2M2
8. Mandon Claire (débutée en 2015). Usages et pollution visible, EVS
9. Montoya Violeta Développement d'outils opérationnels pour une gestion décentralisée des eaux urbaines- INSA DEEP - Thèse débutée en 2020
10. Pophillat, William (2018- 2021). Conséquences d'une systématisation des pratiques d'infiltration à la parcelle des pluies courantes à l'échelle du quartier et du petit bassin versant – Apports de la modélisation intégrée, ED TUE Grenoble, UR RiverLy, Irstea
11. Quifang ZHAN - Fonction des sols urbains développés sur les sédiments d'assainissement pluvial - INSA DEEP - Thèse débutée en 2019
12. Raimbault Jerome: « Polluants émergents et infiltration des eaux pluviales. Processus de transfert de nanoparticules en milieu poreux hétérogène ». Dir. B. Béchet (IFSTTAR Nantes-GERS-LEE) et L. Lassabatère (LEHNA-IPE). Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Géoscience, Agronomie, Alimentation, Université Loire Bretagne. Financement MTES

Post-Doctorat OTHU (4)

Julien COUVIDAT – INSA Deep – Projet DESIR
Adrien MEYNIER-POZZI- Vetagro Sup LEM – Projet DOMIC et ANR FROG
Jérémie BONNEAU – INRAE – Projet Conscequans
Axel AIGLE - Vetagro Sup LEM – projet infiltron

HDR – Habilitation à diriger des recherches (2)

Flora BRANGER (2019). Les bonnes réponses pour les bonnes raisons: Une démarche de modélisation hydrologique distribuée représentative des processus dans les bassins versants. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Grenoble Alpes

Mermillod-Blondin, F. (2017). Ecologie fonctionnelle aux interfaces eau-sédiment. Habilitation à Diriger des Recherche, Université de Lyon, 124 p.

Articles dans revues internationales (101)

Abu El-Magd S., Taha T.H., Pienaar H.H, Breil P., Amer R.A., Namour Ph., (2021), Assessing Heavy Metal Pollution Hazard in Sediments of Lake Mariout, Egypt, Journal of African Earth Sciences, 104116, doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104116.

Aigle, A., Y. Colin, R. Bouchali, E. Bourgeois, R. Marti, S. Ribun, L. Marjolet, A. C. M. Pozzi, B. Misery, C. Colinon, C. Bernardin-Souibgui, L.Wiest, D. Blaha, W. Galia, B. Cournoyer. (2021). Spatio-temporal variations in chemical pollutants found among urban deposits match changes in thiopurine S-methyltransferase-harboring bacteria tracked by the tpm metabarcoding approach. Sc. Total Env. 767: 145425 (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145425)

Attard, G., Rossier, Y., Winiarski, T., Eisenlohr, L., (2017). Urban underground development confronted by the challenges of groundwater resources: guidelines dedicated to the construction of underground structures in urban aquifers. Land Use Policy, 64: 461-469.

Batany, S., Peyneau, P.-E., Lassabatère, L., Béchet, B., Faure, P., Dangla, P., (2019). Interplay between molecular diffusion and advection during solute transport in macroporous media. Vadose Zone J. 18. https://doi.org/10.2136/vzj2018.07.0140

Becouze-Lareure C., Dembélé A., Coquery M., Cren-Olivé C., Bertrand-Krajewski J.-L. (2019). Assessment of 34 dissolved and particulate organic and metallic micropollutants discharged at the outlet of two contrasted urban catchments. Science of the Total Environment, 651(2):1810-1818. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.042

Becouze-Lareure, C., Lipeme Kouyi, G., Gonzalez-Merchan, C., Bazin, C., Sebastian, C., Barraud, S., Perrodin, Y. (2018). Spatial and temporal dynamics of sediment ecotoxicity in urban stormwater retention basins: Methodological approach and application to a pilot site close to Lyon in France (2018). Journal of Environmental Science and Health, Part A, 53 (13), 1123-1130. https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1529894

Ben Slimene E., Lassabatere, L., Šimůnek, J., Winiarski, T., Gourdon, R., (2017). The role of heterogeneous lithology in a glaciofluvial deposit on unsaturated preferential flow – a numerical study. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 65, 3: 209-221. DOI: 10.1515/johh-2017-0004

Bernardin-Souibgui, C., Barraud, S., Bourgeois, E., Aubin, J.-B., Becouze-Lareure, C., Wiest, L., Marjolet, L., Colinon, G., Lipeme Kouyi, G., Cournoyer, B., Blaha, D. (2018). Incidence of hydrological, chemical, and physical constraints on bacterial pathogens, Nocardia cells, and fecal indicator bacteria trapped in an urban stormwater detention basin in Chassieu, France. Environmental Science and Pollution Research, 25 (25), 24860-24881. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1994-2

Bertrand-Krajewski J.-L (2020) Integrated urban stormwater management: evolution and multidisciplinary perspective. Journal of Hydro-environment Research, available online 27 Nov. 2020. doi: 10.1016/j.jher.2020.11.003

Bonneau, J., Lipeme Kouyi, G., Lassabatere, L., Fletcher, T. (2021). Field validation of a physically-based model for bioretention systems. Journal of Cleaner Production, 312, 127636 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127636

Bouarafa, S., Lassabatere, L., Lipeme Kouyi, G., Angulo-Jaramillo, R. (2019). Hydrodynamic Characterization of Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) by Using Beerkan Infiltration Experiments. Water, 11, 660. Open access. https://doi.org/10.3390/w11040660

Bouchali, R., C. Mandon, R. Marti, J. Michalon, A. Aigle, L. Marjolet, S. Vareilles, G. Lipeme Kouyi, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, and B. Cournoyer. (2021). Bacterial assemblages of urban microbiomes mobilized by runoff waters match land use typologies and harbor core species involved in pollutant degradation and opportunistic human infections. Sc. Total Env. (accepté)

Branger, F., McMillan, H. Deriving hydrological signatures from soil moisture data. Hydrological Processes. (2020); 34: 1410–1427. https://doi.org/10.1002/hyp.13645

Braud, I., Desprats, J.F., Ayral, P.A., Bouvier, C., Vandervaere, J.P., (2017). Mapping topsoil field-saturated hydraulic conductivity from point measurements using different methods, J. Hydrology and Hydromechanics, 65(3), 264-275, DOI: 10.1515/johh-2017-0017, https://doi.org/10.1515/johh-2017-0017

Breil P, Pon M-N, Armani G, Amer R, Peinaar H, Philippe Namour Ph (2021), Nature-based solutions of bioremediation in water environment, in Sustainable Solutions for Environmental Pollution ed: Nour Shafik El-Gendy, Wiley (accepté)

Caradot N., Cherqui F., Clemens F. & Rouault P. (2017) An evaluation of uncertainties in sewer condition assessment, Structure and Infrastructure Engineering, 14(2), 264-273. http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2017.1356858.

Carrera L., Springer F., Lipeme Kouyi G., Buffière P. (2017) Influence of relative air/water flow velocity on oxygen mass transfer in gravity sewers. Water Science and Technology. doi: 10.2166/wst.2017.001.

Carrera L., Springer F., Lipeme-Kouyi G., Buffiere P. (2017). Sulfide emissions in sewer networks: focus on liquid to gas mass transfer coefficient, Water Science and Technology, 75(8), 1899-1908.

Chakroun Galai, H.; Namour, Ph.; Bonhomme, A.; Bessueille, F.; Besbes Hentati, S.; Jaffrezic-Renault, N., (2020) Elaboration of an Imprinted Polymer Film Based on Chitosan Electrodeposition for the Voltammetric Detection of BPA Journal of the Electrochemical Society 167 27507 10.1149/1945-7111/ab6283

Cherqui F., James R., Poelsma P., Burns M.J., Szota C., Fletcher T., Bertrand-Krajewski J.-L (2020) .A platform and protocol to standardise the test and selection low-costsensors for water level monitoring, H2Open Journal, 3(1), 437-456. doi.org/10.2166/h2oj.2020.050

Coelho C., Foret C., Bazin C., Leduc L., Hammada M. , Inácio M., Bedell J.P. (2018). Bioavailability and bioaccumulation of heavy metals of several soils and sediments (from industrialized urban areas) for Eisenia fetida, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.213

Colin Y., Bouchali R., Marjolet L., Marti R., Vautrin F., Voisin J., Bourgeois E., Rodriguez-Nava V., Blaha D., Winiarski T., Mermillod-Blondin F. & Cournoyer B. (2020) Coalescence of bacterial groups originating from urban runoffs and artificial infiltration systems among aquifer microbiomes. Hydrology and Earth System Sciences, 24 9 4257-4273 https://doi.org/10.5194/hess-24-4257-2020

Colin, Y., L. Marjolet, R. Marti, R. Bouchali, F. Vautrin, V. Rodriguez-Nava, D. Blaha, T. Winiarski, J. Voisin, F. Mermillod-Blondin, B. Cournoyer. (2019). Significant transfer of bacteria from runoff to groundwater impacted by alternative stormwater management techniques. Full paper in the Proceedings of the 10th Novatech Intl Conference. Pp. 1-4. http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/1C23-127COL.pdf.

Concialdi P., Di Prima S., Bhanderi H.M., Stewart R.D., Abou Najm M.R., Lal Gaur M., Angulo-Jaramillo R., Lassabatere L., (2020). An open-source instrumentation package for intensive soil hydraulic characterization. Journal of Hydrology, 582: 124492. DOI: doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124492

Di prima S., Stewart R.D., Castellini M., Bagarello V., Abou Najm M.R., Pirastru M., Giadrossich F., Iovino M., Angulo-Jaramillo R., Lassabatere L., (2020). Estimating the macroscopic capillary length from Beerkan infiltration experiments and its impact on saturated soil hydraulic conductivity predictions. Journal of Hydrology, 589: 125159. DOI: doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125159

Di prima S., Winiarski T., Angulo-Jaramillo R., Stewart R.D., Castellini M., Abou Najm M.R., Ventrella D., Pirastru M., Giadrossich F., Capello G., Biddoccu M., Lassabatere L., (2020). Detecting infiltrated water and preferential flow pathways through time-lapse ground-penetrating radar surveys. Science of The Total Environment, 726: 138511. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138511

Di Prima, S., Giannini, V., Roder, L., Stewart, R.D., Abou Najm, M.R., Longo, V., Winiarski, T., Angulo Jaramillo, R., Pirastru, M., Lassabatere, L., Roggero, P.P., (2021). Using GPR surveys and infiltration experiments for assessing soil physical quality of an agricultural soil. Presented at the EGU General Assembly 2021, pp. EGU21-2034.

Di Prima, S., Winiarski, T., Angulo-Jaramillo, R., Stewart, R.D., Castellini, M., Abou Najm, M.R., Ventrella, D., Pirastru, M., Giadrossich, F., Capello, G., Biddoccu, M., Lassabatere, L., (2020). Detecting infiltrated water and preferential flow pathways through time-lapse ground-penetrating radar surveys. Sci. Total Environ. 726, 138511. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138511

Djebbi, M.A.; Boubakri, S.; Braiek, M.; Jaffrezic-Renault, N.; Namour, P.; Amara, A.B.H. (2020) NZVI©Au magnetic nanocomposite-based electrochemical magnetoimmunosensing for ultrasensitive detection of troponin-T cardiac biomarker Electrochemical Science Advances 10.1002/elsa.202000019 https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03126704

Djebbi, M.A.; Boubakri, S.; Braiek, M.; Jaffrezic-Renault, N.; Namour, P.; Amara, A.B.H. (2020) Chlorpromazine Electro-oxidation at BDD Electrode Modified with nZVI Nanoparticles Impregnated NiAl LDH Electroanalysis 32 1186-1197 10.1002/elan.201900583 https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02512044

Drapeau, C., Delolme, C., Chatain, V., Gautier, M., Blanc, D., Benzaazoua, M., Lassabatere, L., (2017). Spatial and temporal stability of major and trace element leaching in urban stormwater sediments. Open Journal of Soil Science, 7, 347-365.

Estragnat V., Volatier L., Gambonnet J. B., Hervant F., Marmonier P., Mermillod-Blondin F., (2020). Sustainability of gastropod introduction for ecological engineering solution in infiltration basins: feeding strategy of V. viviparus. Hydrobiologia, 847(3): 665-677. DOI: doi.org/10.1007/s10750-019-04128-6

Fernandez-Galvez J., Pollaco J., Lassabatere L., Angulo-Jaramillo R., Carrick S., (2020). A general BEST method predicting soil hydraulic parameters for any type of water retention and hydraulic conductivity curves. European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 3-8 Mai, Vienne, Autriche. Geophysical Research Abstracts, Vol. 22, EGU2020-7232

Fovet, O., Belemtougri, A., Boithias, L., Braud, I., Charlier, J.B., Cottet, M., Daudin, K., Dramais, G., Ducharne, A., Folton, N., Grippa, M., Hector, B., Le Coz, J., Legal, L., Martin, P., Moatar, F., Molenat, J., Probst, A., Riotte, J., Vidal, J.P., Vinatier, F., Datry, T., (2021). Intermittent rivers and ephemeral streams: perspectives for critical zone sciences and research on socio-ecosystems, WIREs Water, 8(4), e1523, https://doi.org/10.1002/wat2.1523

Fuamba M., Branger, F. Braud, I., Batchabani, E., Sanzana, P., Sarrazin, B., Jankowfsky, S. (2018).Value of distributed water level and soil moisture data in the evaluation of a distributed hydrological model: Application to the PUMMA model in the Mercier catchment (6.6 km2) in France. Journal of Hydrology, 2019. Vol 569, pp 753-770

Fuamba M., Branger, F. Braud, I., Batchabani, E., Sanzana, P., Sarrazin, B., Jankowfsky, S. (2018). Value of distributed water level and soil moisture data in the evaluation of a distributed hydrological model: Application to the PUMMA model in the Mercier catchment (6.6 km2) in France. Journal of Hydrology, 2019. Vol 569, pp 753-770

Fuamba, M.; Branger, F.; Braud, I.; Sanzana Cuevas, P.; Sarrazin, B.; Jankowfsky, S.; Batchabani, E., (2019). Value of distributed water level and soil moisture data in the evaluation of a distributed hydrological model: Application to the PUMMA model in the Mercier catchment (6.6 km2) in France, vol. 569, p. 753-770, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.035

Galai, H.C.; Rahmouni, N.; Namour, P.; Bonhomme, A.; Bessueille, F.; Hentati, S.B.; Jaffrezic-Renault, N. (2020) Highly Sensitive Voltammetric Catechol Biosensor Based on Electroaddressing of Laccase Encapsulated in Modified Chitosan Sensor letters 18 165-172 10.1166/sl.2020.4210 https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03126722

Gervaix J, Breil P, Poly F, Namour Ph, (2021), SNIFFER : un dispositif de prélèvement des gaz émis par les sédiments d'un cours d'eau Instrumentation Mesure Métrologie, 20:4, 223-233, doi.org/10.18280/i2m.200407).

Gosset A., Durrieu C., Renaud L., Deman A-L., Barbe P., Bayard R., Chateaux J-F. (2018). Xurography-based microfluidic algal biosensor and dedicated portable measurement station for online monitoring of urban polluted samples, Biosensors and Bioelectronics 117 (2018) 669–677 - https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.07.005

Gosset A., Durrieu, C., Orias, F., Bayard, R., Perrodin, Y., (2017). Identification and assessment of ecotoxicological hazards attributable to pollutants in urban wet weather discharges. Environmental Science, Processes & Impacts, 19, 1150-1168. DOI: 10.1039/C7EM00159B. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01567078v1

Gosset, A., Wigh, A., Bony, S., Devaux, A., Bayard, R., Durrieu, C., Brocart, M., Applagnat, M., Bazin, C., (2017) Assessment of long term ecotoxicity of urban stormwaters using a multigenerational bioassay on Ceriodaphnia dubia: A preliminary study. Journal of Environmental Science and Health, part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering. DOI: 10.1080/10934529.2017.1394722. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01618107

Grasset C., Rodriguez C. Delolme C.; Marmonier P.; Bornette G. (2017) Can Soil Organic Carbon Fractions Be Used as Functional Indicators of Wetlands? Wetlands, 37, 6, 1195–1205. DOI 10.1007/s13157-017-0951-z

Haussmann, M., Claro Barreto, A., Lipeme Kouyi, G., Rivière, N., Nirschl, H. & Krause, M. J. (2019). Large-eddy simulation coupled with wall models for turbulent channel flows at high Reynolds numbers with a latticeBoltzmann method—Application to Coriolis mass flowmeter. Computers&Mathematics with Applications, 78(10), 3285-3302. doi:https://doi.org/10.1016/j.camwa.2019.04.033

Jobin L, Jose C, Pages Ch, Rafin G, Saupin X, Jame P, Jaffrezic-Renault N, Namour Ph, (2018), Methanogenesis control in bioelectrochemical systems: a carbon footprint reduction assessment, Journal of Environmental Chemical Engineering, 6(1):803-810. doi 10.1016/j.jece.2017.12.033.

Jobin L, Namour Ph, (2017), Bioremediation in water environment: controlled electro-stimulation of organic matter self-purification in aquatic environments, Special Issue 71-Bioremediation and Biodegradation, Advances in Microbiology, 7:12, 813-852.doi: 10.4236/aim.2017.712064.

