



LYON



2019

Avec la participation de :



GOUVERNER UN MONDE TOXIQUE

En ce début de XXI^e siècle, les signes que ne vivons plus dans un monde simplement contaminé par des substances chimiques mais devenu à bien des égards toxiques, sont nombreux. Dans cette communication, je présenterai les résultats des travaux menés avec Soraya Boudia, afin de rendre compte de dynamiques qui ont conduit à la production de ce monde constitué par des pollutions produites dans le passé se combinant avec des pollutions en train d'être produites. En cherchant à retracer les transformations économiques et politiques qui ont conduit depuis 1945 à la généralisation des pollutions, façonnant ainsi des environnements durablement dangereux, nous avons identifié et caractérisé trois modes de gouvernement qui, aujourd'hui, s'imbriquent et se superposent dans les politiques nationales et internationales : le gouvernement par la maîtrise, le gouvernement par le risque, et le gouvernement par l'adaptation. J'analyserai ces trois modes de gouvernement, chacun d'entre eux apparaissant à différents moments et reposant sur de l'expertise scientifique et technique, afin de répondre à de nouveaux problèmes posés par les débordements industriels. Je montrerai que le développement de ces modes de gouvernement n'a pas tant eu pour objectif de solutionner effectivement les problèmes posés par les contaminations et leurs effets toxiques que de faciliter le développement d'une économie « intensive en produits chimiques » reposant sur l'extraction massive de matières premières et leur transformation par des industries chimiques, considérées comme les « industries des industries ».

Nathalie JAS
(Chargée de recherche, INRA)

IRISSO – UMR CNRS INRA 7170-1427 –
Université Paris-Dauphine, Place du
Maréchal de Lattre de Tassigny -
75775 PARIS Cedex 16
Contact e-mail nathalie.jas@inra.fr

Mots clés

Pollutions - Modes de gouvernement - Industries chimiques - Expertise - Regulation

Références

Boudia S. et Jas N. 2019. Gouverner un monde toxique. Paris, Quae/Science en Question.

Boudia S et Jas N. (dir.) 2014 et 2016. Powerless Science? Science and Politics in a Toxic World. Londres et New York. Berghahn Publishers.

Boudia S. et Jas N. (dir) 2013 et 2016. Toxicants, Health and Regulation since 1945. Londres et New York, Pickering and Chatto.

DE L'IMPORTANCE DE LA MULTIDISCIPLINARITE POUR L'EVALUATION DE LA QUALITE DES MILIEUX ET DES RISQUES POUR LA SANTE HUMAINE

L'état de santé des populations est fortement influencé par les interactions complexes entre l'ensemble des déterminants de l'environnement, ceux-ci étant interconnectés et évoluant dans le temps et l'espace (Sarkar and Webster, 2017). Cette multi-exposition environnementale est difficile à caractériser dans son entièreté, au regard des multiples aspects à prendre en compte (multi-polluants, multi-sources, différents milieux impactés).

Le développement d'indices composites pour une approche spatialisée permettent de considérer la multi-exposition en intégrant le cumul de facteurs environnementaux pouvant interagir les uns avec les autres. L'intérêt pour l'intégration d'indices spatialisés dans la démarche de diagnostic territorial est grandissant au niveau international (23 publications entre 2001 et 2018). La démarche est plébiscitée pour sa capacité à discriminer les points noirs environnementaux au sein d'une région ou d'un pays. Cependant, l'échelle est souvent considérée comme trop macroscopique pour déterminer de manière spécifique les leviers décisionnels à mobiliser selon le résultat du diagnostic. Dans ce contexte, comment les recherches en écotoxicologie pourraient participer à une meilleure évaluation des risques sanitaires et une meilleure gestion intégrée des territoires à très fine échelle ?

De plus, malgré les enjeux environnementaux, sanitaires, sociétaux et économiques, les approches prenant en compte au sein d'une même interprétation les aspects bénéfiques/risques sont peu développées. Ce diagnostic est systématiquement réalisé en intégrant des variables décrivant les risques et dangers auxquels sont exposées les populations (e.g. présence de sources de pollution, de risques technologiques, de risques naturels) et beaucoup plus rarement en intégrant des données liés aux bénéfices de l'environnement sur la santé humaine (e.g. accès aux espaces verts, présence de zones remarquables).

