



RAPPORT
SCIENTIFIQUE
ETUDES 2017 - 2018

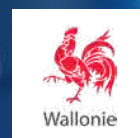


TABLE DES MATIÈRES

<i>Introduction</i>	p. 6
<i>Présentation de l'ISSeP</i>	p. 7

NOS PROJETS DE RECHERCHE

SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR p. 12

<i>ACTRIS - Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure Network</i>	p. 13
<i>ExTraCar - Exposition, trafic et carbone noir</i>	p. 16
<i>ICOS-WB - Système intégré d'observation du carbone en Fédération Wallonie-Bruxelles</i>	p. 20
<i>INDAIRPOLLNET - Indoor AIR Pollution Network</i>	p. 22
<i>OIE - Outdoor and Indoor Exposure</i>	p. 24
<i>REFGAZ - Recherche sur l'Équivalence du FTIR pour l'analyse des GAZ à l'émission</i>	p. 28
<i>SMART'IN AIR - Smart Indoor air monitoring network to reduce the impacts of pollutants on environment and health</i>	p. 30
<i>SPECIMEN - Étude de spéciation des particules en suspension dans l'air ambiant en Région wallonne</i>	p. 32
<i>µANALYSE - Microanalyse particulaire dans le cadre du contrôle de la qualité de l'air</i>	p. 36

SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'EAU p. 40

<i>BIODIEN - Recherche de perturbateurs endocriniens et d'autres substances d'intérêt récent dans les eaux en vue de la protection de la santé publique et de l'environnement</i>	p. 41
<i>ECHAPA - Évaluation de l'apport potentiel des échantillonneurs passifs et intégrateurs dans les stratégies de contrôle de la qualité des eaux de surface en Région wallonne</i>	p. 44
<i>NANH2O - Élaboration d'un protocole de caractérisation des nanoparticules dans les eaux naturelles et étude du transfert des nanoparticules dans les aquifères</i>	p. 47

CARACTÉRISATION DES MATIÈRES SOLIDES : SOLS, SÉDIMENTS, DÉCHETS ET C.E.T. p. 50

<i>BioBoS - Production de Biodiesel à partir de Boues de Station d'épuration (STEP)</i>	p. 51
<i>CAARWAL - Caractérisation multi-échelle des principaux anthroposols artificiels rencontrés en Région wallonne</i>	p. 54
<i>GISSEd - Développement d'outils d'évaluation des variations qualitatives et quantitatives des gisements de sédiments dans les cours d'eau navigables et non navigables. Identification des interactions entre les deux gisements via les phénomènes de transport</i>	p. 57
<i>PADI - Programme d'Aide au Développement de l'Irrigation au Burkina Faso</i>	p. 60
<i>VALSE - Valorisation transfrontalière de sédiments et de matières assimilées</i>	p. 64

OBSERVATION DE LA TERRE p. 66

<i>COPERNICUS - Intégrer les données satellitaires dans le suivi dynamique de l'environnement</i>	p. 67
<i>SMARTPOP - Planifier spatialement la croissance de la population en Wallonie, et en particulier à Liège, pour façonner les Smart Cities</i>	p. 71

ÉVALUATION ET PREVENTION DES RISQUES CHRONIQUES ET DES NUISANCES p. 76

<i>ALARM - Pour une sécurité sans frontière</i>	P. 77
<i>BIOCLOUD 4.0 – Solution IT (technologie de l'information) globale de nouvelle génération, centrée sur le patient, à destination du secteur des biotechnologies</i>	p. 80
<i>Biomonitoring d'une population de cultivateurs urbains à risque vis-à-vis des métaux lourds (Volet Environnement-Santé du projet SANISOL)</i>	p. 83
<i>CARIBOUH - Caractérisation et influence des boues de STEP sur la santé humaine</i>	p. 85
<i>ExpoComm - Acceptabilité d'un protocole d'exposition aux radiofréquences : évaluation et communication</i>	p. 88
<i>EXPOPESTEN (EXposition de la POpulation aux PESTicides ENvironnementaux) - VOLET 1</i>	p. 91
<i>EXPOPESTEN (EXposition de la POpulation aux PESTicides ENvironnementaux) - VOLET 2</i>	p. 94
<i>MICROPLAST - Évaluation de l'occurrence des particules de microplastiques dans le tube digestif des poissons et invertébrés dulcicoles ainsi que de la présence d'agents plastifiants chez ces organismes</i>	p. 97
<i>NANOBIOM - Wood pellets & biomass : NPs release along the life cycle & environmental balance</i>	p. 100
<i>NANOGRA - Evaluation pluridisciplinaire des risques liés aux nanomatériaux</i>	p. 102
<i>PROPULPPP - Objectiver l'exposition des populations aux pulvérisations de produits phytopharmaceutiques en Wallonie et recommander des mesures de protection destinées à limiter cette exposition</i>	p. 107
<i>SIGEnSa - Identifier les points noirs environnementaux à l'aide d'un outil web cartographique</i>	p. 110
<i>STEP-PE - STation d'ÉPuration : leur impact sur la Perturbation Endocrinienne en milieu aquatique en Région wallonne et leur efficacité de traitement</i>	p. 113

ÉVALUATION ET PRÉVENTION DES RISQUES GÉOLOGIQUES ET MINIERS p. 116

<i>SMARTWATER - Développement d'un système de régulation des réseaux électriques par intégration de sites carriers et souterrains, pour le stockage énergétique par turbinage-pompage hydroélectrique</i>	p. 117
<i>RADAR - Prénormatisation NBN - Radar de sol - Développement de la technique géoradar en auscultation de routes, détection des impétrants</i>	p. 120

<i>Publications de 2015 à 2018</i>	p. 123
--	--------



INTRODUCTION

Bénédicte HEINDRICHS, Directrice générale de mai 2015 à mai 2020



« L'année 2019 aura été une année riche en challenges et en accomplissements. Tout d'abord, parce que, dès le début de l'année, nous avons augmenté notre effectif de projets de 50 % grâce au Plan wallon Environnement-Santé (Plan ENVleS) qui vise à étudier et limiter les risques environnementaux sur la santé humaine. Ceci nous permet d'augmenter considérablement le nombre de partenariats, de participations à des événements internationaux ou de publications scientifiques. La visibilité accrue de l'Institut est également perceptible par le nombre croissant de sollicitations de la part de la presse régionale et nationale.

Ensuite, parce que ce plan englobe de nombreux projets intégrant les sciences participatives. Celles-ci permettent de multiplier le nombre de données, ou encore de développer des méthodes de recherche innovantes, mais demandent aussi un énorme investissement de la part de nos agents pour, soit comprendre ou élaborer des nouveaux protocoles, soit gérer la visibilité et les contacts avec les citoyens que ces projets occasionnent. Les ponts entre l'environnement et la santé humaine sont désormais légion au sein de nos études.

Nous aurons également connu quelques crises sanitaires environnementales avec des répercussions en Wallonie, confirmant la nécessité d'un organisme d'étude dynamique et à la pointe, prêt à répondre aux priorités. Notre devoir est, d'une part, de fournir aux politiques publiques des données scientifiques précises, pertinentes mais aussi innovantes, et, d'autre part, d'être un organisme de référence en recherche pour répondre aux priorités environnementales.

A la lecture de ce rapport, je me réjouis de la diversité des compétences de l'ISSeP qui apportent une vision globale, ainsi que de l'approfondissement continu d'une expertise, tous deux, des atouts incontournables pour une sentinelle de l'environnement telle que cet institut scientifique.

Je vous souhaite une agréable lecture. »

Bénédicte HEINDRICHS

Rose DETAILLE, Directrice générale depuis le 1^{er} juin 2020



« Le Gouvernement wallon m'a désignée comme directrice générale de l'ISSeP avec prise de fonction le 1^{er} juin 2020. Cet Institut me tient particulièrement à cœur, y ayant déjà travaillé plus de 20 ans. Pouvoir le diriger, connaissant sa valeur et la compétence de son personnel, est une chance. La plus-value de l'ISSeP est liée à sa pluridisciplinarité et loin de s'arrêter à la caractérisation de l'environnement et à fournir des données de qualité à ses partenaires tant privés que publics, il est capable d'évaluer les évolutions de celles-ci et de fournir des scénarii prédictifs dans une perspective de gestion des risques, son deuxième corps de métier. Son rôle peut s'avérer particulièrement important pour aider à la triple ambition de la Wallonie de réaliser sa transition sociale, économique et

écologique, avec de nombreux défis à relever. Je remercie Bénédicte Heindrichs pour le travail réalisé lors de la mandature précédente et j'ai hâte de pouvoir entamer de nouveaux projets pour l'ISSeP. »

Rose DETAILLE

PRÉSENTATION DE L'ISSEP

L'ISSEP comprend aujourd'hui 300 agents qui exercent des activités scientifiques et techniques de pointe dans le domaine environnemental sur les sites de Liège et de Colfontaine. Il œuvre plus que jamais à fournir des données scientifiques fiables, actuelles, innovantes et pertinentes.

La métrologie environnementale est d'une importance fondamentale pour comprendre les changements de la terre et de son climat. Les décisions prises en matière de politique environnementale sont garantes du bien-être et de la sécurité des générations futures. Pour définir les bonnes actions, les décideurs, les sociétés et les citoyens doivent recevoir des informations fiables et régulières.

L'ISSEP surveille en continu la qualité de différents milieux environnementaux pour la Wallonie, tels que l'air, les eaux, le sol, les déchets et les sédiments. Il s'agit de programmes d'études visant à diagnostiquer l'état chimique, physique, écologique, ou encore sanitaire.

Au-delà de la caractérisation des matrices environnementales, l'institut développe des compétences en caractérisation de sources de danger et en évaluation des risques pour l'homme et les écosystèmes qui y sont liés. Dans ce cadre, il utilise différents outils d'expérimentation ou d'exploitation et de modélisation des données de mesure pour notamment caractériser l'aléa d'effondrement de cavités souterraines et d'occurrence d'accidents industriels ou l'exposition chronique à des agents chimiques ou physiques.

L'ISSEP développe de nombreux projets de recherche axés sur l'environnement, où des nouvelles substances chimiques sont produites chaque jour. Les caractériser de manière fiable, prévoir leur évolution et identifier les risques qui y sont associés, demande la collecte de nombreuses données. Des techniques d'acquisition et de traitement de ces données doivent être mises au point. Relever ce défi nécessite de développer la recherche de manière constante. L'ISSEP initie ainsi des projets de recherche sur fonds propres (Moerman) ou participe à des programmes de recherche régionaux, nationaux et européens.

SURVEILLANCE DE L'AIR

Qualité de l'air

L'ISSEP gère les réseaux de mesures de la qualité de l'air. Ceux-ci permettent de vérifier le respect des réglementations européennes. Ils servent également à informer la population en cas de dépassement (pic d'ozone, alerte smog).

Modélisation

La modélisation permet de cartographier les données par interpolation des mesures ponctuelles, et

également de prévoir les concentrations futures en simulant les processus physiques et chimiques de l'atmosphère.

Émission atmosphérique

L'ISSEP réalise également des mesures aux sources fixes (cheminées industrielles) tant pour l'Administration que pour le privé. Ces mesures permettent de vérifier le respect des permis d'exploiter de ces industries.

SURVEILLANCE DE L'EAU

Qualité des eaux

L'ISSeP contribue à l'effort de mise en œuvre de la *Directive Cadre sur l'Eau* et de ses directives-filles (directives européennes) en assurant l'exploitation des réseaux de surveillance des masses d'eaux souterraines et de surface, des eaux de baignade et des eaux de rejets. L'ISSeP prend

en charge les prélèvements, les analyses physico-chimiques, microbiologiques et la caractérisation écotoxicologique d'échantillons aqueux de différents types. L'Institut effectue également le contrôle des eaux de piscine et jacuzzi ainsi que des analyses chimiques dans les biotes (poissons et invertébrés) prélevés ou engagés dans les rivières.

SURVEILLANCE DES SOLS, DÉCHETS ET SÉDIMENTS

Qualité du sol

L'ISSeP accompagne différents services de l'Administration dans la gestion des sols et des sous-sols et réalise, d'une part, une mission de contre-expertise des études produites par les experts agréés en apportant un appui technique à la DG03. D'autre part, différentes compétences internes (laboratoires, mesures et prélèvements) sont utilisées pour investiguer les sites publics et produire une première estimation de la situation environnementale dans le cadre des subventions octroyées par la DG04.

Déchets et installations de leur traitement

L'ISSeP assure le suivi environnemental des centres de traitement de déchets en Wallonie, en particulier

les centres d'enfouissement technique (C.E.T.), portant sur la gestion de la fin de vie des déchets et sur l'utilisation des déchets en tant que ressources (*End of Waste, By-Products*).

Qualité des sédiments

L'ISSeP contrôle la qualité chimique des sédiments des voies navigables et non navigables wallonnes. Par leur faible relief, celles-ci recueillent un apport important de matières en suspension d'origines naturelle ou anthropique qu'il y a lieu d'extraire régulièrement. Les sédiments sont également au cœur de projets de recherche qui prospectent des débouchés pour la valorisation des volumes considérables générés par les opérations de dragage.

OBSERVATION DE LA TERRE

Téledétection et géodonnées

Cette cellule de l'ISSeP est spécialisée dans l'analyse et l'intégration des données de terrain et acquises par téledétection (drone, avion ou satellite). La spécificité et la fréquence de mise à jour de ces données offrent des perspectives d'amélioration de nos outils d'aide à la décision en matière environnementale, en Wallonie comme à l'international. L'ISSeP développe ses compétences techniques dans le domaine spatial et met à profit sa connaissance des services publics wallons pour jouer le rôle de relais officiel de

Copernicus, programme de l'UE pour l'observation et la surveillance de la Terre, entre l'administration wallonne et les acteurs internationaux.

Cartographie

L'ISSeP développe des outils de cartographie des données spatiales permettant, par exemple, la visualisation de données locales ou communales (données satellites, données de mesure, localisation, modélisation), le tout représenté sous forme de cartes détaillées.

LABORATOIRES TRANSVERSAUX

Chimie minérale

Laboratoire d'analyse qui permet la caractérisation de tout type de matrices environnementales par les composés inorganiques.

Chimie organique

Laboratoire d'analyse dont le rôle est de caractériser les micropolluants organiques reconnus (hydrocarbures, HAP, PCB ...) mais aussi émergents (phtalates, perfluorés, parabènes ...) dans les matrices environnementales.

Microbiologie

La microbiologie à l'ISSeP a pour rôle de détecter ou de dénombrer les microorganismes pathogènes ou non, présents dans divers types d'eaux.

Écotoxicologie

Laboratoire impliqué dans l'analyse des risques environnementaux et écotoxicologiques. Il étudie l'impact de polluants (rejets industriels, sédiments contaminés, etc.) est évalué par l'ISSeP, sur différentes populations représentatives des écosystèmes aquatiques. Ces études sont menées au moyen d'une batterie de bio-essais (bactéries, algues, rotifères, daphnies) et d'un test permettant de détecter la présence de perturbateurs endocriniens dans le milieu. Le laboratoire d'Écotoxicologie étudie également l'accumulation de substances prioritaires dans les poissons et les invertébrés prélevés dans les rivières ou placés in situ (par encagement).

EVALUATION ET PRÉVENTION DES RISQUES

Dans son acception moderne, le mot risque possède deux sens distincts : il désigne à la fois la possibilité d'un danger et en même temps les conséquences potentielles occasionnées par ce danger. Dans le premier cas, la définition met l'accent sur la source du risque, dans le second, elle se focalise sur la cible exposée au risque. Le risque porte à la fois la notion de danger et la notion d'exposition.

Ce double sens a eu une influence sur la construction des approches contemporaines de prévention et gestion des risques. Un événement potentiellement dangereux ne génère un risque que s'il est susceptible de porter atteinte à des enjeux humains, environnementaux, économiques.

Le monde dans lequel nous vivons est confronté à une multitude de risques :

- risques naturels;
- risques liés à l'exploitation d'installations ou d'ouvrages;
- risques d'atteintes à l'environnement;
- etc.

Face à l'ensemble de ces risques, une même démarche s'applique : identifier, quantifier, hiérarchiser, maîtriser et gérer. Ce sont les méthodes d'identification de dangers appliquées qui sont spécifiques à la nature du risque, à la discipline particulière. Ces démarches, l'ISSeP les applique aux risques suivants.

Risques chroniques, sanitaires et environnementaux

Les risques chroniques résultent de l'exposition des êtres humains et des écosystèmes aux variations de notre environnement induites par les différentes formes de pollution chimiques (émission de substances toxiques dans les différentes matrices environnementales), physiques (rayonnements) ou biologiques.

Leur évaluation nécessite de maîtriser les étapes suivantes :

- identification des dangers, c.-à-d. des propriétés intrinsèques d'une substance ou du phénomène physique susceptible de causer des effets néfastes à l'organisme vivant qui y est exposé;
- détermination de la relation dose/effet;
- estimation des expositions;
- caractérisation du risque, c'est-à-dire de la probabilité de survenue d'effets.

Risques sous-sol

Les risques géologiques et miniers sont induits par la présence dans le sous-sol de sources de danger liés notamment à la présence de vides naturels ou anthropiques qui peuvent donner lieu à des effondrements ou affaissements, à des modifications des écoulements souterrains, à l'altération de la qualité des aquifères souterrains ou encore à des émanations de gaz.

Leur étude requiert de réaliser une estimation aussi précise possible de :

- l'aléa, basée sur l'exploitation de données récoltées au cours de campagnes d'investigation sur site et sur le recours à des outils de modélisation;
- la localisation et la vulnérabilité des zones susceptibles d'être impactées.

Risques accidentels

Les risques accidentels sont souvent liés à l'exploitation d'installations industrielles ou de transport dans lesquelles sont manipulées des substances dangereuses. Leur estimation se compose des activités suivantes :

- définition des scénarios d'accidents;
- identification des causes et des conséquences des scénarios d'accidents;
- estimation de la probabilité et de la gravité de ces scénarios.

Dans ce domaine, l'Institut s'est spécialisé dans l'octroi de certification pour les risques incendie/explosion, les expertises post-sinistre, les contrôles d'équipements ou encore l'analyse d'explosivité de nanoparticules.

PRÉLÈVEMENTS

Notre équipe d'une trentaine de préleveurs parcourt la Région wallonne pour récolter les échantillons d'eau, d'air, de sol, de déchets ou de sédiments

pour les envoyer en analyse. Ils récoltent également les données enregistrées par les stations fixes de monitoring.

RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT

Chaque activité traitée à l'ISSeP, lui permet d'acquérir une expertise. Celle-ci est mise à profit de travaux de recherche, qu'ils soient initiés et financés par l'ISSeP ou qu'ils fassent partie de programmes de recherche tels que INTERREG, FEDER, ESFRI, etc.



NOS PROJETS DE RECHERCHE

**SURVEILLANCE DE
LA QUALITÉ DE L'AIR**

ACTRIS - AEROSOLS, CLOUDS, AND TRACE GASES RESEARCH INFRASTRUCTURE NETWORK

Intervenants ISSeP : Benjamin BERGMANS, Fabian LENARTZ, Didier MUCK

Durée : ACTRIS 1 (2010 – 2014) – ACTRIS 2 (2015 – 2019) – ACTRIS RI en attente d'approbation (2020 – 2045)

Partenaires : CNR, CNRS, UJF, ULille, UBP, UR, TROPOS, NOA, NILU, FMI, PSI, UHEL, EMPA, ECMWF, MET, INOE, LMU, UVA, AEMET, UGR, UPC, BSC, CIEMAT, INTA, CSIC, KNMI, TUD, TNO, UU, EGN, CHMI, ICPF, CVGZ, ULUND, Cyl, RIUUK, DWD, ULeeds, UYORK, STFC, UREAD, UHERTS, NERC, UPAC, IPNASB, CNISM, INRNE, NUIG, IG PAS, IEE PAS, IMWM-NRI

INTRODUCTION

ACTRIS est une infrastructure de recherche distribuée, en support des recherches sur le climat et la qualité de l'air. Elle permet d'améliorer la compréhension de l'évolution passée, présente et future de la composition atmosphérique.



ACTRIS fournit des informations sur la variabilité 4-D des espèces à temps de vie réduit avec la précision et la qualité requises par les utilisateurs ainsi que des moyens d'exploration sur les processus atmosphériques. ACTRIS opère des plateformes centrales (centres de données, centres de calibration) et fournit des services destinés à une large communauté d'utilisateurs travaillant sur les modèles chimie/climat, sur la validation des données satellitaires ou sur l'analyse de la prévision du temps ou de la qualité de l'air.

Enfin, ACTRIS offre des modalités d'accès à des plateformes technologiques d'observation et d'exploration au service des communautés scientifiques et du secteur privé favorisant ainsi l'innovation technologique.

Enjeux scientifiques et sociétaux :

- Mieux caractériser les forçages climatiques (gaz réactifs, aérosols, vapeur d'eau), surveiller leurs évolutions, évaluer l'efficacité des scénarios de réduction ;
- Mieux comprendre les réponses du système climatique à ces forçages (nuages, vapeur d'eau, précipitations, composition atmosphérique, dynamique, ...), étudier les processus atmosphériques, rétroactions, couplages, surveiller leurs évolutions, comprendre la variabilité climatique ;
- Améliorer la prévision météorologique, climatique et de la qualité de l'air ;
- Développer des approches intégrées sur toute la colonne d'atmosphère, sur des sites représentatifs, en traitant les interactions entre variables (physique, chimie...), entre compartiments (sol, atmosphère, océan), et entre échelles spatiales et temporelles ;
- Combiner les données des SNO avec les observations opérationnelles (moyens-sol) et les observations par satellites.

Objectifs :

- Coordonner les services nationaux d'observations atmosphériques pour assurer la pérennité de la surveillance du climat, de la composition atmosphérique ;
- Coordonner les infrastructures d'observation pour assurer l'accès des utilisateurs à ces infrastructures et services ;
- Maintenir un leadership français dans la structuration européenne et permettre la portabilité à l'Europe des infrastructures nationales ;
- Articuler recherche et opérationnel, moyens-sol et spatial ;
- Développer une gouvernance/coordination au niveau national de l'ensemble des infrastructures et services.

MÉTHODOLOGIE

Le but du projet est de mettre en commun les expertises et équipements d'un large consortium de partenaires au niveau européen afin de créer une infrastructure de recherche permanente sur la mesure de la qualité de l'air (aérosol et gaz). ACTRIS 1 a permis d'établir les codes de bonnes pratiques (protocole, choix des instruments, QA/QC ...) dans le domaine. La plupart servent maintenant de base à la rédaction des normes de référence et standard européens. Il permet également de bénéficier du support de différents centres de calibrations et de participer de manière récurrente à des essais inter-laboratoires (ACTRIS 2).

Le programme favorise également la formation et l'échange entre différents centres de recherche à l'échelle européenne et il a débouché sur de nombreuses collaborations et publications scientifiques. Les données de la station de Vielsalm, station EMEP et station de fonds de référence pour la Wallonie, sont reprises au travers de notre participation dans ACTRIS, au niveau des bases de données européennes. Ce projet permet également à l'ISSeP de bénéficier d'un appui scientifique et technique de haut niveau et de faire reconnaître son savoir-faire à l'échelle internationale. Il facilite également l'accès à d'autres réseaux européens.

En tant que membre associé, l'ISSeP contribue à ce projet depuis 2012, La dernière phase en cours de préparation (ACTRIS RI) cherche à faire reconnaître les activités des partenaires, dont le consortium belge dont l'ISSeP fait partie, en tant qu'installation permanente d'observation européenne (ESFRI).



Figure 1 – Équipements de la station ACTRIS de Vielsalm

SUMMARY

ACTRIS – Aerosol, Clouds and Trace Gases - is the pan-European research infrastructure that consolidates activities amongst European partners for observations of aerosol, clouds and trace gases and for understanding of the related atmospheric processes, to provide RI services to wide user groups. *ACTRIS* is composed of 9 connected elements : distributed National Facilities (Observational platforms and Exploratory platforms) both in Europe and globally, and 8 Central Facilities (Head Office, Data Centre and 6 Topical Centres). *ACTRIS* provides access to its facilities, open-access data, measurement support, instrument calibration and development, and training to various user groups. By providing data and access, *ACTRIS* enhances science, but it also generates and disseminates knowledge, boosts technological development, and creates human capital and jobs for the benefit of the society. *ACTRIS* will positively impact on e.g. human health, climate resilience, and protection from environmental hazards and reduction of air pollution. *ACTRIS* has been selected to the ESFRI roadmap in 2016 as mature enough to be fully implemented within the next ten years. ISSeP is associate partner of *ACTRIS* since 2010 and member of the *ACTRIS* RI Belgian consortium who try to join other European countries to form the future European research Infrastructure expected to start in 2020.

EXTRACAR - EXPOSITION, TRAFIC ET CARBONE NOIR

Intervenants ISSeP : Fabian LENARTZ, Luc BERTRAND, François DETALLE, Nicolas FERNÉMONT

Durée : 2015-2018

Partenaires : Bruxelles environnement, ULiège, IMol (Institut pour la Mobilité)

INTRODUCTION

ExTraCar se focalise sur le carbone noir, en anglais *Black Carbon* (BC), la fraction carbonée et de couleur noire des particules fines, en anglais *Particulate Matter* (PMx), provenant d'une combustion incomplète. En soi, ce polluant d'origine essentiellement anthropique ne présente pas une toxicité supérieure à celle des PM2.5 dans leur ensemble mais il est habituellement le vecteur d'autres composants particulièrement toxiques tels que les métaux lourds ou les hydrocarbures aromatiques polycycliques reconnus comme cancérigènes par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Vu qu'il n'est pas encore règlementé par une directive européenne, le réseau de surveillance de la qualité de l'air ne compte actuellement que trois sites de mesure du BC en Wallonie, ce qui ne permet ni d'avoir une image précise des concentrations sur l'ensemble de la région, ni de déterminer les zones les plus problématiques au sein d'une commune. Dans le cadre de cette étude, l'ISSeP a travaillé sur ce second point en se concentrant sur sa mesure à l'aide d'appareils portables, sa représentation cartographique à grande échelle, sa représentativité spatiotemporelle et sa modélisation, avec, en plus, une approche de l'exposition au cours de l'activité transport.

Par des campagnes de mesures à très haute résolution spatiale, le long de parcours ciblés au cœur de la ville de Liège et depuis sa périphérie jusqu'à son centre, les équipes de l'ISSeP ont dressé une première image des concentrations types dans diverses zones de l'agglomération et ont localisé les points noirs. Ensuite, par la modélisation, elles ont estimé, sur base des émissions, des conditions météorologiques, de la configuration du bâti et de mesures en stations fixes, les concentrations au sein de plusieurs zones de la ville. Les mesures répétées au cours d'expériences de quelques heures, où jusqu'à six jeux d'instruments ont été utilisés simultanément, ont servi à la calibration du modèle. Ensuite, une généralisation du système de modélisation a permis de proposer, à l'échelle de l'agglomération liégeoise, une image plus complète des concentrations additionnelles de carbone noir dues au trafic.

Le projet *ExTraCar* propose une solution informatique pour évaluer l'impact du trafic sur les niveaux de pollution atmosphérique en carbone noir, adaptable à chaque commune wallonne, moyennant la fourniture de données d'entrée ad hoc. Ceci ouvre la voie à une meilleure collaboration encore entre autorités communales et régionales dans la gestion de la problématique de la qualité de l'air.

MÉTHODOLOGIE

Les deux approches envisagées sont la mesure et, secondairement, la modélisation.

Mesure

Pour cette mesure, nous utilisons comme appareils portables les aethalomètres AE51, développés par

AethLabs et des GPS DG200 de chez *GlobalSat* (Figure 1). L'appariement temporel des séries enregistrées par ces deux instruments permet alors de cartographier les concentrations en BC.

Une attention particulière doit être prêtée à :

- la bonne synchronisation des horloges internes ou externes de ces appareils pour éviter une mauvaise localisation ; un décalage de 1 s peut mener, une fois les données reportées sur une carte, à un décalage spatial d'environ 1,5 m pour un marcheur, 5 m pour un cycliste et 10 m pour un automobiliste ;
- la comparabilité des AE51, en réalisant des tests réguliers, pour s'assurer de la cohérence des signaux et quantifier la dispersion des résultats par rapport à leur variabilité temporelle (Figure 2). Comme il n'existe pas de méthode de référence pour la mesure du BC, les chercheurs de l'ISSeP se sont surtout intéressés aux résultats relatifs des analyseurs portables ;
- la signification du signal BC, en lui appliquant un traitement adapté. En pratique, il s'agit de moyenner le signal en utilisant une base temporelle variable et dépendant du canal d'atténuation de l'AE51. En plus de réduire le bruit, l'*Optimized Noise-reduction Algorithm* réduit également le nombre de valeurs négatives, physiquement inadmissibles.

Les deux principales campagnes réalisées consistaient en des mesures :

- le long de 6 boucles urbaines variées en termes d'émissions locales, de relief et d'encaissement des rues (Figure 3 et Tableau 1) ;
- le long de trajets "Domicile-ISSeP" en utilisant des modes de transport différents en ne forçant pas le passage par des mêmes rues mais en effectuant les choix naturels pour le navetteur, cycliste ou automobiliste.

Pour la première de ces deux campagnes l'ISSeP a veillé à répéter un grand nombre de fois les parcours, afin de couvrir plusieurs types de conditions météorologiques et réduire le poids d'événements ponctuels, tels que des embouteillages causés par des accidents, dans les statistiques déduites de nos jeux de données.

Au total, ce sont plus de 8000 km qui ont été parcourus pour réaliser les calculs de l'étude. Au tableau 1, les concentrations moyennes et leur écart-type sont

reportées pour les différents circuits en fonction de la stabilité atmosphérique ; les concentrations mesurées varient d'un facteur allant de 2 à 4 selon que les conditions atmosphériques sont instables ou stables.

Modélisation

Le modèle choisi pour calculer les incréments de pollution dus au trafic est CANSBC, développé à Bruxelles-Environnement (Brasseur et al., 2015) et se base sur les équations de dispersion implémentées dans le modèle danois OSPM (Berkowicz et al., 2008) pour calculer les concentrations en BC dans la direction transversale de la rue. Il permet de plus de distinguer la contribution directe des émissions du trafic de celle due à la recirculation causée par la présence de vortex. Son application nécessite un certain nombre de données d'entrée :

- le nombre de véhicules par heure et leur vitesse moyenne ;
- les dimensions caractéristiques de la rue : la hauteur du bâti de chaque côté ;
- la largeur de la rue (distance d'une façade à l'autre) ; et le nombre de bandes de circulation ;
- la vitesse moyenne et la direction moyenne du vent au niveau des toits ;
- les concentrations de fond en BC.

L'application de celui-ci à une zone d'extension limitée et en utilisant des facteurs d'émission calibrés sur base d'une campagne de mesure en rue canyon donne le résultat affiché à la figure 4.

Exposition

En plus d'une campagne de participation citoyenne durant laquelle les appareils de l'ISSeP étaient confiés à des volontaires pour réaliser des mesures de chacun de leurs trajets à vélo, une étude de l'exposition au carbone noir selon le moyen de transport a également été menée entre Soumagne/Herstal et l'ISSeP.

Les résultats du trajet "Soumagne-ISSeP" sont exposés à la figure 5 ; on y voit que les concentrations les plus élevées sont rencontrées en bus, en voiture puis à vélo, que les durées de trajet les plus longues sont celles en bus, puis à vélo et enfin en voiture et que le produit de ces deux paramètres nous donne une exposition la plus basse pour l'automobiliste, puis un peu plus élevée pour le cycliste et enfin une nettement plus élevée pour le navetteur en bus (facteur 3).



Figure 1 : De gauche à droite, GPS Globalsat DG200, analyseur de BC AethLabs AE51 et souris d'ordinateur pour donner une idée de la taille des instruments

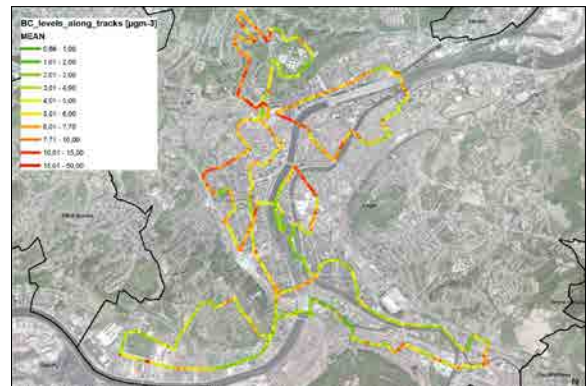


Figure 3 : Concentrations moyennes en BC mesurées le long des six boucles

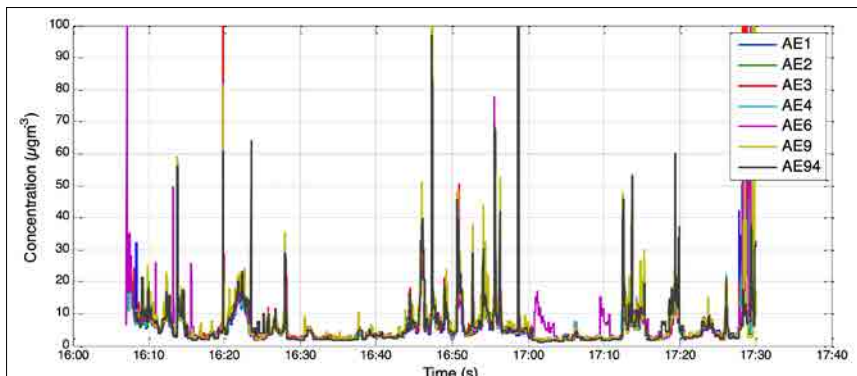


Figure 2 : Comparaison des données BC issues de 7 analyseurs portables de type AE51

	INSTABLE			NEUTRE	STABLE	
	A	B	C	D	E	F
Bellelle - Chênaie	2.33 (+/- 2.77)	-	-	2.60 (+/- 1.25)	2.29 (+/- 1.08)	4.45 (+/- 2.77)
Bressoux	-	3.09 (+/- 1.80)	-	4.09 (+/- 1.57)	5.22 (+/- 2.08)	-
Citadelle	-	2.19 (+/- 2.27)	-	5.20 (+/- 2.79)	4.64 (+/- 2.60)	7.93 (+/- 16.53)
Louvrex	-	2.17 (+/- 1.26)	-	3.99 (+/- 1.25)	5.46 (+/- 1.95)	8.11 (+/- 4.71)
Médiacité	1.99 (+/- 1.33)	2.48 (+/- 2.53)	2.75 (+/- 2.33)	3.50 (+/- 1.50)	3.41 (+/- 1.93)	5.78 (+/- 3.30)
Sclessin	-	-	1.86 (+/- 0.97)	2.47 (+/- 1.01)	2.07 (+/- 1.19)	6.55 (+/- 2.97)

Tableau 1 : Moyenne et écart-type pour les différentes boucles en fonction des conditions de dispersion



Figure 4 : Concentration additionnelle en BC due au trafic pour une zone d'extension limitée au centre de Liège

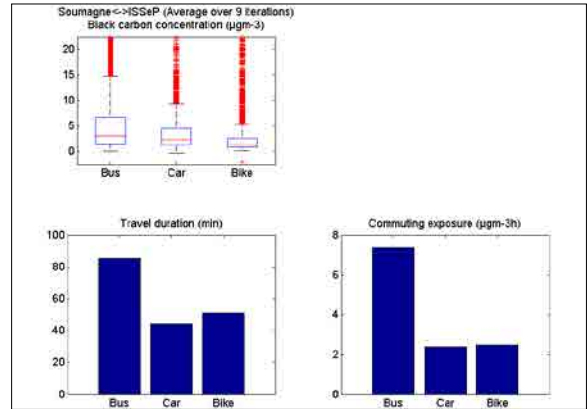


Figure 5 : Statistiques sur les concentrations en BC mesurées en fonction du moyen de transport utilisé entre Soumagne et l'ISSeP

SUMMARY

ExTraCar focuses on black carbon (BC), the black and carbonaceous fraction of particulate matter (PM) originating from incomplete combustion processes. Per se, this pollutant of mainly anthropogenic nature does not cause more adverse health effects than PM_{2.5}. However, it is usually associated with heavy metals and sometimes with polycyclic aromatic hydrocarbons, which are recognized carcinogen by the World Health Organization. Since BC is not regulated yet by the European air quality directive, this pollutant is continuously measured at only three stations of the monitoring network of Wallonia. It is therefore difficult either to evaluate BC concentrations over the whole region or to determine the neighborhoods of a city where the higher pollution levels are observed. In the framework of this project, we focused on the second topic; we used portable devices to measure BC, studied its spatiotemporal representativeness, mapped and modelled its concentrations, and also tried to estimate personal exposure to this pollutant during the transport activity. Through high-resolution measurement campaigns led along specific loops in the heart of Liège, or specific paths going from the suburbs to the city center, we have collected enough material to create a snapshot of the typical pollution levels in some parts of the city and pinpoint hot spots. Then, we have modelled the concentration of BC using emission data, meteorological observations, information about street and building configuration, as well as pollution records from fixed stations. Repeated measurements made during several short-term experiments, where up to six instruments were used simultaneously, were used to calibrate the model. Its generalization allows us to give an estimate, at the scale of a neighbourhood or a city.

ICOS-WB - SYSTÈME INTÉGRÉ D'OBSERVATION DU CARBONE EN FÉDÉRATION WALLONIE BRUXELLES

Intervenants ISSeP : Benjamin BERGMANS, Guy GÉRARD, Fabian LENARTZ

Durée : 2013-2020

Partenaires : ULIÈGE, GSF, LUEM, UOA, CRAW

INTRODUCTION

Le changement climatique est une problématique environnementale majeure. La cause principale est l'utilisation massive des combustibles fossiles qui émettent du CO₂, principal gaz à effet de serre (GES). Les océans et les écosystèmes terrestres jouent un rôle mitigeur important en absorbant une partie du CO₂ émis et en limitant ainsi l'impact de l'activité humaine.

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté jusqu'à atteindre en 2017 des niveaux sans précédent : plus de 400 ppm en CO₂. Elles ont progressé plus rapidement entre 2000 et 2010 (+2,2% par an) qu'au cours des trois décennies précédentes. Maintenir un réchauffement inférieur à +2°C de température moyenne, comme le stipulent les engagements pris lors de la conférence de Paris, nécessite de réduire les émissions mondiales de GES de 40 à 70%.

Mais comment vérifier les impacts des politiques de réduction adoptées sur l'atmosphère et le climat si on ne connaît pas parfaitement les échanges et le rôle mitigeur des écosystèmes ? Les phénomènes sont complexes et personne ne peut actuellement prévoir ce qui se passera dans le futur. Comprendre les facteurs contrôlant les échanges de CO₂ entre l'atmosphère et ces écosystèmes est donc indispensable. L'obtention de mesures de très hautes qualités à haut débit sur de longues périodes est utile afin de disposer d'une vue complète des phénomènes.

MÉTHODOLOGIE

L'infrastructure européenne *ICOS* répond à cette attente. Elle est constituée de réseaux organisés de mesures du cycle du gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les continents et les océans. *ICOS* est spécifiquement dédiée à la mesure des flux et des concentrations en dioxyde de carbone (écosystèmes, fuels fossiles et cimenteries), méthane (gaz naturel, agriculture et élevage), et oxyde nitreux (agriculture, fuels fossiles et feux) de 2016 à 2035.

ICOS est un projet à l'échelon européen et plus de 80 points de mesures seront bientôt déployés. L'infrastructure *ICOS* mobilise plus de 500 chercheurs et ingénieurs de 17 pays ; c'est un élément clé de la feuille de route européenne des infrastructures de recherche (ESFRI).

ICOS-WB apporte sa pierre à ce réseau européen. Grâce à ce projet, 3 stations (jeune forêt, forêt mature, grande culture) seront implantées en Wallonie, contribuant ainsi à ce projet environnemental de grande envergure.

SUMMARY

Climate change is one of the most critical issues to which humanity will be faced in the coming decades. It is extremely likely (IPCC, 2013) that the measured increase in global temperatures is due to the increase in the greenhouse gas (GHG) into the atmosphere due to human activities. Natural ecosystems (oceanic and terrestrial) reabsorb about half of the carbon dioxide emitted by anthropogenic emissions: they behave as carbon sinks. In their absence, atmospheric CO₂ concentration would grow twice as fast. However, processes involved are not well understood and it is not known if, in the future these sinks will increase, decrease or decay. It is thus necessary to better understand mechanisms of greenhouse gas emission and absorption by ecosystems and their long term changes. In this context, *ICOS* project establish an integrated, long term, CO₂ and GHG observation infrastructure at European scale to allow the determination of fluxes from observations and to relate them to emission and absorption processes. Thanks to *ICOS-WB*, 3 Walloon locations : Vielsalm (Mature mixed forest), Lonze (cropland) and Dorinne (Intensive grassland) will be added to the European network.



Figure 1 : Station de mesure ICOS de Lonze

INDAIRPOLLNET - INDOOR AIR POLLUTION NETWORK

Intervenant ISSeP : Benjamin BERGMANS

Durée : 2018-2022

Partenaires : ULIÈGE, GSF, LUEM, UOA, CRA-W

INTRODUCTION

Dans les pays développés, nous passons 90% de notre temps à l'intérieur, et c'est donc là que nous recevons la majeure partie de notre exposition à la pollution atmosphérique. Pourtant, la réglementation européenne se concentre principalement sur l'air extérieur et l'environnement intérieur est donc beaucoup moins bien caractérisé. Les concentrations de nombreux polluants atmosphériques peuvent être plus élevées à l'intérieur qu'à l'extérieur, en particulier après des activités telles que le nettoyage et la cuisson. Les mesures d'efficacité énergétique, prônée actuellement dans le cadre de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, rendent les bâtiments nettement plus étanches. Cela a pour effet d'augmenter encore davantage les concentrations de polluants intérieurs en cas d'absence de systèmes de ventilation contrôlée. La qualité de l'air intérieur étant devenue compétence régionale, un focus particulier doit être mis sur cet aspect et ce projet de recherche permet à l'ISSeP de se positionner de manière optimale sur ce nouveau créneau.

MÉTHODOLOGIE

La formule incompréhensible de la cause de fortes concentrations de polluants atmosphériques intérieurs sera améliorée par *INDAIRPOLLNET*. Il rassemblera des experts qui débattront ensemble de leurs expériences en laboratoire ou sur le terrain, mais aussi d'études de modélisation et d'autres mesures pertinentes pour la qualité de l'air intérieur. Cette action vise à faire progresser sensiblement le domaine de la science de la pollution atmosphérique intérieure, à mettre en évidence les domaines de recherche futurs et à combler le fossé entre la recherche et les entreprises afin d'identifier les stratégies d'atténuation appropriées qui optimisent la qualité de l'air intérieur. Le réseau comprend des experts en chimie, biologie, normalisation, caractérisation des particules, toxicologie, évaluation de l'exposition, génie civil, matériaux de construction, physique, ingénierie et ventilation ... Les résultats seront diffusés aux parties prenantes concernées telles que les architectes, les ingénieurs du bâtiment et les fabricants d'instruments.

La participation de l'ISSeP à ce consortium est importante car elle permettra d'identifier les polluants à cibler prioritairement, d'être au courant des dernières évolutions technologiques pour mesurer ceux-ci, de créer un réseau de contacts d'experts sur cette thématique, de connaître les moyens pour réduire les taux de pollutions et ainsi pouvoir informer de manière pertinente les différentes administrations wallonnes.

SUMMARY

In developed countries, we spend 80-90% of our time indoors, where we receive most of our exposure to air pollution. However, regulation for air pollution focuses mainly on outdoors and the indoor environment is much less well characterised. The concentrations of many air pollutants can be higher indoors than out, particularly following activities such as cleaning and cooking. With increasing climate change impacts, related energy efficiency measures are making buildings considerably more airtight. Such measures can increase indoor pollutant concentrations even further. Therefore, to reduce our exposure to air pollution, we must consider both the indoor and outdoor environments and the role of ventilation, in order to mitigate through appropriate building operation, use and design.

INDAIRPOLLNET will improve our understanding of the cause of high concentrations of indoor air pollutants. The overarching aim of this network is to define a blueprint for the optimal indoor air chemical characterisation campaign, which is relevant for the buildings we use and for the way that we use them. It will assemble experts in laboratory and chamber experiments, modelling studies and measurements of relevance to indoor air quality (IAQ), including outdoor air chemists. This Action aims to significantly advance the field of indoor air pollution science, to highlight future research areas and to bridge the gap between research and business to identify appropriate mitigation strategies that optimise IAQ. The findings will be disseminated to relevant stakeholders such as architects, building engineers and instrument manufacturers.

The network includes experts in chemistry, biology, standardisation, particulate matter characterisation, toxicology, exposure assessment, building materials (including those manufactured specifically to improve IAQ such as green materials), building physics and engineering (including ventilation and energy) and building design.



Figure 1 : Plus de 50 experts européens de la qualité de l'air intérieur réunis à York (UK) lors du second meeting du projet

OIE - OUTDOOR AND INDOOR EXPOSURE

Intervenants ISSeP : François DETALLE, Nicolas FERNEMONT, Fabian LENARTZ, Didier MUCK

Durée : 2017-2020

Partenaires : CENAERO, VITO, CECOTEPE, AwAC

INTRODUCTION

L'exposition de la population à la pollution atmosphérique est habituellement évaluée en croisant des données de qualité de l'air avec des cartes de densité de population. Les premières sont souvent des mesures ou des résultats de simulation numérique, pouvant présenter des motifs spatio-temporels très différents en fonction de l'approche adoptée, tandis que les secondes sont des informations liées aux adresses de résidence, et pour la plupart d'entre nous, ne reflètent pas notre exposition réelle.

Avec l'avènement d'instruments portables, les chercheurs de l'ISSeP ont décelé une opportunité sans précédent de mesurer la concentration des polluants dans l'air ambiant avec une haute résolution temporelle et en connaissant la position exacte du sujet porteur. De plus, si ce porteur écrit un journal d'activités, il est possible de discerner les situations en air intérieur et en air ambiant. Par ailleurs, l'augmentation des capacités de calcul des ordinateurs permet de réaliser, en opérationnel, des simulations à une résolution spatiale de l'ordre de la dizaine de mètres et temporelle de l'ordre de l'heure.

Dans ce projet en cours, nous étudions les différences qui peuvent apparaître dans le calcul de l'exposition de la population à la pollution quand on utilise des cartes de concentration différant par le moyennage temporel employé (annuel, journalier ou horaire), la complexité de la méthode d'interpolation ou de modélisation utilisée (plus proche voisin, krigeage, RIO, etc.) ou encore par la prise en compte du caractère non statique de la population d'une part, et des mesures réelles d'exposition d'autre part. Les zones considérées de ce travail sont les villes de Liège et de Namur.

MÉTHODOLOGIE

Les deux approches complémentaires envisagées dans OIE sont la mesure et la modélisation. Les polluants considérés sont le carbone noir (*black carbon*, BC), les oxydes d'azote (*nitrogen oxides*, NO_x), l'ozone (*ozone*, O₃) et les particules fines (*particulate matter*, PM_{2.5}), soit parce qu'ils sont représentatifs du trafic, soit parce qu'ils sont régis par une directive européenne.

Mesure

Pour ce volet mesure, l'ISSeP utilise comme appareils portables les aethalomètres AE51, développés par *AethLabs* et les mini-stations Antilope, développées

par le CECOTEPE pour le compte de l'institut. Les premiers ont déjà été adoptés par de nombreux instituts à travers le monde et sont utilisés en routine chez nous (projet *ExTraCar*, campagne Namur, etc.), tandis que les seconds sont des prototypes basés sur des capteurs économiques d'Alphasense pour les composés gazeux et d'Honeywell pour les composés particuliers (Figure 1). De plus, le prototype comprend également un capteur GPS pour localiser le sujet à tout instant, un circuit enregistrant température, humidité relative et pression atmosphérique, ainsi qu'un capteur détectant quand une accélération supérieure à 3g est dépassée.

Les premiers tests montraient des résultats contrastés. Ceux relatifs aux particules fines étaient très encourageants, tandis que ceux relatifs aux composés gazeux nécessitaient un travail de validation important (pour garantir la qualité de la mesure). Aux figures 2 et 3, des tests réalisés en conditions ambiantes à la station de mesure située rue du Chéra 200 à Liège peuvent être observés.