Kerangart S., Cournoyer B., Loukiadis E. (2018) C-source metabolic profilings of Shiga-toxin producing E. coli match serogroup differentiations and highlight functional adaptations. Int. J. Food. Microbiol. 266: 324-336

Khiem Ly D., Maruéjouls T., Binet G., Litrico X., Bertrand-Krajewski J-L. (2018). Evaluation of two statistical approaches for estimating pollutant loads at adjacent combined sewer overflow structures. Water Science and Technology, IWA Publishing, 2018, 78 (3), pp.699 - 707. 〈10.2166/wst.2018.346〉. 〈hal-01878119〉

Lebon, Y., Navel, S., Moro, M., Voisin, J., Cournoyer, B., François, C., Mermillod-Blondin F., (2020). Influence of stormwater infiltration systems on the structure and the activities of groundwater biofilms: Are the effects restricted to rainy periods?. Science of The Total Environment, 755, 142451. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142451

Loizeau S., Rossier, Y., Gaudet, J.P., Refloch, A., Besnard, K., Angulo-Jaramillo, R., Lassabatere, L., (2017). Water infiltration in an aquifer recharge basin affected by temperature and air entrapment. Journal of Hydrology and Hydrodynamics, 65 (3): 222-233. DOI: 10.1515/johh-2017-0010

Ly D. K., Maruéjouls T., Binet G., Bertrand-Krajewski J.-L. (2019). Application of stormwater mass–volume curve prediction for water quality-based real-time control in sewer systems. Urban Water Journal, 16(1):11-20. DOI: https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1611885

Marti, R., C. Bécouze-Lareure, S. Ribun, L. Marjolet, C. Bernardin -Souibgui, J.-B. Aubin, G. Lipeme Kouyi, L. Wiest, D. Blaha, B. Cournoyer. (2017). Bacteriome genetic structures of urban deposits mobilized by runoffs are impacted by chemical pollutants and indicative of their origin. Sc. Reports. 7: 13219 (https://doi-org.inee.bib.cnrs.fr/10.1038/s41598-017-13594-8)

Maté Marín A., Rivière N., Lipeme Kouyi G. (2018) DSM-flux: A new technology for reliable Combined Sewer Overflow discharge monitoring with low uncertainties. Journal of Environmental Management, Elsevier, (2018), 215, pp.273-282. 〈10.1016/j.jenvman.2018.03.043〉. 〈hal-02064498〉

Mc Carthy D., Zhang K., Westerlund C., Viklander M., Bertrand-Krajewski J-L., et al. (2018) Assessment of sampling strategies for estimation of site mean concentrations of stormwater pollutants. Water Research, IWA Publishing, 2018, 129, pp.297 - 304. 〈10.1016/j.watres.2017.10.001〉. 〈hal-01731526〉

McMillan, H.; Westerberg, I., Branger, F., (2017). Five guidelines for selecting hydrological signatures. Hydrological Processes, vol. 31, n° 26, p. 4757-4761, https://doi.org/10.1002/hyp.11300

Mermillod-Blondin F., Marmonier P., Tenaille M., Lemoine D. G., Lafont M., Vander Vorste R., Simon L., Volatier L., (2020). Bottom-up processes control benthic macroinvertebrate communities and food web structure of fishless artificial wetlands. Aquatic Ecology, 54(2): 575-589. DOI: 10.1007/s10452-020-09760-2

Mermillod-Blondin, F., Voisin, J., Marjolet, L., Marmonier, P. & Cournoyer, B. (2019) Clay beads as artificial trapping matrices for monitoring bacterial distribution among urban stormwater infiltration systems and their connected aquifers. Environmental Monitoring and Assessment 191, 58, 1-16.

Momplot A., Lipeme Kouyi G., Mignot E., Rivière N., Bertrand-Krajewski J.-L. (2017). Typology of the flow structures in dividing open channel flows. Journal of Hydraulic Research, 55(1), 63–71, doi: 10.1080/00221686.2016.1212409.

Namour Ph, Jobin, L (2018), Electrochemistry, a tool to enhance self-purification in water systems while preventing emission of noxious gases (greenhouse gases, H2S, NH3), Current Opinion in Electrochemistry, 11, 25-33, doi: 10.1016/j.coelec.2018.07.003.

Navratil, O., M. A. Boukerb, P. Breil, C. Caurel, L. Schmitt, F. Perret, L. Schmitt, J. Lejot, S. Petit, L. Marjolet, B. Cournoyer. (2020). Responses of benthic CSO-borne bacterial groups to cycles of low-flow and erosive floods in a small peri-urban stream. Ecohydrology e2206: 1-14, DOI: 10.1002/eco.2206

Pigneret M., Roussel D., Hervant F. (2018) Anaerobic end-products and mitochondrial parameters as physiological biomarkers to assess the impact of urban pollutants on a key bioturbator. Environmental Science and Pollution Research. 25 : 27225–27234.

Pinasseau L., Wiest L., Fildier A., Volatier L., Fones G., et al.. (2019) Use of Passive Sampling and High Resolution Mass Spectrometry Using a Suspect Screening Approach to Characterise Emerging Pollutants in Contaminated Groundwater and Runoff. Science of The Total Environment. 672: 253–263. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.489

PInasseau L., Wiest L., Volatier L., Fones G. R., Mills G. A., Mermillod-blondin F., Vulliet E. (2020). Calibration and field application of an innovative passive sampler for monitoring groundwater quality. Talanta, 208: 120307. DOI: doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120307

Pinasseau L., Wiest L., Volatier L., Mermillod-Blondin F. & Vulliet E. (2020) Emerging polar pollutants in groundwater: Potential impact of urban stormwater infiltration practices. Environmental Pollution 266 115387 https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115387

Pinasseau, L., Wiest, L., Fildier, A., Volatier, L., Fones, G.R., Mills, G.A., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E., (2019). Use of passive sampling and high resolution mass spectrometry using a suspect screening approach to characterise emerging pollutants in contaminated groundwater and runoff. Science of the Total Environment. 672, 253–263.

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Fones, G.R., Mills, G.A., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E., (2020). Calibration and field application of an innovative passive sampler for monitoring groundwater quality. Talanta 208, 120307.

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E., (2020). Emerging polar pollutants in groundwater: potential impact of urban stormwater infiltration practices. Environmental Pollution, 115387.

Pophillat, W., Sage, J., Rodriguez, F., Braud, I., (2021). Dealing with shallow groundwater contexts for the modelling of urban hydrology – A simplified approach to represent interactions between surface hydrology, groundwater and underground structures in hydrological models, Environmental Modelling & Software, 144, 105144, https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105144.

Pouchoulin, S., Le Coz, J., Mignot, E., Gond, L., & Riviere, N. (2020). Predicting Transverse Mixing Efficiency Downstream of a River Confluence. Water Resources Research, 56(10), e2019WR026367.

Pouchoulin, S., Ramos, P. X., Mignot, E., Schindfessel, L., De Mulder, T., & Riviere, N. (2018). Discussion of “Tang, H., Zhang, H., & Yuan, S.(2018). Hydrodynamics and contaminant transport on a degraded bed at a 90-degree channel confluence”. Environmental Fluid Mechanics, 18(5), 1293-1295.

Pozzi, A.C.M., R. Bouchali, L. Marjolet, B. Cournoyer. (2021). The tpm metabarcoding DNA sequence database for taxonomic allocations using the Mothur and DADA2 bio-informatic tools (Version 2.0.1). https://zenodo.org/badge/DOI/10.5281/zenodo.5018786.svg

Prédélus, D., Lassabatere, L., Louis, C., Gehan, H., Brichat, T., Winiarski, T., Angulo-Jaramillo, R., (2017). Nanoparticle transport in water-unsaturated porous media: Effects of solution ionic strength and flow rate. Journal of Nanoparticle Research, 19(104), 1-17. DOI 10.1007/s11051-017-3755-4.

Rahmati, M., Weihermüller, L., Vanderborght, J., Pachepsky, Y.A., Mao, L., Sadeghi, S.H., & al., (2018). Development and analysis of the Soil Water Infiltration Global database. Earth Syst. Sci. Data, 10(3): 1237-1263. https://doi.org/10.5194/essd-10-1237-2018.

Raimbault, J., Peyneau, P.-E., Courtier-Murias, D., Bigot, T., Gil Roca, J., Béchet, B., Lassabatère, L., (2020). Investigating the impact of exit effects on solute transport in macropored porous media. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 2020, 1–20. https://doi.org/10.5194/hess-2020-494.

Romain Marti, Céline Bécouze-Lareure, Sébastien Ribun, Laurence Marjolet, Claire Bernardin Souibgui, J.-B. Aubin, Gislain Lipeme Kouyi, Laure Wiest, Didier Blaha, Benoit Cournoyer (2017). Bacteriome genetic structures of urban deposits

mobilized by runoffs are impacted by chemical pollutants and indicative of their origin. Scientific Reports, 7(7):13219, DOI: 10.1038/s41598-017-13594-8

Roveretto M, Namour Ph, Raffin G, (2021), Mise au point de méthodes de prélèvement et d'analyse dans le but d'identifier et de quantifier des émissions gazeuses en réseau d'assainissement, Instrumentation Mesure Métrologie, (accepté).

Sandoval S., Bertrand-Krajewski J-L., Caradot N., Hofer T., Gruber G.. (2018) Performance and uncertainties of TSS stormwater sampling strategies from online time series. Water Science and Technology, IWA Publishing, 2018, 78 (6), pp.1407-1416. 〈10.2166/wst.2018.415〉. 〈hal-01893996〉

Sandoval S., Vezzaro L., Bertrand-Krajewski J-L. (2018) Revisiting conceptual stormwater quality models by reconstructing virtual state variables. Water Science and Technology, IWA Publishing, 2018, 78 (3), pp.655 - 663. 〈10.2166/wst.2018.337〉. 〈hal-01878114〉

Sanzana, P ; Gironás, J. ; Braud, I. ; Branger, F. ; Rodriguez, F. ; Vargas, X. ; Hitschfeld, N. ; Muñoz, J.F. ; Vicuña, S. ; Mejía, A. ; Jankowfsky, S., (2017).A GIS-based urban and peri-urban landscape representation toolbox for hydrological distributed modeling, Environmental Modelling & Software, vol. 91, p.168-185, https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.022.

Sanzana, P., Gironas, J., Braud, I., Hitschfeld, N., Branger, F., Rodriguez, F., Fuamba, M., Romero, J., Vargas, X., Munoz, J.F., Vicuna, S., Mejia, A. – (2019). Decomposition of 2D polygons and its effect in hydrological models. Journal of Hydroinformatics, vol. 1, p. 104-122

Sanzana, P., Gironás, J., Braud, I., Hitschfeld, N., Branger, F., Rodriguez, F., Fuamba, M., Romero, J., Vargas, X., Muñoz J.F., Vicuña, S., Meija, A., (2019). Decomposition of 2D Polygons and their effect in hydrological models, Journal of Hydroinformatics, 21(1), 104-122, https://doi.org/10.2166/hydro.2018.031.

Sanzana, P., Gironás, J., Braud, I., Muñoz, J.-F., Vicuña, S., Reyes-Paecke, S., de la Barrera, F., Branger, F., Rodríguez, F., Vargas, X., Hitschfeld, N., Hormazábal, S., (2019). Impact of Urban Growth and High Residential Irrigation on Streamflow and Groundwater Levels in a Peri-Urban Semiarid Catchment. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 55(3): 720-739, https://doi.org/10.1111/1752-1688.12743.

Sanzana, P., Gironás, J., Braud, I., Muñoz, J.-F., Vicuña, S., Reyes-Paecke, S., de la Barrera, F., Branger, F., Rodríguez, F., Vargas, X., Hitschfeld, N., Hormazábal, S., (2019). Impact of Urban Growth and High Residential Irrigation on Streamflow and Groundwater Levels in a Peri-Urban Semiarid Catchment. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 55(3): 720-739, https://doi.org/10.1111/1752-1688.12743.

Sidoli P., Deveau N., Angulo-jaramillo R., Baran N., (2020). Reactivity of vadose-zone solids to S-metolachlor and its two main metabolites: case of a glaciofluvial aquifer. Environmental Science and Pollution Research, 27(18): 22865-22877. DOI: doi.org/10.1007/s11356-020-08579-6

Sun S., Barraud S., Branger F., Braud I., Castebrunet H. (2017). Urban hydrologic trend analysis based on rainfall and runoff data analysis and conceptual model calibration. Hydrological Processes. 31(6), 1349-1359. DOI:10.1002/hyp.11109.

Sun S., Leonhardt G., Sandoval S., Bertrand-Krajewski J.-L., Rauch W. (2017). A Bayesian method for missing rainfall estimation using a conceptual rainfall-runoff model. Hydrological Sciences Journal, 62(15), 2456-2468. doi: 10.1080/02626667.2017.1390317.

Vautrin F., Pujic P., Paquet C., Bergeron E., Mounié D., Marchal T., Salord H., Bonnet J-M., Cournoyer B., Winiarski T., Louzier V. , Rodriguez-Navaad V.(2021) « Microbial risk assessment of Nocardia cyriacigeorgica in polluted environments, case of urban rainfall water », publié dans la revue Computational and Structural Biotechnology Journal https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.12.017.

Vautrin, F., Bergeron, E., Dubost, A., Abrouk, D., Martin, C., Cournoyer, B., Louzier, V., Winiarski, T., Rodriguez-Nava, V., Pujic, P., (2019) - Genome Sequences of Three Nocardia cyriacigeorgica Strains and One Nocardia asteroides Strain. Microbiology Resource Announcement, 8(33), e00600-19 : 1-3.

Vautrin, F., P. Pujic, C. Paquet, E. Bergeron, C. Martin, T. Marchal, H. Salord, J.-M. Bonnet-Garin, B. Cournoyer, T. Winiarski, V. Louzier, V. Rodriguez-Nava. (2021). Microbial risk assessment of Nocardia cyriacigeorgica in polluted environments,

case of urban rainfall water. Computational and Structural Biotechnology Journal 19: 384–400. (https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.12.017)

Vidal B., Hedström A., Barraud S., Kärrman E.; Herrmann I. (2019) Assessing the sustainability of on-site sanitation systems using multi-criteria analysis. Environmental Science: Water Research & Technology - 2019, 5, 1599-1615. DOI: 10.1039/C9EW00425D

Voisin J., Cournoyer B., Marjolet L., Vienney A. & Mermillod-Blondin F. (2020) Ecological assessment of groundwater ecosystems disturbed by recharge systems using organic matter quality, biofilm characteristics and bacterial diversity. Environmental Science and Pollution Research, 27, 3295–3308 https://doi.org/10.1007/s11356-019-06971-5

Voisin J., Cournoyer B., Vienney A., Mermillod-Blondin F.(2018). Aquifer recharge with stormwater runoff in urban areas: Influence of vadose zone thickness on nutrient and bacterial transfers from the surface of infiltration basins to groundwater - Sc. Total Environ 637-638: 1496-1507

Voisin, J., B. Cournoyer, L. Marjolet, A. Vienney, F. Mermillod-Blondin. (2020). Evaluation of groundwater disturbed by recharge systems using organic matter quality, biofilm characteristics and bacterial diversity. Env. Sc. Poll. Res. 27: 3295–3308, https://doi.org/10.1007/s11356-019-06971-5

Wiest, L., Baudot, R., Lafay, F., Bonjour, E., Becouze-Lareure, C., Aubin, J.-B., Jame, P., Barraud, S., Lipeme Kouyi, G., Sébastian, C., Vulliet, E. (2018). Priority substances in accumulated sediments in a stormwater detention basin from an industrial area. Environmental Pollution, 243, 1669-1678. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.138 〈hal-01931386〉

Wigh A., Geffard, O., Abbaci, K., Francois, A., Noury, P., Berge, A., Vulliet, E., Domendjoud, B., Gonzalez-Ospina, A., Bony, S., Devaux, A., (2017). Gammarus fossarum as a sensitive tool to reveal residual toxicity of treated wastewater effluents. Science of the Total Environment, 584-585: 1012-1021.

Yan H., Vosswinkel N., Ebbert S., Lipeme Kouyi G., Mohn R., Uhl M., Bertrand-Krajewski J.-L (2020). Numerical investigation of particles' transport, deposition and resuspension under unsteady conditions in constructed stormwater ponds. Environmental Sciences Europe, 32:76. doi.org/10.1186/s12302-020-00349-y

Zhu X., Lipeme Kouyi G. (2019). An Analysis of LSPIV-Based Surface Velocity Measurement Techniques for Stormwater Detention Basin Management. Water Resources Research, 55(2):888-903. DOI: https://doi.org/10.1029/2018WR023813

Zhu, X., Chatain, V., Gautier, M., Blanc-Biscarat, D., Delolme, C., Dumont, N., ... & Lipeme Kouyi, G. (2019). Combination of Lagrangian Discrete Phase Model and sediment physico-chemical characteristics for the prediction of the distribution of trace metal contamination in a stormwater detention basin. Science of The Total Environment, 134263. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134263

Zhu, X., Lipeme Kouyi, G. (2019). An analysis of LSPIV-based surface velocity measurement techniques for stormwater detention basin management. Water Resources Research, 55(2), 888-903. https://doi.org/10.1029/2018WR023813

Articles dans revues nationales (9)

Asmae El Bahlouli, Emmanuel Mignot, F. Denis, Nicolas Riviere, A. Dalmon, Gislain Lipeme Kouyi, Claude Joannis, Frédérique Larrarte (2017). Fiabilité de la mesure de vitesse débitante à l'aval d'une singularité en réseau d'assainissement. Techniques - Sciences – Methodes, 1-2, 26-39, DOI : 10.1051/tsm/201712026

Bertrand-Krajewski J.-L., Maruéjouls T. (2019). Peut-on estimer les flux polluants rejetés par un déversoir à partir des flux polluants mesurés en entrée de station d'épuration ? Techniques Sciences Méthodes, (5):125-136. DOI: https://doi.org/10.1051/tsm/201905125

Cournoyer, B., L. Moulin, R. Bouchali, C. Mandon, J. Y. Toussaint. 2020. La microbiologie urbaine : un champ d'investigation en émergence. Edition « Ecole de l'Anthropocène » (Lyon, France).