Les aethalomètres, eux, ont directement été utilisés dans deux campagnes de mesure. La première visait à déterminer les coefficients de transfert entre air ambiant et air intérieur. Pour ce faire des analyseurs sont placés à la fois à l'extérieur et à l'intérieur du rez-de-chaussée de surfaces commerciales situées le long d'un boulevard d'une part, et sur le capot et à l'intérieur d'une voiture d'autre part. La seconde expérience visait à évaluer les concentrations en des points fixes se trouvant dans des endroits caractéristiques soumis normalement à des niveaux de pollution de plus en plus élevés, c'est-à-dire le long de rues ouvertes, légèrement encaissées, fortement encaissées ou dans une station de fond urbain.

Modélisation

Pour les simulations, les chercheurs de l'ISSeP ont choisi la chaîne de calcul IFDM-OSPM (Lefebvre *et al.*, 2013), récemment rebaptisée *AtmoStreet*. Il s'agit d'une chaîne de modélisation à deux étages, l'un correspond à un modèle de dispersion bi-gaussien des émissions issues de l'industrie et du transport routier et fluvial, l'autre à un modèle-boîte fortement paramétrisé pour calculer la dispersion dans des rues encaissées, plus une procédure spécifique pour éviter la double prise en compte de certaines émissions, ainsi qu'une seconde permettant d'assurer l'équilibre chimique entre les oxydes d'azote et l'ozone. Les points de calcul des concentrations dans IFDM sont répartis différemment selon qu'il s'agit d'une source ponctuelle ou linéique, et au centre de la rue ainsi que le long des deux trottoirs dans OSPM. Au final, les résultats horaires sont interpolés sur une grille de 10 m de résolution.

Comme les activités en intérieur comptent pour plus de 80% d'une journée type, nous avons choisi d'également simuler les concentrations en BC dans des bâtiments ou véhicules. Pour ce faire, l'ISSep a demandé au CENAERO de développer un modèle instationnaire, forcé par les conditions de température et de pollution extérieures, et prenant en compte les échanges sporadiques au travers d'une porte qui s'ouvre selon un timing spécifique, les échanges continus dus à la perméabilité de la construction ou du véhicule et les échanges au travers du système de ventilation ou d'air conditionné.

Des résultats préliminaires de nos simulations, à la fois en air extérieur et en air intérieur sont illustrés aux figures 4 et 5.

Exposition

Pour avoir un échantillon le plus large possible, nous faisons appel à des volontaires. Une telle stratégie d'échantillonnage (non aléatoire) ne permettra pas de déterminer des intervalles de confiance autour des niveaux d'exposition déduits des mesures. Néanmoins il sera possible d'extrapoler les résultats par la méthode des quotas ou des unités types, et puis de les comparer aux sorties de modèles. Chaque sujet porte les instruments pendant une semaine complète et doit remplir un questionnaire relatif à son environnement et à ses habitudes dans des domaines liés à la qualité de l'air, ainsi qu'un journal d'activités qui nous permettra d'analyser les résultats.

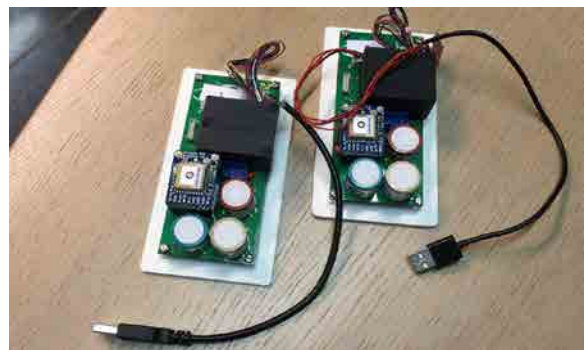


Figure 1 : Deux Antilopes, mini-stations basées sur des capteurs bon marché

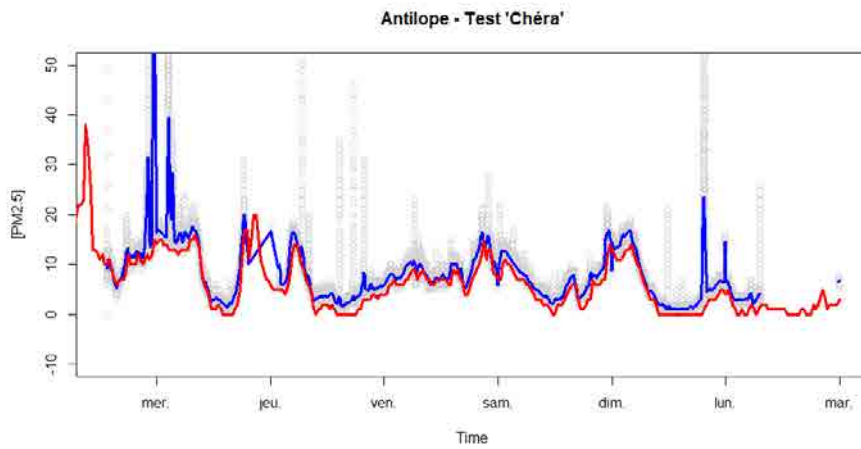


Figure 2 : Comparaison des données PM2.5 brutes (gris) et moyennées (bleu) de l'Antilope, avec celles issues d'un spectromètre Grimm (rouge)

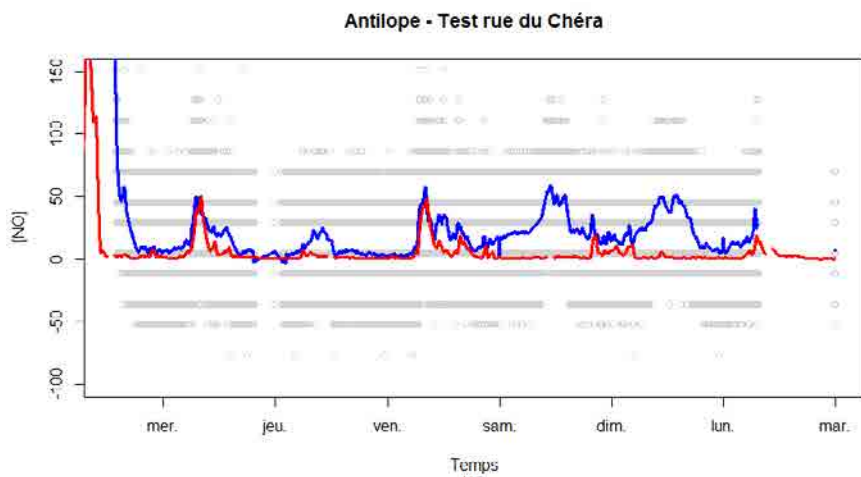


Figure 3 : Comparaison des données NO brutes (gris) et moyennées (bleu) de l'Antilope, avec celles issues d'un Horiba (instrument de référence) APNA370 (rouge)

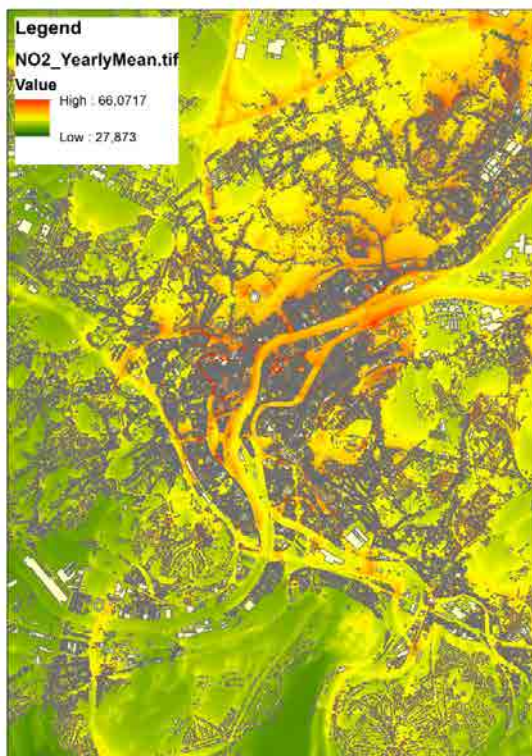


Figure 4 : Concentration en NO₂ simulée pour la première semaine de janvier 2016 au moyen d'AtmoStreet

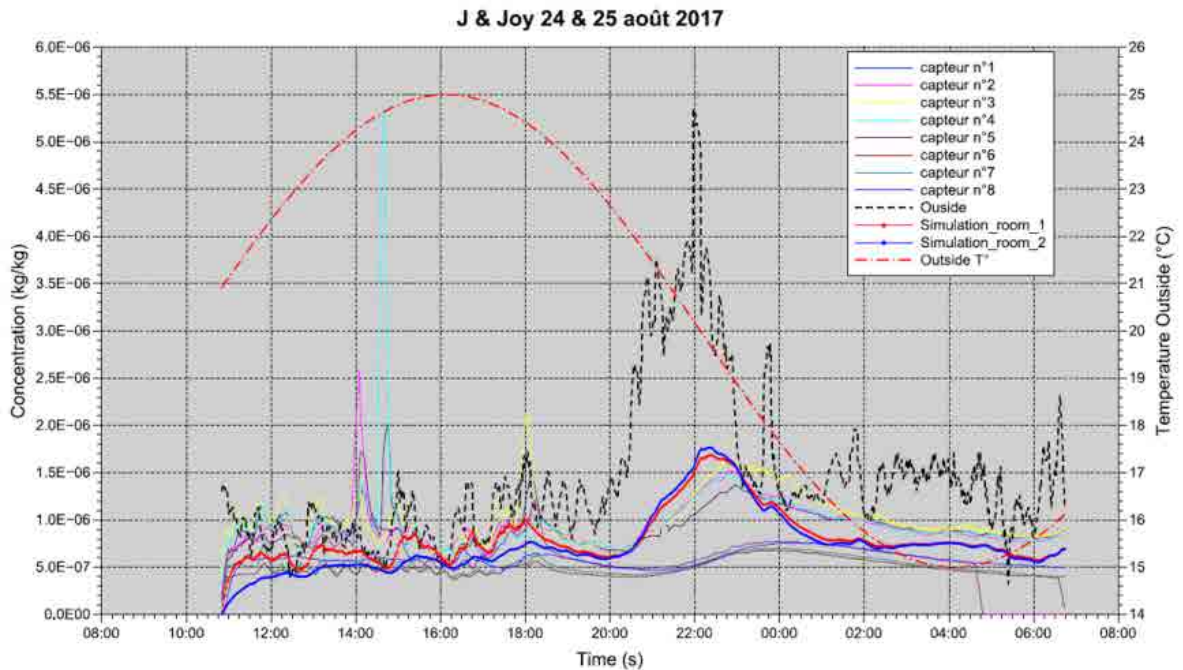


Figure 5 : Concentration en BC simulée pour une journée au rez-de-chaussée d'un bâtiment (traits continus bleu et rouge) comparée avec les mesures réelles (autres traits continus)

SUMMARY

Commonly, population exposure is evaluated by crossing data of atmospheric pollution and population density maps. The former are usually actual measurements or simulated concentrations; depending on the approach or the model resolution, very different patterns may appear both in space and time, so that conclusions can vary significantly. The latter are usually based on residency information, and for many of us, do not reflect the typical wanderings, thus actual exposure.

With the rise of portable devices, we are given the unprecedented opportunity to measure pollutant concentrations at a high time rate and to know the exact location of a subject. Moreover, the increase of computational capacities allows one to perform operational runs at spatial and temporal resolutions of about 10 m and 1 h respectively. Furthermore, if the subject writes an activity log, it is also possible to discriminate indoor and outdoor situations.

In this ongoing work, we investigate the discrepancy in the evaluation of population exposure when using, on one hand different pollutant concentration maps e.g. yearly, daily or hourly average values, more or less sophisticated and/or refined models, different information related to the population e.g. static or dynamic and on the other hand actual data. Our region of interest for this test case is the cities of Liège and Namur in Belgium.

REFGAZ - RECHERCHE SUR L'ÉQUIVALENCE DU FTIR POUR L'ANALYSE DES GAZ À L'ÉMISSION

Intervenants ISSeP : Benjamin BERGMANS, Igor DYAKOV, François IDCZAK

Durée : 2014-2017

Partenaires : VITO, GASMET, AXETRIS, Engie (LABORELEC)

INTRODUCTION

Selon l'OMS, la pollution de l'air est désormais le facteur environnemental le plus important affectant la santé, tout le monde est touché, que ce soit dans les pays riches ou dans les pays pauvres. Tout cela sans compter l'impact important sur le climat (réchauffement climatique, fonte des glaciers, pluies acides) directement lié à la pollution de l'Air. Les industries sont une source importante de rejets polluants dans l'atmosphère. Il est donc crucial de prendre des mesures énergiques pour réduire les émissions et de disposer d'un monitoring continu des rejets des industries afin de vérifier l'impact des techniques d'abatteurs installées. Diverses directives (IPPC, IED) imposent des contrôles coûteux pour les états membres et des obligations de mesures et de rapportage des émissions polluantes (EPER).

L'autocontrôle des industries est de plus en plus utilisé car il permet à l'exploitant de suivre en temps réel ses rejets et à l'autorité compétente de suivre à moindre coût le respect des limites d'émissions par l'installation. Les permis des installations industrielles reprennent une liste nominative de polluants qui doivent être mesurés en continu par l'entreprise soumise à celui-ci. Néanmoins pour des raisons budgétaires ces contrôles sont souvent limités à quelques polluants classiques et les nouveaux polluants identifiés comme nocifs ne sont ajoutés que de manière sporadique, vu le temps nécessaire pour réviser les permis et vu le coût important d'installation de nouveaux analyseurs spécifiques. Afin de réduire ce temps de réaction et d'augmenter la gamme des polluants mesurés, il serait intéressant de mettre au point une méthode plus flexible pouvant être adaptée à de nombreuses substances sans nécessiter un nouvel investissement.

MÉTHODOLOGIE

Le FTIR (*Fourier Transform InfraRed spectroscopy*) est un analyseur permettant de mesurer simultanément l'émission de nombreux polluants dans les effluents des cheminées industrielles (CO₂, CO, NO, NO₂, N₂O, SO₂, NH₃, CH₄, HCl, HF, TOC, COV, CxHy, BTEX, Aldehydes, O₃, HCN...). Cette technique est donc intéressante en tant que système d'autocontrôle, tant au niveau du coût que par sa grande flexibilité d'adaptation aux nouveaux polluants. Néanmoins, la spécificité de la méthode étant faible, une mise au point importante est nécessaire pour prouver l'équivalence vis-à-vis des méthodes de références (SRM) et c'est le but du projet REFGAZ. Cette validation

passera par la réalisation de tests comparatifs tant en laboratoire que dans les usines. Ce projet permet, outre l'investissement que représente cet équipement, de mettre au point la bibliothèque de spectres en fonctions des secteurs d'activités et des polluants d'intérêt.

Les Diodes actives TDLAS (*Tunable diode laser absorption spectroscopy*) représentent également une évolution des techniques classiques. Bien que moins flexibles que le FTIR, leur forte spécificité les place comme nouvelle technique prometteuse et elles remplaceront probablement les SRM actuels dans le futur. REFGAZ permettra à l'ISSeP de se positionner

comme pionnier dans l'utilisation de ces nouveaux équipements et de valider leurs performances sur le terrain en conditions industrielles réelles.

Une collaboration avec deux fabricants (Gaset, AXETRIS), deux laboratoires de référence belges (VITO & ISSeP) et un partenaire privé (GDF Suez) permet une mise en commun d'équipements et des connaissances tout en rationalisant les coûts.



Figure 1 : Instrument FTIR utilisé dans le projet REFGAZ

SUMMARY

FTIR is an attractive technique for emissions monitoring. It provides real-time data and can be easily permanently installed on a stack. It can monitor a very broad range of analytes including compound which should be measured at high temperature to avoid losses. The capability of instruments can be easily expanded to monitor additional analytes, which allows to add quickly in a permit the obligation to monitor new identified compounds of interest. However the trade-off is that its operation can be more complex than other techniques that are limited to fewer analytes and / or fixed ranges. Data treatment and library should be selected with care and some interference gases present in the matrix could impact the results drastically. The purpose of REFGAZ is to validate the method in various sectors of industries and to provide guidance to users so that the quality of monitoring possible with FTIR is assured when used as an alternative to several European standard reference methods.

SMART'IN AIR - SMART INDOOR AIR MONITORING NETWORK TO REDUCE THE IMPACTS OF POLLUTANTS ON ENVIRONMENT AND HEALTH

Intervenants ISSeP : Stéphanie BEMELMANS, Benjamin BERGMANS, Sophie CREVECOEUR, Marie GOHY, Isabel MINET, Mathieu VESCHKENS

Durée : 2018 – 2021

Partenaires : IAS, THURMELEC, ADVANTIC SISTEMAS, Dimos Thessalonikis, YSERVICIOS S.L, FARO, PADOVA, Plovdiv, CNRS

INTRODUCTION

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la pollution atmosphérique a provoqué 7 millions de décès prématurés en 2012. La plupart des citoyens européens passent plus de 90% de leur temps à l'intérieur et pourtant la plupart des réglementations se concentrent uniquement sur l'air extérieur. La pollution de l'air intérieur est une question complexe vu les nombreuses sources (impact de l'air extérieur, peintures, meubles, système de chauffage et de refroidissement, cuisine, produit de nettoyage, etc.). Les polluants de l'air intérieur peuvent également causer le cancer, l'asthme, les allergies et d'autres impacts sur la santé et l'on doit donc développer de nouveaux outils pour les étudier. Les polluants de l'air intérieur les plus dangereux comprennent le formaldéhyde et le BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes). Ces polluants sont généralement mesurés à l'aide de tubes passifs qui accumulent les polluants présents sur une période assez longue avant d'être envoyés au laboratoire pour analyse. On ne dispose donc ni d'information au niveau temporel, ni de possibilité d'identifier un pic de pollution ou une source spécifique en temps réel.

MÉTHODOLOGIE



L'objectif principal du projet *LIFE Smart In'Air* est de fournir une solution complète et intelligente afin de surveiller et d'améliorer la qualité de l'air intérieur. Cette solution se base sur deux microanalyseurs calculant respectivement les concentrations de BTEX et de formaldéhyde dans l'air, connectés à une interface web simple d'utilisation et une interface intelligente. Ces analyseurs permettront de pouvoir prendre des actions concrètes pour améliorer la qualité de l'air intérieur. Le projet se focalise sur l'air intérieur d'écoles et une large campagne de mesures dans 4 pays européens est

prévue durant la phase de démonstration. Ce projet soutiendra la mise en œuvre d'un certain nombre de politiques de l'UE qui contribuent à des bâtiments sûrs, sains et durables, y compris la législation sur les bâtiments publics, l'équipement et la ventilation.

L'ISSeP se chargera de valider au laboratoire les analyseurs en les comparant aux méthodes de références accréditées de l'Institut. Il sera également responsable des campagnes de mesures dans les différentes écoles. Un large screening sera réalisé dans plus de 30 établissements scolaires. Les données recueillies par les analyseurs permettront d'évaluer et de comparer les effets des polluants sur la santé des écoliers. L'Institut est également en charge des aspects santé et de déterminer l'impact

socio-économique de cette pollution. En identifiant les sources de pollution, le projet sera en mesure de tester l'impact de la mise en œuvre des actions et des meilleures pratiques et permettra la rédaction d'un guide et de fiches d'informations spécifiques.

Cette recherche a malheureusement été avortée en décembre 2019 suite à la faillite de la PME porteuse

du projet qui a entraîné l'éligibilité et donc l'arrêt de la subvention européenne. L'ensemble du consortium est resté en contact et espère pouvoir capitaliser sur l'expériences et les résultats promoteurs déjà obtenus pour réintroduire un nouveau projet de recherche sur cette thématique majeure dans un avenir proche.

SUMMARY

According to the World Health Organisation, air pollution caused 7 million premature deaths in 2012, including the deaths of 600 000 people in Europe. A significant proportion of the EU population is exposed to high air pollution levels, especially inside buildings. Indoor air pollutants can cause cancer, asthma, allergies and other health impacts. Most European citizens spend over 90 % of their time in an enclosed or semienclosed environment. Indoor air pollution is a complex issue because of the number of different factors involved, including the interaction between indoor and outdoor air, emissions from buildings and their contents (paints, furniture, heating and cooling systems, etc.) and human activities (cooking, cleaning etc.).

The most dangerous indoor air pollutants include formaldehyde and BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes). Exposure threshold values have been defined for benzene (5 g/m³) and formaldehyde (30 g/m³).

The goal of *LIFE SMART INAIR* is to develop a new generation of formaldehyde and BTEX analysers in order to monitor in real time and improve indoor air quality. By identifying the sources of pollution the project will be able to test the impact of implementing actions and best practices to reduce or eliminate them.

ISSeP will be responsible of the validation of the instrument compare to reference method and of implementing the field measurement in the 4 demonstration cities. Health related aspect and potential socio-economic impact reduction will also be addressed by ISSeP teams.

A reduction of air pollution by 25-30 % for both BTEX and formaldehyde in four demonstration classrooms, based on the implementation of corrective actions (following initial analysis), leading to 20% healthier spaces is expected. A white Paper to enhance EU legislation and standardisation on indoor air quality will also be delivered.



Figure 1 : Prototype d'analyseur pour la mesure des BTEX

SPECIMEN (SP.ECIATION – E.LEMENTS – C.ARBONE – I.ONS – ME.TAL – N.UMBER SIZE DISTRIBUTION) – ÉTUDE DE SPÉCIATION DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'AIR AMBIANT EN RÉGION WALLONNE

Intervenants ISSeP : Benjamin BERGMANS, François DETALLE, Eric FONSNY, Fabian LENARTZ

Durée : 2013-2017

Partenaires : Université de Gand

INTRODUCTION

La concentration en poussières fines est un paramètre important dans la surveillance de la qualité de l'air. Elle a un impact évident sur la santé, même à de très faibles concentrations. Ses effets sont d'autant plus nuisibles que la particule est fine et chargée de polluants tels que des métaux lourds ou des composés organiques. Pour l'instant, seuls les niveaux admissibles de ces composés dans les PM10 font l'objet d'une Directive européenne. Les PM2.5 ont fait l'objet d'une mise en place progressive de moyens de surveillance, particulièrement en zone rurale afin notamment d'en cerner la part d'origine transfrontalière.

La spéciation chimique des particules établie sur une période suffisamment longue et à plusieurs sites permet d'identifier les différentes sources de particules et de définir des plans d'abattement adéquats. Dans le cadre du projet *SPECIMEN*, la composition des particules et sa variation dans le temps sous l'influence des paramètres météorologiques et anthropiques ont été étudiées sur une période d'un an simultanément sur 4 types de sites : urbain, industriel, trafic et rural. Le but étant de mettre en évidence les mesures qui auraient le plus grand impact sur la santé et de prévoir les effets de certaines telles que notamment l'implantation des zones à basse émission.

OUTILS

Les paramètres utiles à la spéciation accessibles à l'ISSeP avant le démarrage de l'étude sont :

- la gravimétrie en atmosphère contrôlée au 1 µg et à 50% d'humidité relative ;
- les ions inorganiques solubles à l'origine notamment des importants aérosols secondaires que sont les nitrates et sulfates d'ammonium. Ils sont analysés par chromatographie ionique ;
- les composés telluriques et autres éléments d'origine anthropique analysés par spectrométrie de fluorescence X (XRF).

Ces 3 paramètres sont déterminés sur des filtres journaliers collectés au débit de 2,3 m³/h avec une coupure PM10 (et PM2.5 en supplément pour le site de fond rural).

- Le *Black carbon* (suies provenant des combustibles fossiles) et le « Brown carbon » issu de la combustion de la biomasse, mesurés par des moniteurs Aethalomètres Magee AE22 et AE33 ;
- Les Particules Ultra Fines (UFP) dénombrées par un SMPS (*Scanning Mobility Particle Sizer*).

Ces 2 derniers paramètres sont mesurés en continu et sur site par des moniteurs spécifiques : mesure de l'atténuation optique en IR et UV pour le BC et comptage des UFP par un CPC (*Condensation Particle Counter*) après classification granulométrique dans un DMA (*Differential Mobility Analyser*).

UFP et BC sont deux paramètres pris en considération dans la révision de la Directive. S'y ajoutent les mesures OC/EC (carbone organique/carbone élémentaire) pour lesquelles l'ISSeP a dû acquérir un nouvel analyseur de laboratoire (Sunset). De cette première approche, nous pouvons déjà prévoir qu'il manquera les carbonates et l'eau dans la fermeture du bilan massique (accord entre la masse mesurée par gravimétrie et la somme de tous les composés analysés). Il faut également tenir compte d'une approximation préjudiciable dans l'estimation des matières organiques totales au départ de la mesure du carbone d'origine organique. Les éléments H, O, N... qui complètent le squelette carboné sont pris en compte par l'application d'un coefficient de multiplication variable de 1,2 à 2,3 selon l'origine de ce carbone organique. Nous utiliserons ici le facteur moyen 1,75 ($MO = 1,75 \times OC$).

Les chercheurs de l'ISSeP ont profité de cette étude pour comparer les 3 protocoles d'analyse OC/EC (EUSAAR, IMPROVE, NIOSH) toujours en lice à notre époque pour être la base de la norme CEN. Depuis lors, c'est le protocole EUSAAR2 qui a été définitivement adopté mais la comparaison des trois a apporté un éclairage sur l'incertitude liée à la méthode concernant l'attribution du carbone à la fraction organique ou à la fraction élémentaire. L'acquisition d'un transmissiomètre de laboratoire fonctionnant aux mêmes longueurs d'ondes que les aethalomètres AE22 nous permet la comparaison des techniques optiques (aethalomètres/transmissiomètre) et thermo optiques (OC/EC) sur des échantillons journaliers identiques.

L'échantillonnage a fait l'objet d'une recherche portant sur les meilleurs supports de filtration à employer. Diverses contraintes provenant de l'efficacité de rétention, des techniques d'analyse et du débit d'aspiration utilisé ont amené au double échantillonnage sur fibres de quartz et membrane en nitrate de cellulose. Cette dernière est utilisée uniquement pour l'analyse XRF et accessoirement la transmission BC. S'y est ajoutée la technique

du double filtre (*quartz behind membrane*) pour déterminer la part de composés volatils qui ne devraient idéalement pas être comptabilisés dans la masse de PM.

RÉSULTATS

La répartition de la masse dans les différents composants des particules est désormais connue: les nitrates et sulfates d'ammonium d'une part et les matières organiques d'autre part interviennent à jeu égal chacune pour environ 1/3 de la masse totale. Les telluriques pour 15%. Viennent ensuite les chlorures de sodium et potassium 6% et le carbone élémentaire 3%. Restent 15 à 20% de la masse qui n'a pas été déterminée par nos moyens. Une part non négligeable se trouve sans doute dans la teneur en eau des composés particuliers puisque la pesée se fait à 50% d'humidité relative. L'évolution saisonnière montre un pic très marqué pour les nitrates et sulfates d'ammonium en mars et une chute moyenne de 10% en été alors que les matières organiques et telluriques augmentent de 5% pour cette même période. Par rapport aux PM₁₀, les PM_{2.5} en site rural sont plus riches en nitrates et sulfates d'ammonium ainsi qu'en matières organiques et plus pauvres en telluriques et chlorures de sodium et potassium. L'origine maritime de ces derniers se fait particulièrement remarquer lors des fortes tempêtes d'ouest. On a pu attribuer en moyenne 7 % de la masse à des composés volatils adsorbés sur le filtre et les particules sans faire partie à proprement parler des PM ; 5% sont des matières organiques et 2% des aérosols secondaires. Les sources de PM, OC et EC sont locales mais la provenance des aérosols secondaires est distante et très nettement située au NNO.

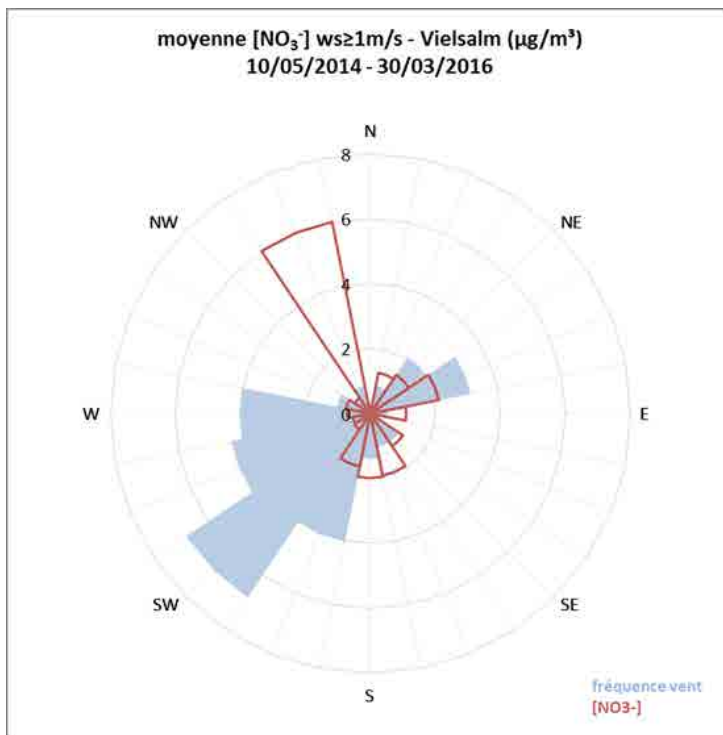
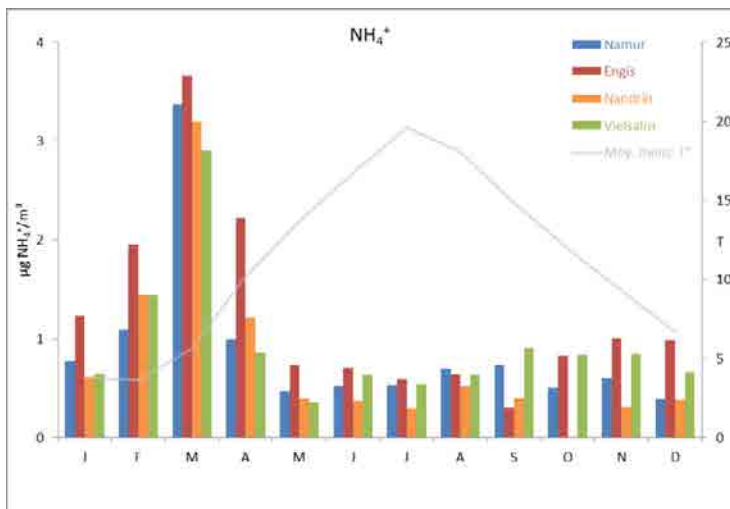
La comparaison BC et EC n'est pas du tout probante ; deux paramètres relativement distincts semblent être mesurés et l'attribution par la méthode thermo-optique du carbone à l'EC ne reflète pas l'atténuation IR du BC.

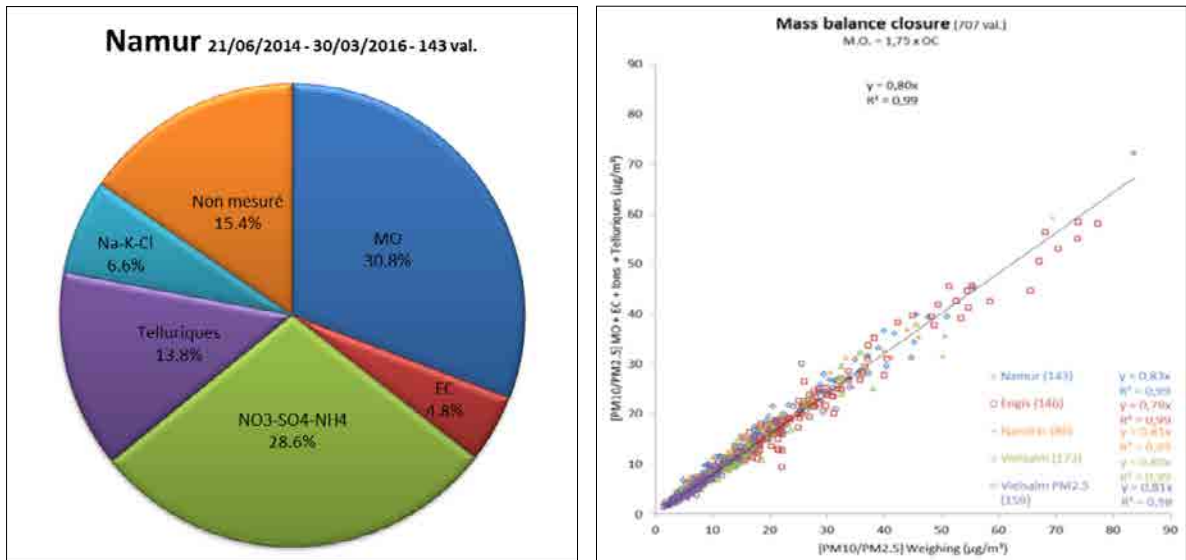
PERSPECTIVES

Le jeu de données rassemblées lors de cette étude permet d'alimenter efficacement un programme d'allocation des sources tel que PMF, un modèle de factorisation matricielle basé sur les mesures aux récepteurs. Ce type de modèle fait l'objet actuellement d'une évaluation par le JRC d'Ispra et la comparaison avec les conclusions des pays voisins serait riche d'enseignements.

Le croisement de ces mesures avec celles réalisées lors de campagnes d'évaluation des composés issus de la combustion du bois tels que le lévoglucosan et les HAP pourrait apporter le complément d'informations qui manquent à cette première approche et peut-être fixer un facteur MO/OC fiable.

Des mesures du même type réalisées aux mêmes sites sur des périodes limitées dans les années futures permettraient de quantifier les effets des mesures prises entretemps.





SUMMARY

Fine dust concentrations (PM 10.0 and PM 2.5) are two important parameters in the monitoring of air quality. They have a clear impact on health from very low concentrations. These effects are even more harmful than the particle is fine and loaded with pollutants such as heavy metals or European Directive. PM2.5 will be the subject of a gradual establishment of surveillance resources, particularly in rural areas in order to identify the cross-border share.

The chemical speciation of the particles established over a sufficiently long period of time and at several sites makes it possible to identify the different sources of particles and to define adequate abatement plans. Within the framework of the *SPECIMEN* project, the composition of the particles and its variation over time under the influence of meteorological and anthropic parameters were studied over a period of one year simultaneously on 4 types of sites : urban, industrial , traffic and rural. The goal was to highlight the mitigation measures that would have the greatest impact on health and predict the effects of some specific actions like for example the establishment of low emission areas.

µANALYSE - MICROANALYSE PARTICULAIRE DANS LE CADRE DU CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Intervenant ISSeP : Diano ANTENUCCI

Durée : activité permanente

Partenaires : ULIÈGE, Laboratoire de chimie inorganique structurale-groupe de recherche en énergie et environnement à partir des matériaux (CLIS-GREENMAT), Georesources UM R7359 (ENSG-CNRS-CREGV)-université de Lorraine : équipe valorisation (association scientifique pour la géologie et ses applications-ASGA)

INTRODUCTION

Depuis un certain nombre d'années, la littérature met en exergue l'impact sur la santé des particules en suspension dans l'air, en particulier les PM_{10} , $PM_{2.5}$ et $PM_{1.0}$. Entre autres pathologies, on peut souligner les carcinomes pulmonaires et, de manière de plus en plus préoccupante, les problèmes neurodégénératifs. Cet état des choses explique l'existence de réglementations environnementales sévères, le but étant de réduire les niveaux d'exposition. Tel est, par exemple, l'objet de la Directive européenne 2008/50/CE.

Dans ce contexte, des travaux européens et internationaux s'intéressent depuis plusieurs années à l'ensemble des caractéristiques des poussières atmosphériques, notamment pour mieux discriminer les sources émettrices et mieux définir les stratégies de réduction. La pertinence des études publiées a motivé le développement pour la Région wallonne d'une démarche analytique adaptée à la caractérisation fine des particules atmosphériques, et ce en collaboration avec l'Université de Liège.

DESCRIPTION, OBJECTIFS ET APPROCHE DU PROJET

À l'heure actuelle, le suivi de la qualité de l'air au sein des États membres de l'Union européenne est assuré par la Directive 2008/50/CE. Celle-ci impose que la concentration des particules fines (PM_{10}) ne dépasse guère $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle et $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière plus de 35 jours par an. Afin de dégager les sources responsables des épisodes de pollution avérés, l'outil métrologique classique exploité par l'ISSeP depuis longtemps est désormais complété par le biais de la microanalyse particulaire qui a permis d'avancer de manière significative vers les objectifs suivants : discrimination entre différentes sources d'émission ; distinction entre particules naturelles, primaires (émises telles quelles) et secondaires (formées dans l'atmosphère); quantification des différentes familles particulaires.

Récoltées sur filtres au moyen d'un collecteur bas débit ($2.3 \text{ m}^3/\text{heure}$), les particules sont soumises à la microscopie électronique à balayage couplée à un spectromètre à dispersion d'énergie X (SEM/EDX), ainsi qu'à l'analyse par diffraction des rayons X (DRX), utilisée aussi bien pour l'identification que pour la quantification des phases minérales majeures avec, dans ce cas, le traitement des données radio-cristallographiques par la méthode de Rietveld.

RÉSULTATS

Quel que soit le site examiné jusqu'à présent, la microanalyse des PM_{10} met en exergue un bruit de fond de faible ampleur constitué de phases naturelles primaires dont la nature dépend de la géologie régionale, de sels secondaires dont la présence est fonction des conditions météorologiques (température, humidité relative), ainsi que de suies carbonées générées par le trafic routier et le chauffage urbain. Lors de dépassements des concentrations en PM_{10} , divers apports anthropiques sont distingués par leurs signatures minéralogiques spécifiques en contraste patent avec la signature du bruit de fond.

Ainsi, le secteur sidérurgique génère des phases minérales de haute température, entre autres des spinelles substitués dont la composition chimique varie avec la nature des minerais de départ ; les procédés industriels liés à la chimie du phosphore et à la production de phosphogypse émettent des poussières très riches en gypse dont la taille, la

morphologie et le chimisme (substitutions $Ca \leftrightarrow Sr$ et $SO_4^{2-} \leftrightarrow HPO_4^{2-}$) n'autorisent aucune confusion avec le gypse secondaire susceptible d'être présent dans le bruit de fond (Figure 1). Les extractions en carrière et les travaux d'excavation mettent en suspension des particules fines naturelles mais dont les minéraux constitutifs se distinguent de ceux du bruit de fond par la taille, l'habitus et des concentrations beaucoup plus élevées. Par ailleurs, sous l'effet de conditions météorologiques favorables certains rejets industriels peuvent conduire à des réactions en milieu atmosphérique avec formation instantanée de particules secondaires, en l'espèce des sels hydratés voire des verres siliceux, dont l'abondance nuit aussi à la qualité de l'air.



Figure 1a : Image en SEM/EDX d'un gypse anthropique massif $> 4\mu m$, $(Ca, Sr)(SO_4, HPO_4) \cdot 2H_2O$



Figure 1b : Image en SEM/EDX d'un gypse secondaire en rose des sables $\leq 2\mu m$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

CONCLUSIONS

Lors des épisodes de dépassements du taux de particules fines (PM_{10}), l'expérience montre que la microanalyse est un outil efficace pour la détermination des sources émettrices. En effet, en plus de la distinction entre le bruit de fond et les apports anthropiques, ces derniers peuvent être discriminés sans difficulté par le biais des signatures minéralogiques spécifiques à chacun d'eux. Outre les problèmes liés aux particules primaires, la microanalyse montre que sous l'influence des conditions météorologiques, en particulier la température et l'humidité relative, des rejets industriels peuvent conduire à la formation très rapide de particules secondaires en grande quantité, ce qui contribue de manière significative à l'augmentation du taux de PM_{10} .

PERSPECTIVES

Les résultats obtenus à ce jour permettent d'envisager plusieurs perspectives. Puisque la microanalyse s'avère être une démarche efficace pour la détermination des sources émettrices de PM_{10} , il y a un besoin évident d'utiliser cet outil sur de nouveaux sites pollués. Compte tenu des problèmes constatés au sujet des particules secondaires susceptibles d'augmenter de façon drastique le taux de poussières en suspension, il nous paraît opportun de mettre au point une méthode de synthèse en aérosol expérimental afin de prévoir la formation de sels hydratés dans des zones très industrialisées et, partant, proposer des mesures correctives à même de réduire cette pollution. Suite aux impacts sur la santé, il serait pertinent de développer un monitoring des PM_{10} qui tienne compte non seulement de leur masse par unité de volume, mais aussi de leurs caractéristiques fines qui peuvent renseigner quant au rôle potentiel de ces particules vis-à-vis du stress oxydatif.

SUMMARY

As stressed by published data, the presence of fine particles (PM_{10}) in outdoor air affects human health and ecosystems. Consequently, the legislation on particulate emission is rather stringent. This context has motivated the development of the microanalysis of atmospheric dusts in the Walloon Region, purchasing three objectives, actually the identification of the origin of the particles, i.e. natural and various anthropogenic sources, the distinction between natural, primary and secondary particles and quantification of the different groups of particles. Practically, the collected PM_{10} from several polluted sites in Wallonia are analysed by XRD, Rietveld method and SEM/EDX. The background of collected dusts, containing minerals from regional geology, secondary phases and soot particles, is distinguished from several anthropogenic contributions, these latter being discriminated as well by mean of their different mineralogical profiles. Furthermore, the microanalysis approach also shows that under some meteorological conditions, in particular temperature and relative humidity, industrial waste react to form quickly large amounts of secondary particles thus increasing significantly the PM_{10} levels.

A scientist wearing a white lab coat, a blue hairnet, safety goggles, and a light blue surgical mask is working in a laboratory. The scientist is wearing blue nitrile gloves and is using a pipette to transfer liquid into a small glass vial. The background is a blurred laboratory setting with various pieces of equipment. A large blue diagonal graphic is overlaid on the left side of the image, containing white text.

NOS PROJETS DE RECHERCHE

**SURVEILLANCE DE
LA QUALITÉ DE L'EAU**

BIODIEN - RECHERCHE DE PERTURBATEURS ENDOCRINIENS ET D'AUTRES SUBSTANCES D'INTÉRÊT RÉCENT DANS LES EAUX EN VUE DE LA PROTECTION DE LA SANTÉ PUBLIQUE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Intervenants ISSeP : Stéphanie BÉMELMANS, Nadine BURLION, Carole CHALON, Christophe FRIPPIAT, Anne GALLOY, Yves MARNEFFE, Caroline NADIN, Philippe NIX

Durée : 2014-2017

Partenaires : SWDE, CRA-W

INTRODUCTION

Les perturbateurs endocriniens (PE) sont des substances de structures très diverses et comprennent une grande variété de classes chimiques. Les milieux aquatiques constituent un récepteur important de ces substances. Une fois présentes dans ces milieux aquatiques, elles peuvent alors directement impacter les écosystèmes qui s'y développent ou qui en dépendent. En altérant la qualité des ressources en eau, ces substances sont également susceptibles d'impacter la santé humaine. Le projet *BIODIEN* a pour objectif de faire un premier examen de la présence de perturbateurs endocriniens et de certaines autres substances d'intérêt récent dans les eaux en Wallonie et en région de Bruxelles-Capitale, en s'intéressant aux milieux récepteurs (eaux souterraines et eaux de surface), mais également aux matrices impactant ceux-ci (rejets et eaux de ruissellement) et aux eaux destinées à la consommation humaine. Le projet a aussi pour objectif de vérifier la mise en œuvre de certaines méthodes de screening en vue de détecter la présence de PE dans les eaux.

MÉTHODES

Parmi les substances chimiques recherchées dans le cadre du projet, 74 substances à usage industriel et/ou domestique ont été analysées, dont 27 PE. Les principales familles analysées sont les chlorophénols, les phtalates, les alkylphénols et éthoxylates d'alkylphénols, deux bisphénols dont le bisphénol A, les composés perfluorés, les PCB, les HAP et les retardateurs de flamme bromés. En outre, 122 pesticides et métabolites de pesticides ont été analysés, dont 67 PE. Des tests ELISA (pour *Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay*) ont été mis en œuvre pour la détection et la quantification de certaines substances d'intérêt quand les méthodes d'analyses chimiques n'étaient pas disponibles. Des tests YES-YAS (pour *Yeast Estrogen Screen – Yeast Androgen*

Screen) ont été réalisés en vue de déterminer l'effet perturbateur endocrinien global des échantillons.

Au total, 344 échantillons ont été analysés dans le cadre du projet, dont principalement :

- 135 échantillons d'eaux souterraines ;
- 138 échantillons d'eaux de surface ;
- 31 rejets de stations d'épuration publiques (STEP) ;

Quelques échantillons de rejets hospitaliers et industriels, d'eaux de ruissellement, d'eaux de distribution et d'eaux en bouteille ont également été analysés.

RÉSULTATS

Pour les eaux souterraines, les eaux de surface et les rejets de STEP, 46720 résultats analytiques sont disponibles pour 306 échantillons testés. La majorité de ces résultats (environ 85%) sont négatifs. Seuls 4952 résultats quantifiés ont été obtenus (résultat supérieur à la limite de quantification analytique). Parmi ceux-ci, environ 1600 correspondent à des PE. Au total, 46 substances ne sont jamais détectées. Pour les eaux souterraines, les eaux de surface et les rejets de STEP publics analysés, le nombre total de substances différentes détectées est 85, 134 et 136, respectivement. Parmi les 149 substances différentes détectées dans les eaux souterraines, les eaux de surface et les rejets de STEP, environ 40 sont des PE.

Les eaux souterraines wallonnes et bruxelloises sont de façon générale de très bonne qualité. Plus de la moitié des substances recherchées dans les eaux souterraines n'ont jamais été détectées. Pour les points échantillonnés les plus impactés, on détecte au maximum 14 PE en même temps, sur un total de 106 PE recherchés (Figure 1.a). Dans les eaux de surface, un peu plus d'un tiers des substances recherchées n'ont jamais été détectées. Un peu plus de la moitié des substances recherchées ont été détectées dans les eaux de surface de Wallonie et de la région de Bruxelles-Capitale, dont au maximum 41 PE (Figure 1.b).

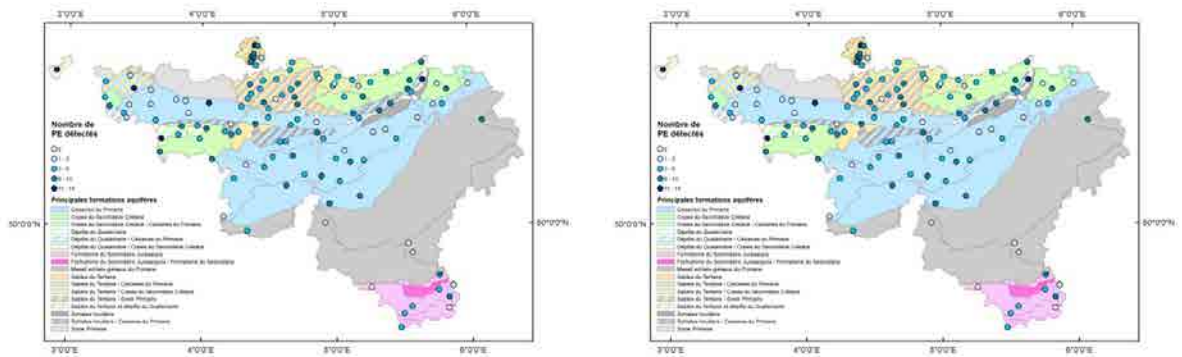


Figure 1 : Nombre maximum de PE détectés ou quantifiés en Wallonie et en région de Bruxelles-Capitale (toutes eaux confondues).

(a) Résultats pour les eaux souterraines.

(b) Résultats pour les eaux de surface.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les principales substances que l'étude permet de mettre en évidence sont le bisphénol A, certains alkylphénols, certains phtalates, les composés perfluorés, le glyphosate et son métabolite l'AMPA, certains pesticides interdits et certains métabolites de pesticides non PE. Ces substances sont soit présentes de façon ubiquiste, soit présentes dans certaines matrices de façon inattendue ou à des niveaux de concentration également inattendus. Les tests YES-YAS ont permis de mettre en évidence des activités de perturbation endocrinienne globale aussi bien en eaux de surface que dans les rejets. Les niveaux de ces activités sont, dans certains cas, non négligeables.