Cournoyer, B., R. Marti, E. Bourgeois, W. Galia. 2019. Chapitre 99 Des bactéries pathogènes opportunistes en ville. Dans « 101 secrets du vivant - l'ADN des écosystèmes ». Editions CNRS-INEE

Gasperi J., Sebastian C., Ruban V., Delamain M., Percot S., Wiest L., Mirande C., Caupos E., Demare D., Diallo Kessoo M., Saad M., Schwartz J.-J., Dubois P., Fratta C., Wolff H., Moilleron R., Chebbo G., Cren C., Millet M., Barraud S., Gromaire

M.-C. (2017) Contamination des eaux pluviales par les micropolluants : avancées du projet INOGEV, Techniques Sciences & Méthodes Eau, TSM, 7-8 (2017) 51-70. DOI: https://doi.org/10.1051/tsm/201778051

Lipeme Kouyi G., S. Barraud, C. Becouze-Lareure, D. Blaha, Y. Perrodin, L. Wiest J.-B. Aubin, J. Y. Toussaint, S. Vareilles, C. Mandon, C. Bernardin-Souibgui, R. Marti, E. Bourgeois, L. Marjolet, Cournoyer B (2018).Caractérisation des sédiments d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales et éléments pour la gestion- Techniques Sciences & Méthodes 9 : 65-75

Sandra Isel, José Vazquez, Martin Fischer, Jonathan Wertel, Claude Joannis, Gislain Lipeme Kouyi, Marlène Chopin, Arnaud Labrousse, Damien Scheffer, Marc Thieriot, Matthieu Dufresne (2017). Le tarage numérique d'une relation hauteur(s)-débit : éléments de méthodologie et exemples d'application. Techniques - Sciences – Methodes, 1, 41-53, DOI:10.1051/tsm/201712041.

Sébastian C., Barraud S. (2017). Evaluation in situ des teneurs en micropolluants d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales eaux et sédiments, Techniques Sciences & Méthodes Eau, TSM, 7-8 (2017) 105-119. DOI: https://doi.org/10.1051/tsm/201778105.

Walcker N., Bertrand-Krajewski J-L., Vacherie S., Lepot M., Castebrunet H., et al. Une nouvelle station de mesure pour l'acquisition de séries chronologiques en hydrologie urbaine. Techniques Sciences Méthodes, ASTEE/EDP Sciences, 2018, pp.55 - 64. 〈10.1051/tsm/201803055〉. 〈hal-01739774〉

Articles dans revues nationales (9)

Asmae El Bahlouli, Emmanuel Mignot, F. Denis, Nicolas Riviere, A. Dalmon, Gislain Lipeme Kouyi, Claude Joannis, Frédérique Larrarte (2017). Fiabilité de la mesure de vitesse débitante à l'aval d'une singularité en réseau d'assainissement. Techniques - Sciences – Methodes, 1-2, 26-39, DOI : 10.1051/tsm/201712026

Bertrand-Krajewski J.-L., Maruéjouls T. (2019). Peut-on estimer les flux polluants rejetés par un déversoir à partir des flux polluants mesurés en entrée de station d'épuration ? Techniques Sciences Méthodes, (5):125-136. DOI: https://doi.org/10.1051/tsm/201905125

Cournoyer, B., L. Moulin, R. Bouchali, C. Mandon, J. Y. Toussaint. 2020. La microbiologie urbaine : un champ d'investigation en émergence. Edition « Ecole de l'Anthropocène » (Lyon, France).

Cournoyer, B., R. Marti, E. Bourgeois, W. Galia. 2019. Chapitre 99 Des bactéries pathogènes opportunistes en ville. Dans « 101 secrets du vivant - l'ADN des écosystèmes ». Editions CNRS-INEE

Gasperi J., Sebastian C., Ruban V., Delamain M., Percot S., Wiest L., Mirande C., Caupos E., Demare D., Diallo Kessoo M., Saad M., Schwartz J.-J., Dubois P., Fratta C., Wolff H., Moilleron R., Chebbo G., Cren C., Millet M., Barraud S., Gromaire M.-C. (2017) Contamination des eaux pluviales par les micropolluants : avancées du projet INOGEV, Techniques Sciences & Méthodes Eau, TSM, 7-8 (2017) 51-70. DOI: https://doi.org/10.1051/tsm/201778051

Lipeme Kouyi G., S. Barraud, C. Becouze-Lareure, D. Blaha, Y. Perrodin, L. Wiest J.-B. Aubin, J. Y. Toussaint, S. Vareilles, C. Mandon, C. Bernardin-Souibgui, R. Marti, E. Bourgeois, L. Marjolet, Cournoyer B (2018).Caractérisation des sédiments d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales et éléments pour la gestion- Techniques Sciences & Méthodes 9 : 65-75

Sandra Isel, José Vazquez, Martin Fischer, Jonathan Wertel, Claude Joannis, Gislain Lipeme Kouyi, Marlène Chopin, Arnaud Labrousse, Damien Scheffer, Marc Thieriot, Matthieu Dufresne (2017). Le tarage numérique d'une relation hauteur(s)-débit : éléments de méthodologie et exemples d'application. Techniques - Sciences – Methodes, 1, 41-53, DOI:10.1051/tsm/201712041.

Sébastian C., Barraud S. (2017). Evaluation in situ des teneurs en micropolluants d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales eaux et sédiments, Techniques Sciences & Méthodes Eau, TSM, 7-8 (2017) 105-119. DOI: https://doi.org/10.1051/tsm/201778105.

Walcker N., Bertrand-Krajewski J-L., Vacherie S., Lepot M., Castebrunet H., et al. Une nouvelle station de mesure pour l'acquisition de séries chronologiques en hydrologie urbaine. Techniques Sciences Méthodes, ASTEE/EDP Sciences, 2018, pp.55 - 64. 〈10.1051/tsm/201803055〉. 〈hal-01739774〉

Articles et Communications dans des conférences internationales (70)

Ah-Leung S. S., Rivière-Honegger A., Comby E., Cottet M., Cossais N., (2019). Perceptions et représentations des micropolluants et des techniques alternatives : l'exemple des usagers de l'Ecocampus Lyon Tech La Doua, 10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon, 1-5 july 2019, 4 p.

Amer R, Hosny T, Pienaar H, Ramukhwatho F, Breil P, Namour Ph, (2019) Tailor-made socio economic approaches for integrated water management in rural to urban driven mutations, Water Resources Dialogue: China-Africa Water Forum Series # 7, 22-27/07/19, Windhoek, (Namibia) keynote. hal-03127686.

Amer R, Hosny T, Salama E, Ihab D, Abu El-Magd S, Pienaar H, Ramukhwatho F, Breil P, Namour Ph, (2019) Tailor Made Socio Economic Approaches for Integrated Water Management in Rural to Urban Driven Mutations: SoWat, 20th WaterNet/Water Research Fund for Southern Africa/Global Water Partnership (WARFSA/GWP-SA) Symposium, 30/10-01/11/19, Johannesburg (South Africa).

Amer, R; Hosny, T; Salama, E; Ihab, D; Abu El-Mago, S; Pienaar, H; Ramukhwatho, F.; Breil, P.; Namour, Ph. (2020) "Tailor Made Socio Economic Approaches for Integrated Water Management in Rural to Urban Driven Mutations" "Africa Water Association annual congress, 24-27/02/20, Kampala (Uganda)." hal-03127593

Araki, R., McMillan, HK., Branger, F., Wiekenkamp, I., (2021), Diagnostic tools to differentiate soil moisture dynamics under contrasting land-uses

Bertrand-Krajewski J.-L., Herrero P. (2017). Urban stormwater management by green infrastructure: design and comparison of three scenarios. Proceedings of CIGOS 2017 - International Conference on New Challenges in Civil Engineering (Tran-Nguyen H.-H., Wong H., Ragueneau F., Ha-Minh C., editors), Ho Chi Minh City, Vietnam, 26-27 October. Singapore: Springer, vol. II, 1084-1093. ISBN 978-981-10-6712-9.

Bertrand-Krajewski J-L. (2018) Frontiers in water quality and quantity processes in sewers: monitoring and modelling. 11th UDM – International Conference on Urban Drainage Modelling, Sep 2018, Palermo, Italy. 〈hal-01884785〉

Bertrand-Krajewski J-L.. (2018) Urban hydrology - Collaboration of researchers with municipalities: the OTHU example, and evolution and perspectives of sustainable and integrated urban stormwater management. Seminario Taller Internacional "Hidrología Urbana y Desarrollo, Retos y Oportunidades en el Caribe", Apr 2018, Baranquilla, Colombia. 〈hal-01884789〉

Bonneau, J., Branger, F., Castebrunet, H., Lipeme-Kouyi, G., (2020). Conséquans : impact de l'urbanisation et du changement climatique sur les régimes d'écoulement des rivières de l'ouest lyonnais. 5e colloque des Zones Ateliers CNRS, Nov 2020, En ligne, France. ⟨hal-03126935⟩

Bonneau, J.; Branger, F.; Castebrunet, H. (2020) . Conscequans : impact de l'urbanisation et du changement climatique sur les rivières de l'ouest lyonnais 5ème colloque des Zones Atelier, 3-5 novembre 2020 - https://20ans-rza.sciencesconf.org/329826 - https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03126935v1

Bouchali, R., C. Mandon, Y. Colin, E. Bourgeois, R. Marti, J. Michalon, A. Gleizal, L. Marjolet, S. Ribun, S. Vareilles, G. Lipeme Kouyi, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, B. Cournoyer. (2019). Incidence des morphotypes urbains sur la structure des microbiomes et l'occurrence de formes pathogènes. IXème colloque de l'AFEM (Association Francophone d'Ecologie Microbienne), 5-8 novembre 2019, Bussang (France).

Breil P, Gervaix J, Namour Ph, Pons MN, Potier O, Biodegradation of urban stormwater pollution in a sequence of constructed porous riffles in a Mediterranean creek, Proceedings of 1st Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI 2017), 22-25/11/17, Sousse, (Tunisia), p145-147. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-70548-4_48

Breil P, Namour Ph, Pons MN, Potier O, Amplification of the self-purification of urban intermittent rivers in complement to flooding control. International Symposium "Ecohydrology for the Circular Economy and Nature-Based Solutions towards mitigation/adaptation to Climate Change". 26-28/07/17, Lodz (Poland).

Breil P, Pons MN, Namour Ph, Biodegradation of urban stormwater pollution in a sequence of constructed porous riffles in a seasonal stream, 6th China-Africa Water Resources Forum, 23-27/07/18, Sharm El Sheikh (Egypt), p45-46.

Carrera L., Springer F., Lipeme Kouyi G., Claro Barreto A., Buffiere P. (2017). Interest of CFD modelling approach to evaluate sewer gas mass transfer. Proceedings of the 14th ICUD - International Conference on Urban Drainage, Prague, Czech Republic, 10-15 September.

Cherqui F., Gutierrez-Silva C., Ahmadi M., Aubin J.B., Le Gauffre P. (2017) Trusting CCTV reports? An exploratory study of operators' ability to detect and recongnize defects, 7th Leading-edge conf. on Strategic Asset management. IWA (Int. Water Assoc.), 20-22 June, Trondheim, Norway.

Cherqui, F., James R., Poelsma P., Szota C., Burns M.J., Fletcher T. and Bertrand-Krajewski J.-L. (2021) Real-time monitoring of water level at low-cost, The International Conference on Urban Drainage, 25-28 October 2021.

Claro Barreto, A., Lipeme Kouyi, G., Krause, M. J., Nathen, P. & Rivière, N. (2017a). Large-eddy simulation coupled with wall models for turbulent channel flows at high Reynolds numbers with a Lattice Boltzmann Method. In 26th International Conference on Discrete Simulation of Fluid Dynamics, Erlangen, Allemagne

Claro Barreto, A., Lipeme Kouyi, G., Rivière,N. & Krause, M. J. (2017b). Validation of Large-Eddy simulation of open channel flow at high Reynolds number with a Lattice Boltzmann method. Proceedings of the 14th ICUD-International Conference onUrban Drainage, Prague, République Tchèque

Coelho, C., Martins Dias, S., Hammada, M., Perrodin, Y., Bedell, J.P., (2017). Bioavailability and bioaccumulation of heavy metals, PAHs and PCBs in soils from industrialized urban areas. 14th International Conference on Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources (AquaConSoil 2017), 26–30 juin, Lyon, France. Proc. AquaConSoil consortium Deltares, BRGM, AXELERA (eds.), p. 111.

Colin, Y., L. Marjolet, R. Marti, R. Bouchali, F. Vautrin, V. Rodriguez-Nava, D. Blaha, T. Winiarski, J. Voisin, F. Mermillod-Blondin, B. Cournoyer. 2019. Significant transfer of bacteria from runoff to groundwater impacted by alternative stormwater management techniques. Full paper in the Proceedings of the Novatech Intl Conference. Pp. 1-4. http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/1C23-127COL.pdf

Comby E., Cottet M., Rivière-Honegger A., Cossais N., Barraud S., Becouze-Lareure C., Mandon C. 2016. Les micropolluants dans les eaux pluviales : quelles représentations en ont les acteurs de la gestion ? 9th international conference NOVATECH, 28 june-1st July 2016, Lyon, 4 p.

Cossais N., Andrew O. Thomas, Cherqui F., Morison P., Bos D., Martouzet D., Sibeud E., Honegger A., Lavau S., Fletcher TD. (2017) “Understanding the challenges of managing SUDS to maintain or improve their performance over time”, Conference on Urban drainage, 10-15 septembre 2017, Prague, Czech Republic.

Cossais N., Martouzet D., Rivière-Honegger A., (2019). Fabriquer la Ville Perméable : jeu d’acteurs et étapes clés à la Métropole de Lyon, 10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon, 1-5 july 2019, 4 p.

Di Prima S., Winiarski T., Angulo-Jaramillo R., Stewart R.D., Castellini M., Abou Najm M.R., Ventrella D., Pirastru M., Giadrossich F., Lassabatere L., (2020). Ground-penetrating radar surveys for the detection of preferential flow into soils. European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 3-8 Mai, Vienne, Autriche. Geophysical Research Abstracts, Vol. 22, EGU2020-4177

Flanagan K., Ah-Leung S., Bacot L., A. Bak, Barraud S., Branchu P., Castebrunet H., Cossais N., De Gouvello B., Deroubaix J.-F., Garnier R., Gromaire M.-C., Honegger A., Neveu P., Paupardin J., Peyneau P.-E., Ramier D., Rodriguez F., Ruban V., Seidl M., Thomas E., Varnede L. (2019). Development of a Guideline for Evaluating the Performance of Multi-objective Sustainable Drainage Systems (SuDS), 10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon, 1-5 july 2019, Lyon.4p.

Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Cherqui F., Winiarski T., Vacherie S. (2017). Micropollutant removal efficiency: hydraulic monitoring and sampling strategy for source control stormwater control measures. 14th international Conference on urban drainage, Prague, 10-15 September 2017. 9 p.

Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Cherqui F., Winiarski T., Vacherie S. (2017). Micropollutant removal efficiency: hydraulic monitoring and sampling strategy for Source Control Stormwater Measures. 14th International Conference on Urban Drainage, Prague, 10-15 September 2017. 4 p.

Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Vacherie S. (2017). Measurement of various SUDS efficiency regarding micropollutants removal: hydraulic metrology and sampling strategy for source control and centralized systems, 23rd EJSW: Monitoring urban drainage systems. 15 - 20 May 2017, Chichilianne, France, 4 p.

Garnier R., Castebrunet H., Barraud S. (2019). Micropollutant removal efficiency of stormwater source control measures – The case of Lyon Tech La Doua. 10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon, 1-5 july 2019, Lyon.4 p.

Garnier R., Castebrunet H., Cherqui F., Vacherie S., Barraud S. (2018) Micropollutants removal efficiency of stormwater control measures: comparison of centralized vs source control systems. IWA World Water Congress and Exhibition 2018, Sep 2018, Tokyo, Japan. 〈hal-01869858〉

Garnier R., Castebrunet H., Sébastian C., Barraud S. (2019). Micropollutants removal efficiency of stormwater control measures: comparison of a centralized system with source control structures. Submitted to the 10th international conference NOVATECH Lyon, 1 – 5 july 2019, 4 p.

Gosset, A., Barbe P., Bayard R., Durrieu C., (2017). Integrated whole-cell ecotoxicity assessment of urban wet-weather discharges on Chlorella vulgaris: interest of sub-cellular biomarkers for fast toxicity and pollution monitoring. 14th International Conference on Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources (AquaConSoil 2017), 26-30 juin, Lyon, France, Proc. AquaConSoil consortium Deltares, BRGM, AXELERA (eds.), p. 67.

Gromaire MC, Barraud S., Rodriguez F., Bak A., Branchu Ph, Castebrunet H., Flanagan K, Garnier R., Neveu P, Paupardin J, Ramier D., Ruban V., Seidl M, Thomas E, Varnède L.9(2019). How efficient are SUDS for micropollutant management? Feedback from Matriochkas, MicroMégas and Roulépur projects. 10th international conference on Urban Water NOVATECH. Lyon, 1-5 july 2019, Lyon.4p.

Haboub K., Zhu X., Maruéjouls T., Bertrand-Krajewski J-L., Vanrolleghem P.A. (2019). A new approach of measuring TSS settling velocity based on turbidity measurements. 9th International Conference on Sewer Processes & Networks - SPN9, Aalborg, Denmark, 27-30 August.

Kraus V., Benkabou S.-E., Benabdeslem K. and Cherqui F. (2018) An improved Laplacian semi-supervised regression, 30th IEEE Int'l Conference on Tools with Artificial Intelligence, 5-7th November, Volos, Greece.

Lassabatere L., De Giacomoni A.C., Angulo-Jaramillo R., Lipeme Kouyi G., Martini M., Louis C., Peyneau P.E., Rodriguez-Nava V., Cournoyer B., Aigle A., Bergeron E., Bonneau J., Bouarafa S., Colin Y., Concialdi Y., Di Prima S., Galia W, Lai T.H., Marais A., Laurence M., and the following co-authors, (2020) . INFILTRON package for assessing infiltration & filtration functions of urban soils. European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 3-8 Mai, Vienne, Autriche. Geophysical Research Abstracts, Vol. 22, EGU2020-11269

Laure Wiest, Robert Baudot, Florent Lafay, Céline Becouze-Lareure, Sylvie Barraud, Jean-Baptiste Aubin, Gislain Lipeme Kouyi, Emmanuelle Vulliet (2017). Fate of emerging contaminants in retention basin sediments: four years monitoring results. 14th international Conference - AquaConSoil, Jun 2017, Lyon, France.

Lipeme Kouyi Gislain. Valuable outcomes in urban hydrology deriving from CFD modelling approach. Proceedings of the 11th UDM – International Conference on Urban Drainage Modelling Italy, 23-26 Sept., Sep 2018, Palermo, Italy. 2018. 〈hal-02066388〉

Maté Marín A., Lipeme Kouyi G., Rivière N. (2016). Stage-discharge relationship of the DSM-flux to measure overflow rates in combined sewer systems. 8th International Conference on Sewer Processes and Networks, 31 August-2 September 2016, Rotterdam, Netherlands.

Maté Marín A., Lipeme Kouyi G., Rivière N. (2017). Uncertainty analysis of the DSM-flux stage-discharge relationship: comparison of GUM and Monte Carlo approaches. 23rd European Junior Scientist Workshop, 15-20 May 2017, Chichilianne, France.

Mate Marin A., Riviere N., Lipeme Kouyi G. (2017). Uncertainty analysis of the DSM-flux stage-discharge relationship to measure CSOs: Comparison of GUM and Monte Carlo approaches. Proceedings of the 14th ICUD - International Conference on Urban Drainage, Prague, Czech Republic, 10-15 September.

Maté Marín A., Rivière N., Lipeme Kouyi G. (2017). Uncertainty analysis of the DSM-flux stage-discharge relationship to measure CSOs: comparison of GUM and Monte Carlo approaches. 14th IWA/IAHR Int. Conference on Urban Drainage. 10-15 September 2017, Prague, Czech Republic.

Mermillod-Blondin F., Voisin J., Navel S., Lebon Y., Wiest L., Volatier L., François C., Cournoyer B., Marmonier P. (2019) Stormwater infiltration practices in urban area: influences on groundwater ecosystems. Actes de la Xème conférence internationale NOVATECH, 1-5 juillet, Lyon (France). http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/1C24-137MER.pdf

Mignot E., S. Pouchoulin, N. Riviere and G. Lipeme Kouyi (2017) Passive scalar mixing efficiency in open-channel confluences EGU 2017, HS9.8/GM9.8 session, Vienna, Austria, April 2017

Mignot E., S. Pouchoulin, N. Riviere and G. Lipeme Kouyi (2017).Impact of the shallowness on the passive scalar mixing efficiency in an open-channel confluence. 4th International Symposium of Shallow Flows, Eindhoven University Technology, NL, 26-28 June 2017

Mignot, E, S. Pouchoulin, N. Riviere, (2017). Passive Scalar Mixing Efficiency in open-channel confluences, EGU (European Goesciences Union). Vienne, 23-28 Avril 2017

Pinasseau L., Fildier A., Volatier L., Mermillod-Blondin F., Wiest L., Vulliet E. (2019) Suspect screening of emerging pollutants in groundwater and runoff water using passive sampling coupled with high resolution mass spectrometry. Actes de la 10ème conférence internationale NOVATECH, 1-5 juillet, Lyon (France). http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/2C54-028PIN.pdf

Pons V., Muthanna T.M., Sivertsen E., Bertrand-Krajewski J.-L (2020) A tool to forecast future performance of green infrastructure Proceedings of the 15th ICUD – International Conference on Urban Drainage, Melbourne, Australia, held online on 10 Dec. 2020, 3 p

Pouchoulin S., E. Mignot, N. Riviere, G. Lipeme Kouyi., J. Le Coz. (2017). Impact of the shallowness on the passive scalar mixing efficiency in an open-channel confluence. Shallow Flows, 6–28 June 2017, Eindhoven, The Netherlands

Pouchoulin, S., Mignot, E., Rivière, N., & Le Coz, J. (2018, September). Numerical simulations on mixing of passive scalars in river confluences. In RiverFlow 2018 (p. 8).

Renard et Alonso (2018) .A comparison of two weather type classifications for evidence of climate trends on intense rainfall in the context of local climate change, 11th International Workshop on Precipitation in Urban Areas. Rainfall in Urban and Natural Systems, Pontresina (Suisse), 5 p.

Sandoval S., Bertrand-Krajewski J.-L. (2017). Strategy for assessing parameters of a rainfall-runoff model by connectivity representations and conditional probability functions. Proceedings of the 14th ICUD - International Conference on Urban Drainage, Prague, Czech Republic, 10-15 September, 1474-1476.

Sandoval S., Bertrand-Krajewski J.-L., Caradot N., Hofer T., Gruber G. (2017). Evaluation of performance and uncertainties in stormwater sampling strategies based on flow rate and total suspended solids time series. Proceedings of the 14th ICUD - International Conference on Urban Drainage, Prague, Czech Republic, 10-15 September, 1352-1355.

Sandoval S., Bertrand-Krajewski J.-L., Vezzaro L. (2017). Revisiting conceptual stormwater quality models by reconstructing virtual state-variables. Proceedings of the 14th ICUD - International Conference on Urban Drainage, Prague, Czech Republic, 10-15 September, 2316-2323.

Sandoval S., Bertrand-Krajewski J-L. (2018) Revisiting conceptual stormwater quality models by alternative linear and non-linear formulations: an event-based approach. 11th UDM – International Conference on Urban Drainage Modelling, Sep 2018, Palermo, Italy. pp.687-690. 〈hal-01885460〉

Sanzana, P., Gironas, J, Braud, I., Hitschfeld, N., Vargas, X., Vicuña, S., Muñoz, J.F., Villegas, R., Rubio, E., Herrera, R., (2018). Herramientas hydroinformaticas y consideraciones para modelar procesos superficiales y subterráneos acoplados mediante WEAP-MODFLOW, Proceedings XXVIII Congreso LatinoAmericano de Hydráulica, 18-21 septembre 2018, Buenos Aires, Argentina, Vol.2, 1221-1236.

Sbartai A, Jaffrezic N, Namour Ph,(2018) Determination of WFD metals in wastewater using micro-machined Boron-Doped Diamond (BDD) sensor, Water Micro-pollutants: from detection to removal, 26-28/11/18, Orléans (France).

Schmitt L, Namour Ph, Breil P, Lafont M, Grospretre L, Jacob-Rousseau N, Navratil O, Delile H, Eschbach D, Jezequel C, Cournoyer B,(2018) Interdisciplinary and interlocked spatio-temporal studies to enhance efficiency and sustainability of environmental management of streams impacted by urbanization, 4th International Symposium on Flash Floods in Wadi Systems (4th ISFF2018), 4-6/12/18, Casablanca (Morocco).

Schmitt L., Namour P., Breil P., Lafont M., Grospretre L., Jacob-Rousseau N., Navratil O., Delile H., Eschbach D., Cournoyer B.(2018).Interdisciplinary and inter-locked spatial-temporal studies to enhance efficiency and sustainability of environmental management of streams impacted by urbanization (Yzeron catchment, Lyon, France)- 4th International Symposium on Flash Floods in Wadi Systems, 20-22 November 2018, Casablanca

Vezzaro L., Sandoval S., Bertrand-Krajewski J.-L. (2017). Training the urban water engineers of the future - the challenge of stormwater TSS model. Proceedings of the 14th ICUD - International Conference on Urban Drainage, Prague, Czech Republic, 10-15 September, 1841-1847.

Werey C., Cherqui F., Le Nouveau N., Fletcher T. D., Barraud S. (2017). Asset management of stormwater control measures: a new story for urban stormwater management. Conference on Infrastructure Asset Management and Utility Bankability. 11-13 September 2017, Livorno (Italy).

Werey C., Cherqui F., Le Nouveau N., Garnier R., Fletcher T., Barraud S., Le Gauffre P. (2017). Research and operational needs to improve the asset management of stormwater control measures, International Conference on The Leading Edge Sustainable Asset Management of Water and Wastewater Infrastructure (LESAM), 20-22 june 2017, Trondheim, Norway, 8 p.

Wigh A., Geffard, O., Devaux, A., Bony, S., (2017). Gammarus fossarum as a sensitive tool to reveal residual toxicity of treated wastewater effluents. 18th International Symposium on Toxicity Assessment, 16-21 juillet, Limeira, Brésil. Applied Research in Toxicology, Vol. 2, suppl. 1, ISTA18-485402.

Zhu Q., Cherqui F., Bertrand-Krajewski J.-L. (2021) Design and test of a low-cost weather station for monitoring green roofs, The International Conference on Urban Drainage, 25-28 October 2021.

Zhu X., Lipeme Kouyi G. (2017). Use of free surface velocity measurements in a stormwater detention basin to validate CFD model, 23rd EJSW – Monitoring urban drainage systems, Chichillianne, 15-20 May 2017.

Zhu X., Lipeme Kouyi G., Becouze-Lareure C, Barraud S, Bertrand-Krajewski J.-L. (2017). 3D numerical modelling of resuspension and remobilization of sediments in a stormwater detention basin. Aquaconsoil, Lyon, 26-30 june 2017.

Zhu X., Lipeme Kouyi G., Becouze-Lareure C, Barraud S, Bertrand-Krajewski J.-L. (2017). 3D numerical modelling of resuspension and remobilization of sediments in a stormwater detention basin. 14th international Conference - AquaConSoil, Jun 2017, Lyon, France.

Zhu X., Miguet S., Lipeme Kouyi G. (2017). Application of Large Scale Particle Image Velocimetry to measure surface velocity field in a stormwater detention basin and to validate CFD model. ICUD, Prague, 10-15 September 2017.

Zhu X., Miguet S., Lipeme Kouyi G. (2017). Application of Large Scale Particle Image Velocimetry to measure surface velocity field in a stormewater detention basin and to validate CFD model. Proceedings of the 14th ICUD - International Conference on Urban Drainage, Prague, Czech Republic, 10-15 September.

Articles et Communications dans des conférences nationales (56)

Anquez B, Perret F, Cherqui F, Navratil O, Namour Ph, Design and assessment of innovative low-cost, and open-source sensors for monitoring stormwater turbidity in urban water, 10th Franco-Spanish Workshop CMC2-IBERNAM, Novembre 25 th-26 th 2021, Arcachon, (France).

Bacot L., Barraud S. (2019). EXPÉRIENCE FRANÇAISE | 0THU - observatoire interdisciplinaire de terrain en hydrologie urbaine & Graie - interface avec les opérationnels | Moyen d'accompagnement des changements de pratiques en matière de gestion des eaux pluviales ? - Montréal - SympoEau de Réseau environnement, 22 Octobre 2019

Barraud S. (2019). Rôles des techniques de gestion des eaux pluviales sur la gestion des micropolluants. Séminaire Eau et Connaissance : Contamination chimique des milieux aquatiques - Constats et actions nouvelles organisée par l'agence de l'eau. Rhône Méditerranée Corse, Lyon, 09 décembre 2019.

Barraud S., Gromaire M.-C., Rodriguez F. (2019). Efficacités des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales pour la rétention et l'élimination des micropolluants. Carrefour de l'Eau. Carrefour de l'Eau, Rennes, 30-31 janvier 2019.

Bertrand-Krajewski J.-L. (2019). Comment évaluer les flux polluants rejetés par un déversoir d'orage ?, 14° Journée d'échanges régionale "Autosurveillance des réseaux d'assainissement", 4 avril 2019, Lyon (France).

Bertrand-Krajewski J.-L. (2019). Estimer les flux polluants rejetés par un déversoir à partir des flux polluants mesurés en entrée de station d'épuration, Fonctionnement des systèmes d'assainissement : l'arrêté du 21 juillet 2015, esprit et pratiques, 5-6 février 2019, Colombes (France). Actes de la conférence ASTEE-SHF « Fonctionnement des systèmes d'assainissement : l'arrêté du 21 juillet 2015, esprit et pratiques ».

Bertrand-Krajewski J.-L. (2019). Hydrologie urbaine : évolution vers une indispensable approche intégrée et multidisciplinaire, Symposium 2019 de l'AICE – Section du Québec, 16 avril 2019, Montréal (Canada).

Bertrand-Krajewski J.-L. (2019). L'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU) à Lyon de 1999 à 2019 : un regard sur 20 ans de collaboration entre gestionnaire et chercheurs sur la gestion des réseaux unitaires et séparatifs par temps de pluie, Symposium 2019 de l'AICE – Section du Québec, 16 avril 2019, Montréal (Canada).

Bertrand-Krajewski J.-L., Sandoval S., Beauvisage L., Sandron L., Szelenyi D., Villarreal E., Houssin E., Bahi Slaoui H., Nuttens L., Filippi R (2020) Simulation des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales à l'échelle de la parcelle et du quartier sur des chroniques de longue durée Congrès de l'ASTEE, Lyon, France, 14-16 septembre, 2 p.

Bertrand-Krajewski J-L. (2018) De l'étalonnage des capteurs au traitement des données: une méthodologie et un outil logiciel intégré pour le suivi des débits et de la qualité des eaux. Journée Technique AXELERA « Gestion intégrée des bassins versants », Jun 2018, Lyon, France. 〈hal-01956468〉

Bertrand-Krajewski J-L., Lipeme Kouyi G.. (2018) La modélisation comme outil d'aide à la décision – Quelques concepts de base pour commencer.. 13° Journée d'échanges régionale "Autosurveillance des réseaux d'assainissement" GRAIE, Apr 2018, Lyon, France. 〈hal-01754806〉

Bonneau, J., Branger, F., Castebrunet, H., & Lipeme, G. (2020) Conscequans: impact de l'urbanisation et du changement climatique sur les régimes d'écoulement des rivières de l'ouest lyonnais 5e colloque des Zones Ateliers CNRS.

Bonneau, J., Branger, F., Castebrunet, H., & Lipeme, G. (2020) Urbanisation, Climate Change and Stormwater Management Strategies: Modelling the Future Flow Regimes of Peri-Urban Streams in Lyon, France AGU Fall Meeting 2020

Bonneau, J., Branger, F., Castebrunet, H., Lipeme-Kouyi, G., 2020. Urbanisation, Climate Change and Stormwater Management Strategies: Modelling the Future Flow Regimes of Peri-Urban Streams in Lyon, France. AGU Fall Meeting 2020, Dec 2020, San Francisco, United States, https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03126926.

Bonneau, J.; Branger, F.; Castebrunet, H.; Kouyi, G.(2020) Urbanisation, Climate Change and Stormwater Management Strategies: Modelling the Future Flow Regimes of Peri-Urban Streams in Lyon,France. AGU Fall Meeting 2020 - https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03126926

Bouchali, R., C. Mandon, E. Danty- Berger, A. Géloen, L. Marjolet, J.-Y. Toussaint, and B. Cournoyer. 2021. Pseudomonas aeruginosa au sein du microbiome urbain : biais de répartition en fonction des variables socio-urbanistiques, des réseaux de cooccurrence, et capacités métaboliques. 3e colloque national sur les Pseudomonas. Lac de Saint-Point (25), France, 18 & 19 octobre 2021

Bouchali, R., C. Mandon, Y. Colin, E. Bourgeois, R. Marti, J. Michalon, A. Gleizal, L. Marjolet, S. Ribun, S. Vareilles, G. Lipeme Kouyi, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, B. Cournoyer. 2019. Incidence des morphotypes urbains sur la structure des microbiomes et l'occurrence de formes pathogènes. IXème colloque de l'AFEM (Association Francophone d'Ecologie Microbienne), 5-8 novembre 2019, Bussang (France).

Bouchali, R., C. Mandon, Y. Colin, L. Marjolet, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, B. Cournoyer. (2019). Incidence des morphotypes urbains sur la répartition des espèces de Pseudomonas et la sélection de génotypes. 2e Colloque national sur les Pseudomonas, Voiron, France. Avril 2019

Bouchali, R., F. Vautrin, C. Mandon, Y. Colin, L. Marjolet, S. Vareilles, G. Lipeme Kouyi, P. Polomé, J.-Y. Toussaint, D. Blaha, W. Galia, V. Rodriguez-Nava, et B. Cournoyer. (2021) Monitoring des microbiomes urbains : état actuel des données produites par l'observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU-ZABR). INSTRUMENTATION POUR LE SUIVI ENVIRONNEMENTAL : CYCLE D'ATELIERS NATIONAUX 2021. Atelier 1 - Mesure de la qualité de l'eau, 2 et 3 mars 2021. IES - Institut d'électronique et des systèmes, Montpellier

Bourgeois, E., R. Marti, C. Bernardin, Céline Bécouze, S. Ribun, L. Marjolet, A. Gleizal, S. Barraud, G. Lipeme Kouyi, L. Wiest, D. Blaha, B. Cournoyer. 2017. Spatio-temporal dynamics of TPMT-harboring bacteria among urban deposits

reveal significant shifts in Pseudomonas and Aeromonas populations matching pollutant concentrations. EcotoxicoMic International Conference 2017. Lyon, Palais des Congrès.