Le projet a mis en évidence la nécessité de poursuivre de la caractérisation de certains matrices/compartiments environnementaux, tels que les rejets d'eaux usées. La quantité de données générées dans le cadre du projet doit également encore être interprétée de façon plus fine, soit pour certaines substances ou familles de substances (les composés perfluorés par exemple), soit pour certains compartiments environnementaux, en vue d'améliorer la compréhension de l'origine des substances dans l'environnement et de leur impact sur l'environnement et la santé humaine.

SUMMARY

Endocrine disruptors (ED) are substances with a wide variety of structures and include a wide variety of chemical classes. The aquatic environment is an important receptor for these substances. Once present in the aquatic environment, these substances can then directly impact the ecosystems that develop or depend upon them. By altering the quality of water resources, these substances may also impact human health. The aim of the BIODIEN project is to conduct a first screening of the presence of endocrine disruptors and certain other emerging substances in Walloon waters and in the Brussels Capital Region, including groundwater and surface waters, but also discharge and runoff water, and water intended for drinking purposes (tap water and bottled water). The project also aims at verifying the applicability of screening methods to detect the presence of ED in water samples.

ECHAPA – ÉVALUATION DE L'APPORT POTENTIEL DES ÉCHANTILLONNEURS PASSIFS ET INTÉGRATEURS DANS LES STRATÉGIES DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE EN RÉGION WALLONNE

Intervenants ISSeP : *Anne-Cécile DENIS, Christophe FRIPPIAT, Cécile KECH, Delphine LEROY, Mathieu VESCHKENS*

Durée : 2017-2020

Partenaires : *VMM, CRAW, ULIÈGE, Universiteit Antwerpen, DG03, DG02*

INTRODUCTION

Les protocoles actuels mis en œuvre dans le cadre des réseaux de contrôle de la qualité des eaux de surface reposent, en Wallonie tout comme dans les autres régions européennes, sur un échantillonnage ponctuel réalisé le plus souvent à une fréquence mensuelle. Cette manière de procéder ne permet pas toujours de donner une évaluation précise des concentrations moyennes et donc d'établir un bilan quantitatif des polluants émis.

En outre, le retour d'expérience des opérations de mise en œuvre des actions de contrôle du respect des normes de qualité environnementales (NQE) au niveau des biotes (poissons, invertébrés) et de mise en place des programmes d'analyse tendancielle à long terme des concentrations des substances prioritaires dans les sédiments, imposées par la directive cadre sur l'eau (2000/60/CE) et ses directives filles (2008/105/CE et 2013/39/UE), met en évidence au moins deux problèmes en Wallonie comme ailleurs en Europe :

- l'absence ou la rareté de biotes dans certaines masses d'eau ne permet pas d'y envisager des prélèvements à des fins de monitoring (Figure 1);
- la difficulté de garantir, en fonction des techniques de prélèvement disponibles, que les sédiments sur lesquels les analyses tendancielles sont réalisées soient, comme il l'est recommandé, des sédiments récents (Figure 2).

L'objectif de cette étude est d'évaluer la possibilité de solutionner ces deux problèmes en recourant à des capteurs passifs (ou de manière plus générale à des méthodes d'échantillonnage intégratives) dont le principal avantage est de fournir une concentration moyennée susceptible d'être représentative de l'exposition ou de la non exposition d'organismes vivants et intégrant l'ensemble des événements affectant un cours d'eau. De plus, en s'appuyant sur les atouts des méthodes d'échantillonnage intégratives, ce projet ambitionne de développer une méthodologie recourant à l'utilisation d'équipements de mesure et d'échantillonnage des matières en suspension (MES) pour établir des bilans quantitatifs plus précis de l'impact des pratiques culturales sur les eaux de surface et de permettre ainsi un contrôle plus précis de l'efficacité des mesures agro-environnementales censées les réduire.

MÉTHODE : ÉCHANTILLONNEUR PASSIF (MATRICE EAU)

Deux types d'échantillonneurs passifs (EP) ont été sélectionnés dans le but de cibler quatre substances organiques non polaires (Fluoranthène, Benzo[a]pyrene (HAP), Hexachlorobenzène (HCB) et Diphényléthers bromés (PBDEs)) et une substance organique polaire (Acide perfluorooctansulfonique (PFOS)) parmi les substances imposées par la DCE pour évaluer l'état des eaux de surface et contrôler le respect des NQE biote. Pour les composés non polaires, le développement des EP de type silicone (SSP-M823) est en cours actuellement, tandis que le développement des EP de type POCIS sera réalisé en 2019 pour la quantification du composé polaire.

Afin de relier les concentrations en substances non polaires accumulées par les membranes en silicone aux concentrations dans le cours d'eau, il est nécessaire de réaliser un étalonnage *in situ* à l'aide de composés de référence (Performance Reference Compounds-PRC). Sur base de protocoles existants [2], les développements en cours au laboratoire portent, d'une part, sur le dopage des membranes par les PRC ainsi que sur la méthode de quantification de ces PRC pour la réalisation de l'étalonnage, et d'autre part sur la méthode d'extraction des membranes après déploiement pour la quantification des polluants.

Le déploiement des premiers SSP-M823 (Figure 3) en parallèle aux prélèvements biotes (invertébrés et poissons) sur les stations du réseau eau de surface wallon. Le croisement des résultats d'évaluation des normes de qualité environnementales obtenus à partir de la matrice biote et des capteurs passifs devrait permettre de valider la méthode EP.

ÉCHANTILLONNEUR INTÉGRATEUR (MATRICE SÉDIMENT)

Plusieurs prototypes de préleveurs intégrateurs (Figure 4) mis au point dans le cadre du projet GISSeD sur base de concepts proposés dans la littérature [4, 5, 6] ont été déployés sur 4 des 54 stations du réseau de contrôle de l'évolution de la concentration en substances prioritaires dans les sédiments des cours d'eau wallons (Directive européenne 2013/39/UE). L'objectif recherché est, d'une part, d'évaluer la pertinence d'adapter la méthode d'analyse tendancielle de l'évolution des concentrations en substances dangereuses prioritaires en comparant les prélèvements classiques aux prélèvements intégrés dans le temps de matières en suspensions et, d'autre part, de déterminer la méthode de prélèvement la plus adaptée à la typologie du cours d'eau. Les échantillonneurs intégrateurs présentent l'avantage de permettre d'établir des bilans quantitatifs plus précis des polluants émis et déterminer les tendances d'évolution à long terme des concentrations dans les eaux de surface.

PERSPECTIVES

La mise au point et la validation de ces nouvelles techniques de monitoring devraient permettre l'optimisation des réseaux de contrôles de la qualité des eaux de surface. De plus, le potentiel des EP devrait permettre d'étendre leur utilisation dans le cadre du monitoring des polluants émergents difficilement décelables à partir de l'analyse d'échantillons prélevés ponctuellement (substances pharmaceutiques ou perturbateurs endocriniens). Les outils et les savoir-faire acquis devraient également permettre de développer de nouvelles applications notamment dans les bassins versants à vocation agricoles dans le but d'identifier l'impact des pratiques culturales sur les masses d'eau.



Figure 1 : Prélèvement de sédiments (réseau SD)



Figure 2 : Encagement d'invertébrés (réseau Biotes)

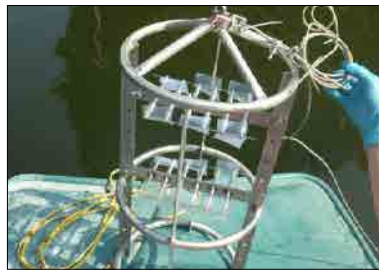
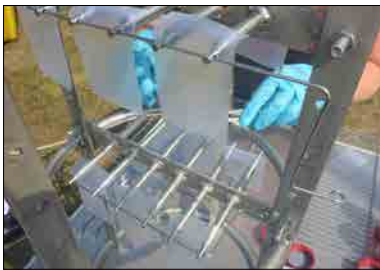


Figure 3 : Déploiement d'échantillonneurs passif de type silicone rubber (SSP-M823) sur la Meuse à Visé



Figure 4 : Prototype de Time Integrated Sampler développé dans le cadre du projet GISSeD

SUMMARY

In Wallonia, the control of the compliance to biota environmental quality standards (EQS_{biota}) and long-term trend analysis of priority substances concentrations in surface water conducted under Directives 2008/105/CE and 2013/39/UE experienced some issues: (1) Absence of biota in approximately 30% of the sampling stations of the surface water network; (2) Uncertainties related to the use of these organisms (variations related to age, species, gender, time spent in the surface water body, metabolism, ...) and (3) Difficulty to accurately assess mean concentrations and to establish a quantitative report of emitted pollutants. Alternative monitoring methods need to be developed in order to overcome these drawbacks.

Passive samplers have multiple advantages: the management of their field deployment (exposure time, fixed location, controlled exposed surface, ...) is easier, they are low-cost, they allow the detection and quantification of compounds at ultra-trace levels, and comparison of data from different sites can be easily conducted.

One of the aims of this project is to develop, evaluate and validate the use of passive samplers for the monitoring of surface water in Wallonia.

NANH₂O - ELABORATION D'UN PROTOCOLE DE CARACTÉRISATION DES NANOPARTICULES DANS LES EAUX NATURELLES ET ÉTUDE DU TRANSFERT DES NANOPARTICULES DANS LES AQUIFÈRES

Intervenants ISSeP : Christophe FRIPPIAT, Audrey JORIS, Benedicla RONCHI, Mathieu VESCHKENS

Durée : 2015-2019

Partenaires : ULIÈGE

INTRODUCTION

Les nanoparticules (NP) sont des particules très réactives de par leur taille nanométrique (< 1 µm). Cette réactivité importante est actuellement abondamment utilisée dans une multitude de secteurs (transport, textile, électronique,...) et cette utilisation croissante augmente la probabilité de leur dissémination dans l'environnement. Cependant, les NP peuvent présenter un risque pour l'environnement et l'homme puisque leur taille et réactivité leur permet de pénétrer dans les organes vivants et leurs cellules. Pour mieux évaluer ce risque, il est fondamental de comprendre les processus qui régissent leur mobilité au sein de l'environnement. C'est dans ce contexte que le projet NANH₂O s'intéresse aux NP d'oxydes métalliques présents dans les milieux aquatiques et vise à améliorer la compréhension de leurs mécanismes de transfert dans les eaux souterraines.

OBJECTIFS ET MÉTHODE

Le projet s'articule en deux volets. Le premier vise à contribuer en matière de caractérisation des NP dans les eaux naturelles. En effet, la caractérisation des NP est toujours en cours de développement car elles se caractérisent par une multitude de critères (taille, composition, charge surfacique,...) variables selon les conditions environnantes. De plus, les matrices environnementales contiennent des NP naturelles non distinguables des NP synthétiques jusqu'à présent. Certaines méthodes permettent de séparer les particules d'un échantillon selon leur taille avant d'analyser leur composition telle que le SP-ICPMS (Heithmar, 2011). Lorsque ces techniques spécifiques ne sont pas disponibles, comme à l'ISSeP actuellement, il est également possible de doser des concentrations totales de l'élément recherché, sous forme dissoute et particulaire. Dans ce contexte, différentes méthodes de minéralisation sont testées

afin de s'assurer de dissoudre la totalité des NP en suspension dans l'eau avant l'analyse à l'ICP-OES.

Le second volet étudie les mécanismes de transfert dans les eaux souterraines afin d'évaluer la vulnérabilité des aquifères calcaires et silicatés. Le transport de NP en milieu souterrain est régi par les lois d'advection et de diffusion, telles que des produits dissouts, mais également par la théorie classique de la filtration, telle que les colloïdes, et les phénomènes d'adsorption. L'effet de la composition de l'eau des aquifères sur les NP de TiO₂ est testée en calculant la vitesse de sédimentation des NP en suspension dans des eaux stagnantes pompées en aquifères carbonatée et silicatée et dans une eau ultrapure. L'effet de la matrice rocheuse est évalué en injectant une solution de NP de TiO₂ (150 mg/l à pH 3) dans des colonnes remplies de billes en verre, de fraction sableuse carbonatée ou de fraction sableuse

silicatée. Les concentrations en TiO_2 sont analysées dans les solutions à la sortie de la colonne ainsi que dans les matrices sableuses.

RÉSULTATS

$NANH_2O$ se concentre sur l'étude des différences de concentrations avant et après dopage d'une solution avec des NP de TiO_2 et a développé pour cela une méthode qui permet de dissoudre les NP de TiO_2 dans l'eau afin de mesurer la concentration totale en TiO_2 par ICP-OES. Le rendement de différentes méthodes de minéralisation fut donc testé et celle basée sur la norme NBN EN 14385 (HF, HNO_3 , H_3BO_3) validée comme étant la plus efficace. Cette méthode a été utilisée pour doser les concentrations de fond en TiO_2 total dans des eaux souterraines en Wallonie (masses d'eau RWM100, RMW011, RWM40, RWE031) qui étaient sous les limites de détection ($Ti < 25 \mu g/l$). Le test de sédimentation a démontré que les eaux naturelles favorisent l'agglomération des NP de TiO_2 en comparaison à l'eau ultrapure de par la présence

de colloïdes naturels mais également par les liaisons que créent les NP avec d'autres éléments (Cornelis et al., 2014). En comparant différentes eaux naturelles, on constate cependant que les concentrations élevées en sulfates, nitrates, calcium ainsi que le taux d'alcalinité élevé dans l'eau peuvent ralentir le processus de sédimentation endéans les 24 h. Les tests de transfert de NP en colonnes démontrent la grande capacité de filtration des fractions sableuses. En effet, le TiO_2 n'est uniquement détecté en faible concentration à la sortie de la colonne de billes de verre (cfr flèche bordeaux de la Figure 1) mais pas pour les deux fractions sableuses. L'analyse du sable a révélé que la totalité du poids de NP de TiO_2 injecté dans la colonne est détecté dans le sable situé à proximité de l'entrée de la colonne (Figure 1). Les billes en verre n'ont pas été analysées comme le sable mais rincées avec une solution alcaline ($NaOH 10^{-4} M$; pH 10) : seuls $8 \mu g$ de TiO_2 furent libérés de la colonne par ce rinçage. Les NP restent donc au sein de la colonne malgré les changements de conditions de pH.

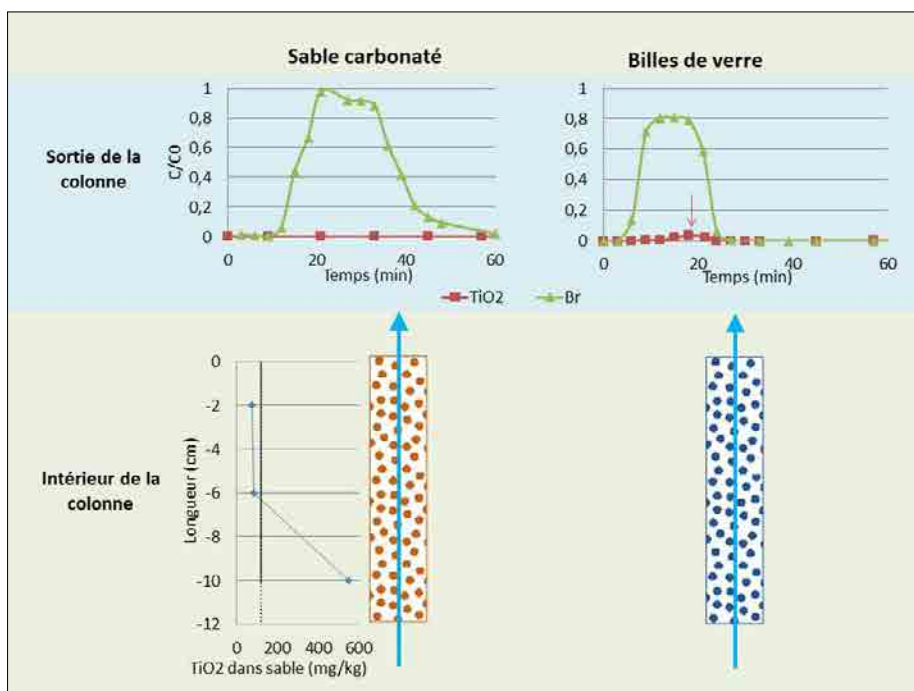


Figure 1 : En haut - Taux de récupération des concentrations en traceur inerte (Br) et en NP de TiO_2 à la sortie de la colonne remplie de sables carbonatés à gauche et de billes en verre à droite. En bas – Concentration en TiO_2 mesurée dans le sable carbonaté après le passage de la suspension de NP de TiO_2 . La ligne noire en pointillés représente la concentration de fond en TiO_2 du sable carbonaté. La flèche bleue indique le sens du flux à travers la colonne.

PERSPECTIVES

Grâce aux résultats obtenus lors des expériences de transport, la capacité de filtration des différentes matrices peut être comparée en simulant numériquement ces expériences dans le software HYDRUS 1D. Le paramètre d'attachement qui sera calculé permettra d'estimer les quantités de NP que la matrice peut fixer avant de larguer des NP dans l'environnement. L'effet de débit variable sur

ce relargage pour simuler l'infiltration de nouvelles pluies dans un sol pourra également être simulé. Dans un second temps, les mêmes expériences seront appliquées avec des NP d' Al_2O_3 afin de déterminer si ces NP sont plus mobiles que celles de TiO_2 , le but étant d'observer lesquelles doivent être les plus surveillées pour les risques environnementaux.

SUMMARY

The increasing use of engineered nanoparticles (NP) leads to their release in the environment, i.e. in aquifers. However, their transport through aquifers remains unclear up until now. This project aims to develop quantification methods of NP concentrations in groundwater samples on the one hand, and to characterize their transport through aquifers on the other hand. NP stability in solutions and its affinity with mineral grains depends on its surface charge which varies with pH conditions but also on the ionic strength of the solution. Consequently, nano-sized TiO_2 (n TiO_2) are expected to behave differently in silicate and carbonate aquifers as groundwater chemistry is influenced by the host rock mineralogy. Our study evaluates therefore different mineralization protocols to measure NP concentrations, the sedimentation rates of NP in different types of water and the transport of NP through sand columns of different mineralogies.



NOS PROJETS DE RECHERCHE

**CARACTÉRISATION DES
MATIÈRES SOLIDES :
SOLS, SÉDIMENTS,
DÉCHETS ET
C.E.T.**

BIOBOS - PRODUCTION DE BIODIESEL À PARTIR DE BOUES DE STATION D'ÉPURATION (STEP)

Intervenants ISSeP : Christophe FRIPPIAT, Anne GALLOY, Cécile KECH, Caroline NADIN

Durée : 2015-2018

Partenaires : CRM, CRA-W

INTRODUCTION

Dans le cadre des objectifs du « Paquet Climat-Energie » de l'Union Européenne, la Directive 2009/28/CE fixe un objectif de 10 % d'énergies renouvelables dans le transport en 2020. Un des biocarburants les plus prometteurs pour la réalisation de cet objectif, le biodiesel, est produit à partir de matières premières riches en lipides. Actuellement, le principal obstacle à la production à grande échelle et à la commercialisation du biodiesel est la nécessité d'utiliser des huiles végétales issues de ressources agricoles conventionnelles entrant en compétition avec l'agroalimentaire. Il en résulte que 70 à 85 % du coût lié à la production du biodiesel est imputé à ces matières premières.

La gestion des boues générées par les stations d'épuration urbaines (STEP) représente un coût important (environ 49 000 tonnes de boues sèches ont été produites en Wallonie en 2014 (Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE)). Or ces boues constituent une source de lipides dont l'utilisation pour la production de biodiesel permet l'accès à une quantité importante de matières premières, mais permet également de s'attaquer à trois problèmes importants, à savoir la réduction du volume de déchets à traiter et à éliminer dans les STEP, la non-compétition avec l'agro-alimentaire et la production à moindre coût du biodiesel.

L'objectif principal du projet *BioBoS* est de proposer un pilote de conversion des lipides extraits des boues de STEP en respectant des critères économiques, énergétiques et environnementaux. Après un développement à l'échelle du laboratoire, le procédé proposé doit être transposé à l'échelle semi-industrielle pour autant que l'évaluation économique préalable soit favorable. L'objectif secondaire est d'évaluer différentes voies de valorisation du résidu d'extraction.

CARACTÉRISATION DES BOUES WALLONNES EN VUE DE LEUR CONVERSION EN BIODIESEL

Le contenu en lipides des boues de STEP urbaines wallonnes issues des différentes phases de traitement a été déterminé (Figure 1), ainsi qu'une série de paramètres permettant d'évaluer la qualité des boues et des lipides qu'elles contiennent en vue de la conversion en biodiesel (teneurs en eau, en matières sèches et en carbone organique des boues, profil acides gras, teneur en acides gras libres et indice de saponification des lipides extraits).

EXTRACTION DE LIPIDES DES BOUES : UN VÉRITABLE DÉFI

L'utilisation de solvants organiques est la méthode actuellement la plus employée pour l'extraction des lipides. Toutefois, cette méthode ne respecte pas le critère environnemental fixé car la contamination du résidu d'extraction par des solvants peu respectueux de l'environnement limiterait fortement les voies de valorisation exploitables pour la réalisation du second objectif du projet. D'autres voies d'extraction ont été explorées, mais aucune méthode répondant aux trois critères n'a pu être dégagée.

LA CONVERSION IN-SITU CATALYSÉE PAR DES ENZYMES : UNE SOLUTION PROMETTEUSE

Afin de contourner le problème de l'extraction des lipides, une méthode de conversion *in situ* catalysée, c'est-à-dire une méthode « 2 en 1 » permettant l'extraction des lipides et leur conversion en biodiesel en une seule étape, a été explorée. Cette méthode présente les avantages de partir de la boue brute (pas de déshydratation préalable), d'éviter l'étape d'extraction problématique, et de proposer un procédé plus respectueux de l'environnement puisque l'emploi d'un catalyseur de type enzyme lipase 100% biodégradable permet de ne pas contaminer le résidu obtenu en vue de sa valorisation.

Le catalyseur enzymatique commercial Eversa® Transform 2.0 spécifique pour la conversion des lipides en biodiesel a été utilisé pour le développement en laboratoire. Dans les meilleures conditions, un rendement de 6,8% équivalent boue sèche en biodiesel a été obtenu.

UNE ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DÉFAVORABLE

Une première évaluation économique et de faisabilité à l'échelle industrielle a été réalisée (Figure 2). Celle-ci a été établie sur base des résultats de conversion *in situ* obtenus en laboratoire transposés à l'échelle semi-industrielle en simulant l'installation d'un

module de conversion au sein d'une STEP. Le résultat de cette évaluation est défavorable : le procédé proposé n'est pas rentable. Les paramètres les plus défavorables étant la faible teneur en lipides dans les boues de STEP (de l'ordre de 1% dans les boues brutes) conduisant à des rendements de conversion assez faibles, et le prix du catalyseur enzymatique. Ces deux paramètres s'ajoutent à des dépenses d'investissement déjà très élevées.

CONCLUSION

Un procédé économiquement rentable était la condition nécessaire à la transposition à l'échelle semi-industrielle. Le procédé de conversion *in situ* catalysée par des enzymes à partir d'une boue brute, bien que très prometteur, n'a pas fait l'objet de tests à l'échelle semi-industrielle. Le projet *BioBoS* a donc été acté fin 2018.

PERSPECTIVES

Le développement futur de nouveaux catalyseurs meilleurs marchés ou l'augmentation importante du prix du diesel pourraient inverser la tendance et faire en sorte que le procédé développé dans le cadre du projet *BioBoS* devienne rentable. D'autre part, ce procédé pourrait également s'appliquer à d'autres sources de lipides pour leur conversion en biodiesel.

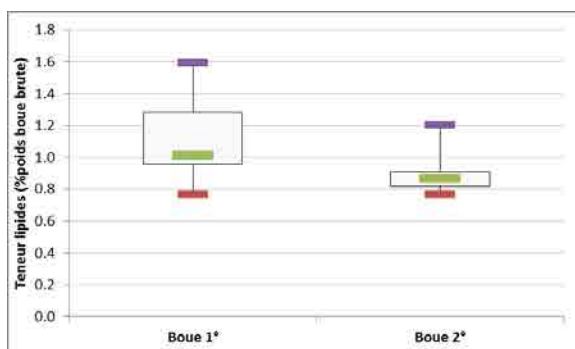


Figure 1 : Teneurs en lipides dans les boues wallonnes.

Manufacturing costs assessment ⁽⁴⁾ €/ton wet sludge	
Input materials	
Sludge fee	+40
Methanol (wet sludge wt ratio 1:3)	-0.67
Enzyme (1%wt wet sludge)	-130
Power and commodities	
Staff (overheads included)	-4.07
Maintenance	
Depreciation and amortization (13.6%)	-33.87
Revenue (Products)	
Glycerol	+0.4
FAMEs	+9
Gross margin (€)	-137.89

Figure 2 : Évaluation économique de la conversion *in situ* transposée à l'échelle semi-industrielle.

SUMMARY

The aim of the project *BioBoS* is to develop an approach to produce biodiesel using urban sewage sludge as feedstock. Sludge generated in wastewater treatment plants is a low-cost lipid feedstock available in large quantities. First, evaluation of the potential of Walloon urban sewage sludge for biodiesel production is performed by a detailed characterization. Then, different extraction and conversion methods are studied to find a process in line with some economical, energetical and environmental requirements. Finally, the economical assessment of the process is established.

CAARWAL-CARACTÉRISATION MULTI-ÉCHELLE DES PRINCIPAUX ANTHROPOSOLS ARTIFICIELS RENCONTRÉS EN RÉGION WALLONNE

Intervenants ISSeP : Diano ANTENUCCI, Claude DINGELSTADT, Christophe LAMBERT, Olivier Le BUSSY, Gabriel LORENZI, Jacques YVON

Durée : 2015-2018

Partenaires : ULorraine, GéoRessources (ENSG-CNRS-CREGU), ULIÈGE, (Laboratoire de minéralogie et de cristalochimie et Laboratoire de chimie inorganique structurale-groupe de recherche en énergie et environnement à partir des matériaux (LCIS-GREENMat)).

INTRODUCTION

Dans la plupart des pays industrialisés, les activités industrielles ont généré par le passé et génèrent encore à l'heure actuelle des déchets divers dont une partie se retrouve intégrée aux sols et forme les remblais constitutifs des anthroposols artificiels. Dans le bassin wallon, l'industrialisation active depuis le 19^e siècle a produit des quantités importantes de matériaux de ce type qui ont souvent été entassés à proximité des sites de production. Compte tenu de la durée et de l'ampleur des activités industrielles, les sols wallons ont été anthropisés sur des surfaces de plusieurs kilomètres carrés. En termes d'impacts environnementaux, ces remblais industriels sont préoccupants car ils présentent souvent des concentrations totales en éléments potentiellement toxiques (EPT) supérieures aux limites normatives en vigueur.

En pratique, le Décret relatif à la gestion des sols de 2008 oblige, dans bien des cas, à assainir les sites pollués par ces matières résiduelles : le niveau d'assainissement à atteindre est directement proportionnel à la dangerosité des contaminants déterminée par une évaluation des risques qui, le plus souvent, considère les conditions les plus défavorables (« *worst case* ») sans tenir compte de la mobilité réelle des contaminants. Une telle situation peut conduire à des assainissements très coûteux pas toujours justifiés au plan environnemental et parfois problématiques lors d'une éventuelle réhabilitation des sites concernés. Soulignons, par ailleurs, que l'Arrêté du Gouvernement wallon du 14 juin 2001 dicte le type d'utilisation autorisée après une éventuelle décontamination des terres excavées lors de chantier de génie civil, et ce sur base des teneurs totales en EPT. Pour ces raisons, il y a pertinence à mettre au point un outil qui puisse rendre compte avec fiabilité et robustesse du danger réel des anthroposols artificiels rencontrés en Région wallonne.

DESCRIPTION, OBJECTIFS ET APPROCHE DU PROJET

Puisque la mobilité et la biodisponibilité des EPT dépendent principalement de la nature des minéraux porteurs, le projet CAARWAL, regroupant trois partenaires, se proposait d'identifier les phases minérales porteuses et de prévoir leur devenir par une approche multi-échelle. Ce faisant, la démarche a permis d'avancer dans un double objectif :

préciser, d'une part, le risque environnemental réel des anthroposols artificiels wallons vis-à-vis des écosystèmes ; développer, d'autre part, une méthode simple capable d'identifier, sur le terrain, les remblais majeurs constitutifs de ces anthroposols. Compte tenu de la nature de ces derniers en Région wallonne, le travail s'est focalisé sur des matières

résiduaire engendrées par des activités industrielles métallurgiques (fer, plomb-zinc) et par l'extraction de charbon. Tandis que les scories métallurgiques proviennent de l'ancien site minier de Plombières et de l'ancienne boulonnerie de Floreffe, les échantillons

relatifs aux anthroposols houillers sont issus des anciens charbonnages de « Sainte-Pauline », à Farciennes, et « Le Hasard », à Cheratte.

RÉSULTATS

En substance, l'approche multi-échelle (Figure 1) met en exergue un riche cortège de phases porteuses d'EPT. Quelques-unes proviennent des minerais de départ : sulfures, entre autres ; certaines phases se

forment au cours du traitement des minerais : métaux libres, alliages, oxydes (spinelles), silicates, verres ; d'autres, enfin, résultent de l'altération supergène : hydroxydes, sulfates, sulfates hydratés.

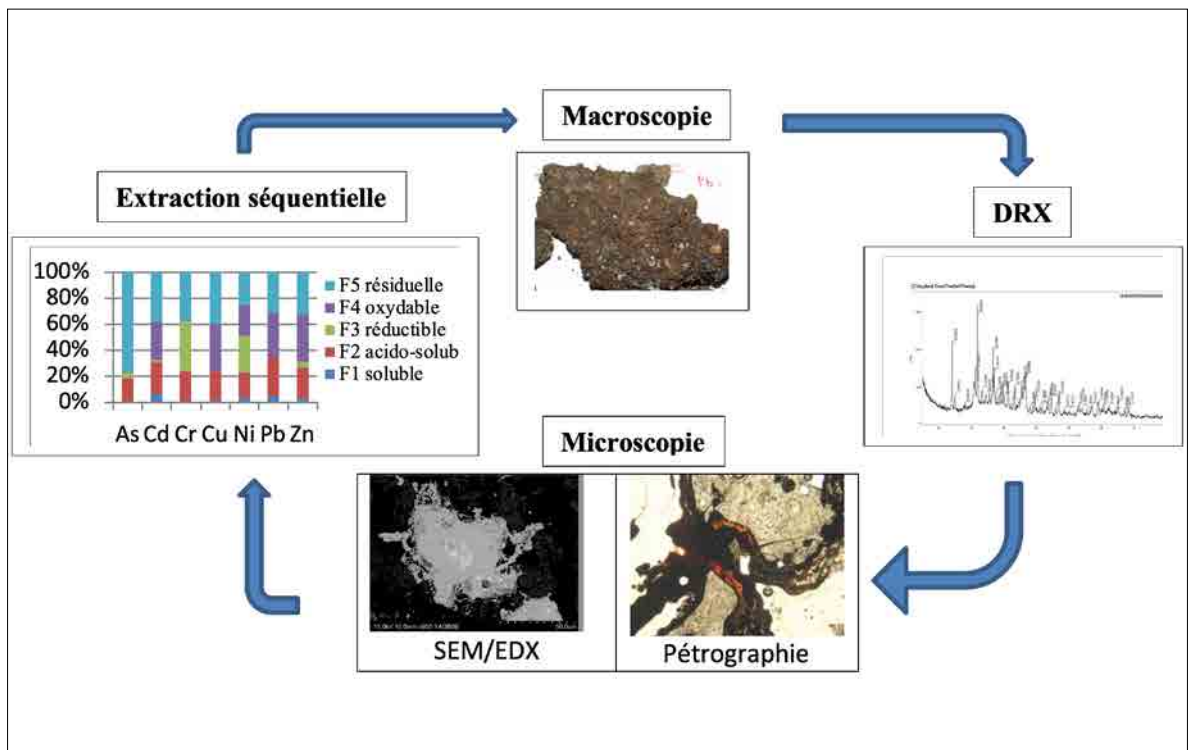


Figure 1 : Illustration de l'approche multi-échelle : DRX = diffraction des rayons X ; SEM/EDX = microscopie électronique à balayage couplée à un spectromètre à dispersion d'énergie X.

Les attaques par extractions séquentielles révèlent une stabilité très confortable des spinelles, des silicates, des sulfures et des verres, mais indiquent une solubilité significative des minéraux issus de l'altération atmosphérique. En termes de rétention des EPT, les scories de l'ancien site de Plombières montrent que les quantités de plomb retenues par rapport aux teneurs totales de départ varient entre

31% et 72% ; celles relatives au zinc oscillent entre 15% et 79%. Pour ce qui est des scories de l'ancienne boulonnerie de Floreffe, les EPT caractéristiques, soit Cr, Cu et Ni, sont retenus à plus de 80%. Dans le cas des anthroposols houillers, la rétention des EPT emblématiques, en l'espèce le Cr et le Zn, est de l'ordre de 70%.

CONCLUSIONS

L'approche retenue a permis de démontrer que le danger réel des anthroposols artificiels examinés n'est pas tributaire de la concentration totale en EPT, mais dépend de la nature des phases minérales porteuses et du degré d'altération de celles-ci dans les conditions de surface ou de sub-surface. Par ailleurs, les observations aux échelles micrométriques semblent indiquer que les phénomènes d'altération peuvent être différés dans le temps suivant que les phases cristallisées porteuses d'EPT sont serties ou non dans les matrices vitreuses, celles-ci pouvant jouer un rôle d'écran protecteur.

PERSPECTIVES

Bien qu'il soit impératif de confirmer les données obtenues par des recherches supplémentaires centrées sur des observations plus nombreuses et plus fines, l'approche développée pour la première fois sur des anthroposols artificiels wallons dégage d'emblée quelques implications pour la gestion des pollutions. Ainsi, il apparaît que, lorsque les concentrations représentatives des polluants inorganiques dépassent les limites normatives en vigueur, il y a pertinence à enrichir l'évaluation des risques vis-à-vis des écosystèmes et des eaux souterraines au moyen d'une spéciation minéralogique doublée de la détermination des teneurs représentatives réellement disponibles en EPT. À terme, pareille approche, appuyée sur un socle robuste de connaissances minéralogiques et physico-chimiques, pourrait entraîner une réduction significative des coûts liés à l'assainissement des sols pollués.

SUMMARY

Since the nineteenth century, intense industrial activities focused on steel industry and coal mining have been developed in the south part of Belgium. High volumes of solid wastes, actually backfills containing notably sterile and slags, have been produced and disposed of in large areas of the Walloon Basin. Since the mineralogical status of PTE plays a critical role in terms of mobility and bioavailability, a fine characterization of some backfills sampled from four dumps located in the south part of Belgium has been performed through a multiscale approach using optical microscopy, SEM/EDS, XRD, chemical analysis and sequential extraction methods. Beyond sulphides from residual starting mineral ores, several other compounds are inherited from the pyrometallurgical slags, typically amphoteric metals, metallic alloys, spinels, silicates and glasses, whereas hydroxydes, sulphates and hydrated sulphates are produced by supergene weathering. In case of slag from steel industry, the sequestration rate of PTE is around 80% for Cr, Cu and Ni, and it varies between 30% and 70% for Pb, and 15% and 79% for Zn. Considering the coal mining wastes, not less than 70% of Cr and Zn are sequestered. The environmental risk of these solid wastes depends on the nature of PTE-bearing minerals as well as on their weathering extent in supergene conditions. The submicronic analysis suggests that weathering processes may be delayed when the PTE-bearing minerals are located in glass matrixes acting like a protection screen. In addition to scientific knowledges, a future development of such a multiscale characterization of backfills would be a reliable tool for a better and less expensive management of wallon polluted soils.

GISSed – DÉVELOPPEMENT D'OUTILS D'ÉVALUATION DES VARIATIONS QUALITATIVES ET QUANTITATIVES DES GISEMENTS DE SÉDIMENTS DANS LES COURS D'EAU NAVIGABLES ET NON NAVIGABLES. IDENTIFICATION DES INTERACTIONS ENTRE LES DEUX GISEMENTS VIA LES PHÉNOMÈNES DE TRANSPORT

Intervenant ISSeP : Anne-Cécile DENIS, Christophe FRIPPIAT, Mathieu VESCHKENS

Durée : 2014-2017

Partenaires : ULIÈGE, DG02, DG03

INTRODUCTION

En Région wallonne, la quantité de sédiments en suspension accumulés dans les cours d'eau est estimée à environ 527.10^3 m³ par an, dont au moins 20 % doivent être enlevés afin de maintenir la capacité de navigation. L'entretien des voies navigables et non navigables wallonnes se fait presque exclusivement de manière curative. En effet, lorsque des accumulations excessives de sédiments sont repérées dans les cours d'eau, des campagnes de levés bathymétriques sont menées dans le but d'évaluer le volume de sédiments à retirer par dragage et des analyses chimiques sont réalisées afin de caractériser la qualité des sédiments. Les données ainsi collectées ne permettent qu'une gestion à court terme des matières générées par les opérations de dragages/curages. Une gestion à moyen ou long terme n'est actuellement pas envisageable en raison du manque de connaissance sur le transport des flux de sédiments et des polluants qui y sont associés. À l'heure actuelle, il n'existe aucune donnée disponible permettant d'anticiper l'évolution des dépôts de sédiments ou de mesurer le degré de pollution dans les sédiments récents, données pourtant nécessaires à l'amélioration de la gestion des sédiments dans les cours d'eau. L'objectif du projet *GISSed*, est de contribuer au développement d'outils opérationnels permettant d'évaluer le transport des sédiments et des polluants qui y sont associés, dans les cours d'eau navigables et rivières non navigables.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Trois stations expérimentales (Figure 1) ont été installées de manière permanente, sur un cours d'eau navigable (la Sambre) et un cours d'eau non navigable (la Samme), qui alimente le canal Charleroi-Bruxelles. Ces stations ont été équipées dans le but d'évaluer le transport des matières en suspension grâce à un échantillonneur automatique couplé à une sonde de turbidité et un mesureur du débit et d'en déterminer la qualité (PCB, Hg, HAP, métaux) sur base d'un échantillon de matière en suspension

prélevé au cours d'une période de temps à l'aide d'un échantillonneur intégrateur (*Time Integrated Sampler* – TIS).

RÉSULTATS

Le projet a débouché sur le développement, la mise au point, et l'évaluation sur site de deux types d'outils : des échantillonneurs en continu passifs des matières en suspension (*Time Integrated Sampler TIS*) (Figure 2) et des stations de mesure du transport des sédiments (Figure 3).

Le principe de fonctionnement des TIS développés consiste à provoquer une sédimentation forcée des matières en suspension (MES) dans une chambre cylindrique placée face au courant. Ces préleveurs sont peu coûteux et ont l'avantage de permettre le prélèvement d'échantillons de sédiments présentant un ratio quantité de sédiments récents, quantité de sédiments totale, beaucoup plus important que celui obtenu avec les méthodes de prélèvement classiques. Ils rendent donc possible un diagnostic plus précis de l'évolution de rejets en eau de surface des micropolluants, souvent toxiques, qui se fixent préférentiellement sur les matières solides.

Pour ce qui est des outils de mesure du transport de sédiments, trois stations de mesure ont pu être construites et testées dans le bassin de la Samme (à Ronquières), et dans le bassin de la Sambre (à Monceau-sur-Sambre et Châtelet). Le principe de fonctionnement de ces stations repose sur une mesure simultanée en continu des débits d'eau et des concentrations en MES (au moyen notamment de sonde de turbidité) (Figure 4). La station de Ronquières, en opération depuis 2014, a permis de démontrer qu'en moyenne 8 720 tonnes de sédiments transitent annuellement par l'exutoire de la Samme à Ronquières et se déversent directement dans le canal Charleroi-Bruxelles. Les stations de Monceau-sur-Sambre et Châtelet, fonctionnelles depuis mars 2015, permettent d'évaluer l'impact de la traversée d'une agglomération importante telle que Charleroi sur la qualité des sédiments transportés par la Sambre.

PERSPECTIVES

Si le projet *GISSeD* a permis de réaliser des avancées dans les techniques de caractérisation des sédiments et de leur transfert, il a également confirmé que le transport de sédiments reste un problème complexe à étudier et à mesurer car fortement influencé par des phénomènes extraordinaires telles que les crues. Les résultats dégagés permettent d'entrevoir de nouvelles perspectives notamment pour évaluer l'efficacité de mesures agroenvironnementales à maîtriser l'impact des activités agricoles sur les eaux de surface dans les bassins versants à vocation agricole. A plus long terme, ce projet devrait contribuer à la mise en place d'un réseau de contrôle de la qualité des matières en suspension dans les voies navigables wallonnes et viser une gestion des sédiments intégrée à l'échelle du bassin versant.



Figure 1 : Réseau pilote de stations



Figure 2 : Time Integrated Sampler



Figure 3 : (A) Station de mesure sédimentologique de la Samme à Ronquières (B) Mesure de la turbidité et échantillonnage automatique

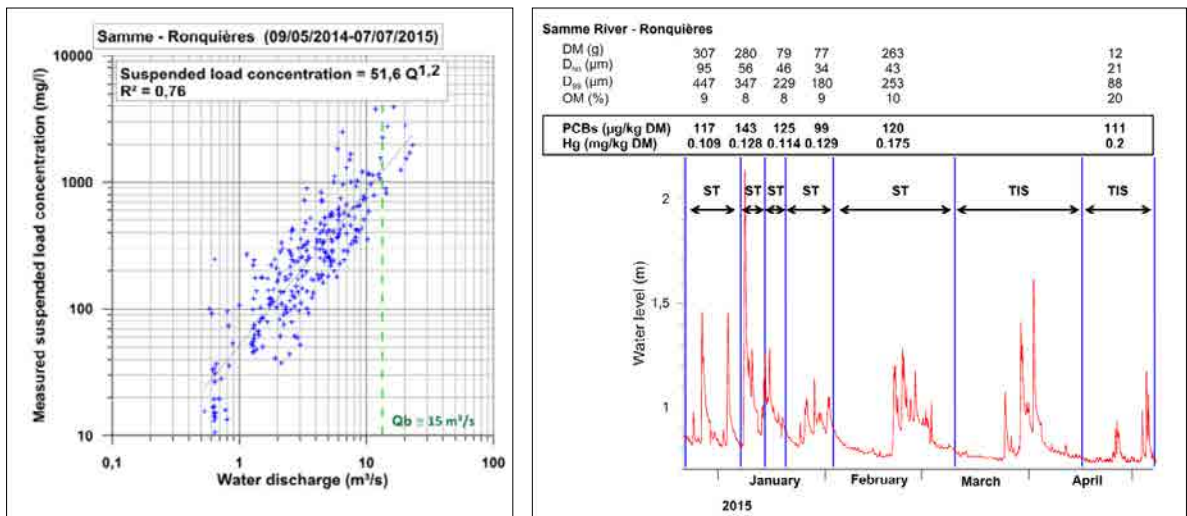


Figure 4 : (A) Relation entre la concentration en matières en suspension et le débit de la Samme à Ronquières. (B) Evolution des concentrations en micropolluants des MES de la Samme à Ronquières en fonction des événements de crue.

SUMMARY

In Wallonia (Belgium), the amount of suspended sediment accumulated in waterways is estimated at about 527.10^3 m^3 per year. At least 20% of this volume has to be removed in order to maintain navigation capacity. This maintenance is currently exclusively managed in a curative way: when local sediment accumulations are detected, bathymetric surveys are conducted in order to quantify the volume of sediment to be removed, and chemical analyses of samples allow the characterization of sediment quality. Hence, collected data only allow for a short-term management of the matter generated by dredging operations. Medium or long term planning of dredging operations is currently not possible, due to a lack of knowledge on sediment fluxes and associated pollutant transport. The cost of annual maintenance of waterways is currently estimated at least between 34 and 39 million euros. At present, there is no available data to anticipate the evolution of deposits of sediment or to measure the degree of pollution in recent sediments and thus to improve the sector of sediment management. The aim of this project is to contribute to the development of operational tools allowing the assessment of suspended sediments quality in waterways and non-navigable rivers. In the long term, this study should contribute to the establishment of a control network of suspended sediments quality in Walloon waterways.

PADI - PROGRAMME D'AIDE AU DÉVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION AU BURKINA FASO

Intervenants ISSeP : Benjamin BEAUMONT, Eric HALLOT

Durée : 2016-2030

Partenaires : ULIÈGE, DG03

INTRODUCTION

Comme les autres pays sahéliens, le Burkina Faso manque souvent de pluies, ce qui engendre d'importantes répercussions sur les productions agricoles. Ces périodes de mauvaises pluviométries, renforcées actuellement par l'accélération des changements climatiques, provoquent dans la majeure partie du pays des poches de sécheresse fréquentes avec parfois un arrêt brusque des pluies dès le mois de septembre. Les conséquences de ces sécheresses, considérables sur les cultures céréalières, menacent la subsistance des familles d'agriculteurs. Le Burkina Faso a développé depuis de nombreuses années des stratégies faisant appel à la maîtrise de l'eau dans le but d'améliorer la productivité agricole. Le développement d'outils opérationnels issus de la recherche-développement et le renforcement des compétences des acteurs au sein du Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques sont mis en place dans le projet PADI/ BF 103. Ce projet a débuté en 2011 au sein de l'Université de Liège pour une durée de 6 ans. Il est sous la responsabilité de la CTG depuis 2016. Des missions d'accompagnement et de formation sont réalisées chaque année, entre autres la conception et réalisation d'un drone bathymétrique, un colloque de présentation des résultats, des visites de chantiers écoles dans le cadre de la mise en œuvre des plans de gestion, des formations en télédétection.

Le projet PADI est axé autour de trois objectifs principaux : (1)

- La mise en place d'un système de suivi des apports sédimentaires (charge en suspension et charge de fond) des retenues à l'échelle du bassin versant et de la parcelle agricole ;
- Le développement d'outils d'aide à la décision pour (i) la gestion des ressources en eau des retenues d'eau et (ii) la cartographie du risque d'érosion des sols par télédétection ;
- La mise en place de plans de gestion centrés sur la formation, la gestion durable des terres et des eaux et l'aménagement intégré des bassins versants.

La seconde phase du projet s'est clôturée en mars 2018. Durant cette année, les actions ont été centrées sur la mise en œuvre des plans de gestion au niveau des bassins versants, (2) la diffusion des résultats (documents de capitalisation et réalisation d'un film pédagogique) et (3) la formation en télédétection (données Sentinel 1 et 2).

SÉDIMENTATIONS DES RETENUES

La sédimentation des retenues est liée aux apports des volumes de sédiments a été réalisée par qui s'accumulent dans les cuvettes lors des une approche sédimentologique impliquant le écoulements en saison pluvieuse. La quantification prélèvement de carottes de sédiments réparties

de manière homogène dans les trois cuvettes. Ces prélèvements ont été analysés selon différents paramètres : rayons X, susceptibilité magnétique, % de matières organiques, indices granulométriques (D50 et D90) afin de déterminer la position de l'ancien sol. L'épaisseur des dépôts sédimentaires accumulés depuis la mise en place des retenues a été interpolée par la méthode des polygones de Thiessen, ce qui a permis l'estimation des volumes déposés depuis la création de la retenue. Ces valeurs ont été validées par le suivi annuel de plaques en béton de 1 m² installées dans la cuvette d'une des retenues présentant un assec annuel. Les taux d'érosion spécifique mesurés sont conformes à ceux obtenus

par d'autres auteurs ayant réalisés des études sur la sédimentation de retenues au Burkina Faso. L'origine des sédiments a été distinguée et quantifiée selon 2 échelles spatiales. L'échelle locale vise les ruissellements au niveau des parcelles agricoles installées sur les berges des retenues et l'échelle du sous-bassin correspond à la partie du bassin versant à l'amont des retenues, qui drainent les écoulements qui alimentent en eau ces retenues. Des dispositifs de mesure des écoulements en eau et de la charge solide (charge de fond et matières en suspension) ont été mis en place et suivis à ces deux échelles (Figures 1 a et b).