Bourgeois, R. Marti, C. Bernardin, C. Bécouze, S. Ribun, L. Marjolet, A. Gleizal, S. Barraud, G. Lipeme Kouyi, L. Wiest, D. Blaha, B. Cournoyer. 2017. Analyse des changements de diversité et structure génétique des bactéries arborant la TPMT et colonisant les dépôts urbains : inférences sur l'incidence de polluants urbains sur la dissémination de formes pathogènes d'Aeromonas et Pseudomonas. Colloque de l'Association Francophone d'Ecologie Microbienne. Brest, France.

Bourjaillat B, Perret F, Cherqui F, Navratil O, Namour Ph, Low cost sensor for environmental and hydrological monitoring through tree electro-physiological signals, 10th Franco-Spanish Workshop CMC2-IBERNAM, Novembre 25 th-26 th 2021, Arcachon, (France).

Braud, I., Ka, O., Ayral, P.-A., Blanchouin A., Boithias, L., Branger, F., Folton, N., Fovet, O., Hector, B., Horner, I., Galle, S., Josselin, D., Kuppel, S., Lajeunesse, E., Le Bouteiller, C., Legout, C., Molénat, J., Nord, G., Peugeot, C., Pierret, M.-C., Probst, A., Probst, J.-L., Raclot, D., Tallec, G., 2021. Use of hydrological signatures to characterize the hydrological functioning of catchments from the OZCAR French Critical Zone, 1st OZCAR - TERENO Conference, Strasbourg, October 5-7 2021, poster.

Breil P, Doumbia M, Namour Ph, Pons MN, Biodégradation des rejets d'un déversoir d'orage dans un massif poreux artificiel en cours d'eau urbain, 41èmes Journées Scientifiques du GFHN, 23-25/01/17, Observatoire de Haute-Provence (France).

Brelot E., Castebrunet H., Brus A (2020) Pour une vision territoriale de la gestion décentralisée de l'eau en milieu urbain Rencontres nationales de la gestion des eaux à la source, 13-14 octobre 2020, Dijon (France)

Cariou M., Hervant F., Veber P., Konecny L., Mermillod-Blondin F., François C. (2019) The stimulation of organic matter processing and nutrient cycling by tubificid worms in wetland sediments is associated with a reduction of bacterial diversity. 5ème Colloque de génomique Environnementale, 8-10 octobre 2019, La Rochelle, France.

Cherqui F., Benabdeslem K., Benkabou S. E., Chuzeville G., Erismann J., Gauthiez B., Glandut V., Graja S., Krauss V., Le Gauffre P., Ntissar T., Petit D., Poinard D., Texier F., Sahari S., Sibeud E., Reeb S., Ursely S. (2019) Guide opérationnel - version finale, projet HIREAU - Comment reconstituer l'histoire des réseaux d'assainissement et d'eau potable, projet financé par le LABEX IMU (ANR-10-LABX-0088) de l'Université de Lyon, Novembre, 44 p.

Claro Barreto, A., Rivière, N. & Lipeme Kouyi, G. (2016). La méthode Lattice Boltzmann couplée au modèle LES pour la simulation des écoulements à surface libre - résultats préliminaires. 7èmes Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine (JDHU), Nantes, France.

Coelho, C., Martins Dias, S., Hammada, M., Perrodin, Y., Bedell, J.P., (2017). Bioavailability and bioaccumulation of heavy metals, PAHs and PCBs in soils from industrialized urban areas. 14th International Conference on Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources (AquaConSoil 2017), 26–30 juin, Lyon, France. Proc. AquaConSoil consortium Deltares, BRGM, AXELERA (eds.), p. 111.

Comby E., Honegger A., Cottet M., (2017), « Représentations et gestion des micropolluants dans les eaux pluviales, entre complexité, incertitudes et peurs », Doctoriales de l'eau, Montpellier, juin 2017, Lien:

Comby E., Rivière-Honegger A., Cottet M., Ah-Leung S. et Cossais N. (2019), « Les « techniques alternatives » sont-elles envisagées comme un outil de gestion qualitative des eaux pluviales ? », Développement durable et territoires, Vol. 10, n°3 | Décembre 2019 |

Cossais N. (2016). Gestion à la source des eaux pluviales : évolution des services techniques et des métiers. Approche socio-anthropologique au sein de la Métropole de Lyon. Récompensé meilleure présentation des JDHU 2016.

Cossais N., Honegger A., Sibeud E., Martouzet D. (2018). Gestion à la source des eaux pluviales : évolution des services techniques et des métiers. Approche socio-anthropologique au sein de la Métropole de Lyon, TSM, p. 41-53.

Jobin L, Namour Ph, Eletrochemical control of organic matter biodegradation in sediment, ResMO2018 : 'La matière organique dans tous ses états', 4-7/02/18 Trégastel (France).

Kraus V., Benabdeslem K., Cherqui F. (2018) Régression Laplacienne semi-supervisée pour la reconstitution des dates de pose des réseaux d'assainissement, Extraction et gestion des Connaissances (EGC'18), 22-26 janvier, Paris, France.

Malard F., Mermillod-Blondin F., Marmonier P. (2018) Ecosystèmes aquatiques souterrains: biodiversité et indicateurs. Atelier Biodiversité des eaux souterraines, BRGM, 5/12/2018, Paris

Maté Marín A., Lipeme Kouyi G., Rivière N. (2017). Monitoring CSO volumes and quality with the DSM-flux. Colombian - French Conference on Urban Water Systems. 30 November – 1 December 2017, Lyon, France.

Maurice N, Durozier M, Pochet C, Jost G, Namour Ph, Adouani N, Pons MN, (2019) Caractérisation de la matière organique dissoute dans une zone de rejet de grande taille, Journée thématique du groupe français de l'IHSS (Contribution des matières organiques dans la contamination environnementale), 27/09/19, Perpignan (France).

Mermillod-Blondin F., Voisin J., Volatier L., Vienney A., Guillard L., Vallier F., Cournoyer B., Wiest L., Marmonier P.(2018).Infiltration of urban stormwater runoffs: consequences on groundwater ecosystems.- Congrès Franco-Colombien. INSA Lyon. 30 nov 2017.

Mermillod-Blondin F., Volatier L., Cournoyer B., Wiest L., Vuillet E.,Marmonier P., Douady C., Oxarango L., Martins J., Rossier Y. (2018) Recharge des nappes phréatiques par des eaux de ruissellement urbain et des eaux de rivière : conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes souterrains et la ressource en eau - Réunion inter-DIPEE, 07/03/2018, Villeurbanne.

Molle P. et Castebrunet H. (2020) Solutions fondées sur la nature pour une gestion intégrée des eaux urbaines Rencontres nationales de la gestion des eaux à la source, 13-14 octobre 2020, Dijon (France)

Namour Ph, Perret F, Bertrand-Krajewski JL, Cherqui F, Jose C, Fakri-Bouchet L, Jaffrezic N, Bacot L, Caltran H, Lacaille S, Montplot A, Beguin P, Lagarrigue C, Navratil O, (2020) Cheap'Eau, Innovative low-cost solutions for monitoring urban water management systems, Prospective INSU, Nouveau Capteurs environnementaux, 15-17/01/20, Banyuls/Mer (France).

Perret F, Krieg-Rabeski P, Maurer L, Namour Ph, Legout C, Freche G, Guyard H, Navratil O, (2019) Design and field-test of an operational low-cost and open-source system for river water quality monitoring Workshop "Low-cost Sensors and Microsystems for Environment Monitoring", 20-21/05/19, Toulouse (France). hal-03127722.

Pinasseau L, Wiest L, Fildier A, Volatier L, Mermillod-Blondin F, Vulliet E, (2019)Criblage suspect de polluants émergents dans les eaux souterraines et de ruissellement par échantillonnage passif couplé à la spectrométrie de masse haute résolution, 49ème congrès du GFP, Montpellier, 21-24 mai 2019

Pinasseau L., Wiest L., Volatier L., Mermillod-Blondin F., Vulliet E. (2018) Echantillonnage passif et screening de pesticides et pharmaceutiques dans les eaux souterraines et de ruissellement- Forum SEM 2018, 11-13/03/2018, Valence (POSTER)

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E. (2019) Use of passive sampling and high resolution mass spectrometry using a suspect screening approach to characterize emerging pollutants in contaminated groundwater and urban stormwater runoff. Spectrométrie de Masse et Analyse Protéomique (SMAP), (2019), Strasbourg, poster.

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E. (2018) Echantillonnage passif et screening de pesticides et pharmaceutiques des eaux souterraines et de ruissellement. Santé Environnement et Molécules (SEM), Rovaltain, 2018, Valence - Prix du meilleur poster étudiant.

Pinasseau, L., Wiest, L., Volatier, L., Mermillod-Blondin, F., Vulliet, E. (2019) Criblage suspect de polluants émergents dans les eaux souterraines et de ruissellement par échantillonnage passif couplé à la spectrométrie de masse haute résolution. Groupe Français des Pesticides (GFP), 2019, Montpellier.

Polomé, P. (2018). Faire le lien entre les politiques publiques et la contamination environnementale. Colloque Contaminations Environnement Santé et Société. Colloque international interdisciplinaire – ESOF 2018. 4-6 juillet 2018, Toulouse, France

Polomé, P. (2018). Faire le lien entre les politiques publiques et la contamination environnementale. Colloque Contaminations Environnement Santé et Société. Colloque international interdisciplinaire – ESOF 2018. 4-6 juillet 2018, Toulouse, France

Pons MN, Namour Ph, Breil P,(2017) Baguettes de bois pour l'évaluation des gradients redox en zone hyporhéique : comment interpréter leur lecture ? 42èmes Journées Scientifiques du GFHN, 28-29/11/17, Irstea Lyon (France).

Pons MN, Zhang Y, Adouai N, Breil P, Namour Ph, (2017) Monitoring the hyporheic zone of small urban river with wooden sticks, Aquaconsoil: Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources, 14th International Conference, 26–30/06/17, Lyon (France).

Roger, C., Fovet, O., Braud, I., Grippa, M. Hector, B., Molénat, J., Audry, S., Branger, F., Folton, N., Le Bouteiller, C., Nord, G., Probst, A., Probst, J.-L., Raclot, D., Riotte, J., Ruiz, L., Zitouna, R., Datry, T., (2021). Which hydrological signatures of intermittence of rivers and streams in order to identify causes and ecological impacts ?, 1st OZCAR - TERENO Conference, Strasbourg, October 5-7 2021, poster.

Sauquet, E., Richard, B., Devers, A., Prudhomme, C., (2019). Water restrictions under climate change: a Rhône–Mediterranean perspective combining bottom-up and top-down approaches. Hydrology and Earth System Sciences 23(9), 3683-3710

Walcker N. ,Castebrunet H., Lipeme Kouyi G., Barraud S., Lepot M., Campan L., Lucchinacci P., Abad F. (2017). Stations de mesures connectées de l'OTHU. Hydrométrie 2017 : Incertitudes et mesures, Lyon, 14-15 mars 2017. 8 p.

Wigh A., Geffard, O., Devaux, A., Bony, S., (2017). Gammarus fossarum as a sensitive tool to reveal residual toxicity of treated wastewater effluents. 18th International Symposium on Toxicity Assessment, 16-21 juillet, Limeira, Brésil. Applied Research in Toxicology, Vol. 2, suppl. 1, ISTA18-485402.

Autres : (26)

Bacot L.&al. (2017), SYNTHESE OTHU : Les moustiques dans les ouvrages de gestion - alternative des eaux pluviales en ville ? | Retour sur l'Étude exploratoire OTHU 2016 | Exemple des bassins d'infiltration et rétention de la Métropole de Lyon, September 2017, 8p.

Bacot L., Barraud S., Lagarrigue C. (2020) Devenir des micropolluants au sein des ouvrages de gestion des eaux pluviales source. https://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/actesyntheses/GRAIE-L4B-MicroMegas-TApollutions-VFIN.pdf

Bétemps, M., (2021). Diagnostic de l'occupation du sol et de l'utilisation des produits chimiques sur le bassin versant de l'Yzeron (Rhône) : utilisation combinée d'enquêtes et de données cartographiques pour identifier les sources de contaminants et leur localisation. Mémoire de fin d'études Polytech Tours. Stage réalisé au sein de l'UMR PACTE, université Grenobles-Alpes.

Bonneau, J., Branger, F., Castebrunet, H., Lipeme-Kouyi, G., (2021). Construction et analyse par modélisation de scénarios de gestion quantitative à différentes échelles et robustesse des ouvrages à la source face aux changements globaux. Projet Conscéquans, rapport final

Bruel L. (2020) « Réalisation d'un état de l'art des solutions de bancarisation et mise à disposition des données pour un observatoire de recherche environnemental ». STAGE INRAE, Co-encadré avec INSA DEEP et Graie

Cournoyer, B. (2021). Les liaisons dangereuses entre polluants chimiques et microbiote des dépôts urbains. Actualités scientifiques, INEE CNRS. https://inee.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/les-liaisons-dangereuses-entre-polluants-chimiques-et-microbiote-des-depots-urbains

Cournoyer, B. (Interview 2021). Environnement : Des scientifiques lyonnais pointent les liens entre pollution urbaine et bactéries. Le Progrès (France), 18 avril 2021. https://www.leprogres.fr/environnement/2021/04/18/des-scientifiques-lyonnais-pointent-les-liens-entre-pollution-urbaine-et-bacteries#:~:text=Une%20%C3%A9tude%20men%C3%A9e%20par%20le,la%20pollution%20et%20les%20bact%C3%A9ries.

Cournoyer, B. (Interview 2021). Sciences & Innovation: des chercheurs lyonnais examinent la façon dont la ville favorise l'émergence de bactéries. Tribune de Lyon (France). https://tribunedelyon.fr/2021/03/29/des-chercheurs-lyonnais-examinent-la-facon-dont-la-ville-favorise-lemergence-de-bacteries-pathogenes/

Cournoyer, B. Interview radio (podcast) – RCF – Lyon (France). (2021). Emission « Dis, Pourquoi » : Le lien entre pollution et microbes, présentée par Marie Leynaud. 6 avril 2021. https://rcf.fr/culture/le-lien-entre-pollution-et-microbe

Cournoyer, B., L. Moulin. (2020). Coronavirus / M comme « microbiologie urbaine ». Tribune. Le Monde (France). 3 avril 2020. (https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/04/03/coronavirus-m-comme-microbiologie-urbaine_6035501_3234.html)

Fernandes G., (2020). Vaulx-en-Velin, 75 p., 11 septembre. Etude sur l'abondance et les groupes écologiques des vers de terre dans un bassin d'infiltration (est-lyonnais) Mémoire de TFE et de master – encadré par JP BEDELL- ENTPE

Flanagan K., Barraud S., Gromaire M.-C., Rodriguez F., Ah Leung S., Bacot L., Ramier D., Varnede L., Honegger A., Deroubaix J.- F. (2021 à paraître). Guide Méthodologique pour l'évaluation des performances d'ouvrages de maîtrise à la source des eaux pluviales. Editions OFB.

Lipeme Kouyi G., Barraud S. et al. (2017). Long term field monitoring of urban water management in Lyon - France. Lunchtime Seminars, Melbourne Water, Aug. 8th, Melbourne, Australia.

Lipeme Kouyi G., Bonneau J., Fletcher T. (2017). Hydrobox numerical platform for modelling WSUD systems. Lunchtime Seminars, Melbourne Water, July 24th, Melbourne, Australia.

Migliori R. (2020) « Méthodologie de sélection d'indicateurs pertinents en hydrologie urbaine » STAGE éleve ingenieur TPE - GRAIE, Co-encadré avec INSA DEEP

Milena Chabert (2020). Gestion opérationnelle des sédiments de l'assainissement pluvial – Etat de l'Art. Mémoire de 4eme année de Génie Energétique et Environnement, laboratoire DEEP, INSA de Lyon.

Morgane Bouchard (2021). Gestion opérationnelle des sédiments de l'assainissement pluvial. Mémoire de SIRD, 4eme année de Génie Energétique et Environnement, laboratoire DEEP, INSA de Lyon.

Navratil, O., Boukerb M.A., Breil P., Perret F., Caurel C., Lejot J., Petit S., Marjolet L., Cournoyer B.(2018).Réponses des populations bactériennes fécales benthiques à la variabilité hydrologique d'un petit cours d'eau péri-urbain.-Bulletin du GFHN (Groupe Francophone Humidimétrie et TraNsferts en Milieux Poreux) 2017 : 1-7

Pinasseau L., Wiest L., Volatier L., Mermillod-Blondin F., Vulliet E. (2018). Optimisation des chemcatchers et premier déploiement *in situ* -ANR FROG Livrable 1

POSTER - Namour, Ph.; Perret, F.; Bertrand-Krajewski, J.L.; Cherqui, F.; Jose, C.; Fakri-Bouchet, L.; Jaffrezic, N.; Bacot, L.; Caltran, H.; Lacaille, S.; Montplot, A.; Beguin, P.; Lagarrigue, C.; Navratil, O. 2020 Cheap'Eau, Innovative low-cost solutions for monitoring urban water management systems Prospective INSU, Nouveau Capteurs environnementaux, 15-17/01/20, Banyuls/Mer (France).

Raby, M., 2021. Validation d'un outil de suivi des sources de contamination microbiologique en cours d'eau, stage de BTS.