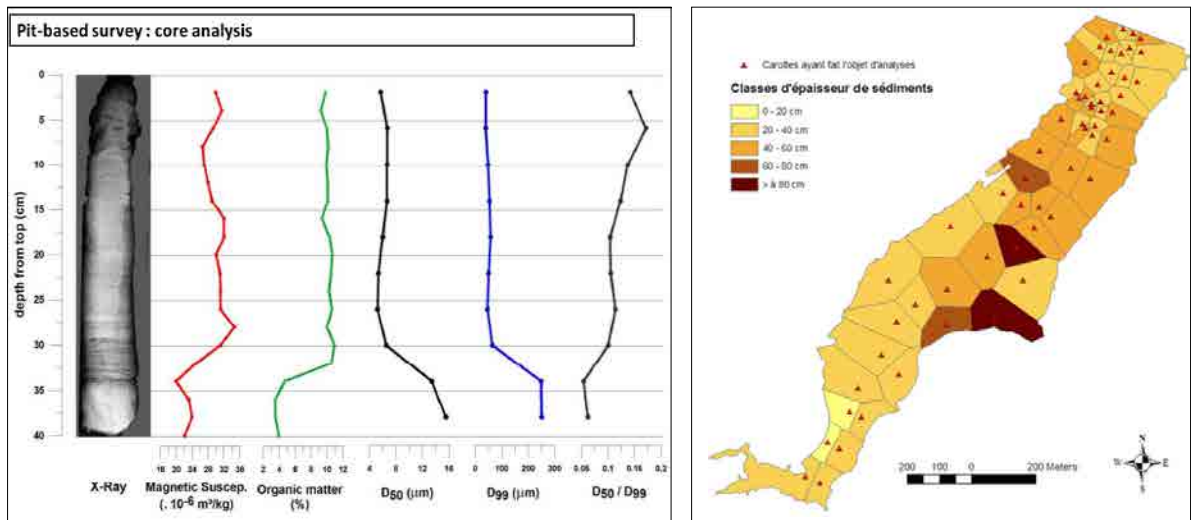


Figure 1 (a et b) : Estimation de l'épaisseur des sédiments accumulés dans les retenues.

OUTILS DE PLANIFICATION HYDROLOGIQUE

Les bilans hydrologiques des trois retenues ont également été réalisés. Ils ont permis de faire une évaluation quantitative de la ressource en eau et de son évolution sous l'influence des activités humaines (irrigation, bétail, usage domestique) et des pressions naturelles (évaporation, infiltration). Ils ont également permis d'appliquer l'outil de planification des ressources en eau (WEAP - *Water Evaluation And Planning System*) qui tient compte de paramètres à la fois du côté de la demande (modulations de l'utilisation de l'eau, efficacités des équipements,...) et de l'offre (débit de rivière, eau souterraine, retenues et transferts d'eau). Cet outil donne la possibilité de simuler la capacité de la retenue à satisfaire les demandes futures (productions agricoles et abreuvement du bétail) dans un contexte

de changement des conditions d'exploitation des retenues. Différents scénarios comme la diminution des volumes de stockage due à la sédimentation de la cuvette de la retenue ou l'augmentation des surfaces irriguées autour de la retenue ont été appliqués. Les résultats montrent que, dans l'ensemble, à partir de la campagne d'irrigation 2022-2023, les exploitants devront changer leurs habitudes culturelles à travers les 2 scénarii. Ils devront abandonner le second cycle de culture ou produire des spéculations à cycles courts n'excédant pas 2 mois jusqu'en 2025, ou développer des méthodes d'irrigation plus économes en eau (goutte à goutte...). De 2025 à 2030, les producteurs seront contraints à limiter leur campagne à un seul cycle de production pour assurer une couverture totale de la demande (Figure 2).

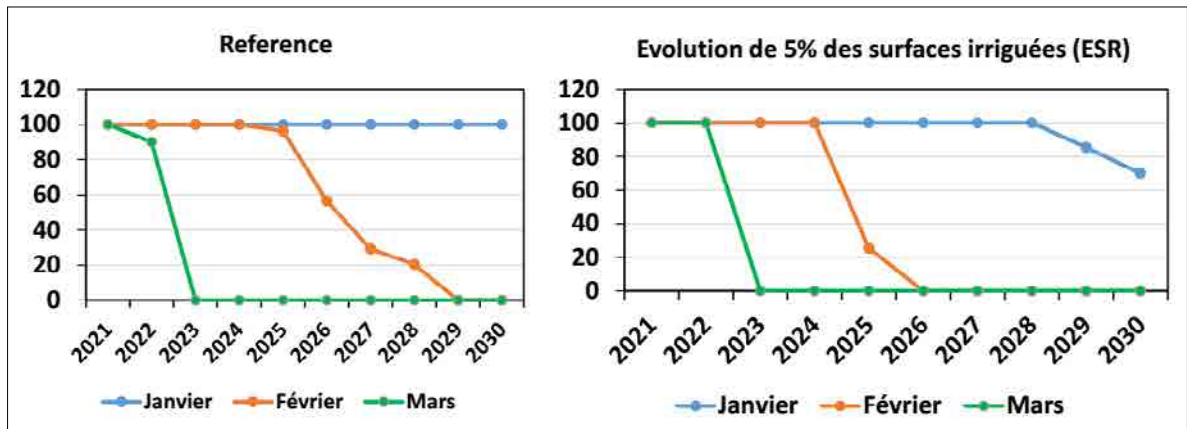


Figure 2 : Scénarii de la satisfaction de la demande en eau intégrant la diminution des volumes de stockage dû à la sédimentation de la cuvette de la retenue de la retenue de Kierma et une augmentation de 5% des surfaces irriguées autour de la retenue de Kierma

RISQUE D'ÉROSION

Une autre partie du projet a été d'utiliser l'imagerie satellitaire (Spot 5 / Sentinel-2) en combinaison avec des observations sur le terrain pour identifier et cartographier les zones à risques d'érosion hydrique dans les bassins versants à l'étude. Les résultats ont été intégrés dans un SIG en vue de permettre une vulgarisation et une prise de décision adéquate avec une bonne planification spatiale des actions prioritaires à mener dans la lutte contre l'érosion en nappe. La méthodologie adoptée est basée sur la version révisée de l'équation universelle des pertes en sol (RUSLE). Elle implique l'intégration des principaux facteurs de l'érosion hydrique : climatiques (intensité des pluies), topographiques (relief), pédologiques (propriétés des sols) et anthropiques (usages des terres, couvert végétal, mesures d'aménagement des sols, ...). Les résultats obtenus sont majoritairement influencés par la couverture végétale du sol qui a été estimée à partir de l'indice de végétation MSAVI2. Les pentes du bassin versant sont très faibles à l'exception des quelques dômes granitiques présents. Les zones présentant les plus forts risques d'érosion des sols correspondent principalement aux sols nus et dégradés, à des espaces cultivés sur des sols pauvres situés en tête de bassin, à faible productivité ou occupés par des cultures basses de type arachide.

PLANIFICATION DE LA PROTECTION DES RETENUES

Les différents outils développés dans cette étude ont été mis à profit pour la planification stratégique de mesures de protection des retenues. Des plans de gestion des retenues et de leur bassin versant ont été élaborés. Ils comprennent une phase de diagnostic des pressions et des risques d'érosion des sols et une partie consacrée aux mesures de protection envisageables. Cette approche de la planification a intégré les deux échelles d'analyse adoptées par le projet. À l'échelle locale (la retenue et ses berges), les mesures de gestion préconisées visent la gestion durable des terres et des eaux exploitées par les usagers des retenues. Elles consistent en la délimitation d'une Zone de Protection Totale à respecter et d'une Zone de Protection Rapprochée. Cette dernière correspondrait à la « Surface de Production Admissible » autour de la retenue, en relation avec les ressources hydriques mobilisables dans laquelle un renforcement des capacités techniques des producteurs pour une gestion durable des ressources en eau et en sol est à réaliser (amélioration de la productivité de l'eau d'irrigation, piégeage des pesticides, promotion des bio-pesticides, gestion intégrée de la fertilité des sols et des cultures...) (Figure 3). Une proposition de rehaussement d'un déversoir (retenue de Kierma) a été étudiée techniquement ainsi que les impacts socio-économiques pour les producteurs locaux. Cette solution est proposée dans le plan stratégique.



PERSPECTIVES

Un nouveau plan d'actions de 5 ans (2018 - 2022) vient d'être lancé en collaboration avec l'ULIÈGE et le DEMNA (DG03). L'axe stratégique sera le capital humain ainsi que le renforcement des structures et des acteurs dans les secteurs de l'eau et de l'environnement. L'Objectif général sera de contribuer à la mise en œuvre du Programme de Gestion Intégrée des Ressources en Eau 2016-2030 et de la Politique Nationale de Développement Durable de l'Agriculture Irriguée par l'amélioration de la gestion de l'eau à l'échelle des sous-bassins. Spécifiquement, l'ISSeP appuiera le renforcement de la connaissance, de la gestion et de la protection des ressources en eau de surface, renforcera les capacités de la DGRE, de l'Agence de l'Eau du Nakambé, des Comités Locaux de l'Eau et des usagers pour une gestion efficace et durable de l'eau.

Figure 3 : Cartographie des mesures d'aménagements proposées dans le bassin versant de Wedbila

SUMMARY

Like other Sahelian countries, Burkina Faso often lacks of rainfalls which significantly impacts its agricultural production. These periods of poor rainfalls are currently reinforced by the acceleration of global change. They are responsible for frequent small periods of drought in whole country, sometimes with a sudden cessation of rains in early September. The consequences of these droughts, which are significant for cereal crops, threaten the livelihoods of farming families. For many years, Burkina Faso has developed strategies using water management to improve agricultural productivity. The development of operational tools resulting from R&D and the strengthening of the skills of stakeholders within the Ministry of Agriculture and Water Resources, are implemented in the *PADI/BF* 103 project. This project began in 2011 at the University of Liege for a period of 6 years. It is under the responsibility of the CTG since 2016. Support and training missions are carried out each year. They include: the design and construction of a bathymetric drone, a symposium to present the results, school visits as part of the implementation of management plans and, finally, remote sensing trainings.

The *PADI* project is based on three main objectives: (1) The implementation of a system for monitoring sediment inputs (suspended load and bottom load) of reservoirs at the scale of the catchment area and agricultural parcels; (2) The development of decision-making tools for (i) water resource management of reservoirs and (ii) mapping of soil erosion risk by remote sensing; (3) The implementation of management plans focusing on training, sustainable land and water management and integrated watershed management.

The second phase of the project ended in March 2018. During this year, actions focused on (1) the implementation of management plans at the level of river basins, (2) the dissemination of results (capitalisation documents and the production of an educational film) and (3) training in remote sensing (Sentinel- 1 and -2 data). A new 5-year action plan (2018 - 2022) has just been launched.

VALSE - VALORISATION TRANSFRONTALIÈRE DE SÉDIMENTS ET DE MATIÈRES ASSIMILÉES

Intervenant ISSeP : Laurence HAUCHE, Elodie BOUHOLLE, Florian LIÉNARD

Durée : 2016-2020

Partenaires : Armines, BRGM, CTP, DGO2/LRH, IMT Lille Douai, INERIS, ULille/LASIR, VITO, MOW, Sedisol et VNF

INTRODUCTION

Au nord de la France, en Wallonie et en Flandre, les voies d'eau sont le siège d'une très forte sédimentation liée à un faible relief. Cette sédimentation affecte la navigation, augmente le risque d'inondation, et nuit à la qualité de l'eau. La position géographique stratégique de ces trois régions au regard des liaisons fluviales d'Europe du Nord oblige les gestionnaires des voies d'eau à maintenir une navigation de gros tonnages (curages, recalibrage de canaux, ...). Ceci génère un volume important de sédiments sortis de l'eau, auxquels il faut trouver un exutoire, faute de quoi, les voies d'eau ne pourront être dégagées et certains gros projets stratégiques (canal Seine-Escaut) ne pourront voir le jour.

Le projet *Valse*, cofinancé par le programme Interreg V FWL, regroupe neuf opérateurs français et belges (Armines, BRGM, CTP, DGO2/LRH, IMT Lille Douai, INERIS, ISSeP, Université de Lille/LASIR, VITO), et 3 opérateurs associés (MOW, Sedisol et VNF). Il s'attache à réduire les principaux verrous techniques s'opposant à la réutilisation et à la valorisation de sédiments et terres excavées. Le projet propose des actions ciblées destinées à rendre plus efficaces ou attractives des options existantes. Ce travail tend vers l'opérationnalité par la mise en œuvre d'ouvrages en vraie grandeur : une butte paysagère et une piste cyclable. Des procédés innovants/optimisés permettant des voies de réutilisation ou améliorant les filières existantes, seront mis en œuvre. Il s'agit de production à partir de sédiments fluviaux, de granulats pour l'isolation dans le bâtiment, de béton et de ciment.

L'innovation réside également dans la mise en œuvre d'outils de caractérisation rapide pour l'aide à la décision sur site facilitant la réutilisation, et d'outils de monitoring environnemental, notamment ceux adaptés au suivi de la qualité des eaux issues des ouvrages de valorisation et du milieu naturel environnant.

Par cette mise en œuvre, le projet veut participer à la démonstration de la faisabilité d'une réutilisation de matières et des bénéfices de l'économie circulaire.

RÉSULTATS OBTENUS

Le projet *Valse* (www.valse.info) est à mi-parcours, les principaux résultats obtenus concernent : la mise au point d'outils de monitoring et de caractérisation sur site ; le suivi écologique et écotoxique d'un ouvrage de valorisation de sédiments, à savoir, une butte paysagère.

Les outils de monitoring et de caractérisation développés sont des microélectrodes de carbone recouvertes d'un film de bismuth, qui permettent de mesurer certains éléments métalliques comme le Zn aussi bien dans des sédiments que dans des matrices liquides. Le fonctionnement général de l'appareillage a été démontré lors de campagnes de terrain même si des ajustements sont encore nécessaires. Il en est

de même de l'extraction et de la détection des AVS (sulfures dits « volatils » qui jouent un rôle clé dans la mobilité des métaux dans les sédiments des terrains de dépôt) dont la faisabilité sur site a été démontrée.

Le suivi écologique de la butte paysagère va dans le sens d'une bonne intégration des sédiments dans le paysage existant. La richesse de la faune et de la flore est même supérieure à celle de la zone témoin. D'un point de vue floristique, la butte composée de sédiments et le talus de terre témoin se révèlent être des milieux différents. Le témoin apparaît comme un milieu pauvre mais stable où coexistent les strates herbacée et muscinale. La butte paysagère est en revanche un biotope n'ayant visiblement pas encore atteint d'équilibre écologique : initialement peuplée des espèces avec lesquelles elle a été semée, de nouveaux végétaux semblent progressivement s'y implanter, signifiant que les sédiments ne représentent a priori pas de frein à l'installation d'une flore à leur surface. Cette flore est plus riche et variée que celle du témoin. Les relevés faunistiques effectués sur la butte paysagère comme le témoin indiquent qu'ils sont des milieux pauvres en espèces. Ces espèces ne sont sans doute pas résidentes de ces milieux et ne font que les traverser. Ces résultats suggèrent toutefois que les sédiments ne semblent

pas constituer un habitat plus néfaste à la survie de la faune que la terre du témoin.

Les tests d'écotoxicité menés (test de nitrification et test de reproduction des vers de terre), ne révèlent pas de toxicité des sédiments vis-à-vis des « espèces » testées (bactéries nitrifiantes et vers de terre). Les essais de reproduction indiquent que les populations de vers de terre ne sont pas davantage affectées par un substrat à base de sédiments qu'un substrat tellurique. Au contraire, tout indique que la reproduction s'y déroule mieux.

Pour ce qui est de l'activité des bactéries nitrifiantes, même si les phénomènes de nitrification sont plus élevés dans le sol témoin que dans les sédiments de la butte, il n'en demeure pas moins que l'activité de nitrification reste significative dans la butte.

PERSPECTIVES

Les différentes actions du projet vont se poursuivre avec un point d'attention particulier pour l'optimisation des formules de valorisation des sédiments dans les applications en génie civil.

SUMMARY

The shallow relief in Belgium and northern France favors a high sedimentation rate in the waterways, requiring many dredging works to maintain the navigability. This generates significant quantities of sediments for which there are few valorization pathways. Waterways operators and administrations are still waiting for efficient valorization solutions.

The *VALSE* project, funded by the Interreg V FWL program, aims to validate valorization pathways through the implementation of large-scale works (landscape mound, cycle path) that promote a good integration in territories and a sustainable use.

Material valorization remains a challenge in several engineering areas, and the *VALSE* project is committed through the development of measurement tools for matrix environmental characterization and the implementation of sustainable and innovative concrete formulation technologies, cement manufacturing for civil engineering and aggregate production for building insulation.

A satellite is shown in orbit above the Earth's surface, which is covered in blue oceans and white clouds. The satellite has a large, dark, circular dish antenna and several solar panels. A light blue geometric shape, resembling a large triangle, is overlaid on the left side of the image. The background is a dark space filled with stars.

NOS PROJETS DE RECHERCHE

**OBSERVATION DE
LA TERRE**

COPERNICUS – INTÉGRER LES DONNÉES SATELLITAIRES DANS LE SUIVI DYNAMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

Intervenants ISSeP : Benjamin BEAUMONT, Odile CLOSE, Eric HALLOT, Sophie PETIT, Gérard SWINNEN, Laura VAN DE VYVERE, Coraline WYARD

Durée : activité permanente

Partenaires : DGO4, AwAC

INTRODUCTION

Le programme européen d'observation de la Terre *Copernicus* révolutionne le développement de services environnementaux et d'aménagement du territoire, aussi bien aux échelles globales que régionales. Initié en 2014 avec le lancement du satellite *RADAR Sentinel-1A*, le programme dévoile tout son potentiel depuis les lancements des satellites Sentinel-2A (2015) et 2B (2017), opérant dans les gammes du visible et du proche-infrarouge. Désormais, c'est une vraie constellation de satellites qui survole en continu l'ensemble des surfaces terrestres et qui fournit en diffusion ouverte une information quasi-journalière, précise et diversifiée, utile à de nombreuses applications. Le programme garantit la pérennité des services développés par le lancement et le renouvellement des satellites jusqu'à l'horizon 2030.

Depuis 2016, l'ISSeP exploite les données *Sentinel* en accès totalement ouvert pour développer des services pérennes utiles aux administrations wallonnes. Deux projets sont ainsi en cours : *EO₄LULUCF* et *SAR*. Le projet *EO₄LULUCF* vise à doter les responsables du rapportage climatique belge d'un outil innovant exploitant les séries temporelles d'images *Sentinel* pour la classification de l'affectation des terres et des changements annuels s'y opérant. Le projet *SAR* ambitionne pour sa part de développer pour l'opérateur régional (DAO – DGO4) un outil de suivi dynamique permettant la mise-à-jour de l'inventaire des sites à réaménager. En dehors de ces projets où le potentiel du satellitaire est en phase de démonstration, le programme *Copernicus* ouvre de nombreuses perspectives pour l'ISSeP telles que la cartographie de l'occupation du sol, la détection de pollution, la gestion de crise ou l'aide au développement.

Afin d'encourager le développement d'un écosystème wallon en observation de la Terre, l'ISSeP, en collaboration avec le pôle spatial Skywin et la société privée *Spacebel*, œuvre en tant que Relais *Copernicus*. Dans ce cadre, le relais s'engage à diffuser, valoriser et former les utilisateurs wallons à l'exploitation des données et des services proposés par le programme *Copernicus*.

L'OBSERVATION DE LA TERRE AU SERVICE DU REPORTING CLIMATIQUE ET EN PARTICULIER DU SECTEUR DE L'UTILISATION DES TERRES, DU CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES ET DE LA FORESTERIE (LULUCF)

Afin de respecter la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), l'administration wallonne se doit de réaliser un inventaire annuel sur les émissions de gaz à effet de serre liées au secteur de l'utilisation des

Terres, le changement d'affectation des Terres et de la Foresterie (UTCATF/LULUCF). Cet inventaire nécessite une représentation cohérente, complète et transparente des superficies des terres. Le projet *EO₄LULUCF* développe actuellement une

approche automatique de classification supervisée par pixel des terres qui intègre des données issues du programme européen *Copernicus*, de bases de données européennes (LUCAS, Corine Land Cover) et régionales. Cette classification exploite les informations radiométriques de *Sentinel-2* et des indices spectraux afin de regrouper les pixels partageant les mêmes signatures spectrales pour réaliser une carte régionale de l'utilisation de terres.

Cette approche permet (1) une automatisation du processus d'inventaire, (2) la possibilité de fournir des cycles de mise à jour plus courts et, (3) l'utilisation de données disponibles et comparables à l'échelle européenne. Cette nouvelle approche utilisant des données d'OT permet à la Belgique de répondre aux nouvelles exigences du GIEC ainsi que de répondre à la législation européenne.

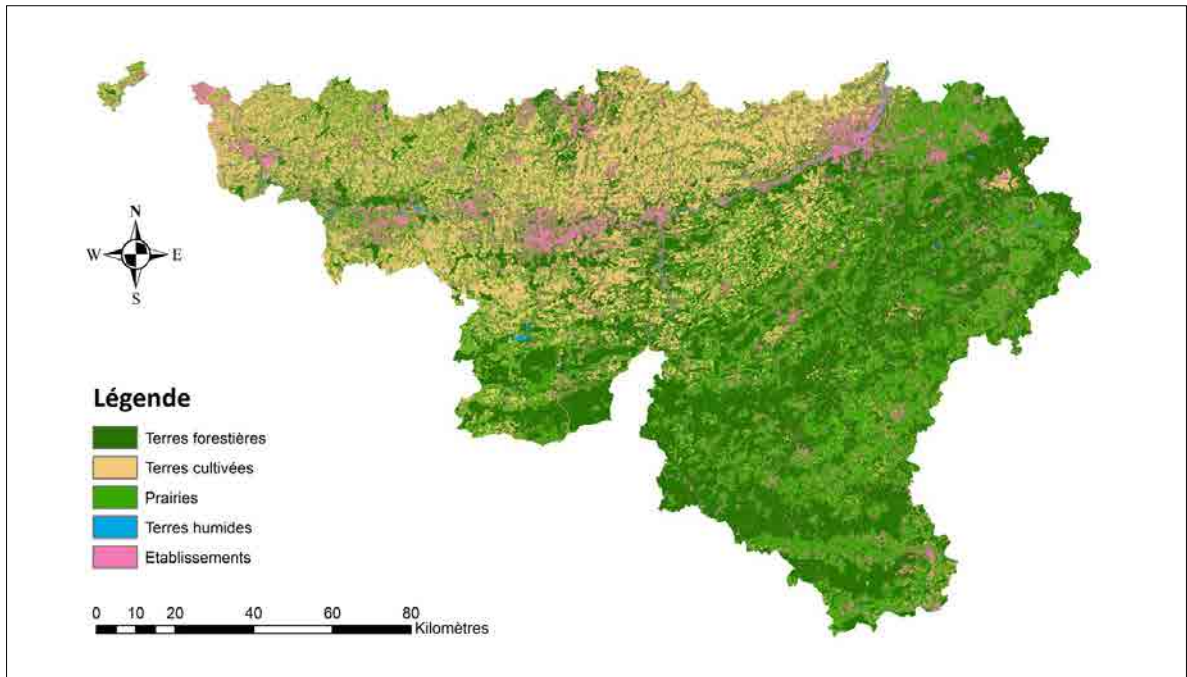


Figure 1 : Classification supervisée par pixel de l'affectation des terres au départ de données Sentinel-2 (été 2016) sur la Région wallonne.

MISE À JOUR DE L'INVENTAIRE DES SITES À RÉAMÉNER (SAR)

La problématique des SAR, i.e. d'anciens sites industriels, commerciaux ou résidentiels, est un enjeu pour l'aménagement du territoire, la gestion de la densification de l'habitat et l'économie de notre région. La reconversion des SAR permet d'améliorer l'attractivité du tissu local et régional en redynamisant certains quartiers. L'ISSeP étudie la faisabilité de la télédétection pour faciliter la mise à jour de l'inventaire de ces sites. L'utilisation de données aéroportées et satellitaires *Copernicus* doit permettre (1) d'automatiser le traitement pour se libérer en partie de l'obligation de l'inventaire terrain, (2) de diminuer la subjectivité du travail de l'opérateur et/ou de faciliter son travail en identifiant au préalable les éléments à vérifier, (3) de mettre à profit l'ensemble

des données acquises régulièrement par la Wallonie et les nouvelles données satellitaires et (4) de mettre à jour régulièrement l'inventaire des sites selon la demande. L'étude fusionne ainsi l'information spectrale multi-temporelle offerte par Sentinel-1 et 2 avec des données régionales à très haute résolution spatiale pour produire des indicateurs de changement et caractériser ces changements. Par exemple, un indicateur de brillance permet de mettre en évidence des changements au sein du bâti (destruction, construction, rénovation) et un indicateur de végétation (NDVI) d'éventuelles coupes forestières, terrassement ou plantation, indiquant une activité sur site et donc une nécessité de mise à jour de l'inventaire.

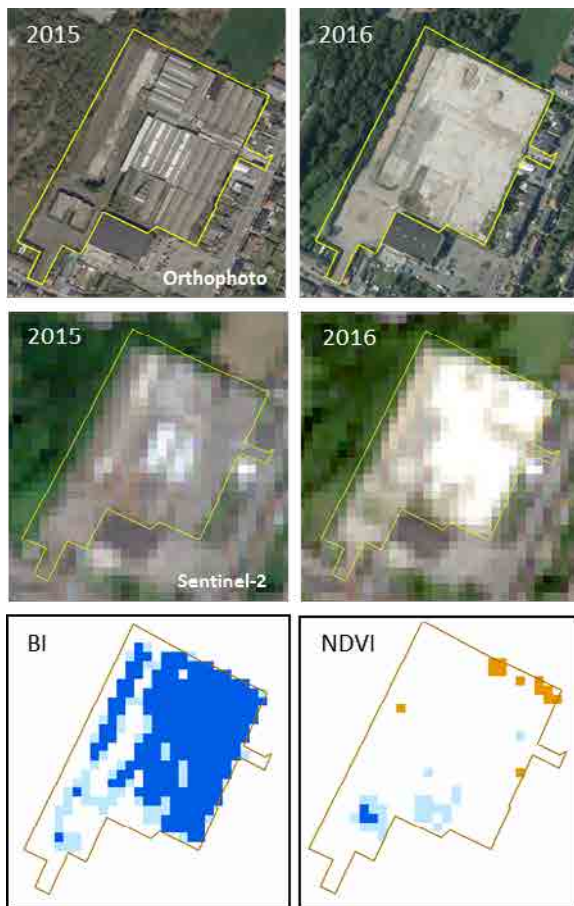


Figure 1 : Indices différentiels Sentinel BI et NDVI pour la détection de changements entre 2015 et 2016 et validation par photo-interprétation sur les données orthophotos de la Région wallonne.

ACTIONS DE RÉSEAUTAGE EN OBSERVATION DE LA TERRE

Outre l'intégration des données d'observation de la Terre dans des outils d'aide à la décision, la Cellule Télédétection et Géodonnées de l'ISSeP poursuit une stratégie de réseautage autour de l'utilisation de ces données. Ces actions de réseautage se sont matérialisées au travers de nombreuses collaborations. Notamment, l'ISSeP anime, avec le pôle de compétitivité du spatial Skywin, le Groupe de Travail en Observation de la Terre (GTEO) qui réunit deux à trois fois par an entre 50 et 200 acteurs de toute origine (privé, public, recherche) pour des échanges autour de thématiques de recherche et de développement d'applications. Avec ce même pôle et la société *Spacebel*, l'ISSeP est reconnu depuis 2016 par la Commission Européenne comme « relais

des activités du programme spatial *Copernicus* pour la Région wallonne ». Le relais assure un rôle de diffusion de l'information à de nombreux événements et formations. Avec la plateforme dédiée à l'innovation FabSpace 2.0, le Centre Spatial de Liège (ULIÈGE) et le Département de la Géométrie du SPW, l'ISSeP a par exemple encadré plusieurs sessions de formation sur l'accès et le traitement des données optiques et radar fournies par les satellites *Sentinel*. Ces formations ont ensuite été adaptées pour répondre aux besoins spécifiques d'acteurs institutionnels du Burkina Faso et du Rwanda, démontrant une volonté de dynamiser l'utilisation des données *Copernicus* en dehors de l'Europe.

PERSPECTIVES

Copernicus, et ses satellites *Sentinel*, permettent à l'ISSeP de proposer des outils innovants d'aide à la décision pour le suivi de l'environnement wallon. Profitant de la haute fréquence temporelle et de la richesse spectrale offerte par ces satellites, plusieurs projets en cours devraient aboutir à des outils opérationnels transférés aux administrations et réduisant les coûts par rapport aux approches actuelles. L'enjeu migre désormais du développement des méthodes d'extraction de l'information à la gestion de flux de données de plus en plus conséquent. Dans ce cadre, l'ISSeP suit avec grande attention les développements des infrastructures des *Collaborative Ground Segment* et des DIAS. L'ISSeP entend finalement poursuivre et accentuer ses efforts dans la diffusion et la valorisation des données d'observation de la Terre au sens large, et en particulier du satellitaire, en vue de dynamiser, en collaboration avec tous les acteurs, l'écosystème EO de la Wallonie.

SUMMARY

The European Earth Observation Programme *Copernicus* is revolutionising the development of environmental and land-use services. It started in 2014 with the launch of the *Sentinel-1A RADAR* satellite, and grew with the two *Sentinel-2* operating in the visible and near-infrared. This constellation continuously flies over the earth's surface and provides almost daily, open data useful for many applications. The sustainability of the services is guaranteed at least until 2030.

Since 2016, ISSeP has been using this Sentinel open data to develop sustainable services useful to the Walloon administrations. Two projects are currently in progress. *EO₄LULUCF* project aims to provide Belgian climate reporting managers with an innovative tool using the Sentinel images time series for classification of land use and annual changes. *SAR* project aims to develop, for the regional operator, a dynamic monitoring tool to update the inventory of sites to be redeveloped. Beside those projects, the *Copernicus* programme opens up many prospects for ISSeP such as land use mapping, pollution detection...

ISSeP, in collaboration with Skywin and the private company *Spacebel*, is working as *Copernicus* Relay in order to encourage the use of Earth observation data and services in Wallonia, offered by the *Copernicus* programme.

SMARTPOP - PLANIFIER SPATIALEMENT LA CROISSANCE DE LA POPULATION EN WALLONIE, ET EN PARTICULIER À LIÈGE, POUR FAÇONNER LES SMART CITIES

Intervenants ISSeP : Benjamin BEAUMONT, Odile CLOSE, Eric HALLOT, Sophie PETIT, Laura VAN DE VYVERE

Durée : 2015-2018

Partenaires : VITO, ULB

INTRODUCTION

L'espace urbain concentre la population mais également des risques liés à la densification et à l'imperméabilisation des sols : inondations, îlots de chaleurs urbains et pollutions. L'étude de ces risques, accrus par les changements climatiques, nécessite des géodonnées d'occupation et d'utilisation du sol et de population. Comprendre l'évolution temporelle de ces risques nécessite des modèles prédictifs de la répartition spatiale des surfaces urbanisées et de la population. Ces produits cartographiques sont des outils d'aide à la décision pour la gestion et la planification durable du territoire.

Le projet *SmartPop* propose une méthodologie en trois étapes afin d'améliorer les modèles de risques développés par l'ISSeP pour l'administration :

- Développer une méthode opérationnelle de cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol urbaine par intégration de données d'observation de la Terre et ancillaires ;
- Développer un algorithme de désagrégation des statistiques démographiques sur des données d'utilisation des sols pour produire une carte de densités de population par hectare ;
- Simuler jusqu'en 2060 l'utilisation du sol et la densité de population.

Le projet bénéficie du support de la Ville de Liège, de la DG-ARNE (Direction Générale Agriculture, Ressources naturelles et Environnement) et du DGEO (secrétariat général du département de géomatique) du Service Public de Wallonie. Le projet est financé par le fond Moerman et par le programme STEREO III de Belspo.

PRODUIRE UNE INFORMATION DISTINCTE ET À JOUR DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DU SOL

La méthode de cartographie de l'occupation du sol optimise l'utilisation des données aéroportées (orthophotos, LiDAR), satellitaires (Pléiades) et ancillaires (PICC, SIGEC, RHW) dans une classification orientée-objet semi-automatique basée sur des outils libres (GRASS, R, Python, Jupyter Notebook) tout en comparant leurs coûts et bénéfices respectifs. L'intégration de données spectrales et de modèles

numériques de hauteurs permettent d'améliorer la classification des espaces construits et de la végétation. Les performances des classifications sont évaluées en calculant la précision générale de la carte et l'indice de kappa. Ces valeurs varient entre 0,85 à 0,95 dans les différentes alternatives. L'approche intégrant les orthophotos, le LiDAR et les géodonnées ancillaires fournissent le meilleur résultat (Figure 1).

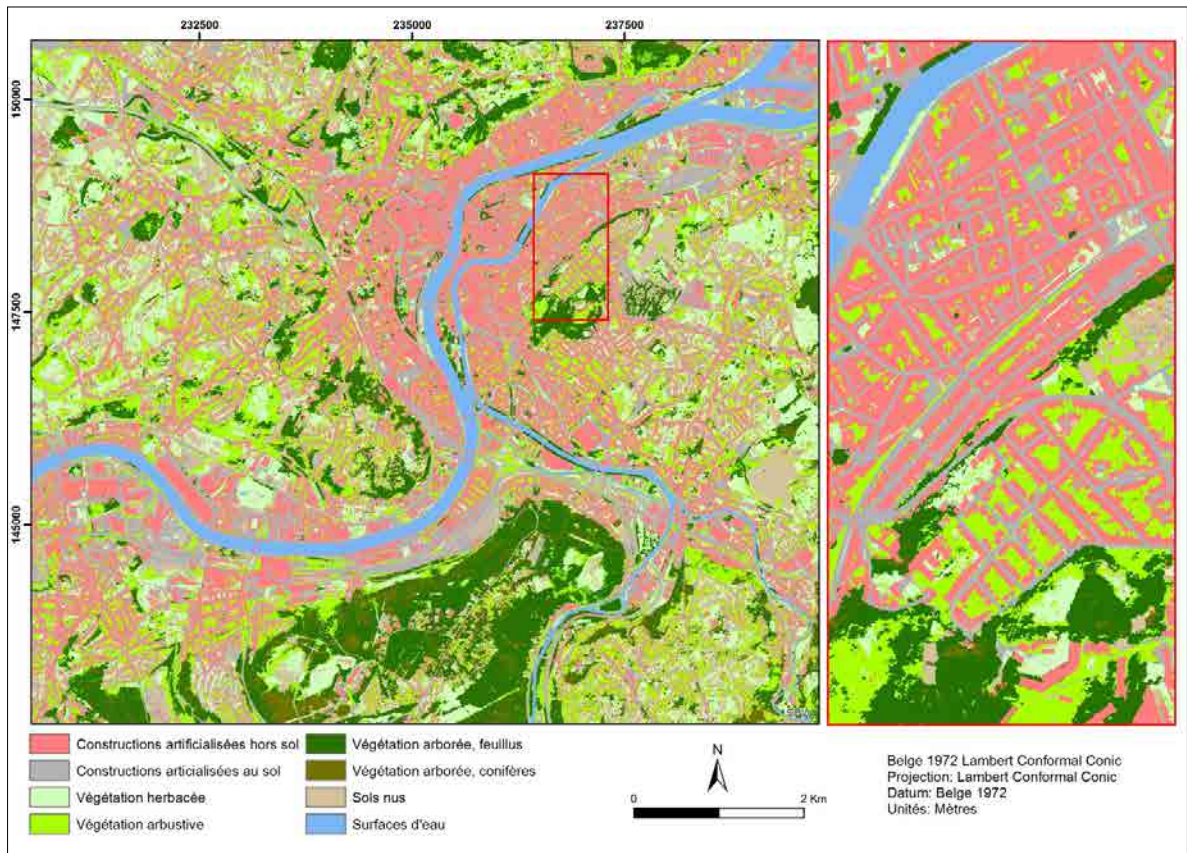


Figure 1 : Cartographie de l'occupation du sol sur la ville de Liège selon la méthode la plus précise

Pour traduire la carte d'occupation du sol en utilisation, *SmartPop* dérive des indicateurs spatiaux de cette première carte qui, combinés avec des données ancillaires sur les activités humaines, permettent la distinction des différentes fonctions du territoire (résidentiel, commercial, industriel, administratif, récréatif...) au niveau d'unités définies comme pertinentes à l'échelle de la ville, ici les îlots et les parcelles urbains.

DISTRIBUER LA POPULATION DITE « RÉSIDENTIELLE »

La cartographie dasymétrique désagrège les données de distribution de population par secteur statistique vers une unité d'analyse plus fine (grille régulière d'un hectare) en utilisant des données d'occupation du sol rasterisées pour affiner la localisation du phénomène. Les différentes méthodologies de redistribution du nombre d'habitants par km² dans des zones spatiales homogènes testées (random forest, Batista et al., 2013)

améliorent la précision et facilitent l'analyse spatiale en éliminant les distorsions d'agrégation spatiale.

CARTOGRAPHIE DYNAMIQUE DE LA POPULATION À L'AIDE DE DONNÉES DE TÉLÉPHONIE MOBILE

SmartPop a étudié le potentiel des données de téléphonie mobile pour cartographier la dynamique de distribution de la population sur la Belgique. Au départ des données de cartes SIM actives par antenne et par heure, *SmartPop* a modélisé avec succès la population de nuit (Figure 2), modèle validé à l'aide du Registre National des Personnes Physiques. L'extrapolation du modèle à toute heure du jour a été limitée par la variabilité de l'usage de la téléphonie mobile dans le temps et dans l'espace et par l'absence de données de validation de jour. La production d'indicateurs spatiaux au départ des données de SIM actives offre toutefois de nouvelles perspectives pour la gestion dynamique des risques.

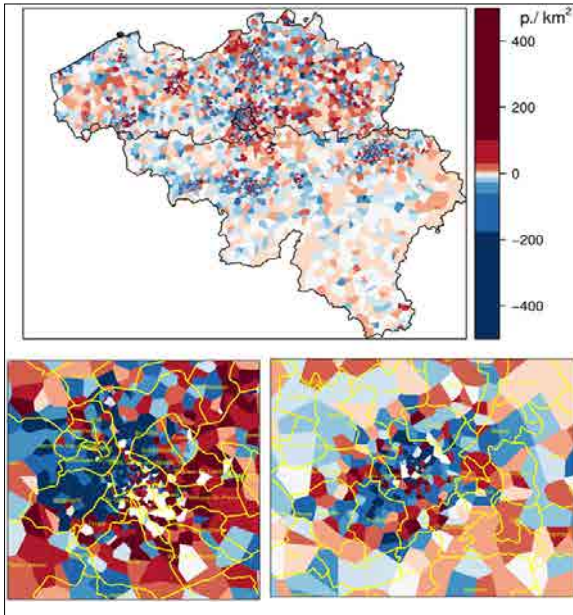


Figure 2 : Différentiel de densité de population de nuit entre la semaine et le weekend. Zooms sur Bruxelles (à gauche) et Liège (à droite).

MODÉLISATION DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION ET DE L'UTILISATION DU SOL SUR 2060

La modélisation de l'utilisation du sol et de la population sur 2060 repose sur un modèle multi-agent par automates cellulaires contraint par les activités humaines. Ce modèle intègre trois sous-modèles représentant les dynamiques régionales (population, emploi, activités économiques), les contraintes spatiales (plan de secteur, zones naturelles, topographie, sols, routes) et les interactions au niveau des cellules de 100x100m. Les règles de compétition entre les utilisations sont établies au niveau de la cellule. En fournissant des outils de simulation selon différents scénarios d'évolution, *SmartPop* propose des outils d'aide à la décision utiles aux autorités pour la planification intelligente, dynamique et durable du territoire.

PERSPECTIVES

La méthode de cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol sera opérationnalisée pour la production de cartes régionales au travers du projet *WALOUS* mené en collaboration avec l'ULB et l'UCL et financé par le SPW. *WALOUS* propose une méthodologie innovante intégrant la très haute résolution spatiale fournie par les orthophotos et la très haute résolution temporelle fournie par les nouvelles données *Sentinel*.

Un modèle national de simulation des changements d'utilisation des terres est recherché. Celui-ci serait un atout majeur pour l'aménagement durable du territoire, les risques et catastrophes ne s'arrêtent en effet pas aux frontières.

Les outils d'aide à la décision développés permettent d'envisager la modélisation future de risques, tels que les îlots de chaleur urbains dont les résultats préliminaires à consolider sont visibles.

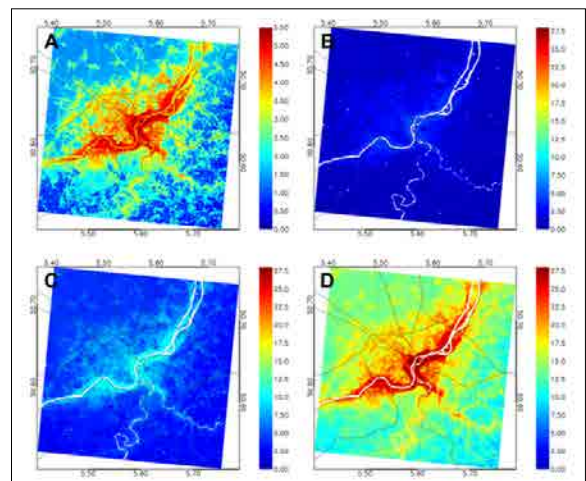


Figure 3 : Modélisation des îlots de chaleur urbains sur Liège : comparaison entre la situation historique (1996-2015) et projetée (2026-2045 et 2081-2100) du nombre de jours de vagues de chaleur.

SUMMARY

In the context of steady urban population growth, increasing soil sealing and climate change, the urban populations are exposed to higher levels of risk such as floods, urban heat islands and pollution. Studying these risks requires geodata on Land Cover (LC), Land Use (LU) and population density. Understanding the temporal evolution of these health and environmental risks requires predictive models. These cartographic products are decision support tools for the management and sustainable planning of the territory.

SmartPop proposes a three-step methodology to improve the risk models developed by ISSeP: (1) Develop algorithms for disaggregating demographic statistics on the current LU map of Wallonia to produce population densities per hectare maps; (2) Develop an operational method for mapping urban LCLU by integrating Earth observation and ancillary geodata; (3) Simulate on 2007-2060 LU and population density.

SmartPop is a scientific collaboration between ISSeP, VITO and ULB. The project benefits from the support of the City of Liège and the DGO3/DGEO of the Service Public de Wallonie. The project is funded by the Moerman Fund and the Belspo STEREO III Program.



NOS PROJETS DE RECHERCHE

**ÉVALUATION ET PRÉVENTION
DES RISQUES CHRONIQUES
ET DES NUISANCES**

ALARM - POUR UNE SÉCURITÉ SANS FRONTIÈRE

Intervenants ISSeP : Hervé BREULET, Benoît DEGRÈVE, Tiécoura SINABA

Durée : 2016-2020

Partenaires : Etat-Major Interministériel de la Zone de Défense Nord (EMIZ Nord), EMIZ Est, Services fédéraux des Gouverneurs de Hainaut, de Flandre occidentale, de Namur et de Luxembourg, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Hauts-de-France, Centre Informatique du Hainaut, Zones de secours wallonnes (WaPi, Hainaut Centre, Hainaut Est, DINAPHI, LUX), Zones de secours flamandes (FLUVIA, Westhoek), Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, Forum Européen de la Sécurité Urbaine, Métropole Européenne de Lille, RPA Hainaut Sécurité, Préfecture du Nord, SDIS 02, SDIS 08, SDIS 59, Service public de Wallonie et Agentschap Informatie Vlaanderen.

INTRODUCTION

Les conséquences d'une catastrophe naturelle ou d'un accident technologique ou industriel ne s'arrêtent pas aux frontières d'un pays. Un bassin de vie et de risques communs ne doit pas connaître d'obstacle à la réalisation des missions des services de secours en situation d'urgence.

Avec 620 km de frontière commune, la France et la Belgique sont particulièrement concernées. La zone frontalière est marquée par une forte concentration d'industries, la présence de deux centrales nucléaires (Gravelines et Chooz), la similitude des risques naturels (inondations, glissements de terrain, cavités souterraines), la présence de grands axes de communication, une urbanisation transfrontalière importante et une forte densité de population (324 habitants au km²).

Face à ces risques partagés, les réglementations et les modes opératoires et même la langue diffèrent d'un État et d'une région à l'autre. Comment mieux communiquer pour mieux anticiper les risques et intervenir de manière concertée et efficace, notamment en situation d'urgence ?

Pour répondre à ces enjeux, le projet « ALARM » cofinancé par le programme Interreg V FWV réunit 26 partenaires français, wallons et flamands autour de trois axes principaux :

- Une gestion intégrée des risques technologiques, industriels, naturels et enjeux humains, environnementaux avec la mise en place d'une plate-forme commune d'échange d'informations (Axe 1) ;
- Une coopération opérationnelle « au quotidien » avec élaboration d'un schéma transfrontalier d'analyse et de couverture des risques (STACR) et des actions en faveur d'une meilleure communication entre les services de secours (Axe 2) ;
- L'implication des pouvoirs locaux et des populations (Axe3).

RÉSULTATS

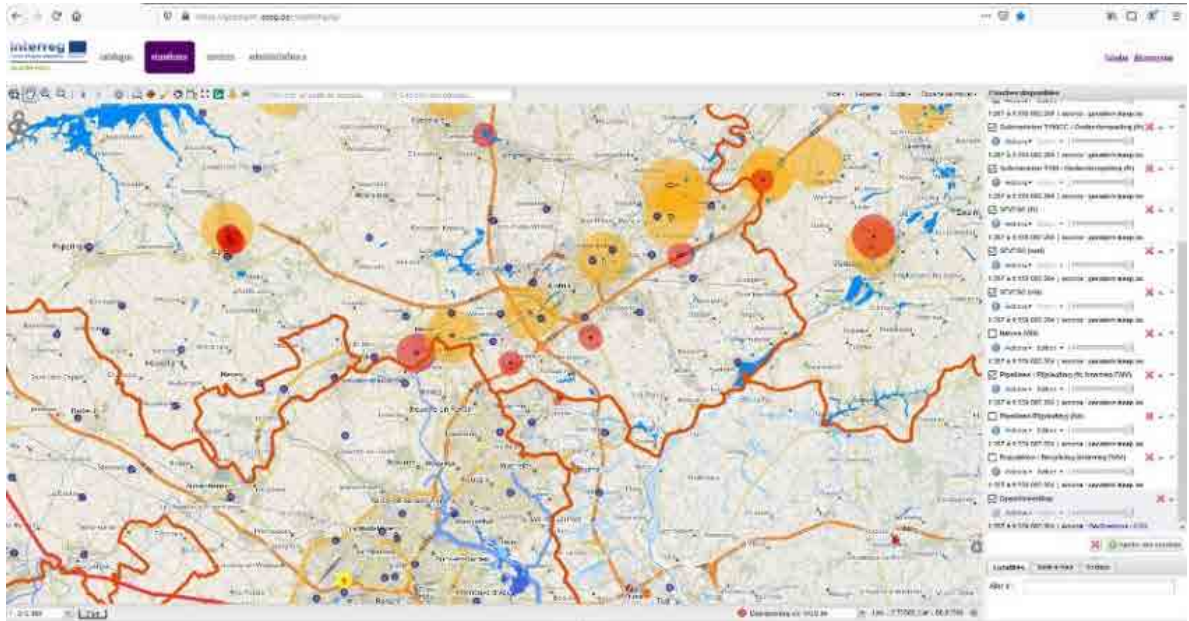
1. Axe technique (Axe 1)

L'ISSeP, en charge de cet axe, a finalisé l'inventaire des aléas et enjeux prioritaires sur une bande de 20 km de part et d'autre de la frontière franco-belge.