Ridouani, R., (2017). Caractérisation des ouvrages d'infiltration par l'infiltromètre à disque et Beerkan. Mémoire de Master 2 Risques et Environnement, parcours Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain SEIU, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Vaulx-en-Velin, France, 51 pp.

Rogé, J., 2021. Identification et quantification des sources urbaines de contaminants dans le Rhône, ENSIL-ENSCI, Université de Limoges. Stage réalisé au sein de l'UR RiverLy, INRAE.

Saint-Louis, S.M., (2017). Caractérisation hydrodynamique par infiltrométrie de techniques alternatives de type tranchées et noues. Mémoire de Master 2 de Physique, Ecole Normale Supérieure, Port au Prince, Haïti, 48 p

Sigaud, D., 2018. Première analyse de données physico-chimiques produites par Irstea Lyon-Villeurbanne sur les ruisseaux du Ratier et du Mercier à l'ouest de Lyon, licence professionnelle Milieux Aquatiques et Eaux Pluviales, Université Lumière Lyon 2.

Titouan Bouëtard-Peltier (2021). Caractérisation bio-physico-chimique et potentiel d'évolution de la matière organique des sédiments de l'assainissement pluvial. Rapport de stage de deuxième année de génie Biologique (IUT Lyon 1), laboratoire DEEP, INSA de Lyon.

Ouvrage et ou chapitre d'ouvrage (en dehors de l'ouvrage collectif OTHU) (5)

Angulo-Jaramillo, R., Bagarello, V., Iovino, M., Lassabatere, L. (2016). Infiltration Measurements for Soil Hydraulic Characterization. Ed. Springer, 386 p, ISBN 978-3-319-31786-1

B. Cournoyer, R. Marti, E. Bourgeois et W. Galia. (2018). Chapitre 8.10 Des bactéries pathogènes opportunistes en ville. Dans « 101 secrets du vivant - l'ADN des écosystèmes ». Editions du Cherche-Midi et le CNRS-INEE.

Bertrand-Krajewski J.-L. (2017). Gestion des eaux pluviales urbaines - D'un objet technique urbain autonome vers une approche urbaine intégrée. In Ecologie politique de l'eau - Rationalités, usages et imaginaires (Pierron J.-P., Harpet C., dir.). Paris (France) : Hermann Editeurs, pp. 191-209. ISBN 978 2 7056 9414 2.

CONTRIBUTION OTHU : Cyrielle Briand, Adèle Bressy, Chebbo Ghassan, José-Frédéric Deroubaix, Steven Deshayes, et al. Que sait-on des micropolluants dans les eaux urbaines ?. 2018, 978-2-490463-00-8. 〈http://www.arceau-idf.fr/sites/default/files/Ouvrage micropolluants version numerique.pdf〉. 〈hal-01803319〉

CONTRIBUTION OTHU : Edited by Jean-Luc Bertrand-Krajewski; Francois Clemens-Meyer, Mathieu Lepot (2021) Metrology in Urban Drainage and Stormwater Management: Plug and Pray. IWA Publishing DOI: https://doi.org/10.2166/9781789060119 , ISBN electronic: 9781789060119

2 ANNEXE 2| PERSONNELS

LISTE DES ENSEIGNANTS CHERCHEURS OU PERSONNELS DE RECHERCHE MEMBRES DE L'OTHU FAISANT PARTIE DES UNITÉS

POUR MEMOIRE :

Aucun personnel fonctionnaire n'est embauché dans le but d'être affecté en propre sur la structure fédérative de recherche. Les personnels intervenant dans l'observatoire sont des personnels appartenant aux équipes de recherche membres de la FED.

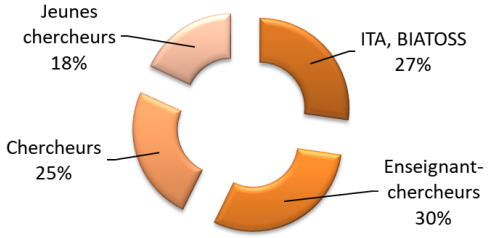
Depuis quelques années, un effort particulier des équipes est notable (fléchage de poste technique sur l'activité d'observation). A titre d'exemple, le laboratoire DEEP a mis 100 % d'un temps technicien sur l'OTHU et 33% d'un ingénieur d'étude, le LEHNA a mis également 50 % d'un Assistant Ingénieur en biologie, VetAgro Sup a mis à disposition de l'OTHU un technicien/ingénieur d'étude à 60%. Les autres personnels interviennent de manière plus sporadique.

D'autres personnels sont affectés à l'observation, la gestion et à l'animation de l'OTHU mais ils sont contractuels et financés sur fonds propres de l'observatoire notamment : un plein temps confié au GRAIE (30% de Laëtitia BACOT, animation coordination valorisation et direction exécutive de l'OTHU (25% sur l'animation valorisation des programmes de recherche en appui) et 100% de Nicolas WALCKER, Assistant métrologie et gestion des données OTHU).

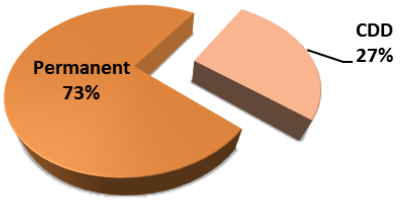
QUELQUES GRANDS CHIFFRES ET INDICATEURS

Le nombre de personnes impliquées sur les 4 ans observatoire et recherche en appui est de **110** personnes

Répartition par catégorie des membres et personnels impliqués dans l'OTHU (moyenne sur 4 ans en nombre de personnes)



Répartition en type de contrats des membres et personnels impliqués dans l'OTHU (moyenne sur 4 ans en nombre de personnes)



(personnes physiques)	%	Nombre	Etp total othu	Etp consacré aux activités recherche OTHU (% annuel)	Etp consacré au fonctionnement de l'OTHU
ITA, BIATOSS	**27%**	30	12,5	10,7%	1,8
Enseignant-chercheurs	**30%**	33	12,3	11,0%	1,4
Chercheurs	**25%**	27	6,0	3,7%	2,3
Jeunes chercheurs	**18%**	20	8,2	8,0%	0,2
TOTAL	**1**	**110**	**39,0**	**33,3%**	**5,6**

DETAILS DES IMPLICATIONS – *ESTIMATION- CLASSÉ PAR ETABLISSEMENTS*

NOM	Prénom	Grade ou titre	Permanent	CDD	Etablissement	%temps total othu	% temps consacré aux activités recherche en appui sur l' OTHU (% annuel)	% temps consacré au fonctionnement de l'OTHU	Laboratoire - équipe /unité
Clozel	Blandine	IR	x		BRGM	35%	30%	5%	BRGM SGR/RHA
Guillard	Ludovic	Assistant Ingénieur	x		CNRS - UMR 5023 - LEHNA	15%		15%	E3S/ LEHNA
Mermillod-Blondin	Florian	CR	x		CNRS - UMR 5023 - LEHNA	60%	50%	10%	E3S/ LEHNA
Navel	Simon	Post-doctorant		x	CNRS - UMR 5023 - LEHNA	100%	100%		E3S/ LEHNA
Vallier	Félix	Technicien	x		CNRS - UMR 5023 - LEHNA	10%	10%		E3S/ LEHNA
Lebon	Yohann	PhD		x	ENTPE	100%	100%		E3S/ - LEHNA
Angulo	Rafaël	CR1 CNRS	x		ENTPE - UMR-CNRS	5%	5%		IAPHY/ LEHNA - UMR CNRS
Bastide	Thérèse	TECH	x		ENTPE - UMR-CNRS	30%	30%		IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Bedell	Jean-philippe	CR1	x		ENTPE - UMR-CNRS	35%	30%	5%	IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Bouarafa	Sofia	Doctorante		x	ENTPE - UMR-CNRS	50%	50%	0%	IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Danjean	Marc	TECH	x		ENTPE - UMR-CNRS	15%	15%		IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Delolme	Cécile	ITPE-Docteur	x		ENTPE - UMR-CNRS	10%	10%		IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Durrieu	Claude	ITPE docteur	x		ENTPE - UMR-CNRS	20%	20%		IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Gosset	Antoine	Post-doctorant		x	ENTPE - UMR-CNRS	22%	20%	2%	IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Hammada	Myriam	TECH	x		ENTPE - UMR-CNRS	10%	10%		IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Lassabatère	Laurent	ITPE-Docteur	x		ENTPE - UMR-CNRS	30%	25%	5%	IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Perrodin	Yves	DR	x		ENTPE - UMR-CNRS	16%	15%	1%	IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Volatier	Laurence	CR	x		ENTPE - UMR-CNRS	30%	30%		IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Winiarski	Thierry	DR	x		ENTPE - UMR-CNRS	17%	15%	2%	IAPHY/ LEHNA - UMR-CNRS
Cossais	Nina	Doctorante		x	EVS	100%	98%	2%	EVS-Grand Lyon
Bacot	Laëtitia	Secrétaire Générale / Directrice executive	x		GRAIE	55%	25%	30%	GRAIE
Brelot	Elodie	Directeur	x		GRAIE	5%		5%	GRAIE
Walker	Nicolas	TECH	x		GRAIE	67%		67%	GRAIE- jusqu'à 2018
AH-leung	Sébastien	Doctorant puis post-doctorant		x	INSA	100%	98%	2%	Environnement Ville Société (UMR 5600)
Aubin	Jean-baptiste	MCF	x		INSA	5%	5%		DEEP

Babaud	Dominique	TR	x		INSA	50%		50%	DEEP
NOM	Prénom	Grade ou titre	Permanent	CDD	Etablissement	%temps total othu	% temps consacré aux activités recherche en appui sur l' OTHU (% annuel)	% temps consacré au fonctionnement de l'OTHU	Laboratoire - équipe /unité
Barraud	Sylvie	PR	x		INSA	50%	40%	10%	DEEP
Bertrand-Krajewski	Jean-Luc	PR	x		INSA	20%	15%	5%	DEEP
Buffière	Pierre	PR	x		INSA	5%	5%		DEEP
Castebrunet	Hélène	MCF	x		INSA	50%	30%	20%	DEEP
Chatain	Vincent	MCF	x		INSA	5%	5%		DEEP
Claro barreto	Alejandro	Doctorant		x	INSA	51%	49%	2%	DEEP
Garnier	Robin	Doctorant		x	INSA	100%	98%	2%	DEEP
Gautier	Mathieu	MCF	x		INSA	5%	5%		DEEP
Gourdon	Rémy	PR	x		INSA	5%	5%		DEEP
Le Gauffre	Pascal	MCF	x		INSA	5%	5%		DEEP
Lipeme Kouyi	Gislain	MCF puis PR (depuis 01/10/21)	x		INSA	65%	55%	10%	DEEP
Mate Marin	Ainhoa	Doctorante		x	INSA	100%	98%	2%	DEEP
Mignot	Emmanuel	MCF	x		INSA	5%	5%		LMFA UMR5509 / équIAPHY Fluides Complexes et Transferts
Pouchoulin	Sébastien	Doctorant		x	INSA	60%	60%		LMFA UMR5509 / équIAPHY Fluides Complexes et Transferts
Rivière	Nicolas	PR	x		INSA	15%	10%	5%	LMFA UMR5509 / équIAPHY Fluides Complexes et Transferts
Toussaint	Jean-Yves	PR	x		INSA	35%	30%	5%	Environnement Ville Société (UMR 5600)
Vacherie	Stéphane	IE	x		INSA	33%	23%	10%	DEEP
Vareilles	Sophie	MCF	x		INSA	32%	30%	2%	Environnement Ville Société (UMR 5600)
Walker	Nicolas	IE	x		INSA	33%		33%	DEEP
Zhan	Quifang	Doctorant		x	INSA	70%	70%		DEEP
Pons	Vincent	Doctorant		x	INSA	51%	49%	2%	DEEP
Zhu	Xiaoxiao	Doctorante		x	INSA	100%	98%	2%	DEEP
Naltchayan	Serge	TR	x		INSA Valor / INSA	100%		100%	DEEP
Bonneau	Jérémie	IR		x	INRAE/INSA	100%	100 %		UR RIVERLY/ DEEP
Branger	Flora	IAPHYF	x		INRAE	40%	25%	15%	UR RIVERLY
Braud	Isabelle	DR	x		INRAE	15%	10%	5%	UR RIVERLY
Breil	Pascal	CR	x		INRAE	30%	30%	0%	UR RIVERLY
Bonnefoy	Adrien	TR	x		INRAE	35%	5%	30%	UR RIVERLY
Coquery	Marina	DR			INRAE	10%	10%		UR RIVERLY

NOM	Prénom	Grade ou titre	Permanent	CDD	Etablissement	%temps total othu	% temps consacré aux activités recherche en appui sur l' OTHU (% annuel)	% temps consacré au fonctionnement de l'OTHU	Laboratoire - équipe /unité
Courapied	Fanny	TR		x	INRAE	35%	5%	30%	UR RIVERLY
Dramais	Guillaume	AI	x		INRAE	5%	5%		UR RIVERLY
Faure	Jean-Baptiste	CR	x		INRAE	5%	5%		UR RIVERLY
Grandjouan	Olivier	Doctorant		x	INRAE	100%	100%		UR RIVERLY
Lagadec	Lilly-Rose	Doctorante		x	INRAE	10%	10%	0%	Edf –INRAe RIVERLY
Lagouy	Mickaël	TR	x		INRAE	40%	30%	10%	UR RIVERLY
Le Coz	Jérôme	IAPHYF	x		INRAE	2%	2%		UR RIVERLY
Leblois	Etienne	ICPEF	x		INRAE	10%	10%		UR RIVERLY
Masson	Matthieu	IR			INRAE	30%	30%		
Molle	Pascal	IR	x		INRAE	30%	30%		UR RIVERLY
Motte	Bernard	TR	x		INRAE	2%	2%		UR RIVERLY
Paquier	André	ICPEF	x		INRAE	15%	15%		UR RIVERLY
Pophillat	William	Doctorant		x	INRAE	100%	100%		UR RIVERLY
Poulard	Christine	IAE	x		INRAE	2%	2%		UR RIVERLY
Thollet	Fabien	TR	x		INRAE	15%	5%	10%	UR RIVERLY
Volat	Bernardette	AI	x		INRAE	2%	2%		UR RIVERLY
Namour	Philippe	IE	x		INRAE	35%	30%	5%	UR RIVERLY
Farre	Carole	IE	x		ISA UMR 5280	4%	2%	2%	Surface, Interfaces, Micro/nao-Système (SIMS)
Gervaix	Jonathan	AI	x		ISA UMR 5280	40%	40%	0%	Surface, Interfaces, Micro/nao-Système (SIMS)
Jaffrezic-Renault	Nicole	DR	x		ISA UMR 5280	20%	20%		Surface, Interfaces, Micro/nao-Système (SIMS)
Jobin	Lucas	Doctorant		x	ISA UMR 5280	51%	49%	2%	Surface, Interfaces, Micro/nao-Système (SIMS)
Lagarde	Florence	IE	x		ISA UMR 5280	4%	2%	2%	Surface, Interfaces, Micro/nao-Système (SIMS)
Sigaud	Monique	MCF	x		ISA UMR 5280	2%	2%		Surface, Interfaces, Micro/nao-Système (SIMS)
Pinasseau	Lucie	Doctorant		x	ISA UMR 5281	69%	67%	2%	Surface, Interfaces, Micro/nao-Système (SIMS)

NOM	Prénom	Grade ou titre	Permanent	CDD	Etablissement	%temps total othu	% temps consacré aux activités recherche en appui sur l' OTHU (% annuel)	% temps consacré au fonctionnement de l'OTHU	Laboratoire - équipe /unité
Bernardin	Claire	Doctorant		x	UCB Lyon 1	4%	2%	2%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Blaha	Didier	MCU	x		UCB Lyon 1	42%	40%	2%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Boiron	Patrick	PR	x		UCB Lyon 1	2%	2%		EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Couble	Andrée	IE	x		UCB Lyon 1	2%	1%	1%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Dabour	Nicole	IE	x		UCB Lyon 1	2%	1%	1%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Dijoux-Franca	Marie-Geneviève	PR	x		UCB Lyon 1	2%	2%		EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Favre-Bonté	Sabine	MCF	x		UCB Lyon 1	2%	2%	0%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Pigneret	Mathilde	Doctorante		x	UCB Lyon 1	100%	98%	2%	E3S/ LEHNA
Rodriguez - Nava	Véronica	MCU	x		UCB Lyon 1	27%	25%	2%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Vautrin	Florian	Doctorant		x	UCB Lyon 1	100%	100%		E3S/ LEHNA
Voisin	jeremy	Doctorant		x	UCB Lyon 1	100%	98%	2%	E3S/ LEHNA
Cariou	Marie	Post-doctorant		x	UCB Lyon 1 - UMR 5023 - LEHNA	70%	70%		E3S/ LEHNA
François	Clémentine	MCF	x		UCB Lyon 1 - UMR 5023 - LEHNA	25%	25%		E3S/ LEHNA
Hervant	Frédéric	MCF	x		UCB Lyon 1 - UMR 5023 - LEHNA	45%	40%	5%	E3S/ LEHNA
Marmonier	Pierre	PR emerite	x		UCB Lyon 1 - UMR 5023 - LEHNA	25%	20%	5%	E3S/ LEHNA