L'inventaire porte sur les risques technologiques, industriels, naturels, enjeux et ressources opérationnelles et techniques disponibles auprès de chaque service de secours.

L'ensemble de ces informations (géodonnées) indispensables à la sécurité civile, a été intégré dans la plate-forme SIG baptisée GéoALARM.

Chaque partenaire a accès à l'outil en lecture, mais également en écriture, permettant une intégration des données à distance.



Application cartographique GéoALARM développée par l'ISSeP pour la cartographie des risques transfrontaliers franco-belges

2. Axe opérationnel (Axe 2)

Cet axe vise l'amélioration de la coopération opérationnelle en matière de sécurité civile.

Le projet ALARM compte parmi ses partenaires 3 SDIS (Aisne, Ardennes, Nord) et 7 Zones de secours belges : Hainaut Ouest (Wallonie picarde), Hainaut Est, Hainaut Centre, Westhoek, Fluvia, Luxembourg et DINAPHI.

Grâce aux rencontres régulières entre ces partenaires opérationnels, la coopération transfrontalière entre services de secours belges et français progresse. Le 18 juillet 2019, l'accord administratif entre la France et la Belgique a été signé par le Ministre de l'Intérieur

français et le Ministre Fédéral de la Sécurité et de l'Intérieur. Il s'agit d'une étape importante du travail engagé depuis trois ans par les 26 partenaires du projet Interreg ALARM avec le plein soutien de l'ensemble des autorités nationales et fédérales.

3. Implication des pouvoirs locaux (axe 3)

Dans le cadre de l'implication et la sensibilisation des pouvoirs locaux en matière de sécurité civile, des séminaires ont été organisés de part et d'autre de la frontière. Ces derniers étaient ouverts à tous les élus ou représentants des communes transfrontalières situées le long des 620 kilomètres de frontière.

PERSPECTIVES

Des actions ont été engagées et sont en cours pour la finalisation du développement et la pérennisation de l'outil GéoAlarm :

- Inventaire, avec chaque service de secours, des différents types de risques considérés sur les territoires d'intervention ;

- Inventaire des ressources opérationnelles et techniques disponibles auprès de chaque service de secours ; (Plans Communaux de Sauvegarde – France) et des PGUI (Plans Généraux d'Urgence et d'intervention – Belgique).
- Réflexion sur l'interopérabilité des données dans le contexte de coopération opérationnelle transfrontalière ; En terme dimension stratégique et dans le but de pérenniser les actions initiées durant la vie du projet, les membres du comité de pilotage stratégique mènent une réflexion visant à mettre en place une « commission de gouvernance transfrontalière en matière de Sécurité Civile ».
- Développement de l'outil pour permettre une utilisation par les élus : insertion des éléments transfrontaliers importants présents dans les Plans Communaux de Sauvegarde et les Plan Généraux d'Urgence et d'Intervention. Cette instance stratégique aura pour objectif de garantir la pérennité des actions engagées en matière de sécurité civile transfrontalière dans le cadre du projet ALARM.

Egalement, il est prévu de mettre en place des ateliers sur la thématique du rapprochement des PCS

SUMMARY

Consequences of natural disasters, technological or industrial accidents don't stop at the borders of a country. A living pool and common risks must have no obstacle to carrying out the missions of the emergency services in emergency situations.

With 620 km of common border, France and Belgium are particularly affected. Moreover, the border area is marked by a high concentration of industries, the presence of two nuclear power plants (Gravelines and Chooz), the similarity of natural risks (floods, landslides, underground cavities), the presence of major communication axes, a significant cross-border urbanization and a high population density).

Faced with these shared risks, regulations, operating methods and even the language differ from state to state and from region to region. How can we communicate better to anticipate risks and help in a concerted and effective manner, especially in emergencies ?

To meet these challenges, the "ALARM" project co-financed by the Interreg V FWV program brings together 26 french, wallon and flemish partners around three main axes :

- Integrated management of technological, industrial, natural risks and human and environmental challenges with the establishment of a common information exchange platform (Axis 1) ;
- Operational cooperation "on a daily basis" with the development of a cross-border risk analysis and coverage plan (STACR) and actions in favor of better communication between the emergency services (Axis 2) ;
- The involvement of local authorities and populations (Axis 3).

BIOCLOUD 4.0 - SOLUTION IT (TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION) GLOBALE DE NOUVELLE GÉNÉRATION, CENTRÉE SUR LE PATIENT, À DESTINATION DU SECTEUR DES BIOTECHNOLOGIES¹

Intervenants ISSeP : Edmond FONZE, Willy PIRARD

Durée : 2016-2019

Partenaires : Sapristic International SA, BiiON SA, JUMO Automation SPRL, Signal Engineering and Electronics SPRL, MaSTherCell SA, Novadip Biosciences, UCL, UMONS

INTRODUCTION

Le secteur de la santé voit l'émergence de nouvelles générations de thérapies innovantes, parmi celles-ci des approches prometteuses sont liées aux thérapies géniques et cellulaires. Cette évolution conduit souvent au déploiement de processus centrés sur le patient, impliquant non seulement des changements spectaculaires dans les processus de bio-production, mais également des augmentations significatives des coûts de traitement.

Pour faire face à ces défis majeurs, le secteur de la biotechnologie devra adopter et déployer les principes du *Lean manufacturing* et le concept de l'Industrie 4.0.

Le projet *BioCloud 4.0* rassemble 9 partenaires : 4 fournisseurs de technologies, 2 utilisateurs finaux et 3 laboratoires académiques. Ceux-ci vont collaborer pour concevoir et développer une solution informatique intégrée qui aidera l'industrie biotechnologique à déployer les principes de l'*Industrie 4.0* dans les processus de bio-production, grâce à une solution intégrée de bout en bout («de la salle blanche au patient») combinant de nouvelles générations de capteurs intelligents, une solution de transmission radio innovante et des solutions logicielles centrées sur le patient. Les technologies de l'*Internet des objets* et les approches de l'informatique en nuage font partie des technologies de base exploitées par *BioCloud 4.0*.

CONTEXTE

Le projet *BioCloud 4.0* vise à construire une solution informatique intégrée et innovante, couvrant les besoins de gestion de l'information (production, traçabilité, qualité, conformité, ressources humaines, logistique, fournisseurs, clients, stocks, comptabilité, finance...) des sociétés pharmaceutiques fabriquant des produits thérapeutiques de pointe.

ÉMERGENCE D'UNE NOUVELLE GÉNÉRATION D'ACTEURS DANS LE SECTEUR DE LA SANTÉ

Notre société évolue globalement vers une personnalisation accrue des services fournis. Au niveau industriel, cette évolution se traduit principalement par l'émergence du concept d'« *Industrie 4.0* », intégrant une chaîne d'acteurs,

¹ **Bio** The resulting product from this project targets primarily Bio-production actors relying on clean rooms manufacturing units to produce advanced therapy medicinal products. **Cloud** The proposed solution orchestrates a large number of technological innovations both at software level (scalability advantage thanks to **Cloud** computing) and at hardware level (smart connected sensors, wireless transmission by radiating cable). **4.0** The project implements the concepts of Industry 4.0 (interconnected actors, collaborative approach, smart objects, full traceability and personalized mass production).

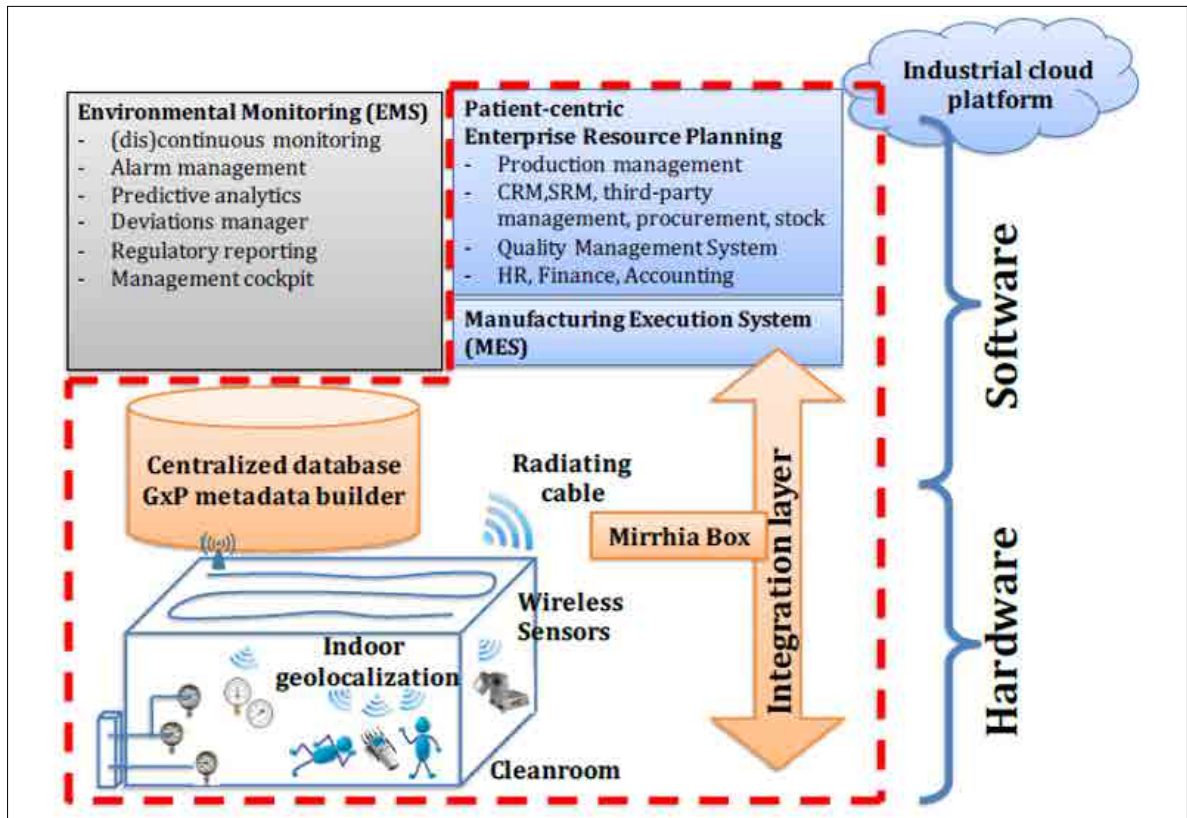
de machines et d'objets intelligents totalement interconnectés, pour une individualisation de masse, sans compromettre la productivité, tout en assurant une traçabilité totale.

Cette évolution a également un impact sur le secteur de la santé. Elle se matérialise notamment par l'apparition de nouvelles stratégies thérapeutiques, parmi lesquelles les thérapies géniques ou cellulaires présentent des défis spécifiques, tels que le déploiement de procédés de bio-production centrés sur le patient, garantissant sécurité et qualité à un coût abordable tout en préservant la rentabilité. Le développement et le déploiement de ces stratégies (biothérapies) ont conduit à l'émergence de nouvelles entreprises à croissance rapide, où le principe d'organisation diffère profondément des sociétés pharmaceutiques traditionnelles.

BESOINS SPÉCIFIQUES DES ENTREPRISES DE BIOTHÉRAPIE

Contrairement aux approches thérapeutiques traditionnelles pour lesquelles les entreprises du secteur pharmaceutique sont structurées pour produire des traitements standards (centrés sur le produit), certaines des nouvelles stratégies de biothérapie se caractérisent par l'individualisation de la production de traitement (centrée sur le patient). De ce fait, les solutions informatiques traditionnelles (informatique de gestion intégrée, centrée sur le produit) utilisées par les entreprises du secteur pharmaceutique ne sont plus adaptées aux besoins des sociétés biotechnologiques de nouvelle génération (centrées sur le patient).

ARCHITECTURE DE LA SOLUTION BIOCLOUD4.0



PERSPECTIVES

L'ambition du projet est que la solution *BioCloud 4.0* devienne un leader européen trois ans après la fin du projet (2021-2022) et un leader mondial d'ici 2025.

SUMMARY

The health sector sees the emergence of new generations of innovative therapies, among which promising approaches are related to gene and cell therapies. This evolution often leads to the deployment of patient-centric processes, implying not only dramatic changes in the bio-production processes but also significant increases of the treatment costs.

In order to address those major challenges, the biotech industry will need to adopt and deploy the principles of lean manufacturing and of the Industry 4.0 concept.

The *BioCloud4.0* project gathers 9 partners (among which 4 technology providers, 2 end-users and 3 academic labs) for designing and developing an integrated innovative IT solution to support the biotech industry in deploying the Industry 4.0 principles in bio-production processes, thanks to an end-to-end integrated solution ("from clean room to patient") combining new generations of smart sensors, a radically innovative radio transmission solution and patient-centric software solutions. Internet of Things technologies and Cloud computing approaches are amongst the core technologies that *BioCloud4.0* exploits.

BIOMONITORING D'UNE POPULATION DE CULTIVATEURS URBAINS À RISQUE VIS-À-VIS DES MÉTAUX LOURDS (VOLET ENVIRONNEMENT-SANTÉ DU PROJET SANISOL)

Intervenants ISSeP : Léa CHAMPON, Patrick MAGGI, Jérôme PETIT, Suzanne REMY

Durée : 2018-2019

Partenaires : DG03, SPAQuE, UCL, ULIÈGE, ULB, ASBL « Coins de terre de Bressoux », ASBL « Espace-Environnement »

INTRODUCTION

La Cellule Environnement-Santé de L'ISSeP réalise un biomonitoring humain ciblé, consistant à évaluer l'imprégnation (mesure de différents biomarqueurs du Pb, du Cd, de As et du Hg dans l'urine, le sang et les cheveux) des jardiniers et des consommateurs du plus grand, du plus fréquenté et probablement de l'un des potagers collectifs le plus contaminé en métaux lourds de la RW. Alors que les normes réglementaires relatives aux sols de ce remblai, composé de scories liées à la métallurgie historique, sont dépassées simultanément pour plusieurs métaux et pour la majorité voire la totalité des sols, plus d'un tiers des fruits/légumes qui y poussent dépassent également les normes de commercialisation imposées par le règlement européen CE1881/2006 pour le Pb et le Cd.

L'évaluation des risques sanitaires réalisée à partir des mesures en métaux lourds dans les matrices d'exposition (légumes/fruits et sol) ont permis de formuler, dès juin 2017, des recommandations pour réduire l'exposition de cette population. Toutefois, la réalisation d'un biomonitoring s'avère nécessaire afin de recueillir des éléments nécessaires pour évaluer plus précisément les risques sanitaires encourus aux niveaux individuel et collectif. Les objectifs sont de repérer les sous-populations présentant des niveaux d'exposition élevés et d'identifier les principaux facteurs expliquant ces niveaux, afin d'adapter sur le long terme les mesures de protection et ou de prévention nécessaires. Ce biomonitoring s'inscrit dans le cadre de la subvention « *SANISOL* » qui ambitionne de définir des teneurs limites en différents éléments en trace métalliques dans le système sol-plante pour protéger les consommateurs et les producteurs en région Wallonne.

MÉTHODES

Le biomonitoring combine la mesure des biomarqueurs d'imprégnation aux informations collectées par un questionnaire visant à caractériser l'exposition au niveau individuel. L'analyse statistique de l'ensemble des résultats permettra à la fois de lever les facteurs confondants (liés à l'âge, au statut tabagique, à l'habitation, etc) et d'identifier les déterminants environnementaux explicatifs afin de dresser des profils à risques qui pourront alimenter les outils de gestion développés dans *SANISOL*. La méthodologie envisagée

ambitionne aussi de tenir compte des changements de comportement récents (depuis juin 2017) attendus suite à la prise en compte des recommandations par la population, puisque les imprégnations observées peuvent ne pas être représentatives des comportements initiaux des personnes. Cette démarche est possible notamment grâce à l'analyse des métaux dans la matrice capillaire (chronologie sur cheveux longs) et la mesure de la composition isotopique du Pb dans le sang (Figure 1).



Figure 1 : Analyse de la composition isotopique du Pb par MC-ICP-MS (MC-ICP-MS Nu plasma, G-TIME, ULB)

RÉSULTATS

En complément à l'évaluation des risques sanitaires classique, l'analyse des plombémies infantiles prédites au moyen du modèle probabiliste IEUBK (US EPA), l'étude des facteurs aggravant tels que la qualité de l'eau à la sortie des sanitaires privatifs et l'analyse croisée des caractéristiques socio-économiques de la population exposée, ont permis d'apporter des éléments supplémentaires de nature à démontrer la nécessité de déclencher ce biomonitoring ciblé (Figure 2). Ces éléments justificatifs, la méthodologie et la stratégie de communication préconisée par la Cellule Environnement-Santé a été validée par le comité d'éthique hospitalo-facultaire de l'Université de Liège. Le recrutement et le prélèvement de près de 100 personnes a été réalisé grâce à des visites sur site et des séances collectives et individuelles réalisées par l'ISSeP, au moyen de documents d'informations traduits en trois langues. L'appui des médecins généralistes et des maisons médicales du quartier a été acquis au moyen de courriers spécifiques qui les ont tenus informés et sensibilisés.

SUMMARY

Historical smelting activities have left a burden to urban areas where people's exposition to heavy metals (Pb, Cd, As,...) may be high and pose health risks when gardening and eating vegetables grown from contaminated soils. The joint research project SANISOL aims at addressing this regional sanitary issue by determining health risk based soil levels for metals protecting gardeners and vegetables quality. In this context, the "Environnement-Santé" Research Unit from ISSeP leads a targeted human biomonitoring campaign with the involvement of 100 people from the biggest and most contaminated collective garden in Walloon Region. A survey designed to link individual exposure assessments with the measurement of several metal biomarkers and blood-lead isotopes will allow the identification of the main factors controlling the internal exposure to metals from the study site, while providing people and regional authorities with better levers for reducing healths risk to acceptable levels.

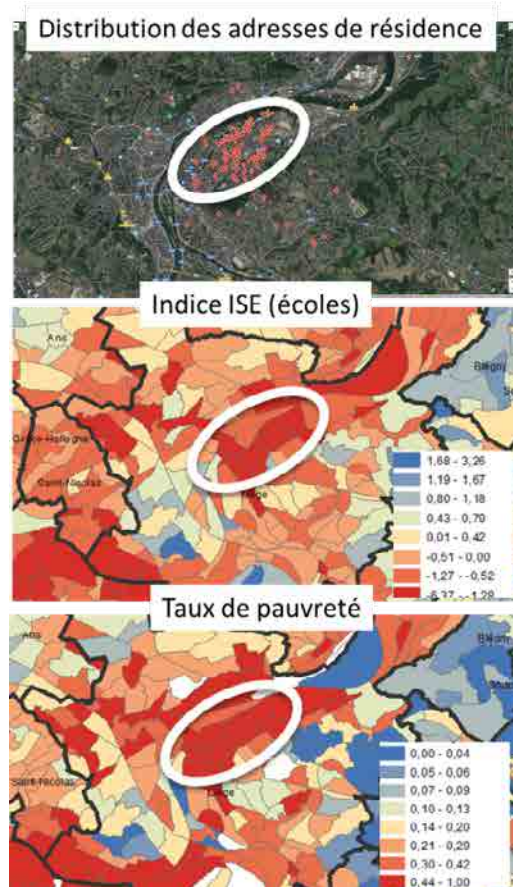


Figure 2 : étude des données socio-économiques participant à la justification du biomonitoring

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

À ce stade, les données acquises, qui ont été comparées aux valeurs limites biologiques validées par un comité d'experts toxicologues, sont en cours d'analyse et devront bientôt permettre de montrer si l'imprégnation en métaux des jardiniers pose des risques pour leur santé et peut être expliquée par des variables en lien avec l'usage et la jouissance du site.

CARIBOUH - CARACTÉRISATION ET INFLUENCE DES BOUES DE STEP SUR LA SANTÉ HUMAINE

Intervenants ISSeP : Stéphanie BÉMELMANS, Carole CHALON, Sophie CREVECOEUR, Christophe FRIPPIAT, Cécile KECH, Yves MARNEFFE, Eric MOÏS, Caroline NADIN, Suzanne REMY

Durée : 2017-2020

Partenaire : Agro-Biotech

INTRODUCTION

Avec la mise en service de nouvelles stations d'épuration (STEP) en Wallonie, la quantité de boues d'épuration produites annuellement est en constante augmentation. Une des filières de valorisation de ces boues est l'amendement de sols agricoles.

L'objectif principal du projet *CARIBOUH* est d'étudier l'impact sur la santé humaine et sur l'environnement de certains polluants potentiellement présents dans les boues de STEP wallonnes. Parmi ces polluants, l'influence des substances émergentes a jusqu'ici été très peu documentée. Le projet s'intéresse plus particulièrement aux composés pharmaceutiques et aux perturbateurs endocriniens (PE). Le projet a débuté en juillet 2017.

PRIORISER LES SUBSTANCES ET VÉRIFIER LEUR PRÉSENCE

Les composés pharmaceutiques et les perturbateurs endocriniens sont des familles regroupant un grand nombre de substances. Il est dès lors indispensable de limiter et de correctement cibler les molécules à rechercher. Une méthodologie de sélection interne a été développée. Ainsi, parmi les PE, une première liste de 57 molécules a été établie. Ces molécules appartiennent aux familles chimiques suivantes : alkylphénols, phtalates, composés perfluorés, ainsi qu'à la famille d'usage des « personal care » (triclosan, methyltriclosan, triclocarban, tonalide, galaxolide, filtres UV, butylphénols tertiaires, parabènes, ...).

Une analyse ciblée et non-ciblée réalisée sur 30 échantillons de boue choisis selon une méthodologie interne (Figure 1) doit permettre de finaliser la liste des substances d'intérêt qui seront plus particulièrement étudiées dans la suite du projet.

Dans un second temps, un inventaire plus complet de la présence des composés pharmaceutiques et des PE dans les boues de STEP wallonnes valorisées en agriculture sera réalisé par la quantification des substances d'intérêt dans 160 échantillons de boue prélevés sur une sélection de STEP wallonnes représentative, entre autres, des différents modes de fonctionnement de ces STEP. Des tests d'écotoxicité et des tests mécanistiques permettront également d'appréhender la toxicité de l'entièreté de la matrice pour l'homme ainsi que pour l'environnement. En effet, dans le cas d'échantillons complexes tels que des boues de STEP, des substances non identifiées et/ou des produits secondaires (métabolites par exemple) peuvent être présents. Les analyses chimiques fournissant une vision du risque environnemental du milieu étudié ciblée sur la molécule d'intérêt peuvent être complétées par les bioessais qui mettent en évidence l'effet de l'ensemble des substances présentes dans l'échantillon environnemental, intégrant les effets synergiques ou antagonistes de ces composés.

CARACTÉRISER LES MODES DE TRANSFERT VERS L'HOMME

Suite à l'épandage de boues sur les terres de cultures, les éventuels polluants ainsi apportés dans les sols peuvent soit migrer vers les plantes, soit être lessivés vers les nappes phréatiques. Différents modes de transfert vers l'homme peuvent alors être considérés, liés soit à une exposition alimentaire soit à une exposition cutanée (Figure 2). Trois modes de transfert sont considérés dans les scénarii d'exposition alimentaire : un mode direct lié à l'ingestion des produits cultivés, et deux modes indirects liés à l'ingestion de produits dérivés des produits cultivés. L'ingestion d'eau potable provenant de captages d'eau souterraine dont la qualité peut être influencée

par le lessivage de polluants éventuellement présents dans les sols amendés par des boues de STEP est une quatrième voie d'exposition alimentaire prise en compte. Le scénario d'exposition cutanée proposé ici comprend une exposition par contact avec une eau provenant de captages d'eau souterraine. Ce contact se produit typiquement lors de bains ou de douches.

Une phase de caractérisation de ces modes de transfert doit être réalisée sur base d'essais en conditions réelles se rapprochant au maximum des pratiques d'épandage et agricoles en Wallonie. Les analyses des sols, des plantes et de l'eau récoltés à l'issue des essais permettront la détermination expérimentale des facteurs clés des modes de transfert.

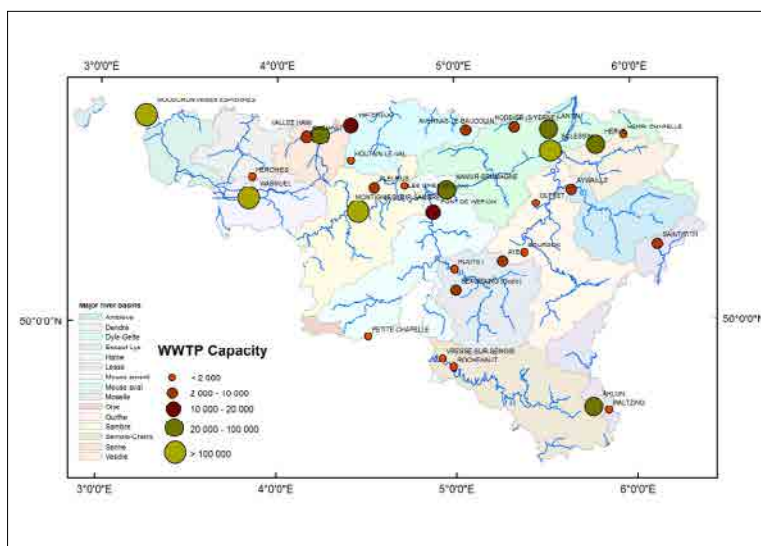


Figure 1 : Répartition des prélèvements réalisés pour l'analyse ciblée et non-ciblée.

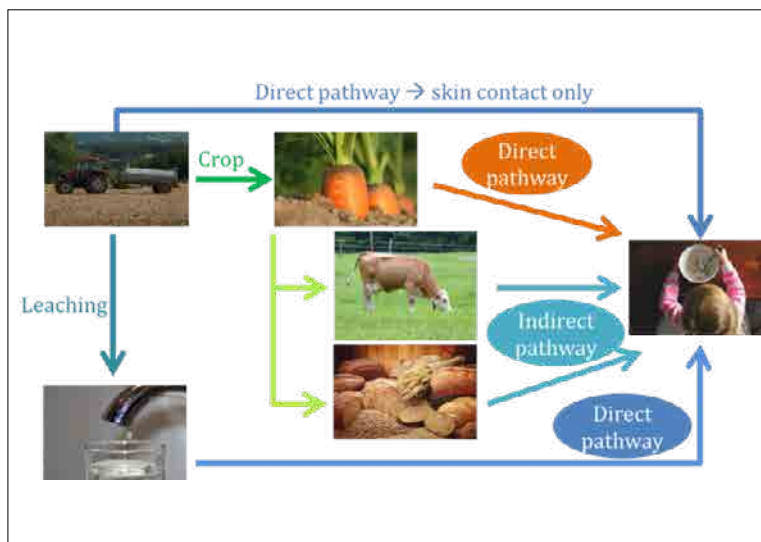


Figure 2 : Modes de transfert des substances présentes dans les boues de STEP valorisées en agriculture vers l'homme.

QUANTIFIER LES IMPACTS SUR LA SANTÉ HUMAINE

En Wallonie, l'évaluation et la gestion des risques liés aux sols fait l'objet de méthodologies générales bien établies, décrites notamment dans le Guide de Référence pour l'Évaluation des Risques (GRER) du Code Wallon de Bonnes Pratiques mis à disposition par le Service Public de Wallonie. Ce guide a été initialement élaboré pour la gestion des pollutions des sols d'origine industrielle. Il reprend néanmoins une série de concepts standards pouvant être appliqués à l'évaluation des risques liés à l'épandage de boues de STEP en agriculture. En particulier, le GRER décrit les méthodologies qui pourront être

mises en œuvre pour (i) caractériser le niveau de risque pour la santé humaine pouvant résulter d'une exposition à une pollution des sols et/ou des eaux souterraines, et (ii) la définition de concentrations maximales admissibles dans les sols pour éviter l'occurrence d'un préjudice à la santé humaine. Les résultats expérimentaux complétés par des données bibliographiques permettront de fournir une première approche de l'impact de l'épandage des boues de STEP sur la santé humaine.

SUMMARY

The impact on human health and the environment of emerging substances in urban sewage sludge used in farmland spreading has been poorly explored until now. However this knowledge is essential to guarantee crop quality and preservation of human health and the environment. The purpose of the project *CARIBOUH* is to quantify levels of endocrine disruptors and pharmaceuticals compounds in Walloon sludge samples, to study their fate and transport in the environment after land application, and finally to evaluate associated health risks.

EXPOCOMM - ACCEPTABILITÉ D'UN PROTOCOLE D'EXPOSITION AUX RADIOFRÉQUENCES : ÉVALUATION ET COMMUNICATION

Intervenants ISSeP : Benjamin VATOVEZ, Maryse LEDENT, Willy PIRARD

Durée : 2017-2021

Partenaires : WIV-ISP, Université de Lyon 2, ULIÈGE ACE, Université de Paris 3 Sorbonne Nouvelle, ULB

INTRODUCTION

Le syndrome d'hypersensibilité électromagnétique (HSE), également appelé électro-(hyper)sensibilité ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques (IEI-CEM), fait référence à un ensemble de symptômes décrits par des personnes qui en attribuent la cause à l'exposition à des champs électromagnétiques. Les symptômes décrits sont multiples et non spécifiques, c'est-à-dire qu'ils sont communs à d'autres affections : maux de tête, fatigue, rougeurs cutanées, acouphènes, anxiété...

L'OMS ne met pas en doute l'existence des symptômes, pas plus que la souffrance que ce syndrome peut générer chez les personnes atteintes. Cependant, les études scientifiques menées jusqu'à ce jour ne permettent pas d'établir un lien de causalité entre l'exposition à des champs électromagnétiques et l'apparition des symptômes dont témoignent les personnes se déclarant électro-hypersensibles.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), dans un avis paru en mars 2018 a émis diverses recommandations relatives à la prise en charge des personnes se déclarant électro-hypersensibles, à l'évaluation des moyens de diagnostic ainsi qu'à la recherche portant sur cette thématique. L'agence souligne particulièrement que les études de provocation sont les plus à même d'établir un lien de causalité entre l'exposition aux champs électromagnétiques et l'apparition des symptômes et qu'il est nécessaire d'améliorer les méthodologies afin d'éviter les défauts qui leur ont été imputés jusqu'à présent.

L'objectif du projet *ExpoComm* est d'accroître les connaissances sur l'hypersensibilité aux champs électromagnétiques en développant un protocole original de tests de provocation en double aveugle, avec la participation, au cours de son élaboration, de personnes électro-hypersensibles afin d'éviter les écueils mis en évidence dans les précédentes études.

ORGANISATION DU PROJET

Une première étape du projet consiste en un processus de co-création qui réunit des chercheurs, des ingénieurs et des personnes électro-hypersensibles. Deux ateliers ont été organisés le 3 mai et le 6 juin 2018 au cours desquels l'attention s'est portée sur les possibilités d'individualiser les conditions d'exposition, les moyens pouvant être mis en place

pour réduire l'anxiété des participants aux tests pour éviter que celle-ci ne masque les éventuelles réactions physiologiques propres à l'exposition, l'évaluation de la sensibilité individuelle ainsi que la communication des résultats à l'issue des tests.

Deux locaux seront utilisés pour effectuer ces tests : un local technique d'où l'exposition (réelle ou *sham*) est commandée à distance automatiquement et un local dédié à l'exposition des sujets volontaires. Les expériences se tiendront en double aveugle. Les sources d'exposition aux radiofréquences sont une antenne pouvant rayonner des signaux utilisés

par la téléphonie mobile ainsi que des appareils tels qu'un téléphone DECT et une borne Wi-Fi. Un champ électrique et un champ magnétique variables à la fréquence de 50 Hz seront également générés. Toutes les sources pourront être activées et désactivées simultanément.

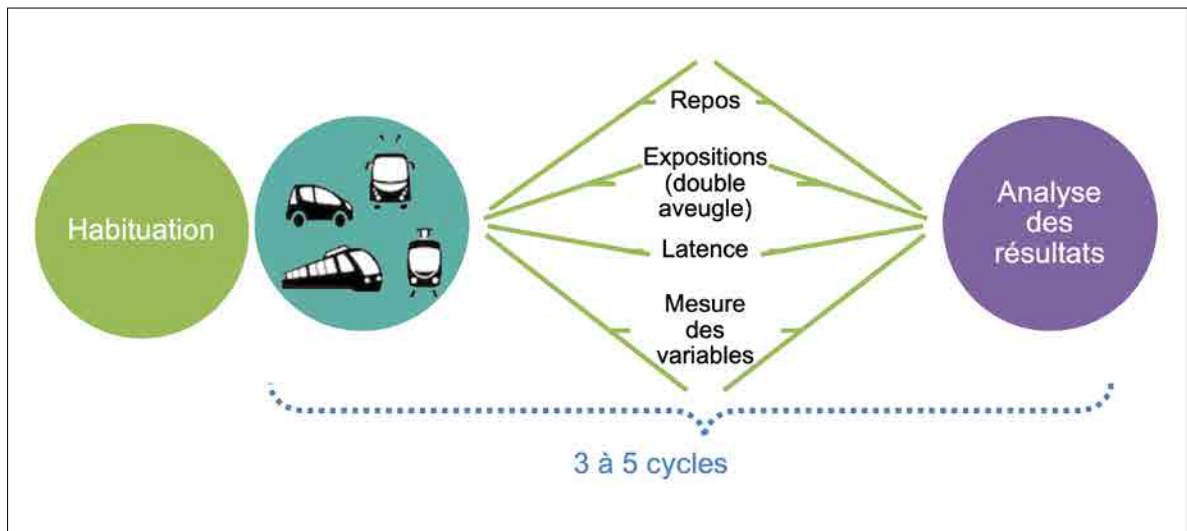


Figure 1 : Schéma de principe du déroulement des tests de provocation

PERSPECTIVES

Le protocole expérimental est en cours d'élaboration. Un troisième atelier de co-création est en préparation. Lors de cet atelier, les questions techniques seront abordées plus en détails : contraintes propres au site, au type de test et aux exigences de rigueur scientifique, contrôle et reproductibilité du niveau d'exposition, choix des sources et des appareils de mesure, etc. À l'issue de cet atelier, le protocole établi décrivant également le nombre et la durée des cycles d'exposition et des périodes de repos doit être approuvé par les participants.

La seconde phase du projet *ExpoComm* consistera à tester le protocole. Les volontaires feront partie du groupe de personnes électro-hypersensibles ayant participé aux ateliers de co-création. La communication des résultats et ses effets, notamment sur l'acceptabilité seront également étudiés.

Une fois validé, le protocole d'expérimentation et les locaux dédiés permettront d'effectuer des tests sur des sujets n'ayant pas contribué aux ateliers de co-création. Deux groupes témoins seront constitués. Le premier groupe comprend des individus présentant des caractéristiques psychométriques similaires à celles des personnes se déclarant électro-hypersensibles (p. ex. fibromyalgiques) ; le second groupe témoin est formé de sujets électro-hypersensibles qui n'ont pas participé à l'élaboration du protocole. Ce choix, avec les solutions mises en place pour réduire l'anxiété des volontaires, vise à clarifier le statut de l'effet *nocebo* sur les réponses des personnes se déclarant électro-hypersensibles. Il permettra également d'aborder l'acceptabilité du protocole à plus grande échelle, via une étude multicentrique.

SUMMARY

Electromagnetic hypersensitivity (EHS), also called idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF), refers to a set of self-described symptoms attributed to EMF exposure. However, these symptoms are various and non-specific as they are common to many other illnesses: headaches, tiredness, red blotches, tinnitus, anxiety...

WHO casts no doubt on the existence of the symptoms or the suffering of the electrosensitive persons. However, there is still no clear evidence of a causal link between electromagnetic exposure and self-described symptoms.

The Anses (France) recommends in its advisory report to improve the EHS treatment, to assess diagnosis tools and to improve knowledge on this topic. The report says that provocation studies are most appropriate way to establish a causal link between EMF exposure and symptoms occurrence.

The goal of the *ExpoComm* project consists in improving the knowledge about EHS by developing an original, double-blind provocation experiment protocol with the help of EHS persons in order to avoid most methodologic issues.

ÉVALUATION DE L'EXPOSITION AUX PESTICIDES DANS L'AIR AMBIANT EN WALLONIE

EXPOPESTEN (EXPOSITION DE LA POPULATION AUX PESTICIDES ENVIRONNEMENTAUX) - VOLET 1

Intervenants ISSeP : Léa CHAMPON, Anne GALLOY, Guy GÉRARD, Suzanne REMY, Mathieu VESCHKENS

Durée : 2015-2018

Partenaires : CRA-W, Comité Régional PHYTO (CRP), DG03

INTRODUCTION

L'exposition chronique aux pesticides peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine^{1,2}. Les voies d'exposition aux pesticides sont l'ingestion, l'inhalation et le contact cutané. Bien que l'alimentation soit considérée comme la source principale d'exposition, la contribution de l'exposition par inhalation pourrait ne pas être négligeable tant en régions rurales qu'urbaines. En effet, des études menées en Amérique du Nord et en Europe ont révélé des concentrations en pesticides dans l'air pouvant atteindre plusieurs centaines de ng/m³. En Wallonie, l'eau et l'alimentation font l'objet de contrôles réguliers. Par contre, les pesticides ne sont pas surveillés dans l'air ambiant. L'objectif du premier volet du projet *EXPOPESTEN* est de fournir une estimation de l'exposition par inhalation aux pesticides présents dans l'air dans différentes localités représentatives des lieux de vie de la population.

MÉTHODES

En Belgique, en 2014, 307 substances actives (s.a.) étaient agréées pour un usage professionnel ou amateur. Le choix des s.a. à analyser a été effectué selon 4 critères de sélection : la toxicité, la probabilité de présence dans l'air, les quantités utilisées et l'occurrence de la substance dans la littérature. Au total 46 s.a. (19 herbicides, 19 fongicides et 8 insecticides) ont été sélectionnées selon une méthodologie ayant fait l'objet d'une publication. La campagne d'échantillonnage a été réalisée durant 1 année complète dans 12 localités sensées refléter l'environnement de vie de la majorité des wallons (2 sites de référence, 2 sites urbains, 5 sites agricoles et 2 sites d'utilisations non agricoles (terrains de golf, chemins de fer,...)). La méthode de prélèvement, d'extraction et d'analyse des pesticides étudiés dans l'air ambiant en Wallonie a été développée

et mise au point préalablement à la campagne d'échantillonnage (Rapport ISSeP n°03212/2016). Ces méthodes s'appuient sur les normes AFNOR XP X43-058 (prélèvement actif) et XP X43-059 (analyse) relatives au dosage des substances phytosanitaires dans l'air ambiant. L'air a été prélevé pendant 14 jours avec un échantillonneur d'air actif à un débit de 4 m³/h. Des filtres en quartz ont été utilisés pour retenir les pesticides associés aux particules et les cartouches PUF/XAD-2/PUF pour la capture des molécules à l'état gazeux. Les substances actives ont été analysées par GC-MS/MS et LC-MS/MS. Au terme de l'étude, 227 échantillons environnementaux, 19 blancs et 12 contrôles qualités ont été analysés.

RÉSULTATS

Les concentrations en pesticides mesurées dans l'air sont faibles, de l'ordre du nanogramme par mètre cube (m^3). Des 46 s.a. recherchées, 33 ont pu être mesurées, 4 n'ont jamais été détectées et 9 ont été détectées dans au moins 1 échantillon d'air mais à des concentrations $<$ LOQ. Ce sont essentiellement des herbicides (triallate, pendiméthaline, benfluraline) et des fongicides (chlorothalonil, captane) qui ont été le plus souvent détectés. Le chlorpyrifos est le seul insecticide fréquemment détecté. Les substances les plus retrouvées dans l'air figurent parmi celles qui sont les plus abondamment utilisées en agriculture. Les pesticides ont été détectés tout au long de l'année mais une forte saisonnalité a été observée avec une

présence quasi nulle en hiver, très élevée au printemps et plus modérée en été et en automne (Figure 1). Les pesticides ont été retrouvés partout en Wallonie, même au Mont Rigi, station éloignée de toute activité agricole (Figure 2). Les localités agricoles et une localité urbaine montrent une diversité des pesticides plus grande et des concentrations totales moyennes sur l'année plus élevées dans l'air. Cependant, les concentrations maximales ont été mesurées dans les localités de typologie « grandes cultures ». C'est au niveau de la localité fruitière que le nombre de substances actives et la concentration totale étaient les plus élevés.

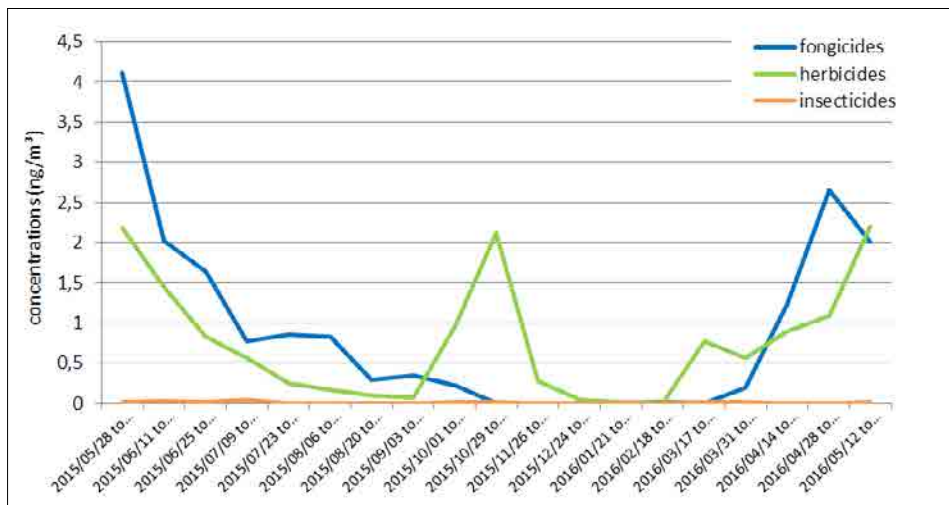


Figure 1 : Moyennes des concentrations totales mesurées dans l'air selon le type de pesticides en fonction des campagnes d'échantillonnage.

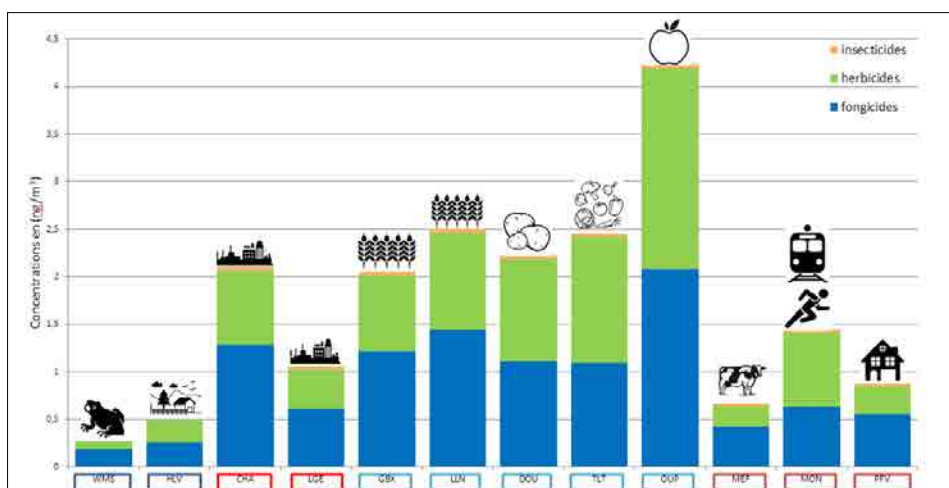


Figure 2 : Concentration totale moyenne annuelle (ng/m^3) par localité

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nos résultats fournissent une première estimation de l'exposition moyenne par inhalation de la population générale aux pesticides. Des pesticides ont été retrouvés partout en Wallonie mais c'est dans les localités agricoles et en ville que l'exposition est la plus importante. Nos résultats sont en accord avec les résultats d'autres études en Europe et en Amérique du Nord. L'exposition des populations situées à proximité immédiate des champs, plus directement affectés par la dérive et la volatilité des pesticides

lors des applications par pulvérisation, n'ont pu être pleinement pris en compte dans cette étude. Ces résultats préliminaires doivent également être consolidés avec des données concernant davantage de pesticides et couvrant plusieurs années. L'air étant une voie d'exposition obligatoire tout au long de l'existence, une surveillance des pesticides dans l'air est recommandée au même titre que les pesticides sont surveillés dans l'alimentation et dans l'eau.

SUMMARY

The *EXPOPESTEN* project (Exposition of general population to environmental pesticides) provides an exploratory exposure assessment of the Walloon population to pesticides in the air. A total of 46 pesticides were selected and were sought in 12 municipalities over one year. Continuous sampling of pesticides was carried out over 14-days periods. From the 46 substances, 33 could be quantified. In all sites, individual pesticide concentrations in air were in the nanogram (ng)/m³ range. Herbicides and fungicides have been the main ones to be found and seasonally linked to agricultural spraying activities. Pesticides were found everywhere in Wallonia. Both the highest diversity and total average concentrations of pesticides over the year were found mainly in agricultural sites. The great majority of the active substances most commonly found in the air were among those most widely used in agriculture.

ÉVALUATION DE L'EXPOSITION AUX PESTICIDES D'ENFANTS EN WALLONIE

EXPOPESTEN (EXPOSITION DE LA POPULATION AUX PESTICIDES ENVIRONNEMENTAUX) - VOLET 2

Intervenants ISSeP : Léa CHAMPON, Anne GALLOY, Guy GÉRARD, Suzanne REMY, Mathieu VESCHKENS

Durée : 2016-2018

Partenaires : CRA-W, ULIÈGE, DG03

INTRODUCTION

La recherche sur l'exposition aux pesticides s'est largement intéressée aux agriculteurs alors que la population générale est soumise, malgré elle, à une exposition environnementale continue et encore méconnue. L'objectif du deuxième volet du projet *EXPOPESTEN* a été d'évaluer l'influence de la zone de vie sur l'exposition interne des enfants aux pesticides. Des biomarqueurs d'exposition aux pesticides ont été dosés dans l'urine d'enfants de 9 à 12 ans. L'étude des biomarqueurs (biomonitoring) permet de mettre en évidence une exposition à des polluants qui, à terme, pourraient avoir une influence néfaste sur la santé. Couplés à des données collectées via des questionnaires individuels, les données de biomonitoring permettent de rechercher des liens entre des sources d'exposition, certains comportements ou modes de vie et une exposition plus importante, ou encore, d'identifier des populations plus à risque. Il permet également de mesurer l'impact de mesures destinées à diminuer cette exposition. Une des grandes forces du biomonitoring réside dans le fait qu'il prend en compte toutes les sources d'exposition, qu'elles soient alimentaires ou non, qu'elles soient connues ou toujours indéterminées.

MÉTHODES

Le 7 juin 2016, les urines du matin de 258 enfants âgés de 9 à 12 ans ont été prélevées dans 5 localités de résidence aux usages en pesticides contrastées : Habay (localité de référence, peu de pesticides), Gembloux et Oupeye (localités agricoles, fort usage de pesticides) ainsi que Charleroi et Liège (zones urbaines). Au total, 31 substances mères dont 4 métabolites spécifiques (TCPy, THPI, Déséthyl Terbutylazine, 4-F-3-PBA) et 8 métabolites non spécifiques d'insecticides organophosphorés (Dialkylphosphates ou DAP's) et pyrétrinoïdes ont été validées et recherchées dans les urines des enfants. Une sélection qui repose sur les résultats des mesures dans l'air du Volet 1 d'*EXPOPESTEN*, la littérature, les résidus en pesticides mesurés dans l'alimentation³ et la disponibilité des méthodes de

mesures. Les méthodes d'extraction et les analyses par GC-MS/MS et UPLC-MS/MS ont été développées par le laboratoire de Toxicologie de l'Université de Liège. En parallèle du biomonitoring, des mesures des concentrations en pesticides dans l'air ont été menées dans les 5 localités selon la même méthode que celle employée dans le Volet 1. Et, afin d'identifier les facteurs favorisant l'exposition des enfants, un questionnaire général (données personnelles, socio-démographiques, activités, habitudes alimentaires, usages de pesticides) et un questionnaire 48 heures recall (aliments consommés dans les 2 jours avant le prélèvement) ont été complétés par les parents.

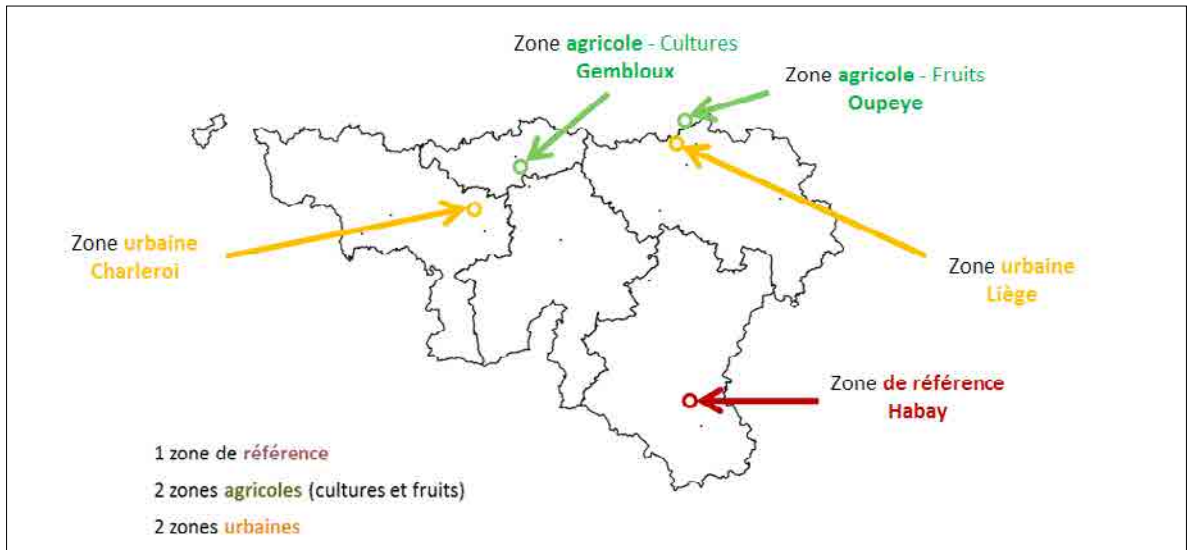


Figure 1 : Carte de répartition des stations pour l'échantillonnage d'air et d'urine



RÉSULTATS

Les résultats de cette première étude en Wallonie sur l'exposition des enfants aux pesticides suggèrent que :

1. les enfants wallons sont tous exposés aux insecticides organophosphorés et pyréthrinoides ;
2. les pesticides sont principalement excrétés en tant que métabolites ;
3. l'origine aérienne des concentrations trouvées dans les urines est peu probable ou que l'exposition via l'air extérieur est trop faible pour pouvoir être mise en évidence par le dosage de marqueurs urinaires.

Les concentrations et fréquences de détection des métabolites des pesticides organophosphatés et pyréthrinoides retrouvés chez les enfants wallons sont similaires aux autres enfants européens et nord-américains¹. Sur les 31 substances actives recherchées dans l'urine des enfants seulement 6 ont été mesurés dans au moins un échantillon d'urine.

Parmi elles, l'herbicide métribuzine a été mesuré chez 10,5 % des enfants. Les métabolites spécifiques et non spécifiques des insecticides organophosphorés et pyréthrinoides ont été fréquemment détectés : 100 % pour le TCPy-chlorpyrifos, 99.6% pour le 3-PBA et 93.1 % pour le cis-DCCA et 73,3 % pour le DEP notamment. Le DEP montre les concentrations les plus élevées avec une concentration médiane de 3,31 µg/l et maximale de 661,83 µg/l. L'étude statistique des réponses au questionnaire individuel a montré l'existence d'une association entre les concentrations et la fréquence de détection des pesticides dans l'urine des enfants avec plusieurs variables comme l'usage de pesticides à l'intérieur, la présence de surfaces agricoles à 100 m autour du domicile, le fait de se ronger les ongles ou de posséder des animaux de compagnies, le niveau socio-économique des parents, la consommation de fruits non épluchés ou de pain gris, etc.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Il s'agit de la première étude visant à évaluer l'exposition interne aux pesticides en Wallonie. À l'instar d'autres études de biomonitoring, nos résultats mettent en évidence l'excrétion principale des pesticides en tant que métabolites. Certains métabolites d'insecticides ont été détectés chez 100% des enfants. Les concentrations et fréquences de détection des métabolites des pesticides organophosphatés et pyréthrinoïdes que nous avons retrouvés chez les enfants wallons sont similaires aux autres enfants européens et nord-américains. Nos résultats ne permettent pas de mettre en évidence de

lien probant entre les concentrations dans l'air et les concentrations urinaires.

Il n'existe actuellement pas de valeur limite d'exposition interne pour la santé de la population mais étant donné la toxicité intrinsèque associée à certains pesticides, une surveillance de ces substances dans l'environnement et au sein de la population s'impose afin de s'assurer que les mesures de gestion permettent de limiter l'exposition de la population.

SUMMARY

Exposure of children populations living in areas with contrasted pesticide exposure is assessed to provide insight on potential exposure pathways. Their exposure was assessed through measurements of ambient air concentrations (as performed during the first part of the project), measurement of biomarkers of exposures in the children urines. Data on their feeding habits, hobbies, socioeconomic status of the home as well as domestic pesticide uses were gathered using individual questionnaires. Our results show that on the 31 parent compounds analysed, only 6 were measured in at least one urine sample highlighting that parent compounds are rarely found in urine samples; Walloon children are all exposed to organophosphorus and pyrethroid insecticides ; the aerial origin of the concentrations found in the urine is unlikely. These results highlight the need to identify the pesticides metabolites in order to evaluate more accurately human exposure to pesticides.

MICROPLAST - ÉVALUATION DE L'OCCURRENCE DES PARTICULES DE MICROPLASTIQUES DANS LE TUBE DIGESTIF DES POISSONS ET INVERTÉBRÉS DULCICOLES AINSI QUE DE LA PRÉSENCE D'AGENTS PLASTIFIANTS CHEZ CES ORGANISMES

Intervenant ISSeP : Delphine LEROY, Yves MARNEFFE, Mathieu VESCHKENS

Durée : 2017-2020

Partenaires : ULIÈGE, UNamur

INTRODUCTION ET OBJECTIFS

L'accumulation des microplastiques dans les milieux aquatiques constitue une problématique émergente qui prend de plus en plus d'ampleur. De plus en plus de données sont disponibles concernant les milieux océaniques, fortement touchés par cette pollution puisqu'ils constituent un réceptacle final pour ces déchets. Cependant, peu d'études dédiées à la présence de microplastiques en eaux douces sont disponibles. Les rivières constituent pourtant l'une des principales voies d'entrées des particules de plastique dans les océans.

Le projet *MICROPLAST* a pour objectif d'étudier l'occurrence et l'impact des microplastiques sur les poissons et invertébrés de rivières. Dans ce cadre, des poissons sont prélevés en rivière afin d'étudier le contenu de leur tube digestif et d'y trouver d'éventuelles particules de plastique. D'autre part, des analyses sont menées sur des invertébrés dulcicoles afin de déterminer la vitesse de transit, ainsi que l'assimilation éventuelle, des microplastiques par ces organismes.

MICROPLASTIQUES DANS LE TRACTUS DIGESTIF DES POISSONS

Des poissons appartenant à plusieurs espèces communément présentes dans nos rivières et répondant aux critères des espèces sentinelles ont été prélevés, en fonction de leur présence et de leur abondance, au niveau de 5 stations d'intérêt en 2017 afin de rechercher des microplastiques dans leur tractus digestif. Les espèces considérées étaient le chevaune (*Squalius cephalus*), la brème (*Abramis brama*), la loche (*Barbatula barbatula*) et le goujon (*Gobio gobio*).

Les stations prospectées ont été choisies sur base de différents critères susceptibles d'impacter l'ingestion de microplastiques par les poissons et autres organismes aquatiques, tels que la présence de

microbilles de plastique dans les sédiments prélevés à cet endroit, la proximité d'une station d'épuration ou la localisation à la sortie d'une grande ville. Une station de référence, localisée dans une région très peu anthropisée, a également été sélectionnée.

Au total, 91 poissons ont ainsi été disséqués afin de prélever leur tube digestif, dont le contenu a été prélevé et observé à la loupe binoculaire afin d'y rechercher des particules de plastique (Figure 1). Cependant, les résultats de ces observations se sont avérés peu concluants et des tests supplémentaires destinés à vérifier et à compléter les observations obtenues par observation visuelle seront effectués sur les mêmes échantillons.

En parallèle, des méthodes de détection des phtalates, incluant le DEHP, et du bisphénol A dans le muscle de poissons sont actuellement en cours de mise au point. Ces composés sont connus pour causer de gros problèmes de dérégulation endocrinienne chez certaines espèces et sont généralement associés aux matières plastiques. Ainsi, lorsque ces dernières se retrouvent dans l'environnement, elles sont susceptibles de relarguer ces molécules qui peuvent ensuite se bioaccumuler dans les organismes et impacter leur santé (*e.g.* Rahman Kabir et al., 2015). La recherche de ces composés chez les organismes considérés aura donc pour but d'établir une éventuelle corrélation entre la présence de particules de plastique dans le milieu et le niveau de contamination par certains agents plastifiants et autres composés associés aux matières plastiques.

INGESTION DE MICROPLASTIQUES PAR *GAMMARUS PULEX*

Un test a été réalisé afin de vérifier les capacités d'ingestion de microbilles de plastiques par *Gammarus pulex*. Dans ce but, des gammarus ont été triés et isolés et seuls des mâles non parasités ont été prélevés. Une période de dépuración de 24 h a été respectée de manière à vider le tube digestif des organismes. Des microbilles fluorescentes en polystyrène de 3 µm de diamètres ont été utilisées. Un gammarus a été plongé dans une solution contenant ces billes à une concentration en excès pendant 10 minutes, puis rincé à l'eau avant observation à la loupe binoculaire à épifluorescence. Une fluorescence a été détectée dans le tube digestif de l'organisme. Cependant, le nombre de couche tissulaires, ainsi que leur épaisseur, empêchaient de voir distinctement les microbilles dans le tube digestif et donc de les compter. Une dissection des gammarus a donc été envisagée afin de prélever le tube digestif (Figure 2). Cet essai a montré que *Gammarus pulex* ingère bien les microbilles de plastique et que celles-ci se retrouvent rapidement dans leur système digestif.

Suivant les résultats de cet essai, des recherches bibliographiques ont été menées afin de préciser différents paramètres tels que le temps de dépuración des organismes nécessaire avant l'expérience, le temps de transit de la nourriture chez les gammarus,

les concentrations en microbilles à considérer pour se rapprocher des concentrations environnementales, ainsi que la taille de ces microbilles en fonction du comportement de grazing des organismes. Ces informations permettront de mettre en œuvre une expérience complète comparant différentes situations.

PERSPECTIVES

La mise au point de ces méthodes devrait permettre d'obtenir de plus amples informations sur la présence de microplastiques en eaux douces et sur leur comportement dans ce milieu.

Afin de mettre en évidence, ou non, la présence de microparticules de plastique dans le tractus digestif des poissons ciblés, une méthode de digestion des tissus par des solutions acides et basiques sera appliquée afin de récupérer tout type de matériel inorganique (selon Roch et Brinker, 2017). Si des résidus minéraux sont présents, une réduction par séparation de densité sera également appliquée de manière à n'obtenir que les matières plastiques. Les microplastiques ainsi récupérés seront ensuite analysés par FT-IR afin d'en déterminer la nature exacte. Remarquons qu'afin de s'assurer de la fiabilité de la méthode, des pré-tests seront réalisés sur des tubes digestifs de poissons préalablement dopés à l'aide d'un nombre connu de résidus de plastique (microbilles).

Des prélèvements de poissons seront également réalisés dans d'autres zones susceptibles d'être contaminées par des résidus de plastique. Des essais de prélèvement de microplastiques dans la colonne d'eau seront également réalisés.

En parallèle, des tests plus poussés d'ingestion de microbilles de plastique marquées par *Gammarus pulex* seront réalisés en utilisant des microbilles de types de plastiques différents et de plusieurs tailles différentes. Des tests sont également prévus sur une autre espèce d'invertébrés dulcicoles, le chironome (*Chironomus riparius*) de manière à étudier l'impact de ces composés sur une espèce vivant dans le sédiment.

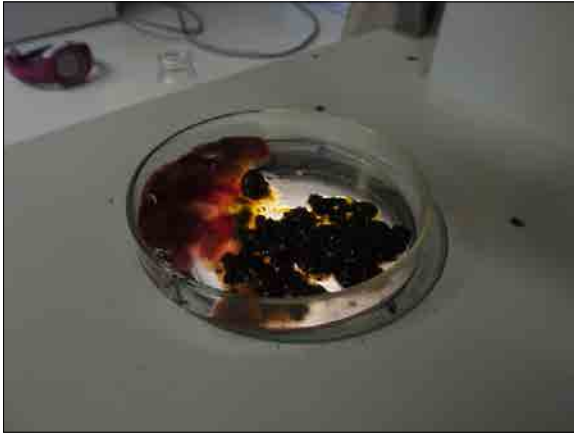


Figure 1 : Dissection d'un tube digestif de chevaine (*Squalius cephalus*)
(a.) et contenu d'un tube digestif de chevaine



(b.) (grossissement 8 fois).

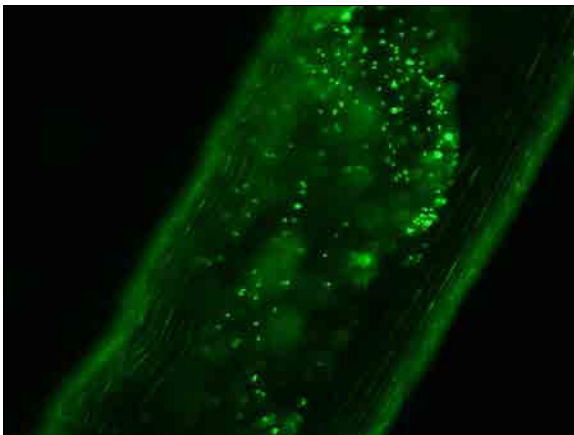


Figure 2 : Portion de tube digestif de gammare contenant des microbilles de plastique marquées (grossissement 11.5 fois)

SUMMARY

Plastic contamination is an increasing environmental problem in aquatic ecosystems. Numerous data is now available about microplastic in marine environment, but less is known about freshwater plastic pollution. The *Microplast* project aims at studying the occurrence and impact of microplastic on freshwater fish and invertebrates species. In this purpose, several species of river fish were sampled in specific sites in order to examine the content of the digestive tract to find plastic debris. The visual observation did not give the expected results and a digestion method will be used to separate organic and mineral materials from plastic debris. In parallel, fluorescent plastic microspheres are used to determine the ingestion of microplastic by the freshwater crustacean *Gammarus pulex*. First experiments showed that these organisms ingest 3 μ m microspheres when these compounds are present in excess in the water. Further experiments will be conducted to precise which microspheres sizes and plastic materials are preferentially ingested by these organisms. Moreover, similar tests will be conducted with a sediment associated organism (*Chironomus riparius* larvae) in order to evaluate the impact of sediment microplastic on freshwater invertebrates.

NANOBIOM - WOOD PELLETS & BIOMASS: NPS RELEASE ALONG THE LIFE CYCLE & ENVIRONMENTAL BALANCE

Intervenants ISSeP : Benjamin BERGMANS, Hervé BREULET, Igor DYAKOV, François IDCZAK

Durée : 2013-2020

Partenaires : ULIÈGE, GSF, LUEM, UOA, CRA-W

INTRODUCTION

Afin de pouvoir respecter les engagements de réduction d'utilisation des combustibles fossiles et compte tenu de la décision de sortir du nucléaire d'ici 2025, l'utilisation de pellets et autres biomasses plus exotiques est en croissance exponentielle en Belgique, mais également à l'échelle européenne. Cet engouement est partiellement expliqué par les nombreux incitants mis en œuvre par les pouvoirs publics afin de promouvoir ce type de combustible. Néanmoins, si leur utilisation est positive au niveau des émissions de CO₂, il n'existe pas suffisamment d'études permettant de garantir l'impact environnemental ainsi que l'absence de risques en termes de santé publique de cette utilisation.

En outre, la combustion du bois est connue pour être une source importante de rejet de nanoparticules dans l'atmosphère. En fonction du type de carburant et de la qualité de la combustion, les taux d'émissions peuvent être multipliés d'une manière drastique. Ces nanoparticules sont généralement chargées de composés organiques aromatiques extrêmement toxiques (PAH, dioxines) et la présence de ces polluants complémentaires doit donc également être prise en compte.

MÉTHODOLOGIE

L'objectif principal du projet *NanoBiom* est de réaliser un bilan environnemental global et une évaluation des risques au niveau relargage des nanoparticules lors de l'utilisation de diverses biomasses d'intérêt comme combustible. Différentes échelles, allant du foyer domestique à la production de masse en centrale électrique, seront étudiées. Les techniques de mesures des émissions de nanoparticules mises au point dans le projet PNM-STACK seront utilisées lors des essais. Les aspects processus et optimisation de la combustion, en partenariat avec des fabricants de combustibles et de chaudières font également partie intégrante du projet. Les résultats permettront d'optimiser les procédures d'utilisation de ce type d'installation (QA/QC) et d'aider à la rédaction des futurs permis d'exploitation. Ils permettront également d'orienter les politiques publiques en la matière et d'informer les citoyens sur les bonnes

pratiques à adopter pour réduire leur exposition et l'impact global sur l'environnement.

Une étude du cycle de vie des combustibles est également prévue afin de déterminer l'impact global de l'utilisation de différentes biomasses d'un point de vue tant environnemental que financier.

SUMMARY

The use of biomass as green alternative source of energy is growing exponentially in Belgium. This enthusiasm is partly explained by many incentives, like green certificates, implemented by the government to promote this type of fuel in order to be able to meet the commitments to reduce the use of fossil fuels and to exit nuclear power utilisation by 2025.

Nevertheless if the use of biomass is positive in terms of CO₂ emissions, there are not enough studies available to guarantee the absence of environmental impact and the absence of public health risks.

Wood burning is known to be an important source of nanoparticle production. Depending on the type of fuel and the quality of the combustion, emissions can be drastically increased. These nanoparticles are usually loaded with extremely toxic aromatic organic compounds (PAH, dioxins) and the presence of these complementary pollutants must therefore also be taken into account.

The main objective of the *NanoBiom* project is to carry out a comprehensive environmental and risk assessment study. Various type of biomass from classical pellet to more exotic residues will be studied. Different scales ranging from the home fireplace to mass production in a power plant will be studied. Techniques for measuring nanoparticle emissions developed in the PNM-STACK project will be used in the trials.

The process and optimization aspects of combustion, in partnership with fuel and boiler manufacturers, are also an integral part of the project. Project results will help optimizing burning process (QA/QC) and assist in the drafting of future permits for this type of burning installation. They will also help to increase expertise and knowhow to allow issep providing support to public policies in this area and inform citizens about best practices to reduce their exposure and their overall impact on the environment.

A study of the fuel lifecycle is also planned to determine the overall impact of the use of different biomass from both an environmental and a financial perspective.

NANOGRA - EVALUATION PLURIDISCIPLINAIRE DES RISQUES LIES AUX NANOMATERIAUX

Intervenants ISSeP : Elodie BOUHOULLE, Hervé BREULET, Matthieu HEMART, Tiécoura SINABA

Durée : 2015-2018

Partenaires : INERIS, Namur Nanosafety Centre (UNamur)

INTRODUCTION

Le terme « matériaux manufacturés (NMx) » englobe une panoplie de substances de composition chimique, propriétés physico-chimiques et caractéristiques dimensionnelles très diverses.

Le projet NANOGRA avait pour but une évaluation pluridisciplinaire des risques pour la sécurité et la santé des travailleurs ainsi que pour l'environnement posés par les NMx : les nanotubes de carbone (NTC), le noir de carbone (NC), le dioxyde de titane (TiO₂) et l'aluminium, parmi les plus utilisés ou commercialisés par les industriels en Wallonie, ont été sélectionnés pour cette étude.

Dans le cadre de ses missions de service public, l'ISSeP a aménagé un laboratoire, inauguré le 25 novembre 2016, afin d'évaluer les risques inhérents à la production et à l'utilisation de nanopoudres (NP) explosives en milieu industriel. Plusieurs tests ont été menés pour étudier la sensibilité à l'ignition et les caractéristiques d'explosion de différentes NP : NC (N990 et N550), NTC (NC7000™) et aluminium partiellement passivé.

L'analyse des risques sanitaires pour l'opérateur a été réalisée par une approche combinée d'évaluation graduée des risques et de mesure des concentrations en NP au cours d'essais dans le laboratoire d'étude de l'explosivité des NP de l'ISSeP. Les outils d'évaluation graduée des risques, aussi dits de « *control banding* (CB) », ont été conçus pour aider les industriels à réaliser une première évaluation des risques de leurs activités et à adapter les mesures de protection des travailleurs le cas échéant.

L'analyse des risques pour l'environnement s'est focalisée sur le compartiment sédimentaire, qui peut constituer un réservoir des NMx qui atteignent le compartiment aquatique. Le projet a étudié l'impact de trois nanoparticules (NTC, TiO₂ et oxyde d'aluminium (Al₂O₃)) sur deux organismes sédimentaires et les transferts pouvant se produire entre les organismes, le sédiment et la colonne d'eau.

MÉTHODES

Volet 1 - Explosivité

Différents tests ont été menés pour étudier la sensibilité à l'ignition et les caractéristiques d'explosion. La pression maximale d'explosion (P_{max}), la vitesse maximale de montée en pression ((dP/dt)_{max}), la constante K_{st} (valeur déterminant la violence d'explosion), l'énergie minimale d'inflammation (MIE) et la température minimale d'ignition (MIT) en couche

ont été mesurées respectivement à l'aide d'une sphère d'explosion de 20 litres (Anko, Figure 1a), d'un tube d'Hartmann modifié (MIKE3) et d'une plaque de chauffe circulaire suivant les normes EN 14034 (2011), NF EN 13821 (2003) et EN 50281 (2000).

Volet 2 - Santé

CB Nanotool 2.0 (Paik *et al*, 2008 ; Zalk *et al*, 2010) et StoffenManager Nano 1.0 (Van Duuren-Stuurman *et al*, 2012) ont été appliqués aux essais d'explosivité sur le NC et les NTC.

Une campagne de mesure de la concentration en NP dans l'air du laboratoire au cours d'essais a été réalisée en octobre 2017 (Figure 1a). Différents appareillages ont été utilisés pour mesurer les concentrations en nombre de particules à proximité de l'opérateur ainsi que les concentrations de fond : un Disc Mini

à proximité, un premier CPC (*Condensation Particle Counter*, TSI 3007) à proximité et un deuxième pour la concentration de fond, et un SMPS (*Scanning Mobility Particle Sizer*, Nanoscan TSI 3910) pour la concentration de fond. Des prélèvements pour microscopie électronique à transmission (MET) ont également été réalisés par grille MPS (*Mini Particle Sampler*) placées sur l'opérateur afin de vérifier la nature des particules auxquelles il est exposé (Figure 1b).

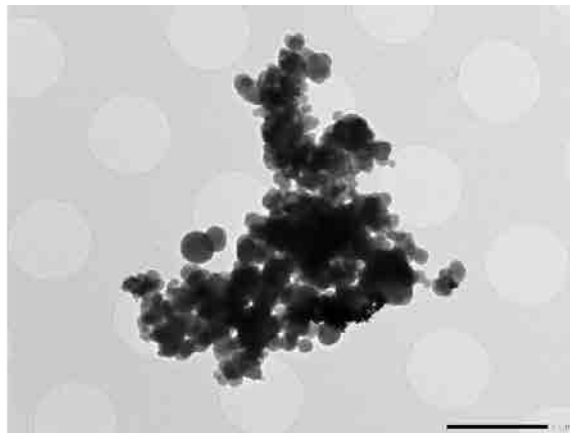


Figure 1 : (a - à gauche) Mesure des concentrations en nombre de particules à proximité de l'opérateur et en fond au cours d'essais d'explosivité de NC et de NTC (Source : ISSeP) ; (b - à droite) Agglomérat de NC prélevé sur une grille MPS analysée par MET (Source : INERIS).

Volet 3 - Ecotoxicité

Chironomus riparius (chironome) et *Heterocypris incongruens* (ostracode) sont des invertébrés benthiques. Ces organismes ont une aire de distribution très vaste et participent activement à la modification physico-chimique du sédiment (ex : ingestion, excrétion de sédiment pour le chironome). De plus, différents tests normés existent pour ces deux organismes, et ont pu être adaptés à l'étude de NMx.

Les deux organismes ont été exposés à un sédiment artificiel répondant aux critères des lignes directrices de l'Essai n° 218 (OCDE, 2004) et de la norme NF T90-339-1 (AFNOR). Le sédiment a été enrichi avec les

NMx à différentes concentrations : trois concentrations représentatives des conditions naturelles, inférieures aux PEC (*Predicted Environmental Concentration*) et une supérieure aux PEC. Un agitateur à rouleaux a été utilisé pendant 4 semaines pour l'homogénéisation des NMx dans le sédiment.

Les paramètres écotoxicologiques mesurés étaient la mortalité et l'inhibition de croissance chez le chironome et l'ostracode ainsi que le retard de croissance et la tératogénéité (perturbation du développement larvaire) chez le chironome (Figure 2).

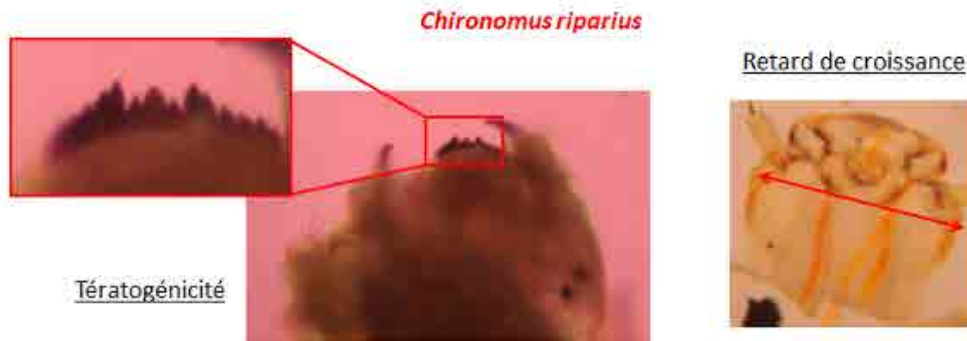


Figure 2 : Mesure de la tératogénéité et du retard de croissance de *Chironomus riparius*

Chaque matrice de l'essai sur les chironomes (eau, sédiment et organismes) a été prélevée en début et en fin d'expérience pour une caractérisation physico-chimique par le Namur Nanosafety Center : les taux d'agglomération et d'agrégation (CLS : Sédimentation

Centrifuge à disque), la composition élémentaire (XPS : Spectrométrie de Photoélectrons induits par rayons X ou PIXE : Emission de Protons induite par Particules) et la surface spécifique (BET) ont été déterminés.

RÉSULTATS

Volet 1 - Explosivité

Les résultats obtenus (MIE, Pmax et Kst) montrent que les NP carbonées, en suspension dans l'air, sont capables de générer une ATEX (ATmosphère EXplosive) d'intensité modérée, comparable à la classe ST1. Elles sont par contre peu sensibles aux phénomènes d'origine électrostatique. Les résultats pour les NP carbonées sont similaires à ceux obtenus pour leurs analogues microparticulaires.

En revanche, les NP d'aluminium, même partiellement passivées, restent sensibles au risque d'ignition par des phénomènes d'origine électrostatique. La violence d'explosion des NP d'aluminium semble augmenter lorsque la surface spécifique (BET) augmente.

Volet 2 - Santé

Pour une fréquence d'essais mensuelle, les deux outils de CB ont évalué le niveau de risque au plus élevé pour les NTC et comme moyen pour le NC. L'outil StoffenManager Nano n'est pas discriminant pour les fibres, qu'il classe automatiquement au niveau de risque maximal.

confirme que l'exposition potentielle, même sans EPI (Équipement de Protection Individuelle), était très limitée.

A tout moment, les concentrations moyennes en NP mesurées dans le laboratoire étaient nettement inférieures au seuil de 20.000 particules/cm³ proposée par le BSI (*British Standards Institution*) pour la protection des travailleurs. Les grilles MPS étaient en outre très peu chargées en NC ou en NTC ce qui

Les résultats des mesures ont donc montré que les outils de CB sélectionnés ont tendance à surestimer le risque en comparaison des résultats des mesures de concentrations dans l'air. Ils ont permis d'affiner l'évaluation des risques réalisée par CB, et en particulier l'estimation de la pulvérulence. Ils ont également permis d'aboutir à des recommandations pour réduire encore l'exposition de l'opérateur lors des essais et la potentielle dispersion de NP dans le laboratoire.

Certains paramètres d'entrée des outils de CB influencent de façon déterminante le niveau de risque évalué et pourtant ils sont souvent très peu documentés, notamment dans les fiches de données sécurité (SDS). Cela conduit, par application du

principe de précaution, à relever les mesures de protection de l'opérateur. Ces limites doivent être prises en considération lors de l'utilisation d'outils de CB.

Volet 3 - Ecotoxicité

Aucune mortalité n'a été observée pour les chironomes et celle-ci n'a été mesurée qu'aux concentrations les plus élevées chez les ostracodes (faible pour les NTC ; extrême pour Al_2O_3). De même, aucun effet significatif d'inhibition de croissance n'a été observé chez les ostracodes. Un retard de croissance significatif a été observé uniquement pour Al_2O_3 sur les chironomes. Enfin, aucun effet sur le développement larvaire n'a pu être mesuré.

Dans le sédiment, les nanoparticules étaient présentes sous forme d'agrégats même en début d'expérience malgré les quatre semaines d'homogénéisation. Dans les organismes, on observait une tendance

à l'accumulation croissante de NP avec leur concentration dans le sédiment. La caractérisation des NTC dans les organismes était rendue difficile car le traceur (cobalt) était présent en trop faible quantité aux concentrations représentatives de l'environnement. Le comportement des NP au sein de la colonne d'eau était variable d'une NP à l'autre : les particules primaires s'aggloméraient et sédimentaient rapidement pour l' Al_2O_3 et les NTC alors qu'une désagglomération progressive a été observée pour le TiO_2 , probablement liée à une érosion de la surface des NP.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats ont montré que les NP d'aluminium sont sensibles à l'inflammation d'origine électrostatique. La violence d'explosion des NP d'aluminium semble augmenter lorsque la surface spécifique (BET) augmente, (et donc la taille des particules diminue). Les résultats obtenus pour les NP carbonées étaient similaires à ceux de leurs analogues microparticulaires.

L'évaluation des paramètres de sensibilité à l'inflammation et de violence d'explosion de NMx peut être menée dans des équipements standards moyennant l'adaptation de certaines étapes de la procédure d'évaluation, notamment afin d'éviter la dégradation de la NP avant l'inflammation.

Les outils de CB sélectionnés ont eu tendance à surestimer le risque en comparaison des résultats des mesures de concentrations dans l'air. Certains paramètres d'entrée influencent de façon déterminante le niveau de risque évalué et pourtant elles sont souvent très peu documentées dans la littérature ou dans les SDS. Cela conduit,

par application du principe de précaution, à relever les mesures de protection de l'opérateur. Ces limites doivent être prises en considération lors de l'utilisation d'outils de CB.

Les résultats des mesures ont permis d'aboutir à des recommandations pour réduire encore l'exposition de l'opérateur lors des essais et la dispersion potentielle de NP dans le laboratoire.

Les résultats du projet montrent qu'il est essentiel de poursuivre l'étude des propriétés des NP mises sur le marché afin de mieux connaître les risques potentiels liés à leur utilisation.

L'étude écotoxicologique des NP sur les organismes benthiques dans des scénarios proches des conditions naturelles est très difficile à aborder car les concentrations expérimentales sont souvent trop faibles pour observer des réponses écotoxicologiques. De plus, le sédiment est une matrice complexe même en conditions simplifiées de laboratoire.

Les résultats obtenus ont mis en évidence la nécessité d'améliorer les outils et méthodologies pour le dosage de NP dans des échantillons naturels ainsi que de développer des essais écotoxicologiques adaptés aux NP, en particulier pour étudier les effets à très long terme grâce notamment à l'évaluation du risque au niveau trans- et multigénérationnel d'une population de chironomes (cycle de vie, génétique des populations, etc).

SUMMARY

Several tests were conducted to assess the ignitability and explosion violence characteristics of carbon black (CB) (N990), MWCNT (NC7000™) and partially passivated aluminium nanopowders (NP). The results (measured MIE, Pmax and KSt) led to the conclusion that airborne carbon NP can generate an ATEX with moderate explosion intensity comparable to the ST1 class. They are slightly sensitive to electrostatic phenomena. Explosion parameters of carbon NP were generally found similar to their microscopic size analogue. The results showed that aluminium NP are sensitive to the risk of ignition by a phenomenon of electrostatic origin, and explosion violence seemed to increase when particle size decreases.

An exposure assessment to NMs was performed for the management of occupational risks during explosiveness testing in a 20 L explosion sphere for CB and MWCNT in a laboratory. Exposure was measured with a CPC in background and near field. The operator was also equipped with a portable particle counter DiscMini. Samples for TEM analysis were collected with a Mini Particle Sampler system. Background concentrations were monitored with a SMPS nanoparticle sizer.

A qualitative assessment was performed using the CB Nanotool 2.0 and StoffenManager Nano 1.0 control banding tools. The risk levels assessed by the CB tools tended to overestimate observed NP concentrations during the tests. The subjectivity associated with some input parameters for the risk assessment and the lack of information in the safety data sheets and literature generate uncertainties in the risk assessment results. One should be aware of these limitations while using CB tools.

Soils and sediments are a potential sink for engineered NP when released in the environment and sediment organisms are likely to be significantly affected by these contaminants. The ecotoxicological section of NANOGRA aimed to assess the impact of spiked samples on sediment dwelling organisms *Chironomus riparius* and *Heterocypris incongruens* and to evaluate the mobility of the NPs from the sediment to the water column and the organisms. Experiments results showed no mortality for both species at environmentally relevant concentrations in lab conditions. Growth inhibition was only observed for chironomids and aluminium dioxide NPs at all concentrations (with a significant growth delay at the highest one). No teratogenic effect has been measured on these organisms.

Physicochemical analyses showed that NP agglomerate quickly in sediments and tend to remain in the sediment by gravity. nTiO₂ seems to deagglomerate in the water column probably due to a surface erosion of the particle. Finally, NP concentrations in chironomids seem to be related to the concentration in sediment without observing an increased excretion.

PROPULPPP - OBJECTIVER L'EXPOSITION DES POPULATIONS AUX PULVÉRISATIONS DE PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES EN WALLONIE ET RECOMMANDER DES MESURES DE PROTECTION DESTINÉES À LIMITER CETTE EXPOSITION

Intervenants ISSeP : Suzanne REMY, Ingrid RUTHY

Durée : 2018

Partenaires : CRA-W, ULIÈGE

INTRODUCTION

Selon les conditions météorologiques et les techniques d'application, 25 à 75 %, voire 90% dans certaines situations, des pesticides épandus se retrouvent dans l'air (der Werf & Zimmer, 1998; Bedos *et al*, 2002; Jensen & Olesen, 2014). Une fois dans l'air, les pesticides volatils peuvent être transportés à plus ou moins longue distance. Les aérosols et les pesticides associés aux particules vont se déposer dans un voisinage plus proche, à la surface du sol ou d'objets. La législation wallonne impose aux cultivateurs le respect de bandes tampons pour protéger les eaux souterraines et de surface. En juin 2018, des mesures complémentaires visant à réduire l'exposition des riverains aux pesticides ont été prises par le Gouvernement wallon. Elles concernent essentiellement les modalités de pulvérisations (utilisation de buses anti-dérive, zones tampons, vitesse du vent, heures d'épandage). Ce cadre réglementaire pourra être revu à la lumière des résultats de la présente étude. Ces dernières années, un certain nombre de modèles ont été développés pour appréhender les risques pour les riverains (EFSA, 2014; BROWSE Project² & Butler Ellis *et al*, 2017). Il existe cependant peu de données factuelles sur l'exposition réelle.

Les voies d'exposition des riverains aux produits phytopharmaceutiques (PPP) sont :

- l'exposition dermale (directe ou indirecte) via contact avec les aérosols, les vapeurs et les dépôts ;
- l'exposition par inhalation de particules fines (PM) et de vapeurs ;
- l'exposition par ingestion d'aérosols, de sol ou de légumes contaminés par des dépôts.

Ces expositions, suite aux pulvérisations, ont lieu à différents moments :

- lors de l'épandage et directement après. On parlera d'exposition à court terme.
- à plus long terme (quelques jours). On parlera d'exposition chronique.

² The BROWSE project is supported by the EU 7th Framework Programme, ref. 265307. Bystanders, Residents, Operators and WorkerS Exposure models for plant protection products. www.browseproject.eu

OBJECTIFS

L'objectivation des recommandations pour réduire l'exposition des populations en bordure des champs constitue l'objectif principal de l'étude et passe par plusieurs objectifs spécifiques, à savoir :

- évaluer l'exposition aux pesticides des populations riveraines des champs cultivés dans les 48 heures suivant l'épandage et à plus long terme (quelques semaines);
- évaluer la manière donc l'exposition varie en fonction de l'éloignement à la source;
- évaluer l'influence réelle sur l'exposition de paramètres agronomiques et de la présence d'une barrière physique en bordure de champ;
- vérifier, par des mesures, que les modèles prédictifs d'exposition, entre autres employés lors de l'approbation des substances, permettent de couvrir raisonnablement le risque 'Riverains'.

de vapeur) et la capacité analytique des laboratoires. Un screening des pesticides dans l'air est réalisé pour les essais menés dans les sites spécifiques (volet 4), en recherchant prioritairement les PPP épandus dans le champ voisin du site étudié.



MÉTHODOLOGIE

Pour atteindre ces objectifs, 4 volets expérimentaux ont été élaborés :

1. Mesures des PPP en bordure de champ (entre 0 et 50 m) à différents temps (2 à 48 heures après l'épandage), via la mise en place d'un site expérimental (photo 1)
2. Analyse approfondie de la dérive sédimentaire (aspect quantitatif), sur un site expérimental
3. Mesure de l'exposition à plus longue distance de l'application (> 100 m) et à plus long terme
4. Mesures de l'exposition dans des sites spécifiques riverains de champs (cours d'écoles et jardins de particuliers)

Une vingtaine de PPP sont étudiés lors des essais sur le site expérimental (volets 1 et 3). Les substances actives sont sélectionnées en fonction de plusieurs critères, notamment sur base de leur utilisation en Wallonie (cultures majoritaires & vente de PPP), leurs caractéristiques physico-chimiques (dont la pression

Deux types de capteurs sont utilisés : des échantillonneurs d'air actifs (pompes aspirantes) et des collecteurs passifs (filtres de cellulose placés horizontalement et verticalement)(photo 2). L'exposition aux PPP dans les sites spécifiques est également étudiée par le prélèvement de poussières (extérieur et intérieur). La dispersion des PPP étant largement tributaires des conditions météorologiques, ces dernières sont mesurées en continu sur le site lors des essais.

La méthode de prélèvement des pesticides dans l'air ambiant (prélèvement actif) utilisée est celle mise en œuvre dans le récent projet *EXPOPESTEN* (Guisti *et al*, 2018 a&b) et s'appuie sur la norme XP X43-058 (AFNOR, 2007a). Cette méthode, par aspiration d'air, permet la collecte de la matière particulaire et de la phase gazeuse. Les pesticides captés sur les supports de prélèvement (actif et passif) sont extraits et analysés par les méthodes employées dans le projet *EXPOPESTEN* (Guisti *et al*, 2018 a&b) et conformes à la norme XP X43-059 (AFNOR, 2007b).

RÉSULTATS

De mai à septembre 2018, plusieurs essais ont été réalisés, en parcelles expérimentales et in-situ dans les sites spécifiques. Fin octobre, tous les échantillons étaient analysés par les laboratoires partenaires. Les résultats sont en cours de traitement. Après l'analyse

distincte de chaque volet, une interprétation intégrative conduira à présenter des conclusions globales sur l'exposition des riverains aux pulvérisations de PPP et à tirer des perspectives en termes de mesures de protection.

SUMMARY

Depending on the weather conditions and the spraying techniques, 25 to 75%, or even 90% in some cases, of the applied pesticides are found in the atmosphere (der Werf & Zimmer, 1998; Bedos et al, 2002; Jensen & Olesen, 2014). Volatile pesticides may be transported long distances. Airborne particles will settle in the vicinity of the treated fields, on the ground or on objects. Walloon legislation requires farmers to respect buffer zone to protect groundwater and surface water. In June 2018, additional measures to reduce residential pesticide exposure were taken by the Walloon Government. Based on the results of this project, the new regulatory frameworks will be reviewed. In recent years, a number of models have been developed to address risks to local residents (EFSA, 2014; BROWSE Project & Butler Ellis et al, 2017). The aim of this project is to assess residential environmental exposure to pesticides from agricultural fields and to suggest some protective measures to reduce this exposure. To achieve this main objective, several secondary objectives are distinguished and four workpackages are implemented.

SIGENSA - IDENTIFIER LES POINTS NOIRS ENVIRONNEMENTAUX À L'AIDE D'UN OUTIL WEB CARTOGRAPHIQUE

Intervenants ISSeP : Sarah HABRAN, Suzanne REMY, Mathieu VESCHKENS

Durée : Permanente

Partenaires : CPES, DGO3, AViQ, IWEPS

INTRODUCTION

L'analyse du lien entre l'environnement et la santé est devenue une préoccupation de santé publique. Afin d'évaluer l'exposition de la population aux pollutions et nuisances environnementales, les pouvoirs publics souhaitent un développement d'outils d'identification des zones géographiques pour lesquelles on observe une surexposition ou une multi-exposition aux substances toxiques et aux nuisances environnementales. En réponse aux programmes wallons pour l'environnement et la santé (PARES 2008-2013³, ENVieS 2019-2023⁴), le projet *SIGEnSa* (Système d'Information Géographique en Environnement Santé) développe une approche intégrée de l'évaluation de l'exposition environnementale en Wallonie, basée sur les SIG. L'étude présente une méthodologie pour estimer la charge environnementale multiple au niveau régional et à une résolution locale détaillée. Les indicateurs sont basés sur des données modélisées provenant de mesures environnementales de contaminants présents dans l'air ambiant et dans le sol en Wallonie et à partir de mesures de nuisances pour les citoyens liées au bruit.

MISE EN ŒUVRE

Afin d'obtenir des indicateurs commensurables, les données sont normalisées en calculant des proportions (%) par commune ou par secteur statistique. Ainsi, en vue de signaler le besoin d'intervention, les indicateurs fournissent le pourcentage de surface par unité géographique où le niveau de facteurs de risques environnementaux dépasse les valeurs seuils définies par les directives de l'OMS et les valeurs limites wallonnes. En d'autres termes, les indicateurs reflètent la probabilité de dépasser la valeur seuil par unité géographique. Dans la littérature, on parle également de « % de surface impactée »⁵. Par exemple, un score de 49% pour les PM₁₀ dans la commune de Liège signifie que dans cette zone, la probabilité d'être exposé à $\geq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM₁₀ dans

l'air est de 49 % ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondant à la valeur seuil recommandée par l'OMS pour la protection de la santé humaine).

Les indicateurs sont ensuite combinés entre eux afin d'évaluer la charge environnementale multiple qui en résulte (Figure 1). Une approche additive par moyenne arithmétique pondérée est appliquée. Plus l'indice composite est élevé, plus la qualité globale de l'environnement est mauvaise par rapport aux indicateurs sélectionnés. Parallèlement, un outil web cartographique est développé pour permettre une combinaison modulable et pondérable des indicateurs normalisés, en calculant en ligne l'indice composite résultant. Des poids variables en fonction

3 Programme d'Actions Régionales Environnement Santé, PARES, 2008-2013.

4 Plan stratégique Environnement et Santé, ENVieS, 2019-2023.

5 Flacke J, Schüle SA, Köckler H, Bolte G (2016) Mapping environmental inequalities relevant for health for informing urban planning interventions—A case study in the city of Dortmund, Germany. *Int J Environ Res Public Health*, 13(7), 711.

de différents critères (gravité des effets, exposition, qualité des données, etc.) peuvent être affectés aux indicateurs et encodés dans l'outil cartographique. Cet outil web interactif conçu pour les décideurs et les experts facilite l'analyse spatiale des résultats afin d'identifier les zones géographiques où l'exposition aux facteurs de risques environnementaux représente un risque potentiel pour la santé humaine. La méthode permet donc de mettre en évidence les points noirs environnementaux (*hotspots*) où des pollutions et des nuisances se cumulent sur le territoire, en fonction de leur dépassement par rapport aux valeurs seuil choisies. Bien qu'elle ne tienne pas compte des faibles pollutions et nuisances qui se cumulent en deçà de ces valeurs seuils, la méthode présente l'avantage

de cibler directement les zones qui nécessitent un besoin d'intervention prioritaire.

L'agrégation des indicateurs par unité administrative (par secteur statistique ou par commune) permet la diffusion publique des données environnementales et, en termes de gestion, facilite la planification des interventions des décideurs. De plus, ce format rend également possible les traitements ultérieurs avec les données sociodémographiques et sanitaires pour l'analyse des liens environnement-santé, ces données étant généralement disponibles par secteur statistique ou par commune.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La possibilité de créer un tel outil cartographique a été démontrée avec la construction d'un prototype contenant 5 couches de données spatiales (PM₁₀, PM_{2,5}, Cd, bruit et Rn) en utilisant des logiciels libres dans un premier temps. Le concept développé rejoint par ailleurs celui du notable modèle californien, *CalEnviroScreen*⁶. L'important travail préliminaire d'identification et de collecte de données a également démontré la richesse des données wallonnes en termes de disponibilité, de quantité, de qualité, d'homogénéité et de couverture spatiale et temporelle tant dans les domaines de l'environnement, de la santé qu'au niveau sociodémographique. Cela confirme le potentiel de développement de tels systèmes d'information en Environnement Santé pour améliorer notre compréhension spatiale et intégrée des charges environnementales et sociales en Wallonie. Les prochaines étapes visent à inclure davantage d'indicateurs environnementaux (pollution, nuisances, pressions et bénéfiques) et certains indicateurs sociodémographiques et sanitaires afin de détecter les populations vulnérables et sensibles aux effets néfastes de la pollution. Une évaluation globale est essentielle pour éclairer les débats en justice environnementale et pour garantir un environnement égal et favorable à la santé. Ce futur outil de santé environnementale aidera les décideurs à cibler les ressources et les programmes pour améliorer la

santé environnementale des Wallons vivant dans des zones particulièrement touchées par de multiples sources de pollution et nuisances.

⁶ Faust J, August L, Bangia K et al (2017) *CalEnviroScreen 3.0: Update to the California Communities Environmental Health Screening Tool* Sacramento, CA: Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Environmental Protection Agency.