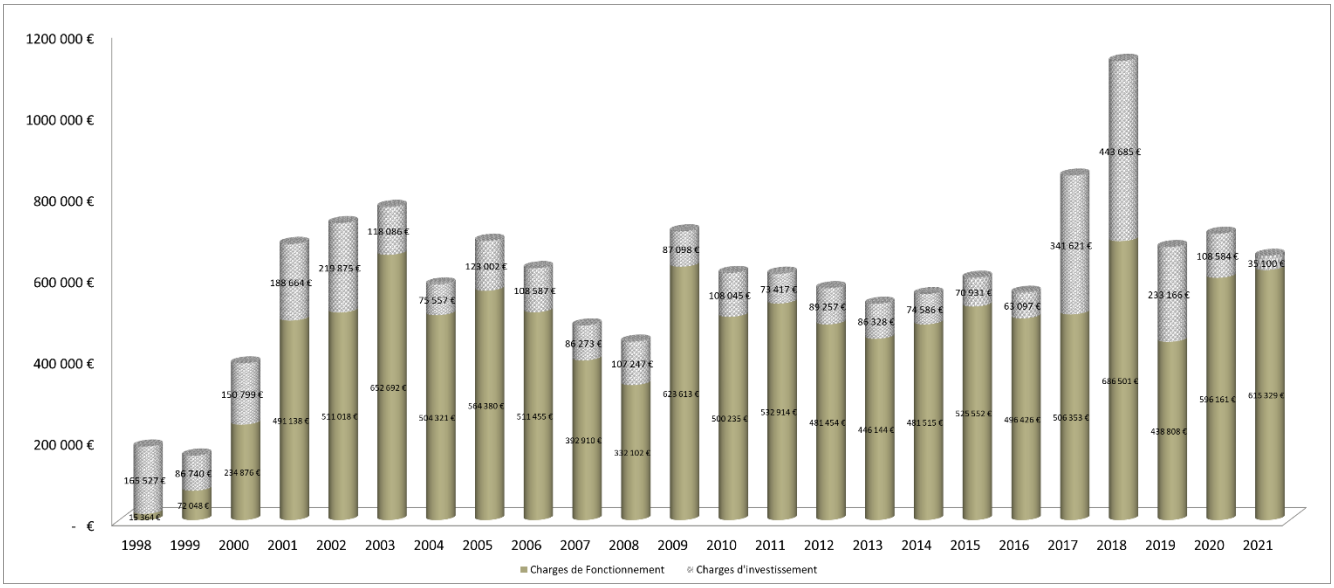
NOM	Prénom	Grade ou titre	Permanent	CDD	Etablissement	%temps total othu	% temps consacré aux activités recherche en appui sur l' OTHU (% annuel)	% temps consacré au fonctionnement de l'OTHU	Laboratoire - équipe /unité
Doppler	Delphine	MCF	x		UCBL Lyon1	2%	2%		LMFA UMR5509 / équIAPHY Fluides Complexes et Transferts
Lance	Michel	PR	x		UCBL Lyon1	1%	1%		LMFA UMR5509 / équIAPHY Fluides Complexes et Transferts
Cherqui	Frédéric	MCF	x		Université Lyon 1	10%	10%		DEEP
Martin	Dominique	Assistante ingénieur	x		Université Lyon 1 - CNRS	5%	2%	3%	E3S/ LEHNA
Vienney	Antonin	Technicien	x		Université Lyon 1 - CNRS	30%	15%	15%	E3S/ LEHNA
Navratil	Oldrich	MCF	x		Université Lyon 2	25%	20%	5%	IRG
Perret	Franck	TECH	x		Université Lyon 2	10%	10%	0%	IRG
Renard	Florent	MCF	x		Université Lyon 3	7%	5%	2%	CRGA - UMR 5600 Environnement Ville Société
Bouchali	Rayan	Doctorant		x	VetAgro Sup	100%	98%	2%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Gleizal	Audrey	AI		x	VetAgro Sup	100%	100%		EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Marjolet	Laurence	AI	x		VetAgro Sup	40%	40%	0%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Marti	Romain	CR associé		x	VetAgro Sup	69%	67%	2%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Maurin	Françoise	T	x		VetAgro Sup	2%	1%	1%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Richard	Yves	PR	x		VetAgro Sup	2%	2%		EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Youenou	benjamin	IE		x	VetAgro Sup	100%	100%		EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement

NOM	Prénom	Grade ou titre	Permanent	CDD	Etablissement	%temps total othu	% temps consacré aux activités recherche en appui sur l' OTHU (% annuel)	% temps consacré au fonctionnement de l'OTHU	Laboratoire - équipe /unité
Cournoyer	Benoit	DR	x		CNRS	50%	40%	10%	EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement
Nazaret	Sylvie	CR	x		CNRS	2%	2%		EquIAPHY Bactéries Pathogènes Opportunistes et Environnement

3 ANNEXE 3| ASPECTS FINANCIERS

QUELQUES GRANDS CHIFFRES, ANALYSES ET BESOINS

3.1 CHARGES DE L'OBSERVATOIRE (non consolidées[4])



<u>Les dépenses ou charges de fonctionnement</u> de l'OTHU correspondent à des frais de maintenance (entretien, exploitation, achat de petits matériels), d'analyses effectuées sur les rejets et milieux récepteurs des sites instrumentés de l'observatoire ainsi qu'à des frais d'animation et de gestion du dispositif et des données.

<u>Les dépenses ou charges d'investissement</u> de l'OTHU correspondent à des frais d'acquisition de appareils ou d'instruments durables équipant les sites expérimentaux de l'OTHU dont le montant est supérieur à 600 € ainsi que quelques travaux de génie civil (relatifs à l'installation et à l'équipement des sites).

Les dépenses de fonctionnement et d'investissement sont présentées et commentées ci-après. Les sommes sont présentées HT.

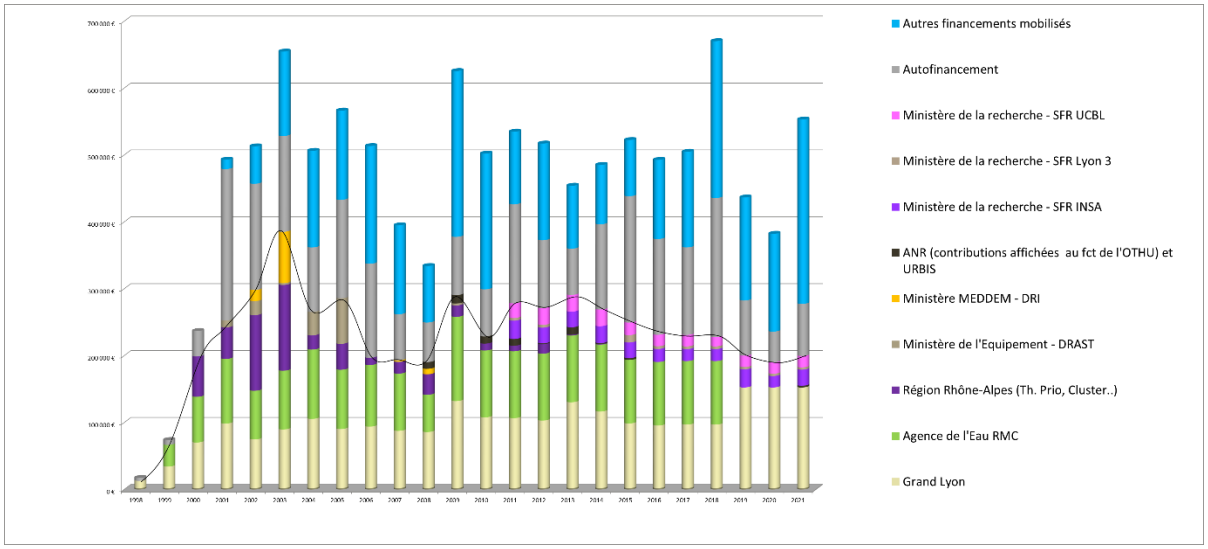
[4] Charges hors personnel mis à disposition et temps recherche

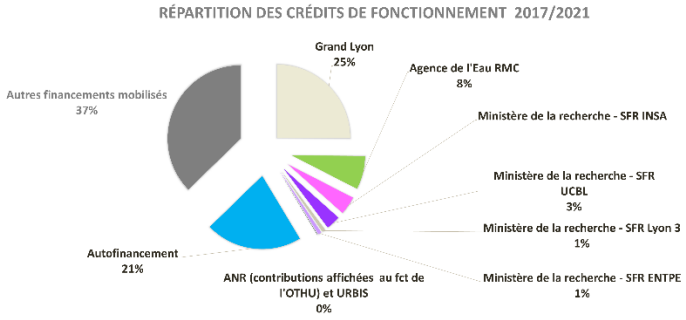
3.2 FONCTIONNEMENT DE L'OBSERVATOIRE

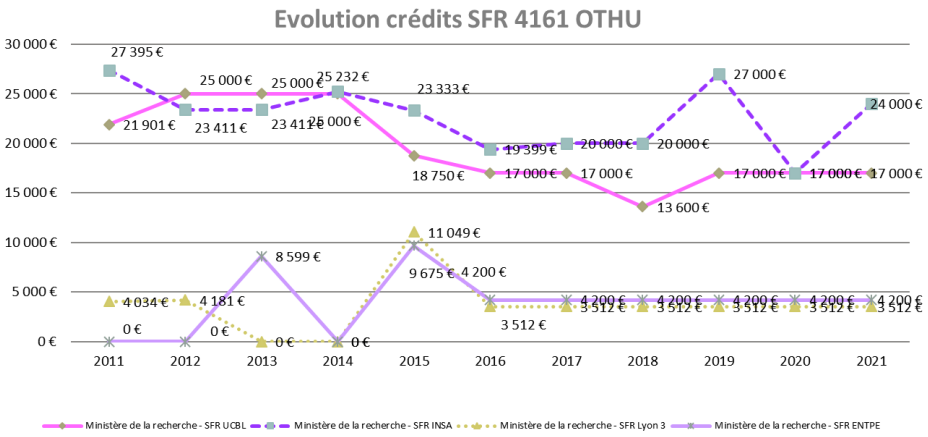
Le graphe ci-dessous présente les dépenses de fonctionnement depuis le début de l'observatoire.

Le budget non consolidé est d'environ 503 k€ / an si l'on exclut les premières années (1999 et l'année de préfiguration de 1998). Sur la période 2017-2021 le budget a été en moyenne de 556K€/an (487.4K€ /an sur 2013/2016, 545 K€ / an sur 2009-2012 ,450 K€ / an sur 2005-2008,).

Évolution 1998[5]/2021– Crédits de fonctionnement OTHU



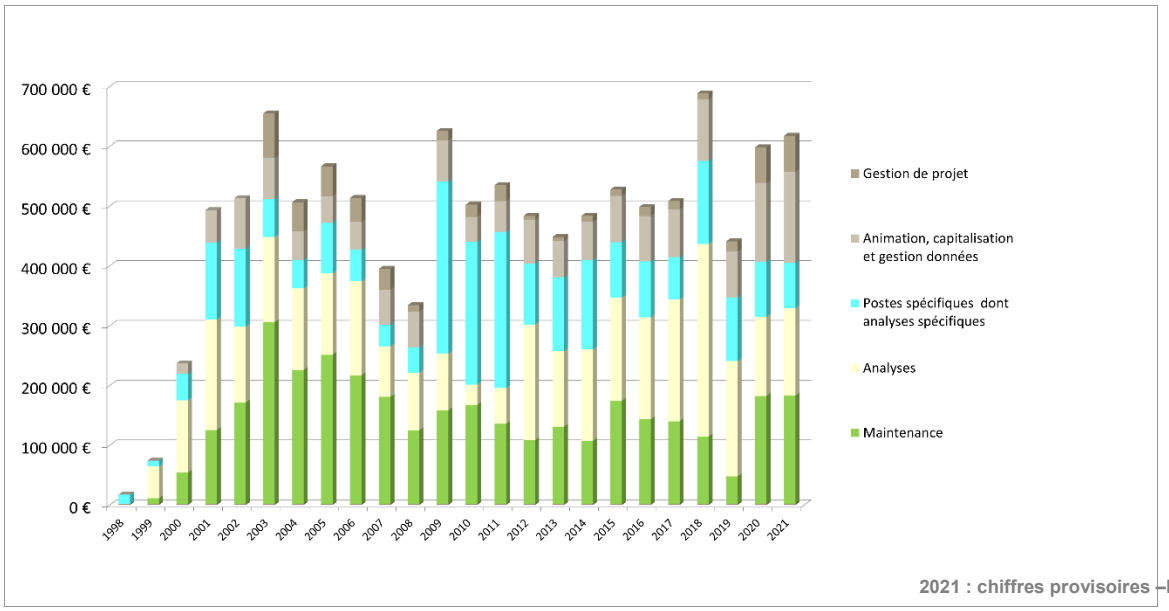




[5] 1998 : date de montage de l'observatoire avant constitution officielle de la fédération d'équipes de recherche OTHU en 1999

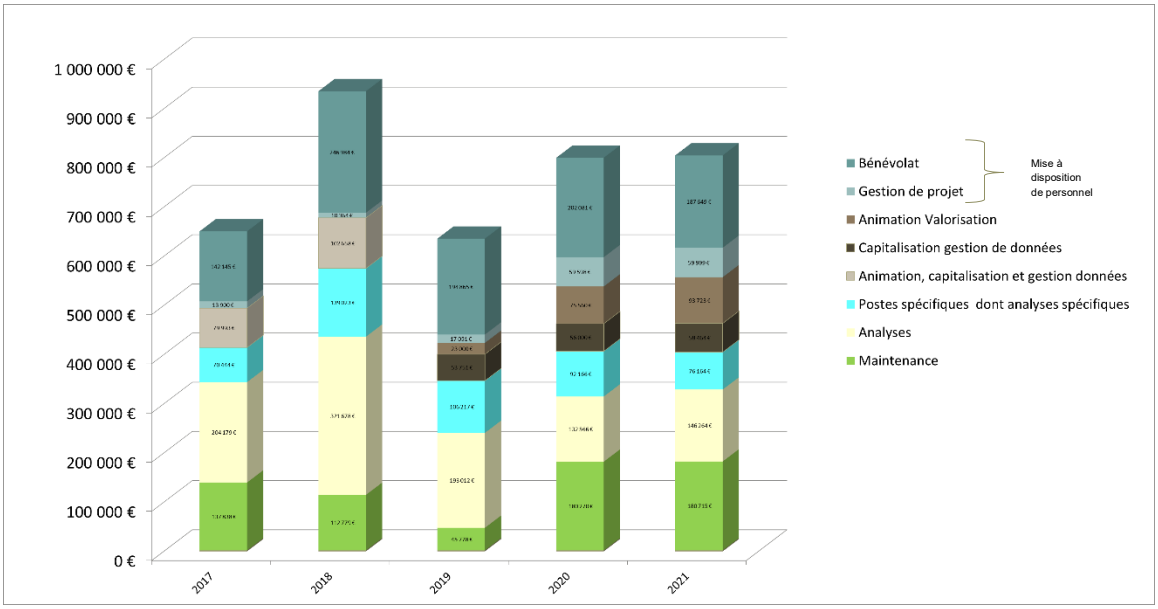
L'évolution et la ventilation suivant les différents postes sont données ci-dessous.

Evolution 1998/2021 des dépenses de fonctionnement



NB : La gestion de projet n'a été comptabilisée qu'à partir de 2003

ZOOM sur l'évolution 1998/2021 des dépenses de fonctionnement et la mise à disposition de personnel



L'augmentation des budgets en 2009 / 2010 / 2011 vient principalement du développement d'analyses exploratoires (notamment en termes de microbiologie et d'écotoxicologie). À partir de 2012, les analyses microbiologiques ont été comptabilisées dans les analyses physico-chimiques et biologiques car elles sont rentrées dans le pool d'analyses plus récurrentes. Les analyses écotoxicologiques restent pour l'instant exploratoires et comptées dans les postes spécifiques.

Le budget annuel de fonctionnement consolidé est d'environ 706 K€ / an lorsque l'on prend en compte le personnel mis à disposition sur 2017/2021 *(considérant les temps de mise à disposition par*

les équipes membres de personnel principalement permanent pour du bénévolat dont de la maintenance, pour la gestion de projet (réunions, du comité de gestion, de groupes de travail, sur les données, séminaires etc.)(769 K€ sur période 2013-2016).

Le budget recherche proprement dit vient s'ajouter au fonctionnement de l'observatoire (budget estimé par les équipes) : environ 1,4 M€ (à titre d'exemple 1,2 M € en 2007, 1,7 M€ entre 2011 et 2014, 1, 1.5 M€ en 2015 et 2016). Il y a une stabilisation sur les 2 dernières années notamment grace à l'accord cadre recherche OTHU/AERMC mais ce montant montre l'efficacité du dispositif à générer de l'activité scientifique.

Le budget annuel global de fonctionnement de l'OTHU peut donc être évalué à 2,2 M € HT sur 2017-2021.

Analyse des dépenses de fonctionnement sur 2017/2021:

Depuis 2013, le budget est relativement stable. Il a connu en 2014-2015 une augmentation transitoire liée principalement à la réhabilitation des sites. On peut ainsi constater une stabilisation de la répartition des charges de fonctionnement. Avec un pic de maintenance en 2015.

L'érosion des crédits qui semblait affecter l'OTHU depuis 2008, venait du fait que les moyens (notamment ceux liés aux réponses aux appels d'offres recherche) ne passaient plus par l'observatoire mais par l'intermédiaire des laboratoires. Cette inflexion dans le mode de fonctionnement avait été choisie de manière à alléger la gestion des crédits. Ainsi depuis 2009, cette érosion a été corrigée notamment grâce en 2011 à la labellisation « Structure Fédérative » et son renouvellement en 2015. L'obtention de moyens de la part du ministère de la recherche aux laboratoires membres et gérés de façon commune au sein de l'OTHU a permis de stabiliser le budget, même si les crédits Région, Métropole de Lyon / Agence de l'eau RMC ont diminués à partir de 2014 (.Le passage à une structure fédérative a été tout à fait bénéfique et permet d'assurer sur 4 ans des apports réguliers, même s'ils ne représentent que 9% du budget de fonctionnement non consolidé sur 2017/2021 (et 2% du budget consolidé global).