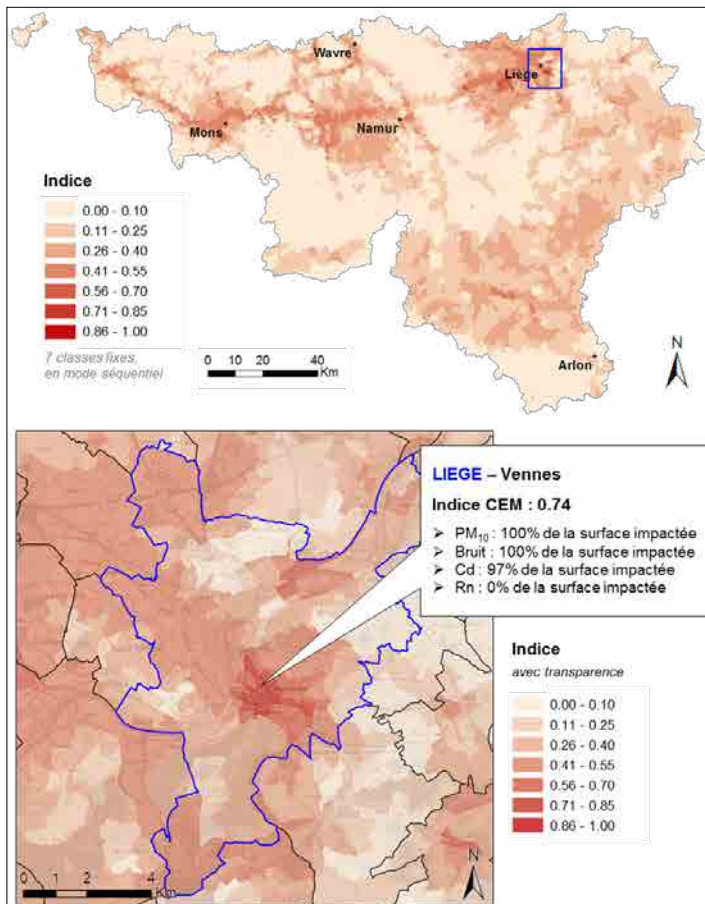


Figure 1 : Charge environnementale multiple (CEM) basée sur les particules fines (PM10) dans l'air, le cadmium (Cd) dans le sol, le bruit lié aux transports et le radon (Rn) dans les habitations en Wallonie. Par défaut, tous les indicateurs ont été pondérés de manière égale. La carte en bas fournit une vue détaillée par secteur statistique, pour lesquels l'infobulle affiche les caractéristiques des composantes de l'indice résultant (exemple du quartier des Vennes, situé dans la commune de Liège).

SUMMARY

In response to the Walloon Environment and Health Program, ISSeP is developing an integrated approach of environmental exposure assessment in the Walloon region, Belgium. The study presents an index-based approach to estimate the multiple environmental burdens at regional level and detailed local resolution. Indicators are based on environmental measurements of pollutants in ambient air and soil, and on stressors for citizens related to noise and radon. These indicators are mapped as proportions to obtain an accurate comparison between spatial units. In order to indicate the need for intervention, environmental indicators are calculated as the proportion of areas where the level of detrimental environmental factors exceeds threshold values from WHO guidelines and Walloon legal threshold values. In parallel, a spatial web tool based on GIS is developed to enable a configurable and weighted combination of the normalized indicators by computing the resulting composite index online. This interactive web tool designed for policy makers and experts eases the spatial analysis of results in order to identify geographic areas where hotspot exposures are a potential risk to human health. The next steps of this work aim to integrate more environmental indicators (pollution, stressors and benefits) and some sociodemographic and health indicators in order to detect vulnerable populations. Finally, this environmental health tool will support decision-makers focus resources and programs to improve the environmental health of Walloons living in areas disproportionately burdened by multiple sources of pollution.

STEP-PE - STATION D'ÉPURATION : LEUR IMPACT SUR LA PERTURBATION ENDOCRINIENNE EN MILIEU AQUATIQUE EN RÉGION WALLONNE ET LEUR EFFICACITÉ DE TRAITEMENT

Intervenants ISSeP : Carole CHALON, Christophe FRIPPIAT, Cécile KECH, Yves MARNEFFE, Mathieu VESCHKENS,

Durée : 2018-2020

Partenaires : ULIÈGE, UNamur

INTRODUCTION

La problématique des perturbateurs endocriniens (PE) est au centre de l'actualité et des préoccupations aussi bien environnementales que de santé publique.

Dans le milieu aquatique, ces substances, capables d'altérer les fonctions du système endocrinien à de très faibles niveaux de concentrations, ont pour principale voie d'entrée les stations d'épuration (STEP).

L'impact des PE sur le milieu récepteur et l'efficacité de traitement des STEP n'ont été que très peu étudiés en Wallonie jusqu'à présent. Le projet STEP-PE est étroitement lié aux projets *MICROPLAT* et *CARIBOUH*.

OBJECTIFS

Le projet STEP-PE a pour objectif :

- l'évaluation, sur une série de STEP, de l'efficacité en termes d'abattement de i) l'activité de perturbation endocrinienne (activités œstrogénique, androgénique et antagonistes via les bioessais YES/YAS) et ii) d'une sélection de substances PE (analyses chimiques), via l'examen des matrices influent-effluent-boue de STEP ;
- l'étude de l'impact d'une sélection de STEP sur le potentiel de perturbation endocrinienne des cours d'eau récepteurs (bioessais en amont/aval STEP) ;
- l'étude de la perturbation endocrinienne chez les poissons sauvages y vivant (présence d'intersex/féminisation par analyse histologique, analyse VTG) ;
- la réalisation d'une étude de risques posée sur le milieu récepteur (flux de PE, capacité de dilution, respect de norme) ;
- l'évaluation de la corrélation entre :
 - » la présence de microplastiques et la perturbation endocrinienne chez les poissons sauvages (lien avec le projet *MICROPLAST*) ;
 - » les concentrations en PE dans les 3 matrices de la STEP et l'activité de perturbation endocrinienne.

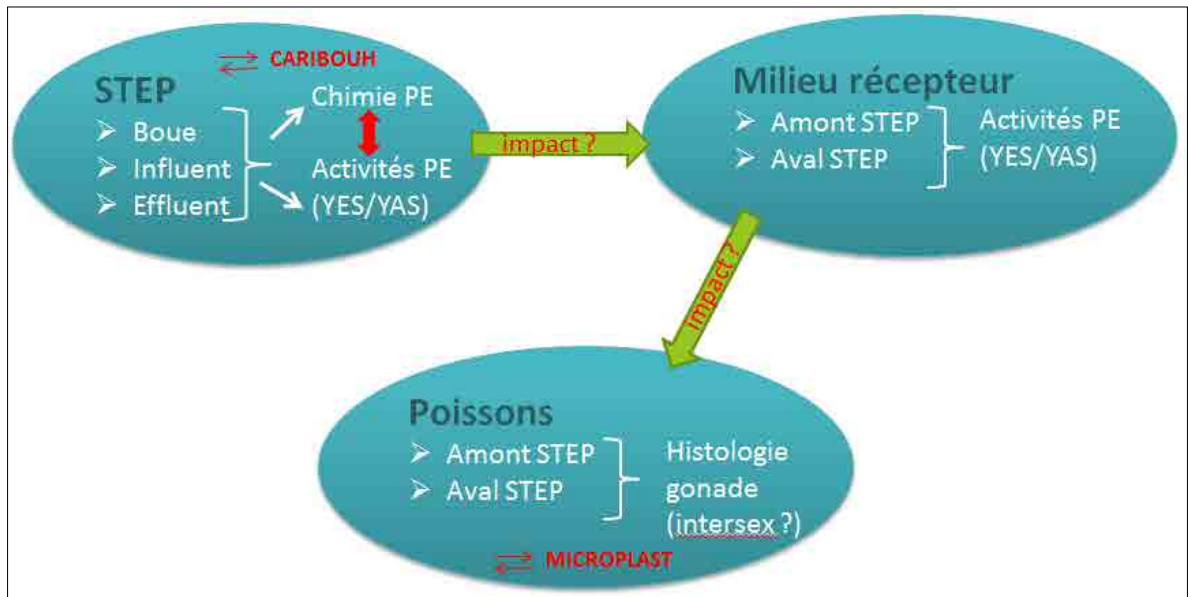


Figure 1 : Description schématique du projet STEP-PE

PRÉLÈVEMENTS

Dans la première partie du projet, 4 STEP ont été investiguées. Une sélection a été effectuée sur base de la liste des STEP fournie par le projet *CARIBOUH* et de la présence présumée de poissons d'intérêt. Des échantillons d'eau et des poissons ont été prélevés en amont et en aval des STEP. Un site de référence, localisé dans une région très peu anthropisée, a également été échantillonné.

Les espèces de poissons retenues sont communément présentes dans nos rivières et répondent aux critères des espèces sentinelles. Il s'agit du chevaine (*Squalius cephalus*), de la brème (*Abramis brama*), de la loche (*Barbatula barbatula*) et du goujon (*Gobio gobio*).

Au total, 80 poissons ont ainsi été disséqués sur le terrain afin de prélever leur mucus, leur sang, leur bile, leurs gonades et leur tube digestif. Le sang est centrifugé sur le terrain afin d'en séparer le sérum qui subira une analyse de la vitellogénine (VTG) qui est une protéine oestrogéno-réglée naturellement présente chez les poissons femelles et induite chez les mâles et les juvéniles exposés à des œstrogènes. Le mucus subira cette même analyse. La bile sera analysée par le biais des YES/YAS tests tout comme les échantillons d'eau afin de déterminer leur activité PE. Ces diverses analyses permettront de mettre en évidence une éventuelle exposition à des PE. Les gonades seront observées au microscope afin de

déterminer le sexe du poisson. Les gonades issues de poissons mâles dont le niveau de VTG est élevé seront analysées par coupe histologiques afin de vérifier la présence ou non d'intersex. Les tubes digestifs seront analysés dans le cadre du projet *Microplast*.

PERSPECTIVES

Les premiers échantillons de poissons (sérum, bile, mucus, gonades) doivent maintenant être analysés en laboratoire. Cette première partie de projet permettra de nous faire une première idée de l'impact des STEP sur la contamination du milieu aquatique par les PE.

Concomitamment et en concertation avec le projet *CARIBOUH*, les prélèvements pour l'année 2019 seront planifiés. Il s'agira de coordonner les prélèvements et les analyses de l'ensemble des matrices envisagées dans le projet STEP-PE à savoir : STEP (influent, effluent), milieu récepteur (eau et poissons en amont et en aval de la STEP) avec ceux de *CARIBOUH* (boue de STEP uniquement) (voir Figure 1).

Ce projet devrait permettre de mieux appréhender l'impact des STEP sur les niveaux de perturbation endocrinienne en milieu aquatique wallon (y compris sur la faune y vivant) et d'évaluer l'efficacité d'abattement des PE au sein des STEP wallonnes.



Figure 2 :

A. Réalisation d'une pêche électrique sur bateau

B. Table de travail pour la dissection des poissons

C. Gonade d'une loche après dissection

SUMMARY

The issue of endocrine disruptors (ED) is at the center of current events and concerns both environmental and public health. In the aquatic environment, these substances, which are capable of altering the functions of the endocrine system at very low levels of concentration, are mainly entering the aquatic environment by the waste water treatment plants (WWTP). The impact of ED on the receiving environment and the treatment efficiency of WWTP have been studied very little in Wallonia so far. The main objectives of the *STEP-PE* project are:

- the evaluation, in a selection of WWTP, of the efficiency in terms of reduction of i) of the endocrine disruption activities (bioassay analysis) and ii) a selection of ED (via chemical analysis), through the analysis of influent-effluent-sludge matrices from WWTP ;
- the study of the impact of a selection of WWTP on the endocrine disruption potential of the receiving watercourses (bioassays analysis upstream/downstream WWTP);
- the study of endocrine disruption in wild fish living there (presence of intersex/feminization by histological analysis, VTG analysis);
- a risk analysis on the receiving watercourses (ED flow, dilution capacity, compliance with the standards);
- evaluation of the correlation between:
 - » the presence of microplastics and endocrine disruption in wild fish (link with the *MICROPLAST* project);
 - » concentrations in the 3 matrices of the WWTP and endocrine disruption activity.

A photograph of a geological rock face showing distinct horizontal layers. The top layers are dark, possibly carbonaceous, while the lower layers are lighter, tan-colored. A large red triangle is overlaid on the left side of the image, pointing towards the right. White lines form a large arrow shape pointing right, with the red triangle acting as the arrowhead.

NOS PROJETS DE RECHERCHE

**ÉVALUATION ET PRÉVENTION
DES RISQUES GÉOLOGIQUES
ET MINIERS**

SMARTWATER – DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME DE RÉGULATION DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES PAR INTÉGRATION DE SITES CARRIERS ET SOUTERRAINS, POUR LE STOCKAGE ÉNERGÉTIQUE PAR TURBINAGE-POMPAGE HYDROÉLECTRIQUE

Intervenants ISSeP : Christophe FRIPPIAT, Benedicta RONCHI, Mathieu VESCHKENS

Durée : 2015-2019

Partenaires : MULTITEL, ULIÈGE, CEREM, UMONS, ECOREM SA, LABORELEC SA, ELECTRABEL SA, COFELY-FABRICOM Industrie Sud SA, IDETA SCRL

INTRODUCTION

L'intégration dans les réseaux électriques d'une faible quantité de puissance renouvelable décentralisée, et intermittente (photovoltaïque, éolien), ne pose pas de problème majeur actuellement. Cependant, le développement rapide d'énergies renouvelables engendre cependant une décentralisation de la production vers une multitude de petites unités de production qui nécessite le développement d'une solution *SmartGrid* incluant entre autres un système de stockage. Le turbinage-pompage hydraulique (*Pump Hydro Energy Storage* – PHES) représente une solution robuste qui utilise des technologies matures et qui est certainement la plus écologique des approches de stockage. L'énergie y est stockée sous forme d'énergie potentielle : les surplus d'énergie électrique sont consommés en pompant un fluide vers le bassin supérieur et récupérés en le turbinant vers le bassin inférieur pour produire de l'électricité en cas de déficit d'énergie.

OBJECTIFS ET MÉTHODE

C'est dans ce cadre que *SMARTWATER* évalue la possibilité de développer des PHES au sein d'anciens sites d'exploitation minérale à ciel ouvert ou souterrains. L'utilisation de ces vides résiduels pourrait permettre de diminuer les coûts d'excavation nécessaires pour la construction de bassins de PHES, tout en limitant l'impact paysager. Pour cela, le projet a mis au point un ensemble d'outils socio-juridiques, économiques, géomécaniques, hydro-géologiques, hydrauliques, hydromécaniques, électromécaniques de simulation et de contrôle informatique pour aider l'éclosion de la filière des PHES en cavités existantes. L'ISSEP s'est concentré sur deux tâches au sein de ce projet :

- l'inventorisation des cavités souterraines wallonnes afin d'estimer leur potentiel énergétique
- l'analyse des impacts environnementaux d'une installation de PHES

Afin d'inventorier les cavités souterraines intéressantes, les différentes typologies d'exploitations souterraines présentes en Wallonie ont été décrites sur base d'une étude bibliographique. Les volumes des vides résiduels des exploitations de houille ont été estimés à partir des tonnages de production archivés à l'époque par l'Administration. L'étude bibliographique concernant les PHES existants et le contexte minier wallon a également permis d'établir quels impacts environnementaux ces systèmes PHES pourraient avoir sur les matrices sol, eau et gaz.

RÉSULTATS

Ces travaux ont permis d'objectiver le nombre de sites disponibles et leurs caractéristiques principales (près de 300 cavités souterraines intéressantes) tout en démontrant la grande variabilité dans les sites en termes de volume et de dénivelé entre les deux bassins du PHES. L'inventaire des cavités souterraines a permis d'élaborer les grands types de géométrie des cavités souterraines existantes et d'en évaluer leur répartition géographique (Figure 1). La géométrie de ces bassins souterrains s'est notamment avérée être un critère primordial pour estimer la vitesse de remplissage du bassin inférieur (l'exploitation souterraine) du PHES lorsque d'autres partenaires du projet ont simulé les flux entre les bassins. L'inventaire a également mis en évidence qu'actuellement, beaucoup d'incertitudes subsistent sur la géométrie exacte de ces sites.

En ce qui concerne les impacts environnementaux, il a été établi que l'installation d'un PHES va soumettre le sol et le sous-sol à différents types de pressions. Les principaux exemples sont l'érosion intensive

de la roche qui peut engendrer l'accumulation de sédiments et donc la diminution de volume des bassins, les instabilités des bassins qui peuvent engendrer des effondrements ou encore les émanations de gaz miniers à effet de serre lors du pompage d'eau souterraine à la surface. Les cycles de pompage/turbinage peuvent également affecter la qualité des eaux qui dépend du contexte géologique (ex : eaux ferrugineuses dans les mines de houille), de la biodiversité qui participe aux cycles de différents éléments organiques et minéraux, de la perméabilité qui détermine les échanges possibles entre les bassins et l'environnement, du mouvement de l'eau qui affecte l'oxygénation de l'eau et le transport d'éléments, et des apports en eaux externes au bassin qui peuvent contaminer ou diluer l'eau. Qu'il s'agisse du sol ou de l'eau, une multitude de facteurs sont à prendre en compte : ces facteurs peuvent interagir entre eux, être d'application ou non pour un site défini. Il est donc impératif d'évaluer chaque site potentiel au cas par cas, afin d'évaluer la présence et l'intensité de chaque risque.

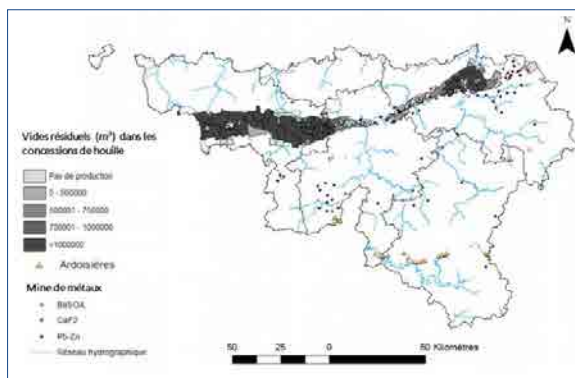


Figure 1 : à gauche – Localisation des différents types d'exploitations minières (d'après Dejonghe 1998, Remacle 2007. Source des données cartographiques : SWP/DGO3).

à droite – Représentation schématique des deux types d'exploitations les plus intéressantes, les mines de houille et les ardoisières avec leur estimation de volume (V), de chute d'eau (DZ), de puissance (P) et d'énergie potentielle (E).

PERSPECTIVES

Dans tous les cas, trop d'incertitudes subsistent sur la géométrie des sites et les caractéristiques physiques des massifs environnants. Ces incertitudes ne pourraient être levées que par une analyse au cas par cas recourant à des études de terrains approfondies (forage de piézomètre, essais de pompage, levés géométriques 3D ...). La mise en place de réel

essai de pompage et d'injection donnerait aussi plus d'informations concrètes sur la faisabilité des PHES en bassin souterrain existant.

SUMMARY

Pumped Storage Hydroelectricity (PSH) is one of the only efficient solutions for large scale energy storage. During peaks of energy production, water is pumped from a lower reservoir to an upper reservoir. On the other hand when demand peaks, energy is generated when water is transferred to the lower reservoir. The objective of this work is to study the recovering of abandoned excavation volumes as lower reservoirs for pumped storage hydroelectricity. For this project, ISSeP made the inventory of underground cavities typical of Wallonia and classified them into general categories according to their geometry. This work was needed for our project partners to simulate fluxes for these systems. The second task of ISSeP was to evaluate environmental risks of such PSH installations on surrounding soil, water and gaz emanations.

RADAR - PRÉNORMALISATION NBN - RADAR DE SOL - DÉVELOPPEMENT DE LA TECHNIQUE GÉORADAR EN AUSCULTATION DE ROUTES – DÉTECTION DES IMPÉTRANTS

Intervenants ISSeP : Jean-Pierre DREVET, Fabian STASSEN

Durée : 2016-2017

Partenaires : CRR

INTRODUCTION

Il manque, encore actuellement en Belgique et en Europe, des directives ou des normes pour utiliser de manière qualitative le radar en auscultation routière. La manière de procéder est uniquement basée sur l'expérience de l'utilisateur et n'est donc pas optimale. De plus, le donneur d'ordre, ne disposant pas d'informations suffisantes, ne peut juger de la qualité de l'exécution des mesures radar ou de leur interprétation. La technique radar, comme méthode d'investigation de routes, a déjà fait l'objet de nombreuses publications. La méthode a fait ses preuves pour détecter l'épaisseur des différentes couches ou la qualité de nos routes (présence de vides, ...).

Dans le cadre de cette étude de prénormalisation, demandé par la NBN en collaboration avec le CRR (Centre de Recherches Routières), il a été proposé de développer des méthodologies pour utiliser le géoradar dans l'auscultation des routes.

Ne disposant pas de normes, cette technique géophysique est pourtant, déjà, un excellent outil de détection qui ne comporte pas les inconvénients des autres moyens de recherche invasifs comme les tranchées ou les forages. Au niveau environnemental, elle améliore notamment le recyclage des voiries en permettant une meilleure caractérisation des matériaux en place au préalable de tout chantier. Dans ce contexte, le géoradar pourrait également être cité dans les normes des CEN/TC 227 'Matériaux de construction routière', CEN/TC 150 'Sustainability of construction works' ou CEN/TC 154 'Aggregates' comme technique favorisant le recyclage.

MÉTHODES

En ce qui concerne particulièrement l'ISSeP, cette étude a permis, plus spécifiquement, la mise au point d'une méthodologie concernant la recherche d'impétrants sous les voiries. Un impétrant désigne toute conduite ou canalisation, tout câble enterré : électricité, gaz, eau, téléphone, égouttage, télédistribution, etc. Même lorsque l'on dispose de plans des divers impétrants et de la visualisation en surface des chambres et/ou trapillons les concernant, il est parfois difficile de localiser avec précision le parcours des différentes canalisations. En outre,

la profondeur et la taille de ces objets ne sont pas toujours renseignées sur ces plans ou schémas et leur position est souvent « présumée ».

Cependant, les difficultés rencontrées pour détecter les impétrants et les aspects particuliers du traitement des mesures radar sont autant de problèmes pouvant décourager les utilisateurs potentiels de cette technique de repérage non invasive.

Cette méthodologie élaborée à partir de divers essais sur chantiers tente, après le choix d'un équipement adéquat, de solutionner les différents problèmes rencontrés en identifiant les cas typiques rencontrés. Ces exemples concernent des essais sur terrain, avec une antenne radar multifréquence, de recherche

d'une canalisation obstruée, de détection de fibres optiques sous un trottoir, de canalisations métalliques décimétriques ou la détection d'une galerie technique avec impétrants, notamment, sous une voirie en pente.

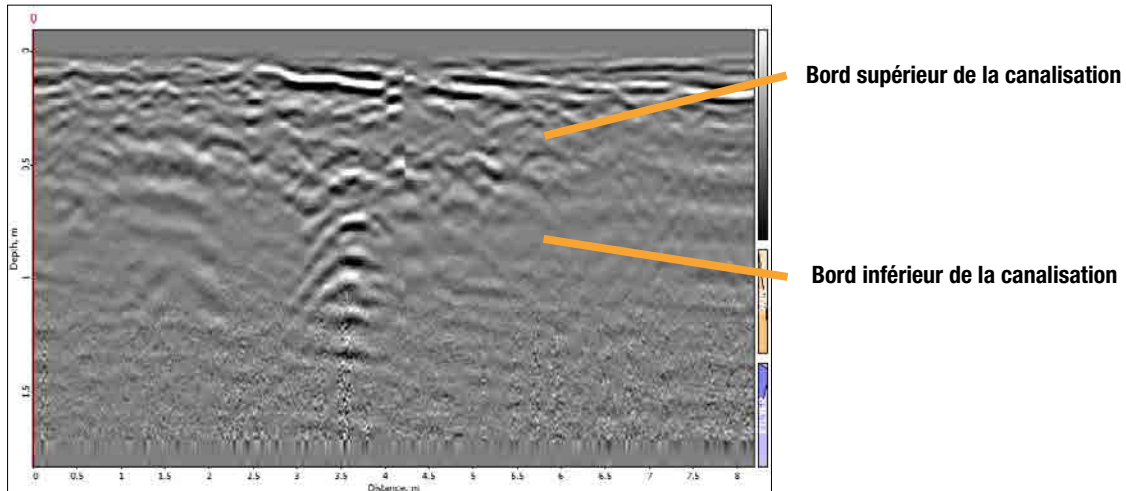


Figure 1 : Visualisation des bords supérieur et inférieur d'une canalisation cylindrique décimétrique

RÉSULTATS

L'étude a démontré que l'utilisation du radar pour la détection potentielle de tous ces équipements du sous-sol proche (de 0 à 3m) est un plus parmi la panoplie d'outils de détection mais il faut l'utiliser avec circonspection et discernement. En effet, ce travail a confirmé que cet outil de détection pluridisciplinaire offre des nombreuses possibilités pour la localisation de câbles, conduites, gaines, canalisations métalliques ou non, mais il faut en connaître les limites liées, notamment, aux fréquences et type d'antenne utilisées. La taille des cibles, la matière les constituant, les contrastes de permittivité des matériaux entre eux, les profondeurs, l'humidité et les caractéristiques physico-chimiques des terrains sont autant de paramètres à tenir en compte avant de proposer un résultat ou un constat.

Dans les différents cas traités, l'antenne multifréquence s'est révélée être un des meilleurs outils dans la panoplie des équipements radar GPR disponibles avec des résultats étonnants dans certaines conditions (détection de canalisations vides non métalliques ou métalliques, câbles métalliques peu profonds, objets de caractéristiques diélectriques contrastés) et plus décevants dans

d'autres (détections de câbles de petit diamètre ou de gaines optiques, cibles noyées dans des matériaux conducteurs). Apprendre de manière pratique à faire la différence des possibilités et capacités d'un tel outil constitue l'enseignement premier de cette étude de pré-normalisation.

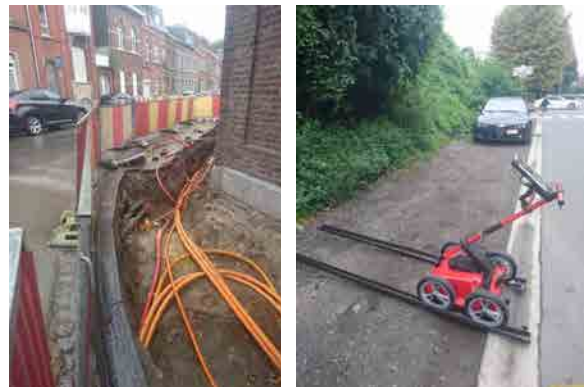


Figure 2 : Travaux sous trottoirs et auscultation transversale d'un accotement avant excavation.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude a confirmé que l'utilisation du radar apporte de nouvelles solutions dans l'auscultation, l'évaluation et la recherche non destructive de différentes cibles ou couches de la voirie, en général, et des impétrants en particulier. Ce constat est d'autant plus significatif que les technologies évoluent rapidement, tant au niveau du matériel que de celui des logiciels d'interprétation. Parallèlement, des nouvelles recommandations et règlements sont maintenant d'application pour gérer la problématique des chantiers d'impétrants et éviter ainsi les nombreux désagréments causés par la multiplication des travaux de voirie et les conséquences très dommageables des dégâts effectués suite aux erreurs de localisation ou par manque d'information.

Pour mettre toutes les chances de son côté, idéalement, il faudrait que les gestionnaires des divers équipements souterrains, en plus de leur gestion de localisation classique par plans, puissent réaliser leur remblayage de manière plus adaptée à leur localisation ultérieure sur terrain et faciliter ainsi

leur découverte future. Des nombreuses solutions pratiques existent déjà comme l'enfouissement dans des gaines colorées contenant des réflecteurs métalliques ou même un tag RFID mais les obstacles sont encore et toujours de l'ordre technico-économique.

Ce rapport de recherche sera notamment diffusé au sein des différents groupes CEN. Les guidelines issus de l'action COST TU 1208 constitueront aussi une référence pour l'élaboration des documents normatifs et, à terme, la rédaction de documents propres à la technique radar en auscultation de routes (normes ou spécifications techniques) pourra être réalisée.

En attendant, le radar est un équipement de détection efficace lorsqu'il est mis dans de bonnes mains, mais il reste un outil complémentaire à d'autres équipements parfois plus appropriés à une cible ou une fonction particulière ; l'utiliser à bon escient constitue un des buts de ce guide prénormatif.

SUMMARY

At the European level, there is no specific standard on GPR. As part of this pre-standardization study, it was proposed to develop methodologies for using ground penetrating radar in the scanning of roads.

Ground Radar or Ground Penetrating Radar is a geophysical technique that has been proven to inspect roads. It promotes and improves the recycling of roads by allowing a better characterization of the materials in place. It makes it possible to detect certain interfaces between the different layers, some cavities (if sufficient size and dielectric contrast), the presence of point reflectors (cable, pipe, ...) metallic or not, the presence of some defects in the structure, structure's variations, etc ... Nevertheless, the processing of the measurements and their interpretation remain complex and improvements are still to be made in this area.

The methodology presented in this work should lead later to the drafting of normative documents specific to the radar technique in road testing (standards or technical specifications) so as to encourage and guide the different practitioners to use this new tool.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

1. ARTICLES DE REVUES SCIENTIFIQUES (ET JOURNAUX À COMITÉ DE LECTURE)

ADRIAENS R., RONCHI B., MERTENS G., HOLLANDERS S., ELSEN J., DUSAR M. et VANDENBERGHE N., « Halloysite occurrence at the karstified contact of Oligocene sands and Cretaceous calcarenites in Hinnisdael quarries, Vechmaal (NE of Belgium) », dans *Geologica Belgica*, vol. 20, n°1-2, p. 43-52.

BEAUMONT B., HALLOT E., CLOSE O., WOLFF E., POELMANS L. et STEPHENNE N. (2018), « EO for sustainable urban planning », dans *The ever growing use of Copernicus across Europe's regions - Territorial Management and Urban Planning*, p. 204-205.

BEAUMONT B., GRIPPA T., LENNERT M., VANHUYSSE S., STEPHENNE N. et WOLFF E. (2017), « Toward an operational framework for fine-scale urban land-cover mapping in Wallonia using submeter remote sensing and ancillary vector data », dans *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 11, n°3, [En Ligne] <https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.036011>.

BELLOUT Y., KHELIF L., GUIVARCH A., HAUCHE L., DJEBBAR R., CAROL P. et ABROUS BELBACHIR O. (2016), « Impact of edaphic hydrocarbon pollution on the morphology and physiology of pea roots (*Pisium sativum* L.) », dans *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 14, n°2, p. 511-525.

BRUGMANS N. et MANS C., avec la collaboration de BOSSIROY D., CREETEN R., DELAITE P. et REGINSTER N. (2018), *Les Carnets du Patrimoine - Le Lycée Léonie de Waha à Liège*, n° 156, p. 1-64.

CAUDEVILLE J. et HABRAN S. (2019), « Systèmes d'information de surveillance en santé environnement », dans *Environnement, Risques & Santé*, vol. 18, n°3, p. 235-244.

CLOSE O., BEAUMONT B., FRIPIAT X. et HALLOT E. (2018), « Use of Sentinel-2 and LUCAS Database for the Inventory of Land Use, Land Use Change, and Forestry in Wallonia, Belgium », dans *Land*, vol. 7, n°154.

DESMET S. (2016), « La calorimétrie: le point de vue de l'ingénierie pour la sécurité incendie », dans *Calomag - La lettre de l'Association Française de Calorimétrie et d'Analyse Thermique*, vol. 66, p. 3-7.

DI PAOLO C., (MARNEFFE Y.) et alii (2016), « Bioassay battery interlaboratory investigation of emerging contaminants in water extracts – towards the implementation of bioanalytical monitoring tools in water quality assessment and monitoring », dans *Water Research*, vol. 104, p. 473-484.

DYAKOV I., BERGMANS B., BRAM S., DE RUYCK J. et CONTINO F. (2016), « Experimental study of particle emissions from a modern 5 kW pellet stove », dans *Energy Research Journal*, vol. 7, n°2, p. 19-23.

FLAMENT J., MEUS P., RESLING C., MICHEL G., HARDY I., BASTIN C. et LONDON J.C. (2017), « Traçages en milieu karstique – Application au système Kin-Dieupart (Aywaille) », dans *EcoKarst - Spécial Eaux Souterraines*, n°108, p. 10-12.

FOURNEAU C., DELVOSALLE C., BREULET H. et BROHEZ, S. (2015), « Characterization of highly under-ventilated fires using the cone calorimeter », dans *Fire and Materials*, vol. 40, n°3, p. 434-444.

FRIPIAT C., VESCHKENS M., VAN MASSENHOVE J.-H. et PACYNA D. (2015), « A risk-based method for the design of monitoring networks for surface gas emanations from abandoned underground coal mines », dans *Environmental Earth Sciences*, vol. 73, n°5, p. 2061-2078.

GIUSTI A., PIRARD C., CHARLIER C., PETIT J., CREVECOEUR S. et REMY S. (2018), « Selection and ranking method for currently used pesticides (CUPS) monitoring in ambient air », dans *Air Quality Atmosphere and Health*, vol. 11, n° 4, p. 385-396.

- GRIPPA T., LENNERT M., BEAUMONT B., VANHUYSSE S., STEPHENNE N. et WOLFF E. (2017), « An open-source semi-automated processing chain for urban object-based classification », dans *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 9, n°4, [En Ligne] <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/4/358/htm>.
- GOB F., HOUBRECHTS G. et HALLOT E. (2016), « Dynamique Fluviale », dans *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, Numéro spécial en l'honneur du Professeur François PETIT, p. 1-245, [En ligne] <http://popups.ulg.ac.be/0770-7576/index.php?id=4309>.
- HABRAN S., DAMSEAU F., POMEROY P., DEBIER C., CROCKER D., LEPOINT G. & DAS K. (2019), « Changes in stable isotope compositions during fasting in phocid seals », dans *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, vol. 33, p. 176–184.
- HALLOT E., BEAUMONT B., CLOSE O., COLLART C. et STEPHENNE N. (2018), « Change detection analysis on Walloon brownfield sites », dans *Copernicus4Regions. The ever growing use of Copernicus across Europe's regions - Territorial Management and Urban Planning*, p. 184-185.
- HENRION P., BARLET J., BOSSIROY D., DE WISPELAERE P. et HEINDRICHS B. (2017), « De l'INICHAR à l'ISSeP. L'architecte Charles Vandenhove au Val Benoît à Liège », dans *Carnets du Patrimoine*, n° 147.
- KASE R. (MARNEFFE Y. et CHALON C.) *et alii* (2018), « Screening and risk management solutions for steroidal estrogens in surface and wastewater », dans *Trends In Analytical Chemistry*, vol.102, p. 343-358.
- KECH C. *et alii* (2018), « Optimization of direct liquid-liquid extraction of lipids from wet urban sewage sludge for biodiesel production », dans *FUEL - The Science and Technology of Fuel and Energy*, vol. 212, p. 132-139.
- KÖNEMANN S. (MARNEFFE Y., CHALON C.) *et alii* (2018), « Effect-based and chemical analytical methods to monitor estrogens under the water framework directive », dans *TrAC - Trends In Analytical Chemistry*, vol. 102, p. 225-235.
- KÖNEMANN S., MARNEFFE Y., CHALON C., *et alii* (2018), « Effect-based and chemical analytical methods to monitor estrogens under the European Water Framework Directive », dans *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 102, p. 225-235.
- PEETERS A., HOUBRECHTS G., HALLOT E., VAN CAMPENHOUT J., VERNIERS G. et PETIT F. (2018), « Efficacité et résistance de techniques de protection de berges en génie végétal », dans *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, vol. 24, n° 2, p. 121-138.
- PIRARD W. et VATOVEZ B. (2016), « Les législations régionales en matière d'exposition à des rayonnements électromagnétiques multiples », dans *Courrier hebdomadaire du CRISP*, vol. 2306, p. 5-36.
- ROBERT K., (MARNEFFE Y., CHALON C.) *et alii* (2018), « Screening and risk management solutions for steroidal estrogens in surface and wastewater », dans *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, vol. 102, p. 343-358.
- RONCHI B., STASSEN F., DREVET J.-P., FRIPPIAT Ch., BERGER J.-L., DINGELSTADT C. et VESCHKENS M. (2018), « Long-term-series analysis to understand groundwater flow in abandoned subsurface mines with application to a coalfield in Liege, Belgium », dans *Mine Water And The Environment*, vol. 37, n°3, p. 470-481.
- STEPHENNE N., BEAUMONT B., HALLOT E., LENARTZ F., LEFEBRE F., LAUWAET D., POELMANS L. et WOLFF E. (2017), « Exposure and vulnerability geospatial analysis using Earth Observation data in the city of Liège, Belgium », dans *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. IV-1/W1, p. 149-156.

2. ARTICLES PUBLIÉS DANS DES PROCEEDINGS DE CONGRÈS SCIENTIFIQUES (ACTES DE CONFÉRENCES, ABSTRACT)

- BEAUMONT B., STEPHENNE N., HALLOT E., POELMANS L. et CLOSE O.** (2016), « A common land-use change model for both the Walloon and Flanders regions in Belgium », dans Actes du *GEOProcessing 2016 : The Eight International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications and Services*, Venise, Italie, 24-28 avril 2016, p. 43-45.
- BEAUMONT B., STEPHENNE N., WOLFF E., POELMANS L., et BALTUS C.** (2016), « User participation in SmartPop methodology of updating the Walloon Land Use Land Cover map », dans Actes du *ESA Living Planet Symposium 2016*, 9-13 mai 2016, Prague, République Tchèque.
- BEAUMONT B., STEPHENNE N., HALLOT E., et POELMANS L.** (2016), « Land-use change modelling for sustainable risk management in Belgium », dans Actes du *36th EARSeL Symposium - Frontiers in Earth Observation*, 19-24 juin 2016, Bonn, Allemagne, p. 65-66.
- BEAUMONT B., GRIPPA T., LENNERT M. et WOLFF R.** (2018), « Supervised classification methods for mapping Land Cover and Land Use in Wallonia, Belgium », dans Actes du *5th EARSeL Joint Workshop Urban Remote Sensing – Challenges & Solutions*, 24-27 septembre 2018, Bochum, Allemagne.
- BERGMANS B. et alii** (2015), « BC monitoring as a proxy of the UFP concentration », dans Actes du *3rd International symposium on Sources, Effect, Risks and Mitigation Strategies*, Bruxelles, Belgique, 4-5 mai 2015.
- BERGMANS B., DYAKOV I. V., PETITJEAN S. et IDCZAK F.** (2016), « Alternative Use of FTIR for the Analysis of Emission Gases », dans Actes de la *CEM 2016 - 12th International Conference and exhibition on Emissions monitoring*, 18-20 mai 2016, Lisbonne, Portugal.
- BERGMANS B., DYAKOV I., IDCZAK F., MERTENS J., BRAM S. et CONTINO F.** (2017), « Measurements of Particle Emission from 40kW Pellet Boiler with Different Dilution Devices », dans Actes du *ECM 2017 - 8th European Combustion Meeting*, 18-21 avril 2017, Dubrovnik, Croatie.
- BERGMANS B., DYAKOV I. V., IDCZAK F. et BREULET H.** (2018), « Characterization of Particle Emissions from Domestic Boiler Burning Different Biomass Pellets », dans Actes du *CEM 2018 - 13rd International Conference and exhibition on Emissions monitoring*, 16-18 mai 2018, Budapest, Hongrie.
- BIETLOT E., LEBRUN V., COLLART C.** (2017), « Groundwater protection around landfills: From EU regulation to site-specific action plans », dans Actes du *Sardinia 2017 – 16th International Waste Management and Landfill Symposium*, 2-6 octobre 2017, Cagliari, Italie [En ligne] http://environnement.wallonie.be/data/dechets/cet/00intro/pdf/Art.Sardinia2017-ESO_Site-specific_action_plans.pdf.
- BOUHOULLE E., LOUVIEUX J. et HAOUICHE-BELKESSAM L.** (2016), « Valsolindus, a demonstration project of sediment valorisation », dans Actes du *5th International Symposium on Sediment Management*, 11-13 juillet 2016, Montréal, Canada.
- BOUHOULLE E, BREULET H., DALLE M. AGUERRE-CHARIOL O. et LE BIHAN O.** (2018), « Exposure assessment during explosion tests of carbon black and MWCNT », dans Actes de la *NanoTox 2018-9th International Conference on Nanotoxicology*, Neuss, Allemagne, 18-21 septembre 2018, publié dans *Journal of Physics Conference Series*, vol. 1323, [En ligne] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1323/1/012008/pdf>.
- BREULET H.** (2015), « How can a wood pellet stove cause a fire? », dans Actes de la *14th International Conference and Exhibition of Fire and Materials*, San Francisco, États-Unis, p. 905-918.
- BREULET H.** (2017), « Beware the Hidden Particle Board », dans Actes de la *15th International Conference and Exhibition of Fire and Materials 2017*, San Francisco, États-Unis, 06-08 février 2017.

- BOUR O., ZDANEVITCH I., BIETLOT E., COLLART C., GARCIA M.H., MATHIEU J.-B. et GARCIA V. (2015), « Software development of a multistep workflow for assessing landfill gas surface emissions from sampling design to geostatistical modeling », dans Actes du *Sardinia 2015 – 15th International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italie, 5-9 octobre 2015.
- CHAUVEAU C., DUBOIS A., FLAMENT J. (2018), « The Assessment of biotope colonization in the Noû Bleû Cave, Belgium », dans Actes du *12th EuroSpeleo Forum*, Ebensee, Autriche, 23-26 août 2018.
- CLOSE O., STEPHENNE N., FRIPPIAT C. et HALLOT E. (2016), « Impact of DEM quality and resolution on risk assessment of coal waste heap stability », dans Actes du *36th EARSeL Symposium - Frontiers in Earth Observation*, Bonn, Allemagne, 19-24 juin 2016.
- CLOSE O., STEPHENNE N. et FRIPPIAT C. (2016), « Impact of DEM processing on the geotechnical instability analysis of waste heaps in Wallonia », dans Actes du *GEOProcessing 2016 : The Eight International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications and Services*, Venise, Italie, 24-28 avril 2016, p. 7-13.
- CLOSE C., HALLOT E., BEAUMONT B. et RASUMNY C. (2018), « Applying radiometric change detection techniques for brownfields inventory », dans Actes du *38th Annual EARSeL Symposium, Earth Observation Supporting Sustainability Research. Land Use & Land Cover Abstracts*, Chania, Grèce, 9-12 juillet 2018, p. 77.
- CLOSE C., BEAUMONT B., HALLOT E. et FRIPPIAT X. (2018), « Sentinel-2 time-series for the reporting of land use, land use change and forestry in Wallonia, Belgium », dans Actes du *3rd Joint EARSeL LULC & NASA LCLUC Workshop, Land-Use/ Cover Change Drivers, Impacts and Sustainability within the Water-Energy-Food Nexus. Advances and outlook in the processing and analysis of remotely sensed data*, Chania, Grèce, 7 novembre-7 décembre 2018, p. 47.
- CLOSE C., HALLOT E., BEAUMONT B., COLLART C. et RASUMNY C. (2018), « Integration of multi-temporal Earth Observation data for brownfields inventory update », dans Actes de la *20th EGU General Assembly, EGU2018*, Vienne, Autriche, 04-13 avril 2018.
- DELVAUX A., CHAMPON L., GIUSTI A., GALLOY A., MAASSEN V., GÉRARD G., MAHIAT S., PIGEON O., REMY S. (2018), « EXPOPESTEN : Exposure assessment of the Walloon population to pesticides in ambient air », dans Actes des *10th European Conference on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the Environment, 16th Symposium on Chemistry and Fate of Modern Pesticides et 10th MGPR International Symposium of Pesticides in Food and the Environment in Mediterranean Countries - Concerns, Challenges & Possible Solutions*, Bologne, Italie, 12-14 septembre 2018, p. 157-158.
- DEMELENNE M., BOSSIROY D., DAGRAIN F., DELYE E. et VAN PARYS L. (2016), « Historical mortars in Wallonia (Belgium) : A new archaeological approach. The case of the Mediaeval fortress of Pont-de-Bonne (Belgium, Province of Liège) », dans Actes de la *4th Historic Mortars Conference*, Theassalonique, Grèce, 10-12 octobre 2016, p. 164-170.
- DI PAOLO C. (CHALON C. et MARNEFFE Y.) *et alii* (2015), « The Norman interlaboratory study on biotesting of spiked water extracts », dans Actes du *SETAC Europe 24th Annual Meeting*, Barcelone, Espagne, p. 287-288.
- DYAKOV I., BERGMANS B., BRAM S., DE RUYCK J. et CONTINO F. (2016), « Experimental Study of Particle Emissions from Pellet Stove », dans Actes du *CEM 2016 - 12th International Conference and exhibition on Emissions monitoring*, Lisbonne, Portugal, 18-20 mai 2016.
- DYAKOV I., BERGMANS B., PETITJEAN S. et IDCZAK F. (2016), « FTIR as equivalent method for Industrial Gas Emission » dans Actes du *Combura Symposium 2016*, Soesterberg, Pays Bas, 5-6 octobre 2016.
- DYAKOV I., BERGMANS B., IDCZAK F. et BREULET H. (2017), « Influence of Dilution Stage on Measurements of Particle Emissions of a Small Scale Biomass Boiler », dans Actes de l'*European Aerosol Conference (EAC2017)*, Zurich, Suisse, 27 août–1 septembre 2017.

DYAKOV I., BERGMANS B., IDCZAK F., PETITJEAN S. (2017), « FTIR Alternative Analysis of Industrial Gas Emissions », dans Actes du *ECM 2017 - 8th European Combustion Meeting*, Dubrovnik, Croatie, 18-21 avril 2017.

ERPICUM S., ARCHAMBEAU P., DEWALS B., PIROTTON M., PUJADES E., ORBAN P., DASSARGUES A., CERFONTAINE B., CHARLIER R., POULAIN A., GODERNAUX P., **RONCHI B., FRIPPIAT C.** et **VESCHKENS M.** (2017), « Underground pumped hydro-energy storage in Wallonia (Belgium) using old mines – Potential and challenges », dans Actes du *37th IAHR World Congress*, Kuala Lumpur, Malaisie, 13-18 août 2017.

FRIPPIAT C., NOTT K., **BURLION N.,** CARBONNELLE P., **CHALON C.,** DETAILLE R., **DELVAUX A.,** GALLOY A., **MARNEFFE Y.,** NIX P., PIGEON O., RONKART S., ROUSSEAU G., DELLOYE F. et BRAHY V. (2016), « Perturbateurs endocriniens dans les eaux wallonnes : mise au point des méthodes et premier screening », dans *Actes du Colloque Les Polluants émergents, de nouveaux défis pour la gestion des eaux souterraines*, Orléans, France, 19-20 mai 2016.

GIUSTI A., GALLOY A., GÉRARD G. et alii (2016), « Ambient air concentrations of 46 currently-used pesticides in wallonia, Belgium », dans Actes de l'*International Symposium on Crop Protection*, Gand, Belgique, 17 mai 2016, p. 503-508.

GRIPPA T., LENNERT M., **BEAUMONT B.,** VANHUYSSE S., **STEPHENNE N.** et WOLFF E. (2016), « An open-source semi-automated processing chain for urban OBIA classification », dans Actes de *GEOBIA 2016 - Solutions and Synergies*, Twente, Pays-Bas, 14-16 septembre 2016 [En ligne] [https://pdfs.semanticscholar.org/8210/6c8e7c0ea94d3351ddd9e0deae2b9b99999dfa.pdf](https://pdfs.semanticscholar.org/8210/6c8e7c0ea94d3351ddd9e0deae2b9b999dfa.pdf).

GUYON F., **HALLOT E.**, de THYSEBAERT D., DIARRA B., ROAMBA J. et ZANGRE, A. (2016), « Estimation de la sédimentation des retenues de Kierma, Wedbila et Moagtedo : Méthodologie et résultats obtenus », dans Actes de l'*Atelier de capitalisation et de partage des résultats du Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation (PADI)* Ouagadougou, Burkina Faso, p. 14.

GUYON F., **HALLOT E.**, de THYSEBAERT D., DIARRA B., ROAMBA J. et ZANGRE A. (2016), « Développement d'un outil d'estimation des risques d'érosion (RUSLE) à l'échelle des bassins versants », dans Actes de l'*Atelier de capitalisation et de partage des résultats du Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation (PADI)*, Ouagadougou, Burkina Faso, p. 15.

GUYON F., **HALLOT E.**, de THYSEBAERT D., DIARRA B., ROAMBA J. et ZANGRE, A. (2016), « Origines des apports sédimentaires des retenues d'eau d'irrigation : Echelles locale et des sous bassins versants », dans Actes de l'*Atelier de capitalisation et de partage des résultats du Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation (PADI)*, Ouagadougou, Burkina Faso, p. 15.

HALLOT E., POELMANS L., ULJEE I., **BEAUMONT B.** et **STEPHENNE N.** (2016), « Localiser la population urbaine pour optimiser la gestion du Territoire », dans Actes des *Rencontres Universitaires de Génie Civil 2016*, Liège, Belgique, 24-27 mai 2016, publiés dans *Annales du bâtiment et des travaux publics*, n° 5-6.

HALLOT E., **STEPHENNE N.,** **BEAUMONT B.,** POELMANS, L. et WOLFF, E. (2017), « Modélisation spatiale des populations et de l'utilisation du sol comme outil de planification durable des territoires urbains », dans Actes du *Terri2017 - Colloque Territoires Intelligents : un modèle si smart ?*, Paris, France, 22-24 mars 2017.

HALLOT E., GUYON F., De THYSEBAERT D., DIARRA GALLEY B. (2017), « Gestion intégrée des petites retenues hydro-agricoles au Burkina Faso », dans Actes des *Journée du développement*, Arlon, Belgique, dates.

HÉMART M., **SINABA T.,** **BOUHOULLE E.** et **BREULET H.** (2016), « NANOGRA : a NANO Global Risk Assessment Project », dans Actes du *11th International Conference on the Environmental Effects of Nanoparticles and Nanomaterials (ICEENN 2016)*, Golden (Colorado), États-Unis, 14 – 18 août 2016.

HOUBRECHTS G., GOB F., **HALLOT E.,** & PETIT E. (2016), « Flux sédimentaires des rivières de Wallonie : du Pléistocène à demain », dans Actes des *Journées de la Commission des Hydrosystèmes continentaux du Comité National Français de Géographie*, Liège, Belgique, 11-13 juillet 2016, p. 1-146.

HURDEBISE Q., **BERGMANS B.** et AUBINET M. (2016), « Ozone concentration and CO2 flux monitoring in a belgian forest », dans Actes de la *5th ICP Forest Scientific Conference*, Luxembourg, Luxembourg, 10-12 mai 2016.

- LARUELLE R., LUTHERS C., BERGMANS B. et FAYS S.** (2015), « Measure of ultrafine particles and other pollutants in ambient air : experience feedback in Wallonia (Belgium) near traffic sources », dans *Actes de la 6th International conference on Air quality*, Lyon, France, 9-10 juin 2015, p. 9-10.
- LENARTZ F., TROUPIN C. et LEFEBVRE W.** (2016), « Data interpolating variational analysis for the generation of atmospheric pollution maps at various scales », dans *Actes de l'ITM 2016 - International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application*, Chania, Grèce, 3-7 octobre 2016, p. 231-235.
- LEROY D., LIBERT P.-N., GALLOY A., HARDY H., JORIS A. et MARNEFFE Y.** (2015), « Use of macroinvertebrates and fish to determine priority substances concentrations in Walloon Rivers: biota monitoring and caging techniques », dans *Actes du SETAC Europe 24th Annual Meeting*, Barcelone, Espagne, 3-7 mai 2015, p. 210.
- MARNEFFE Y., HÉMART M., BERGER J.-L. et VESCHKENS M.** (2015), « Application of complementary methods in chemical and ecotoxicological monitoring of sediments under WFD in Wallonia », dans *Actes du SETAC Europe 24th Annual Meeting*, Barcelone, Espagne, 3-7 mai 2015, p. 240.
- MOURMANT S., JAILLER M., RÉMY S., LAMBRECHTS T. et alii** (2018), « Development of database and protocol to select physical, chemical and toxicological parameters for almost 280 pollutants in Wallonia (Belgium) », dans *Actes de l'International Conference - Contaminated sites 2018*, Banská Bystrica, Slovaquie, 8-9 octobre 2018, p. 15-18.
- NOTT K., CARBONNELLE P., RONKART S., FRIPPIAT C., RUELLE M., BRAHY V. et DELLOYE F.** (2018), « Les polluants émergents en Wallonie : niveau de contamination des eaux par les résidus de médicaments », dans *Actes du 23ème Congrès Journées Information Eaux (JIE)*, Poitiers, France, 9-11 octobre 2018.
- RONCHI B., FRIPPIAT C., DREVET J.-P., VESCHKENS M. et PACYNA D.** (2016), « Assessing post-mining risks in the long term: ten years of hydrological monitoring in Liège (Belgium) », dans *Actes du IMWA 2016 - International Mine Water Association*, Leipzig, Allemagne, 11-15 juillet 2016, p. 736-739.
- RONCHI B., DREVET J.-P., FRIPPIAT C. et VESCHKENS M.** (2016), « Risk assessment in an abandoned coal field : ten years of hydrological monitoring in Liège (Belgium) », dans *Actes du 5th International Geologica Belgica Meeting - Mother Earth*, Mons, Belgique, 26-29 janvier 2016, p. 135..
- STEPHENNE N., BEAUMONT B., VESCHKENS M., PALM S. et CHARLEMAGNE C.** (2015), « Spatial data uncertainty in a webGIS tool supporting sediments management in Wallonia », dans *Actes du 9th International Symposium on Spatial Data Quality*, La Grande Motte, France, 28 septembre-3 octobre 2015, publiés dans *MALLET C. et alii, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-3/W3, p. 625-628.
- STEPHENNE N., VESCHKENS M., PALM S., CHARLEMAGNE C. et DEFOUX J.** (2015), « A webGIS Methodology to Support Sediments Management in Wallonia », dans *Actes de l'ICGIS 2015 - International Conference Geographical Information Systems*, Paris, France, 18-19 mai 2015, publiés dans *International Science Index*, vol. 17, n°5, part IX.
- STEPHENNE N., POELMANS L., HALLOT E., BEAUMONT B. et ULJEE I.** (2016), « From regional LULC model to urban population density simulation in Wallonia », dans *Actes de l'Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation*, Liège, Belgique, 8 décembre 2016, p. 65-70.
- STEPHENNE N., BEAUMONT B., HALLOT E., WOLFF E., POELMANS L. et BALTUS C.** (2016), « Sustainable and smart city planning using spatial data in Wallonia », dans *Actes du 30th UDMS - Proceedings of the 1st International Conference on Smart Data and Smart Cities*, Split, Croatie, 7-9 septembre 2016, publiés dans *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 3, n°4, p. 3-7.
- STEPHENNE N., BEAUMONT B., POELMANS L. et HALLOT E.** (2017), « National scale land-cover / land-use change modelling for sustainable risk management », dans *Actes de la Conference WorldCover2017*, Frascati (Rome), Italie, 14-16 mars 2017, p. 119.

STEPHENNE N., HALLOT E., BEAUMONT B. et **WOLFF E.** (2017), « Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol et modélisation d'asymétrie pour une meilleure gestion des risques en répondant à la directive INSPIRE », dans Actes de la *Conférence SAGEO 2017*, Rouen, France, 7-9 novembre 2017, [En ligne] <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01643582/document>.

STEPHENNE N., BEAUMONT B., HALLOT E. et **WOLFF E.** (2017), « Land-Cover / Land-Use mapping and asymmetric modelling for improved risk management in compliance with INSPIRE directive », dans Actes du *37th EARSeL Symposium*, Prague, République Tchèque, 27-30 juin 2017, p. 71.

STEPHENNE N., BEAUMONT B., HALLOT E., COLLART C. et **RASUMNY C.** (2017), « Change detection analysis combining aerial and satellite data on urban Walloon sites », dans Actes du *37th EARSeL Symposium*, Prague, République Tchèque, 27-30 juin 2017, p. 84.

STEPHENNE N., JAUQUET E., HALLOT E., BEAUMONT B. et **STASSART M.** (2018), « Earth Observation (EO) as part of the Geomatic Consultation in Wallonia », dans Actes du *Luxembourg Earth Observation Day*, Mondorf-les-Bains, Luxembourg, 19 avril 2018.

(de) **THYSEBAERT D., Guyon F., HALLOT E., DIARRA B.,** et **ZANGRE A.** (2016), « Protection des retenues d'eau d'irrigation : Présentation de la problématique et des stratégies d'intervention », dans Actes de l'*Atelier de capitalisation et de partage des résultats du Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation (PADI)*, Ouagadougou, Burkina Faso, p. 14.

WOLFF E., JACQUES D., BEAUMONT B., HALLOT E., STEPHENNE N. (2017), « La ville vue d'en haut », dans Actes des *Journées interdisciplinaires de la recherche et de l'enseignement sur Bruxelles*, Bruxelles, Belgique, 23-24 mai 2017.

3. POSTERS ET COMMUNICATIONS

En Belgique

BEAUMONT B., ELOY S., LENARTZ F. et **STEPHENNE N.** (2015), « WebGIS tools for enhanced environmental data management and communication in Wallonia », communication donnée lors du *6th Belgian Geography Days*, Bruxelles, Belgique, 13-14 novembre 2015.

BERGMANS B. et alii (2015), « BC monitoring as a proxy of the UFP concentration », communication donnée lors du *3rd International symposium on Sources, Effect, Risks and Mitigation Strategies*, Bruxelles, Belgique, 4-5 mai 2015.

BERGMANS B., HEMART M. et **BOUHOULLE E.** (2015), « ISSeP : Tools available in the Nano field », communication donnée lors du *Workshop Nano in Belgium, FPS Employment, Labour and Social Dialogue*, Bruxelles, Belgique, 2015.

BERGMANS B., LENARTZ F. et **GÉRARD G.** (2017), « Air quality aspects in Belgium: The role of the reference labs and a prospect on the evolution of the measurements networks », communication donnée lors du meeting *iScape*, Hasselt, Belgique, 3 octobre 2017.

BERGMANS B. et alii (2018), « Micro-capteurs de qualité de l'air... pour quoi faire ? », communication donnée lors du *Sommet Wallon Air, Climat, Energie*, Namur, Belgique, 2018.

BIETLOT E. (2015), « Les C.E.T. en Wallonie : Surveillance et diagnostic d'impact sur les eaux souterraines », communication donnée lors du *Colloque Évaluation de la pollution des sols et des aquifères pollués de Beeawal et Groupe facteur 4*, Beez, Belgique, 19 mars 2015.

BOSSIROY D. (2016), « La chaux ? Les chaux ! D'où ça vient ? Qu'est-ce que c'est ? Comment ça fonctionne ? », communication donnée lors de la *Journée d'étude de l'Institut du patrimoine wallon – Centre des métiers du patrimoine La Paix-Dieu – Ça tient toujours !?! Et si la force des maçonneries anciennes dépendait de la faiblesse du mortier de chaux ?*, Amay, Belgique, 25 mars 2016.

- BOSSIROY D.** (2018), « L'analyse des matériaux : une mission de l'ISSeP au service du patrimoine : l'exemple de l'étude préalable à la restauration des mosaïques en plaquettes de verres plats du lycée Léonie de Waha à Liège – 2016 », communication donnée lors de la *Journée d'étude organisée par l'Agence wallonne du Patrimoine et le Comité Patrimoine et Histoire de la FABI*, Beez, Belgique, 18 octobre 2018.
- BOUHOULLE E.** (2015), « NANO Global Risk Assessment », communication donnée lors du *1st Workshop Nano in Belgium*, Bruxelles, Belgique, 22 octobre 2015.
- BREULET H.** (2017), « NANOGRA : Evaluation des risques liés aux nanoparticules », communication donnée lors de la *Conférence de l'APC (Arson Prevention Club)*, Braine-l'Alleud, Belgique, 19 avril 2017.
- BREULET H.** (2017), « CPR – Tests et classification », communication donnée lors du séminaire *Câbles dans la construction, quoi de neuf ?*, Bruxelles, Belgique, 20 juin 2017.
- BRIFFOZ A., EK C., **FLAMENT J.** et LONDON J.C., « CRSOA et Collectif du Noû Bleû (2017). La découverte du réseau Noû Bleû, premier accès au grand collecteur de Sprimont », communication donnée lors du *Cycle de conférences - les chercheurs de la Wallonie*, Ramioul, Belgique, 10 mai 2017.
- CHALON C., MARNEFFE Y., GALLOY A., FRIPPIAT C., DELLOYE F., BRAHY V. et LATOUR C.** (2017), « Niveaux de perturbation endocrinienne en Wallonie – Evaluation de l'intérêt des bioessais YES/YAS comme outil de screening ou comme alternative aux analyses chimiques », communication donnée lors de l'*ASTEE 96th Annual Conference : Regions and the UE, working together to foster environmental transition*, Liège, Belgique, 6-9 juin 2017.
- CRÉVECOEUR S. et LAMBERT Ch.** (2017), « ISSeP – premier retour d'expérience S-Risk », communication donnée lors de la *Formation FEDEXSOL*, Modave, Belgique, 9 novembre 2017.
- DELABY S., NEHME C., **FLAMENT J.**, BURLET C. et VERHEYDEN S. (2017), « Suivi climatique de la grotte de Han : bilan des mesures et perspectives », poster présenté aux *Journées de spéléologie scientifique*, Han-sur-Lesse, Belgique, 18-19 novembre 2017.
- DYAKOV I., BERGMANS B., BRAM S. et CONTINO F.** (2016), « Experimental Study of Particulate Matter Emission from 10kW and 20kW Modern Batch Loaded Wood Stoves », communication donnée lors des *JDE 2016*, Louvain-La-Neuve, Belgique.
- DYAKOV I., BERGMANS B., IDCZAK F. et BREULET H.** (2017), « Influence of Dilution Stage on Measurements of Particle Emissions of a Small Scale Biomass Boiler », communication donnée lors de l'*European Aerosol Conference (EAC2017)*, Zurich, Suisse, 27 août–01 septembre 2017.
- DYAKOV I., BERGMANS B., PETITJEAN S. et IDCZAK F.** (2017), « Alternative Use of FTIR for the Analysis of Industrial Gases Emission », communication donnée lors du *9th International GAS Analysis Symposium and Exhibition*, Rotterdam, Pays-Bas, 13-15 juin 2017.
- FLAMENT J.** (2016), « Aspects hydrologiques et géomorphologiques de la grotte du Noû Bleû. Découverte du réseau Noû Bleû », communication donnée à Sprimont, Belgique, 26 mars 2016.
- FLAMENT J. MEUS P., DUMOULIN P., CHAUVEAU C., LONDON J.-C. et XHAARD P.** (2017), « La grotte et l'Abîme de Comblain-au-Pont : Nouvelles perspectives hydrogéologiques », poster présenté lors des *Journées de spéléologie scientifique*, Han-sur-Lesse, Belgique, 18-19 novembre 2017.
- FONTAINE L. et **BOSSIROY D.** (2018), « Ce que révèlent les analyses de composition de revêtements en mosaïque et granito-terrazzo », communication donnée lors de la *Journée d'études de l'Agence wallonne du Patrimoine et du Centre des Métiers du patrimoine - Revêtements décoratifs en carrelage, mosaïque et granito-terrazzo (XIX^e – XX^e siècles). L'extraordinaire potentiel des détails de l'architecture*, Amay, Belgique, 24 juin 2018.

FRIPIAT C., RONCHI B., DREVET J.-P. et VESCHKENS M. (2015), « Gestion des ressources en eau dans un contexte post-minier », communication donnée dans le cadre du cycle de séminaires *Outils pour la gestion intégrée des ressources en eau* (titulaire : Prof. M. Vanclooster – UCL), Louvain-la-Neuve, Belgique, octobre 2015.

FRIPIAT C., VESCHKENS M., FUNCKEN L. et PACYNA D. (2015), « Barometric and gravimetric effects on water levels in an abandoned underground coal mine », communication donnée lors du colloque *HG²: Hydrology, Geophysics and Geodesy: A new way to manage water resources*, Bruxelles, Belgique, 23 octobre 2015.

FRIPIAT C., NOTT K., BURLION N., CARBONNELLE P., CHALON C., DETAILLE R., DELVAUX A., GALLOY A., MARNEFFE Y., NIX P., PIGEON O., RONKART S., ROUSSEAU G., DELLOYE F. et BRAHY V. (2016), « Perturbateurs endocriniens dans les eaux wallonnes : mise au point des méthodes et premier screening », poster présenté lors du colloque *Les Polluants émergents, de nouveaux défis pour la gestion des eaux souterraines*, Orléans, France, 19-20 mai 2016.

FRIPIAT C. et RONCHI B. (2016), « Management of groundwater resources in a post-mining environment », communication donnée lors du cours Hydrologie des eaux souterraines (titulaire : Prof. M. Huysmans – VUB), Bruxelles, Belgique, 5 et 18 décembre 2016.

FRIPIAT C., NOTT K., BURLION N., CARBONNELLE P., CHALON C., DELVAUX A., GALLOY A., MARNEFFE Y., PIGEON O., RONKART S., ROUSSEAU G., BRAHY V. et DELLOYE F. (2017), « Screening of endocrine disruptors in Walloon waters », poster présenté lors de l'*ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement) 96th Annual Conference*, Liège, Belgique, 6-9 juin 2017.

FRIPIAT C., CANISIUS M.-F., NOTT K., RONKART S., PIGEON O., ROUSSEAU G., RUELLE M., BRAHY V. et DELLOYE F. (2017), « GISREAUX – Towards an increased collaboration between public laboratories in the Walloon water sector », communication donnée lors de l'*ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement) 96th Annual Conference*, Liège, Belgique, 6-9 juin 2017.

FRIPIAT C. (2017), « Des perturbateurs endocriniens dans l'eau ? Présentation des résultats des projets BIODIEN et SEMTEP », communication donnée lors de la *9^e édition des Assises de l'Eau en Wallonie*, Namur, Belgique, 4 octobre 2017.

FRIPIAT C. (2017), « Pesticides et métabolites de pesticides dans les eaux souterraines wallonnes : résultats du projet BIODIEN. Présentation du Fytauscan », Ans, Belgique, 15 décembre 2017.

GIUSTI A., CRÉVECOEUR S. et RÉMY S. (2017), « Development and Evolution of Pesticides Risks Indicators to Human Health in Wallonia », poster présenté lors du *27th Annual Congress of Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, Bruxelles, Belgique, SETAC, 7-11 mai 2017.

GIUSTI A., GALLOY A., GÉRARD G., DELVAUX A., PIGEON O. et RÉMY S. (2017), « Evolution of ambient air concentrations of 46 pesticides in Wallonia (Belgium) in summer 2015 », poster présenté lors du *27th Annual Congress of Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, Bruxelles, Belgique, 7-11 mai 2017.

HABRAN S., CÉSAR E., VESCHKENS M. et RÉMY S. (2017), « Building spatial composite indicators to identify environmental health risk areas in Walloon region », poster présenté lors du *27th Annual Congress of Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, Bruxelles, Belgique, 7-11 mai 2017.

HÉMART M., BREULET H. et MARNEFFE Y. (2017), « TiO₂, CNT and Al nanoparticles risk assessment for sediment-dwelling organisms », poster présenté lors du *27th Annual Congress of Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, Bruxelles, Belgique, 7-11 mai 2017.

KHEFFI A. (2015), « APPORT project : A common cross-border risks cartography for emergency planning in civil security », communication donnée lors du Séminaire annuel *AM/FM-GIS Belux - Le Géo au service des urgences*, Bruxelles, Belgique, 1^{er} octobre 2015.

- LAMBERT Ch., PETIT J. et RÉMY S.** (2017), « Étude de risques GRERV03 », communication donnée lors de la *Formation* « Études de risques santé humaine », Namur, Belgique, 12 et 19 juin 2017.
- LARUELLE R., LUTHERS C., LENARTZ F. et FAYS S.** (2017), « Measure of ultrafine particles and other pollutants in ambient air : experience feedback in Wallonia (Belgium) near traffic sources », communication donnée lors du *6th International Symposium on Ultrafine Particles – Air quality and climate*, Bruxelles, Belgique, 10-11 mai 2017.
- LENARTZ F. et aliii** (2015), « Monitoring black carbon concentrations with mobile devices in the city of Liège », poster présenté lors du *EFCA Symposium on Ultrafine Particles*, Bruxelles, Belgique, 4-5 mai 2015.
- LENARTZ F. et alii** (2015), conférence de presse et interviews données dans le cadre de la *Semaine de la mobilité*, Liège, Belgique, 16-22 septembre 2015.
- LENARTZ F.** (2016), « Modélisation et simulations sur Liège (ExtraCar) », communication donnée lors du *Colloque ExTraCar*, Liège, Belgique, 9 mai 2016.
- LENARTZ F., DETALLE F., GÉRARD G. et FAYS S.** (2017), « Estimating black carbon concentrations in the city of Liège, Wallonia, Belgium », communication donnée lors du *6th International Symposium on Ultrafine Particles – Air quality and climate*, Bruxelles, Belgique, 10-11 mai 2017.
- LENARTZ F., BERGMANS B. et SPANU L.** (2017), « Tools for data management and exploratory data analysis », poster présenté lors de l'*Icos Scientific Conference*, Gembloux, Belgique, 20 octobre 2017.
- LEROY D. et MARNEFFE Y.** (2015), « Development and validation of priority substances monitoring in biota : active and passive sampling », communication donnée lors du séminaire *Biota Watchlist KRW Overleg Brussel – Wallonië – Vlaanderen*, Gand, Belgique, octobre 2015.
- LEROY D., LIBERT P.-N., GALLOY A., HARDY H., CANISIUS M.-F. et MARNEFFE Y.** (2017), « Use of macroinvertebrates and fish to determine priority substances concentrations in Walloon Rivers : biota monitoring network and caging techniques », poster présenté lors du *27th Annual Congress of Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, Bruxelles, Belgique, 7-11 mai 2017.
- MARNEFFE Y.** (2015), « Monitoring écotoxicologique en Région Wallonne et rôle de l'ISSeP », communication présentée à la Journée de *Séminaires d'écotoxicologie* dans le cadre du cours d'Éléments d'écotoxicologie (titulaires : Prof. F. SILVESTRE et P. KESTEMONT - FUNDP), Namur, Belgique, décembre 2015.
- MARNEFFE Y., CHALON C., HENRY P. et VAEREWYCK J.-F.** (2017), « Stratégie multi-acteurs pour la gestion d'un rejet d'eaux usées industrielles impactant une masse d'eau vulnérable et évaluation de l'efficacité des mesures prises par l'utilisation de bioessais », poster présenté lors de l'*ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement) 96th Annual Conference*, Liège, Belgique, 6-9 juin 2017.
- MARNEFFE Y. et alii** (2017), « Multi-actor strategy for the management of an industrial effluent impacting a vulnerable surface waterbody and assessment of the effectiveness of measures by the use of bioassays », communication donnée lors de l'*ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement) 96th Annual Conference*, Liège, Belgique, 6-9 juin 2017.
- MARNEFFE Y. et alii** (2017), « Multi-actor strategy for management of an industrial effluent impacting a sensitive waterbody : use of bioassays to assess the effectiveness of the management measures », communication donnée lors du *27th Annual Congress of Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, Bruxelles, Belgique, 7-11 mai 2017.
- NEHME C., VERHEYDEN S., FLAMENT J. et alii** (2016), « Étude micro-climatique de la salle du Dôme (grotte de Han-sur-Lesse) : Apports à compréhension du signal saisonnier et de l'effet de site », communication donnée lors des *20e Journées de Spéléologie Scientifique*, Han-sur-Lesse, Belgique, 11-13 novembre 2016.

NOTT K., CARBONNELLE P., RONKART S., FRIPPIAT C., RUELLE M., BRAHY V. et DELLOYE F. (2017), « Inventaire des substances médicamenteuses dans les eaux wallonnes », communication donnée lors de l'*ASTEE 96th Annual Conference : Regions and the UE, working together to foster environmental transition*, Liège, Belgique, 6-9 juin 2017.

PIRARD P. (2015), « Implications techniques d'une norme cumulative de 0,6 V/m. », communication donnée devant la Commission de l'Environnement, de l'Aménagement du territoire et des Transports au Parlement de Wallonie, Namur, Belgique, séance du 15 octobre 2015.

PIRARD W., VATOVEZ B., BERNARD P. et JACQUES A. (2017), « Exposition aux champs électriques et magnétiques dus aux courants porteurs générés par les compteurs communicants », communication donnée lors du *Workshop du Belgian BioElectroMagnetics Group (BBEMG)*, Bruxelles, Belgique, 22 septembre 2017.

REMY S., COX B., GOHY M., MINET I., GALLOY A. et NAWROT T. (2016), « Indoor air quality in Belgian dwellings during early life », communication donnée lors de l'*Atmos'Fair 2016 : la pollution de l'air au quotidien*, 11-12 octobre 2016, Paris, France.

STEPHENNE N., JASSELETTE J.-C., DELFOSSE B., BARBIER C., LEDENT P. et STASSART M. (2016), « #Sentinels4Regions_WALLONIA », communication donnée lors de l'évènement de cloture du projet *Improving Copernicus take-up among Local and Regional Authorities via dedicated thematic workshops*, Bruxelles, Belgique, 28 juin 2016.

STEPHENNE N., LENARTZ F., BEAUMONT B. et HALLOT E. (2016), « Keynote on geoinformation available and needed for urban and environmental modelling in Wallonia », communication donnée lors de l'*Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation*, Liège, Belgique, 8 décembre 2016.

WOLFF E., JACQUES D., BEAUMONT B., HALLOT E. et STEPHENNE N. (2017), « La ville vue d'en haut », communication donnée lors des *Journées interdisciplinaires de la recherche et de l'enseignement sur Bruxelles*, Bruxelles, Belgique, 23-24 mai 2017.

À l'international

BEAUMONT B., BOUVY A., STEPHENNE N., MATHOUX P., BASTIN J.-F., BAUDOT Y. et AKKERMANS T. (2015), « Combining satellite, aerial and ground measurements to assess forest carbon stocks in Democratic Republic of Congo », poster présenté à l'*European Geosciences Union (EGU) General Assembly*, Vienne, Autriche, 12-17 avril 2015.

BEAUMONT B., AKKERMANS T., BOUVY A. et STEPHENNE N., (2015), « Forest stratification to accurately assess carbon stockchanges in Democratic Republic of Congo: EO4REDD project », communication donnée lors du *35th EARSeL Symposium - Frontiers in Earth Observation*, Stockholm, Suède, 15-18 juin 2015.

BEAUMONT B., STEPHENNE N., VESCHKENS M., GOOSSENS R., TIGNY V., HEMROULLE P. (2015), « Risk of spontaneous combustion in Belgium mining waste deposits », communication donnée lors du *35th EARSeL Symposium - Frontiers in Earth Observation*, Stockholm, Suède, 15-18 juin 2015.

BÉMELMANS S. et alii (2018), « Emerging pollutants in walloon sewage sludge : towards an integrated methodology to evaluate health and environmental impacts of farmland spreading », communication donnée lors de la *Sludge Management in Circular Economy (SMICE) Annual Conference*, Rome, Italie, 23-25 mai 2018.

BÉMELMANS S., FRIPPIAT C., GALLOY A., LEROY D., MARNEFFE Y., DELLOYE F. et BRAHY V. (2017). « Composés perfluoroalkylés dans les eaux de surface et les biotes en Wallonie (Belgique) : première évaluation de l'état des masses d'eau et des pressions », poster présenté au 1er Colloque du Réseau Public Contaminants, Arcachon, France, 22-23 Novembre 2017.

BERTRAND L. et alii (2015), « Monitoring black carbon concentrations with mobile devices in the city of Liège », communication donnée lors de la *Joaquin final Conference*, Amsterdam, Pays-Bas, 11 juin 2015.

- BERGMANS B.** et **WIJNER E.** (2016), « CITIMAP : Implementation of Air quality sensors in 7 urban labs in the EMR Region », communication donnée lors de l'*Air Sensors Everywhere Symposium (ASE)*, York, Royaume-Uni, 13-14 octobre 2016.
- BERGMANS B., DYAKOV I.V., ILCZAK F., BREULET H.** (2018), « Characterization of Particle Emissions from Domestic Boiler Burning Different Biomass Pellets », poster présenté lors du *CEM 2018 - 13rd International Conference and exhibition on Emissions monitoring*, Budapest, Hongrie, 16-18 mai 2018.
- BOUHOULLE E., PETIT J., Jailler M. et RÉMY S.** (2017), « Protocol for the selection of physicochemical values for non-standardized contaminants for the establishment of soil limit values in Wallonia (Belgium) », poster présenté à l'*International AquaConSoil Conference*, Lyon, France, 26-30 juin 2017.
- BOUHOULLE E., SINABA T., DALLE M., AGUERRE-CHARIOL O., BREULET H. et LE BIHAN O.** (2018), « Risk assessment during explosion severity tests of carbon black and MWCNT in a laboratory », communication donnée lors du *NANOSAFE 2018*, Grenoble, France, 5-9 novembre 2018.
- BOUR O., ZDANEVITCH I., BIETLOT E., COLLARD C., GARCIA M.H., MATHIEU J.B., GARCIA V.** (2015), « Software development of a multistep workflow for assessing landfill gas surface emissions from sampling design to geostatistical modeling », communication donnée lors du *15th International waste management and landfill Symposium*, Cagliari, Italie, 5-9 octobre 2015.
- BREULET H. et SINABA T.** (2018), « Ignition and explosion characteristics of four kinds of nanopowder », communication donnée lors du *NANOSAFE 2018*, Grenoble, France, 5-9 novembre 2018.
- CAUDEVILLE J., HABRAN S., REGRAIN C., BONNARD R., ZEMAN F., REMY S. et BROCHOT C.** (2018), « The territorialized exposome concept to characterize cumulative risk at the population level », communication donnée lors de l'*ISES-ISEE 28th Joint Annual Meeting : Addressing Complex Local and Global Issues in Environmental Exposure and Health*, Ottawa, Canada, 26-30 août 2018.
- CHALON C. et alii** (2018), « Interest of in vitro bioassays (yes/yas) for the screening of endocrine disruption in surface waters of Wallonia (Belgium) », communication donnée lors du *28th Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Congress*, Rome, Italie, 13-17 mai 2018.
- CHALON C., MARNEFFE Y., GALLOY A., FRIPPIAT Ch., DELLOYE F. et BRAHY V.** (2017), « Interest of in vitro bioassays (YES/YAS) for the screening of endocrine disruption in surface waters », poster présenté au *Norman workshop on integrated exposure and effects assessment*, Amsterdam, Pays-Bas, 25-26 avril 2017.
- CHARLIER C., GIUSTI A., REMY S. et PIRARD C.** (2018), « Exposition aux pesticides d'enfants vivant en Wallonie », communication donnée lors du *48^e congrès du Groupe Français des Pesticides*, Limoges, France, 30 mai-1^{er} juin 2018.
- CLOSE J.-P., SZABO-MÜLLER P. et BERGMANS B.** (2016), « Awareness driven Smartness in Living Labs – Co-Creation and Diffusion of Sustainocracy in Eindhoven and the EMR », communication donnée lors de la Conférence *Smart City-Regional Governance for Sustainability Experimental Smartness*, Dresde, Allemagne, 6-7 octobre 2016.
- CLOSE O., BEAUMONT B., HALLOT E. et FRIPPIAT X.** (2018), « Sentinel-2 time-series for the reporting of land use, land use change and forestry in Wallonia (Belgium) », communication donnée lors du *3rd Joint EARSeL LULC & NASA LCLUC Workshop*, Chania, Grèce, 11-12 juillet 2018.
- CLOSE O., STEPHENNE N., FRIPPIAT Ch. et HALLOT E.** (2016), « Impact of DEM quality and resolution on risk assessment of coal waste heap stability », communication donnée lors du *36th EARSeL Symposium - Frontiers in Earth Observation*, Bonn, Allemagne, 19-24 juin 2016.
- CRÉVECOEUR S. et RÉMY S.** (2017), « Review of the guidelines for human health risk assessment of contaminated soils in Wallonia (Belgium), results of a collaborative work between different multidisciplinary scientists », poster présenté à l'*International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water (Intersol)*, Lyon, France, 14-16 mars 2017.

DENIS A.-C., FRIPPIAT C., HOUBRECHTS G., BOUSMAR D., HALLOT E., VESCHKENS M. et PETIT F. (2015), « Evaluation of suspended sediments dynamics in a catchment contaminated with PCBs (Samme River – Belgium) », communication donnée lors du *15e Congrès Français de Sédimentologie*, Chambéry, France, 13-15 octobre 2015.

DENIS A.-C., FRIPPIAT C., VAN CAMPENHOUT J., HOUBRECHTS G., BOUSMAR D., HALLOT E., VESCHKENS M. et PETIT F. (2015), « Suspended sediment and contaminant transport monitoring in navigable and unnavigable waterways (Wallonia, Belgium) », communication donnée lors de la *9th International SedNet Conference*, Cracovie, Pologne.

DENIS A.-C. et alii (2018), « Evaluation of passive sampling methods in the wallon surface water quality control strategy (Belgium) », poster présenté au *Training Course On Passive Sampling*, Lausanne, Suisse, 14-16 mars 2018.

DESMET S. (2015), « La calorimétrie du point de vue de l'ingénierie de la sécurité incendie », Communication donnée lors des *46èmes Journées de Calorimétrie et d'Analyse Thermique (JCAT 46)*, Montpellier, France, 20-22 mai 2015.

DESMET S. (2016), « Des difficultés rencontrées pour corrélérer des résultats obtenus à différentes échelles en calorimétrie par consommation d'oxygène », communication donnée lors des *47èmes Journées de Calorimétrie et d'Analyse Thermique (JCAT 47)*, Anglet, France, 18-20 mai 2016.

DYAKOV I., BERGMANS B., PETITJEAN S. et **IDCZAK F.** (2016), « FTIR as equivalent method for Industrial Gas Emission », communication donnée lors du *Combura Symposium 2016*, Soesterberg, Pays Bas, 5-6 octobre 2016.

DYAKOV I., BERGMANS B., IDCZAK F. et **BREULET H.** (2017), « Influence of Dilution Stage on Measurements of Particle Emissions of a Small Scale Biomass Boiler », poster présenté lors de l'*European Aerosol Conference (EAC)*, Zurich, Suisse, 27 août-1er septembre 2017.

DYAKOV I., BERGMANS B., IDCZAK F. et **BREULET H.** (2018), « Characterisation of Particle Emissions from Domestic Boiler Burning Different Biomass Pellets », communication donnée lors de la *13th International Conference and Exhibition on Emissions Monitoring*, Budapest, Hongrie, 16-18 mai 2018.

FAYS S. (2017), « L'innovation technologique à l'ISSeP », communication donnée lors des *Journées techniques de l'Air*, Valence, France, 18 septembre 2017.

FRIPPIAT C., GALLOY A., CARBONNELLE P. et **DELLOYE F.** (2017), « Occurrence and concentration levels of selected pesticide metabolites in Walloon groundwater », poster présenté lors du workshop *Persistent and Mobile Organic Chemicals in the Water Cycle : Linking science, technology and regulation to protect drinking water quality*, Leipzig, Allemagne, 23-24 novembre 2017.

GOIDTS E., JAILLER M. et **RÉMY S.** (2018), « Setting thresholds for soil pollutants : experience from legal implementation in Wallonia and specific issues around Arsenic and Lead (Belgium) », communication donnée lors du *Global Symposium on soil Pollution*, Rome, Italy, 2-4 mai 2018.

GREGOIRE C., DREVET J.P. et alii (2018), « Radar for pavement surveys : research project in Belgium », communication donnée lors du *TRA2018 - 7th Transport Research Arena*, Vienne, Autriche, 16-19 avril 2018.

HABRAN S. et alii (2018), « Methodology for identifying hotspots of environmental burdens at a regional scale and used in a spatial web tool », communication donnée lors de l'*International Conference of Environmental Pollution, risk assessment and remediation (ICEPRAR)*, Mahdia, Tunisie, 18-20 avril 2018.

HABRAN S., VESCHKENS M. et **RÉMY S.** (2018), « Methodology for indentifying hotspots of environmental burdens at a regional scale and used in a spatial web tool », poster et abstract présentés lors de l'*International Conference of Environmental Pollution, risk assessment and remediation (ICEPRAR)*, Mahdia, Tunisie, 18-20 avril 2018.

HABRAN S. et alii (2018), « Mapping hotspots of environmental burdens in the framework of cumulative risk assessment in wallonia », poster et abstract présentés lors du *28th Joint Annual Meeting of the International Society for Ecological Economics*, Ottawa, Canada, 26-30 août 2018.

HÉMART M., MARNEFFE Y., PIROTTE R., WRONA V., NAPORT P., ROLLIN V., CORIN C. et CLASSENS A. (2015), « Bioassays in sediment assessment for investigative monitoring in the context of the WFD : Results of the sampling campaign from 2010 to 2012 », poster présenté lors de l'*International Conference on Contaminated Sediments - ContaSed*, Ascona, Suisse, 8-13 mars 2015.

HÉMART M., SINABA T., BOUHOULLE E. et BREULET H. (2016), « NANOGRA : a NANO Global Risk Assessment Project », communication donnée lors du *11th International Conference on the Environmental Effects of Nanoparticles and Nanomaterials (ICEENN)*, Golden (Colorado), États-Unis, 14-18 août 2016.

HURDEBISE Q., **BERGMANS B.** et AUBINET M. (2016), « Ozone concentration and CO2 flux monitoring in a belgian forest », communication donnée lors de la *5th ICP Forest Scientific Conference*, Luxembourg, Luxembourg, 10-12 mai 2016.

JORIS A., RONCHI B., CANISIUS M.-F. et FRIPPIAT Ch. (2017), « Mineralization of Titanium nanoparticles for the determination of Titanium in groundwater samples », poster présenté lors du *19th International Symposium on Advances in Extraction Technologies (EXTECH)*, Saint-Jacques-de-Compostelle, Espagne, 26-30 juin 2017.

KECH C. (2017), « ECHAPA: Evaluation of passive sampling methods in the quality control strategy of surface water network in Wallonia », communication donnée lors du *Meeting of the NORMAN Cross-working group activity on passive sampling*, Leipzig, Allemagne, 29 novembre 2017.

KECH C. et alii (2018), « Towards quality control of feedstocks for biodiesel production : the case of urban sewage sludge », poster présenté lors de la *Sludge Management in Circular Economy (SMICE) Annual Conference*, Rome, Italie, 23-25 mai 2018.

KECH C. et alii (2018), « Optimization and economic assessment of an environment-friendly in situ enzymatic biodiesel production method from urban sewage sludge », poster présenté lors de la *Sludge Management in Circular Economy (SMICE) Annual Conference*, Rome, Italie, 23-25 mai 2018.

LARUELLE R., LUTHERS C., BERGMANS B. et FAYS S. (2015), « Measure of ultrafine particles and other pollutants in ambient air : experience feedback in Wallonia (Belgium) near traffic sources », communication donnée lors de la *6th International conference on Air quality – Atmos'Fair*, Lyon, France, 9-10 juin 2015.

LARUELLE R., LUTHERS C., LENARTZ F. et FAYS S. (2017), « Measure of ultrafine particles and other pollutants in ambient air : experience feedback in Wallonia (Belgium) near traffic source », poster présenté lors de l'*International Conference on Atmospheric Sciences and Application to Air Quality (ASAAQ)*, Strasbourg, France, 29-31 mai 2017.

LENARTZ F. et alii (2015), « A coupled experimental-modelling approach to estimate black carbon concentrations at urban level », communication présentée au *34th International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application*, Montpellier, France, 4-8 mai 2015.

LENARTZ F., DETALLE F., GÉRARD G. et FAYS S. (2017), « Estimating black carbon concentrations in the city of Liège, Wallonia, Belgium », communication donnée lors de l'*International conference on Atmospheric Sciences and Application to Air Quality (ASAAQ)*, Strasbourg, France, 29-31 mai 2017.

LENARTZ F. et alii (2018), « Trying to link personal exposure measurement and population exposure modelling : a test in Liège, Belgium », communication donnée lors du *36e International Technical Meeting On Air Quality*, Ottawa, Canada, 14-18 mai 2018.

LEROY D., LIBERT P.-N., GALLOY A., HARDY H., JORIS A. et MARNEFFE Y. (2015), « Use of macroinvertebrates and fish to determine priority substances concentrations in Walloon Rivers : biota monitoring and caging techniques », poster présenté lors du *Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Europe 25th Annual Meeting*, Barcelone, Espagne, 3-7 mai 2015.

MARNEFFE Y. et alii (2017), « Effect monitoring of selected effluents impacting sensitive waterbodies and use of bioassays to assess the efficiency of the management measures », communication donnée lors du *Norman (Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances) Workshop on Integrated Exposures and Effects Assessment*, Amsterdam, Pays-Bas, 11-12 avril 2017.

MARNEFFE Y., CHALON C. et VAEREWYCK J.-F. (2017), « Effect monitoring of selected effluents impacting sensitive waterbodies and use of bioassays to assess the efficiency of the management measures », poster présenté lors du *Norman (Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances) Workshop on Integrated Exposures and Effects Assessment*, Amsterdam, Pays-Bas, 11-12 avril 2017.

MEUS P., **FLAMENT J., WILLEMS L., FUNCKEN L., ROBA G., CHAUVEAU C. GODISSART J. et Ek C.** (2018), « Natural and artificial tracers to assess slow groundwater flow in an auxiliary karst system (lake of Fontaine de Rivière, Belgium) », poster présenté lors de l'*European bi-annual conference on the Hydrogeology of Karst and Carbonate Reservoirs, Eurokarst 2018*, Besançon, France, 2-6 juillet 2018.

MOÏS E., BÉMELMANS S., KECH C., GALLOY A. et FRIPPIAT Ch. (2017), « Polluants émergents dans les boues valorisées en agriculture : Méthodologie intégrée pour l'évaluation des impacts sur la santé humaine », communication données lors du *1er Colloque du Réseau Public Contaminants*, Arcachon, France, 22-23 novembre 2017.

RONCHI B., JORIS A., MAHY J., HEINRICH B., VESCHKENS M. et FRIPPIAT Ch. (2017), « Fate of TiO₂ nanoparticles in carbonate and silicate aquifers », poster présenté lors de la *Goldschmidt Conference*, Paris, France, 13-18 août 2017.

Ronchi B. (2018), « Valorization of waterways sediments in Wallonia (Belgium): study case of a landscaped mound », communication donnée lors du *6th International Symposium on Sediment Management*, San Cristobal de las Casas, Mexique, 19-24 juin 2018.

STEPHENNE N. at alii (2018), « Earth observation as part of the geomatic consultation in Wallonia », communication donnée lors du *Luxembourg Earth Observation Day*, Mondorf-les-Bains, Luxembourg, 19 avril 2018.

STEPHENNE N., JAUQUET E., **HALLOT E., BEAUMONT B.** et STASSART M, (2018), « Earth Observation (EO) as part of the Geomatic Consultation in Wallonia », poster et abstract présentés au *Luxembourg Earth Observation Day*, Mondorf-les-Bains, Luxembourg, 19 avril 2018.

STEPHENNE N. et BARBIER C., (2015), « Land motion monitoring in Wallonia / Beobachtung der Bewegungen der Erdoberfläche in Wallonien », Participation au *NEREUS Workshop Natural Resource Management using Copernicus Services and Data*, Munich, Allemagne, 12 novembre 2015.

STEPHENNE N., BEAUMONT B., VESCHKENS M., GOOSSENS R., TIGNY V. et HEMROULLE P. (2015), « Risk of spontaneous combustion in Belgium mining waste deposits », communication donnée lors de l'*EARSEL 35th conference*, Stockholm, Suède, 15-19 juin 2015.

STEPHENNE N., BEAUMONT B., VESCHKENS M., PALM S. et CHARLEMAGNE C. (2015), « Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Spatial data uncertainty in a webGIS tool supporting sediments management in Wallonia », communication donnée lors du *9th International Symposium on Spatial Data Quality*, La Grande Motte, France, 28 septembre-3 octobre 2015.

STEPHENNE N., HALLOT E., BEAUMONT B. et WOLFF E. (2017), « Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol et modélisation d'asymétrie pour une meilleure gestion des risques en répondant à la directive INSPIRE », poster présenté lors de la *Conférence (Spatial Analysis & Geomatics)*, Rouen, France, 7-9 novembre 2017.

4. ORGANISATION DE FORMATIONS

LAMBERT C. (2018), « Points d'attention sur l'outil S- Risk® Wal », formation à destination des experts agréés, Beez, Belgique, 5 et 10 septembre 2018.

LAMBERT C. (2018), « Modification du GREF-CWBPV04 », formation à destination des experts et laboratoires agréés, Beez, Belgique, 22 et 30 novembre 2018.

GARZANITI S. (2017), « Guide d'application de l'AGW du 14/06/01 », formation continue à destination des experts agréés, Namur, Belgique, 1-7 décembre 2017.

GARZANITI S. (2018), « Protocole de caractérisation des remblais-CWBPV04 », formation à destination des experts et laboratoires agréés, Beez, Belgique, 22 et 30 novembre 2018.

MARNEFFE Y., CHALON C. et LEROY D. (2018), « Gestion des pollutions accidentelles », formation en Écotoxicologie à destination des agents de la DGO3, Liège, Belgique, 20 et 27 mars 2018.

PILAWSKI D. (2018), « Méthodologie de contrôle des experts sur terrain », formation à destination des experts et laboratoires agréés, Beez, Belgique, 22 et 30 novembre 2018.

5. COLLABORATIONS INSTITUTIONNELLES

AAS W., LENARTZ F., BERGMANS B. et alii (2018), « Chapter 7 – The winter 2018 intensive measurement period. A brief update », dans *EMEP Status Report 2018 - Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components*, 2018, p. 99-106, [En ligne] http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15457/1/EMEP_Status_Report_1_2018.pdf.

CERFONTAINE B., RONCHI B., ARCHAMBEAU P., POULAIN A., PUJADES E., ORBAN P., CHARLIER P., VESCHKENS M., PIROTTON M., GODERNAUX P., DASSARGUES A. et ERPICUM, S. (2018), *Guidelines related to the use of an existing cavity (mine/quarry) as reservoir of a pumped storage hydroelectric facility*, 2018, [En ligne] https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/222722/1/guideline_final_180329.pdf.

CRÈVECOEUR S. et alii (2017), « Évaluation des risques pour la santé humaine », dans *Code Wallon de Bonnes Pratiques - Guide de référence pour l'étude de risques*, 3^e version, 2017, [En ligne] <http://dps.environnement.wallonie.be/home/sols/sols-pollues/code-wallon-de-bonnes-pratiques-cwbp-.html>.

CORNELIS C., STANDAERT A. et WILLEMS H. (2017), adaptation pour la région wallonne par **CRÈVECOEUR S.** (2017), *S-Risk version for the Walloon region : Technical Guidance document. Adaptations for Walloon Region accomplished under the authority of DGO3*, 2017, [En ligne] https://s-risk.be/sites/s-risk.be/files/SRisk_model_equations_WAL.pdf.

GRÉGOIRE C., VAN DER WIELEN A., VAN GEEM C. et DREVET J.-P. (2017), *Méthodologies pour l'utilisation du géoradar en auscultation de routes - Méthode de mesure MF 91/16*, Centre de recherches routières, Bruxelles, 2017, [En ligne] https://brrc.be/sites/default/files/2019-09/mf9116_1.pdf.

REMY S. et HABRAN S. et alii (2017), *Rapport sur l'état de l'environnement wallon 2017 (REEW 2017)*, SPW Editions, Jambes, Belgique, 2017, [En ligne] <http://etat.environnement.wallonie.be>.

Coordination de la rédaction

Christiane JACQUEMIN

Coordination logistique, relecture et finitions

Sophie SLEYPENN

Rellecteurs

Anne VERSHININ, Laura VANBERGEN, Fabrice TERLONGE

Conception graphique

Aurélien DARCIS - www.layout.be

Crédit photo

Adobe Stock Photos

Responsable contenu

Bénédicte HEINDRICHS, Directrice générale de mai 2015 à mai 2020

Editeur responsable

Rose DETAILLE, Directrice générale depuis juin 2020

Ce document est imprimé sur papier respectueux de l'environnement.

Nous tenons tout particulièrement à remercier chaque pilote de projets de l'ISSeP ayant participé à la rédaction et à la réalisation de ce rapport.

Janvier 2020.



**Institut Scientifique
de Service Public**
Etudes 2017 - 2018

Siège social et site de Liège
Rue du Chéra 200 – B-4000 Liège
Tél: +32(0)4 229 83 11 - Fax : +32(0)4 252 46 65
Courriel : direction@issep.be

Site de Colfontaine
Zoning A. Schweitzer
Rue de la Platinerie – B-7340 Colfontaine
Tél : +32(0)65 61 08 11 - Fax : +32(0)65 61 08 08
Courriel : colfontaine@issep.be