La part « autres financements mobilisés » et « autofinancements » des laboratoires c'est-à-dire l'argent que la direction de l'OTHU, les équipes membres consacrent uniquement au fonctionnement de l'observation (hors recherche) reste très conséquente (en moyenne 48% du budget non consolidé sur 1999-2021 et 58% su 2017/2021). Heureusement, les laboratoires et équipes continuent à « jouer le jeu » de la communauté puisque la règle de 20% d'autofinancement qui leur est demandée se maintient tout à fait ; on constate même une augmentation de cet autofinancement sur les deux dernières années.

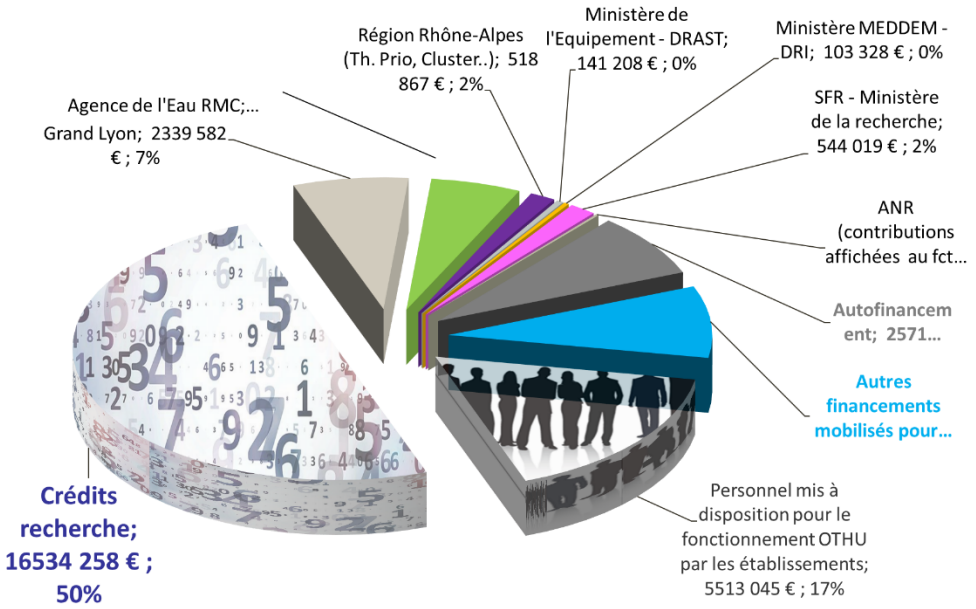
L'arrêt des financements directs de l'agence RMC à l'observation au profit de la recherche, ont notamment permis de contribuer à l'augmentation des autres financements (notamment par la pris en charge de frais d'analyses spécifiques et de consommables directement sur les projets).

Les besoins, notamment en maintenance des sites, sont optimisés depuis les réhabilitations mais nécessitent une connaissance fine des sites notamment avec les nouveaux équipements, plus pointus technologiquement. Le poste "maintenance" a diminué et devrait rester stable, ce qui se confirme ces deux dernières années. En effet la maintenance technique pure est diminuée au profit de tâches d'automatisation et programmation, ainsi que de formation du personnel technique.

A partir de 2019, avec l'embauche de Nicolas Walcker directement au niveau d'INSA Deep et plus au niveau du Graie les poste d'animation / valorisation et le poste de capitalisation et gestion des données ont été distingués (antérieurement les deux postes étaient comptabilisé ensemble) . Grace a un soutien spécifique de la Métropole de Lyon sur la thématique capitalisation et gestion des données des 2019, on voit une réelle augmentation des dépenses sur cette thématique.
A l'inverse le poste Animation/valorisation de l'observatoire diminue globalement sur la période. Le Graie s'impliquant également, dans la valorisation et animation des programmes de recherche dans le cadre de l'accord cadre AERMC avec un soutien spécifique de l'agence sur cette animation.

Actuellement une mise à disposition de temps important est faite par les équipes par des personnels "non dédiés" à l'observatoire ceci en plus de leur autofinancement. Cette mise à disposition n'est pas pérenne et viable sur le long terme.
Des personnels dédiés à l'observatoire (mis à disposition officielle d'Ingénieurs d'étude), et des postes techniques de permanents statutaires des établissements membres sont donc nécessaires et même essentiels à la survie du dispositif. Cette nécessité a été pointée par le HCERES lors de l'évaluation de la FED 4161 en 2015 mais, pour l'instant sans réponses des établissements.

Vision global du credits de fonctionnement consolidés de l'observatoire en prenant en compte les credits recherche 2018/2021



PRECISIONS *: Les montants d'aide à la recherche accordés par l'AERMC depuis 2019 (date de signature de l'accord), jusqu'à 2021 dans le cadre de l'accord cadre sont :*

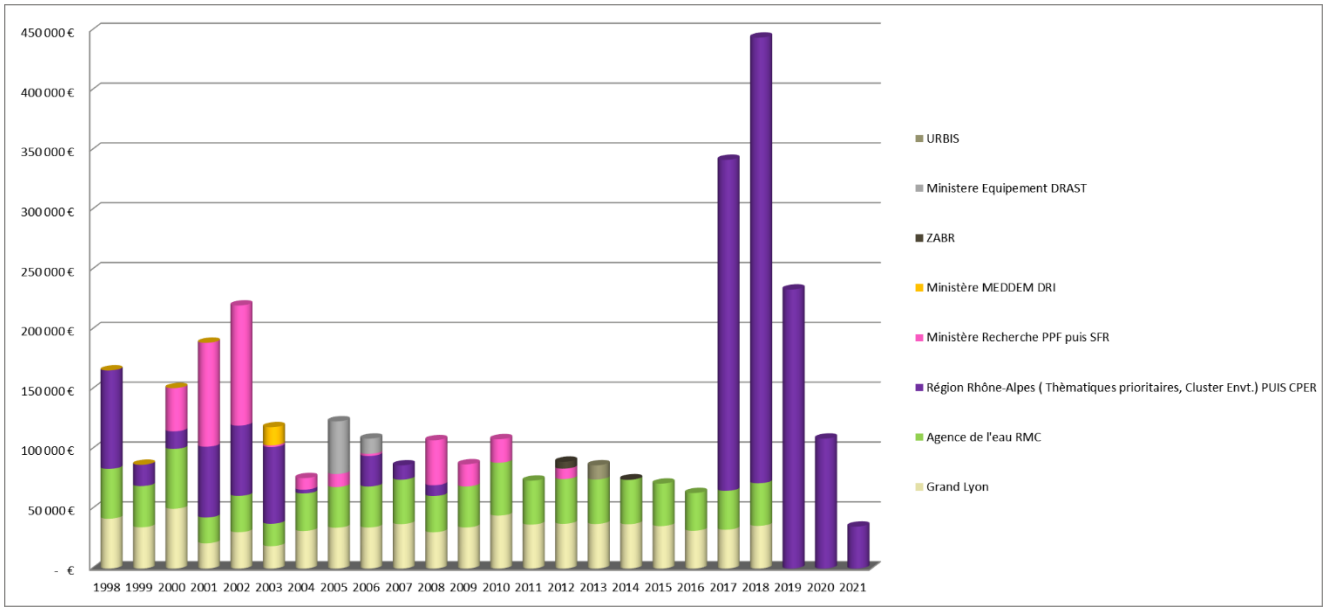
- *Cheap'eau : 165 k€ HT*
- *DESIR : 199 K€*
- *DOmic : 150 K€*
- *NOGAS : 258.5 K€*

Ces montants representent 50% du montant du budget de chaque projet

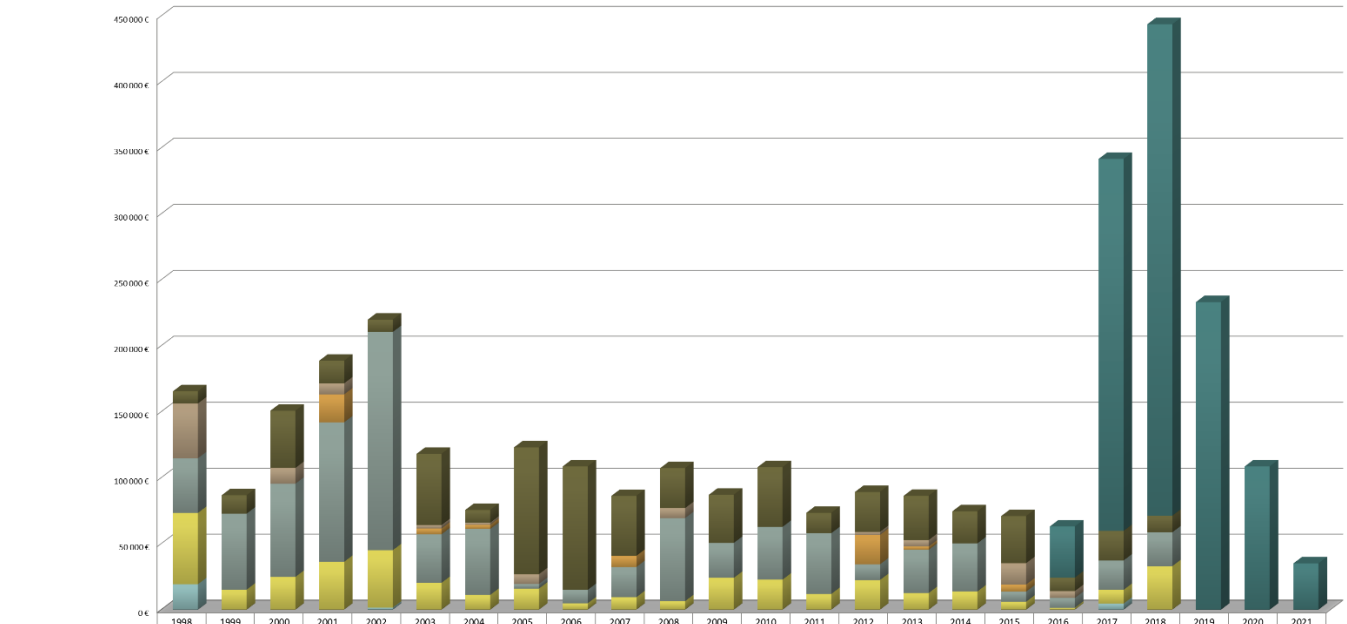
3.3 INVESTISSEMENT de l'Observatoire

Les investissements pour l'OTHU depuis 1998 se montent à 2 149 k€ HT, soit une moyenne de 227 K€ sur 2017/2021 de (2013/2016 : 73.7 k€ HT,89,4 k€ HT sur 2009-2012)

Évolution 1998[6]/2021– Crédits d'investissement OTHU



Évolution 1998-2021 - Dépenses d'investissement par site



	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ecocampus																			38 748 €	281 914 €	372 445 €	233 166 €	108 584 €	35 100 €
Multisite, Renouvellement	9 243 €	13 952 €	43 395 €	17 157 €	9387,72	53986,07	9660	96 123 €	93 606 €	45 440 €	30 285 €	36 510 €	45 286 €	15 448,07	30 341 €	33 558 €	24 335 €	35 682 €	10 264 €	22 447 €	12 617 €			
Ecully	41 484 €		11 946 €	8 371 €		2 551 €	1 600 €	7 391 €			7 536 €				2 237 €	4 876 €		16 198 €	5 199 €					
Lyon centre/la doua - Prototype				21 186 €		4 400 €	3 134 €			8 465 €					22 304 €	2 504 €		5 379 €						
Chassieu / IUT	41 484 €	57 620 €	70 663 €	105 703 €	165 411 €	36 838 €	49 963 €	3 520 €	10 176 €	22 919 €	62 975 €	26 501 €	39 996 €	46 088 €	11 888 €	32 780 €	36 442 €	7 660 €	7 485 €	22 257 €	25 660 €			
Grézieu / Bv Yzeron	54 021 €	15 168 €	24 794 €	36 247 €	43 542 €	20 312 €	11 200 €	15 968 €	4 804,05 €	9 449 €	6 451 €	24 087 €	22 763 €	11 881 €	22 488 €	12 610 €	13 809 €	6 013 €	1 400 €	10 409 €	32 962 €			
Pluviométrie	19 295 €				1 535 €												- €			4 594 €				

[6] 1998 : date de montage de l'observatoire avant constitution officielle de la fédération d'équipes de recherche OTHU en 1999

Analyse des dépenses d'investissement sur 2017/2021 :

Le budget d'investissement de l'OTHU était en diminution depuis 2013 jusqu'à 2016. Cette diminution est principalement due à une adaptation au budget disponible. On peut constater qu'au cours de cette période, la source majeure de financement en termes d'investissement restait la Métropole de Lyon et l'agence de l'Eau. En 2017, des moyens complémentaires ont été obtenus dans le cadre du CPER jusqu'en 2021 ciblés uniquement sur le campus de la Doua et Chassieu, permettant de faire face à l'arrêt des crédits d'investissement Métropole de Lyon.

On peut constater que les dépenses d'équipement ont été largement utiliser pour renouveler équipement de Chassieu, la création du site Ecocampus, le recreusement de piézomètres sur l'IUT, et notamment l'acquisition d'appareil analytique au sein des laboratoires membres sur le campus.

Une forte interrogation, reste à venir sur le financement des investissements futurs et le renouvellement d'équipements, les crédits CPER s'arrêtant fin 2021. D'autres sources de financement sont à trouver pour après 2021 pour l'Ecocampus, mais aussi pour les autres sites qui n'ont plus de financement depuis 2019.

4 ANNEXE 4 | DOCUMENTS COMPLÉMENTAIRES CONSULTABLES

De nombreux documents sont consultables en ligne sur le site web de l'observatoire pour compléter les informations fournies par ce rapport :

http://www.othu.org

- **La plaquette synthétique de présentation de l'Observatoire**
  http://www.graie.org/othu/pdfothu/PLAQUETTEothu-2020.pdf

- **Guides et fiches techniques OTHU**

  Au-delà des publications traditionnelles des laboratoires de recherche, et des rapports d'activité annuels, les membres de l'OTHU ont décidé de rédiger des documents de synthèse par action de recherche finalisée ("Les fiches techniques de l'OTHU"). Ces documents de synthèse sont destinés aux gestionnaires de système d'assainissement (et éventuellement aux gestionnaires de milieux naturels). Vous trouverez également sur cette page d'autres documents de synthèse et guides, tel que la Synthèse opérationnelle du programme de recherche MicroMegas| Devenir des micropolluants au sein des ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source ou centralisés |Septembre 2020

  http://www.graie.org/othu/publi3_FTech.htm

- **Quelques photos et video realisé en appui sur l'OTHU**
  http://www.graie.org/othu/images.htm

- **Les recherches associées à l'observatoire et les differents programmes finalisés successifs**
  http://www.graie.org/othu/progr_0.htm

- **Rapports d'activités scientifiques précédent**
  Sont téléchargeables sur cette page, les rapports d'activité scientifiques de l'OTHU ainsi que le programme de recherche finalisé de l'observatoire dont la finalité est de construire et de mettre en œuvre les actions de recherche en appui sur les données de l'observatoire
  http://www.graie.org/othu/publi2_rapport.htm

OTHU

OBSERVATOIRE
DE TERRAIN
EN HYDROLOGIE
URBAINE

L'OTHU vu par les acteurs de l'eau ?

Pour les Collectivités : des connaissances et des outils, des méthodologies pour mieux gérer et mieux maitriser les rejets d'eau en ville.

Pour les Exploitants : des nouvelles solutions de conception, de gestion, de suivi des dispositifs d'assainissement surtout par temps de pluie.

Pour les Chercheurs : des recherches pluridisciplinaires, des sites instrumentés, des données acquises depuis plus de 20 ans, un réseau d'acteurs scientifiques et opérationnels, des moyens de diffusion et de valorisation des résultats.

www.othu.org

Etablissements Membres

INSA · Lyon 1 · INRAE · VetAgro Sup · ENTPE · CENTRALE LYON · JEAN MOULIN · UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2 · brgm · graie

Partenaires

GRANDLYON la métropole · agence de l'eau · La Région Auvergne-Rhône-Alpes

En lien :

Zone Atelier · cnrs · IMU · H2O'Lyon · ÉCOLE URBAINE DE LYON

Co-présidents de l'Observatoire OTHU
Flora BRANGER - INRAe - RiverLy HyBV
Gislain LIPEME KOUYI- DEEP - INSA de Lyon

Directeur scientifique de la FED 4161
Gislain LIPEME KOUYI- DEEP - INSA de Lyon

Directrice exécutive de l'OTHU
Laëtitia BACOT - GRAIE

Responsable technique métrologie et gestion des données OTHU
Nicolas WALCKER – INSA LYON DEEP

CONTACTS : graie GROUPE DE RECHERCHE ANIMATION TECHNIQUE ET INFORMATION SUR L'EAU

Domaine scientifique LyonTech la Doua - 66 bd Niels Bohr
C.S. 52132 - 69603 Villeurbanne Cedex – France
Tél : 33 (0)4 72 43 63 02 - **E.mail : info@othu.org**

flickr
https://www.flickr.com/gp/118101847@N03/7s01m

twitter
@LaetitiaBacot

© Crédits Photos GRAIE OTHU | Edition nov 2021