En nous appuyant sur le programme CISTERRES, nous proposons de souligner les atouts et les contraintes liées à la valorisation des données d'écotoxicologie selon l'échelle spatiale considérée. La distribution spatiale des points noirs territoriaux a été caractérisée sur la région des Hauts-de-France. Un questionnement sur l'évaluation de la qualité de l'air sur la ville de Dunkerque s'est alors posé. Afin d'apporter une réponse à l'échelle des quartiers, une campagne de biosurveillance lichénique a été menée. Le profil établi affine la connaissance du compartiment atmosphérique.

L'écotoxicologie, en apportant une information à très fine échelle sur la qualité des milieux, pourrait faciliter la compréhension et la gestion des dynamiques spatio-temporelles des phénomènes observés dans un contexte de multi-pollution.

Mots clés

Indices composites - Multidisciplinarité - Spatialisation - Gestion du territoire

Remerciements

Les auteurs remercient la Région des Hauts-de-France ainsi que l'Agence Régionale de Santé Hauts-de-France pour leurs contributions au financement de cette étude.

Références

Sarkar, C., Webster, C., 2017. Healthy Cities of Tomorrow: the Case for Large Scale Built Environment–Health Studies. J. Urban Health 94, 4–19. <https://doi.org/10.1007/s11524-016-0122-1>

Annabelle DERAM*(1), Delphine BROUSMICHE (1), Florent OCCELLI (1), Damien CUNY (1), Michaël GENIN (2) et Caroline LANIER (1)

(1) Univ. Lille, CHU Lille, Institut Pasteur de Lille, EA 4483 IMPECS (IMPact of Environmental Chemicals on human health), F-59000 Lille, France

(2) Univ. Lille, EA 2694, Santé Publique épidémiologie et qualité des soins, Centre d'Etudes et Recherche en Informatique Médicale (CERIM), F-59000 Lille, France

Contact e-mail :
annabelle.deram@univ-lille.fr

EFFETS DU TRITIUM IN VIVO ET IN SITU SUR LA SANTE DES POISSONS : APPROCHE MULTI-BIOMARQUEURS ET LIENS ENTRE LES ECHELLES BIOLOGIQUES

Le contexte des effets biologiques de l'exposition aux rayonnements ionisants est une préoccupation majeure pour la radioprotection de l'homme et de l'environnement. Ceci a récemment été mis en exergue après l'accident de Fukushima, notamment dans le contexte de la quantification du risque pour la santé des individus et populations exposées aux faibles doses. Augmenter la connaissance des effets des faibles doses sur les espèces humaines et non-humaines permettrait de gagner en précision pour la prédiction des effets et la prise de décision.

L'industrie nucléaire rejette dans l'environnement différents types de radionucléides, principalement des émetteurs gamma (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn), mais aussi du tritium, le plus important en termes de production (200g correspondant à $7,2 \cdot 10^6$ Bq/an dans le monde). Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène qui émet des rayonnements beta. Sa demi-vie est de 12,3 ans. Les rejets de tritium sont supposés augmenter dans le futur avec le développement de réacteurs basés sur la fusion nucléaire (ITER).

Les écosystèmes aquatiques, habités par de nombreuses espèces animales et végétales, représentent généralement le récepteur final d'un grand nombre de polluants, incluant des radionucléides dont le tritium. L'exposition à des niveaux élevés de radionucléides est connue pour induire de nombreuses altérations sur différentes fonctions de l'organisme, de la molécule (intégrité de l'ADN) à la population (effets sur la survie et la reproduction). Cependant, les effets de faibles niveaux d'exposition, plus pertinents d'un point de vue environnemental, sont peu connus.

Cette présentation résume les différents travaux menés depuis plusieurs années à l'IRSN sur le tritium, sur différents modèles biologiques : le poisson zèbre, *Danio rerio*, espèce modèle facile à maintenir en laboratoire, afin de comprendre les mécanismes d'action du tritium dans le cadre d'expositions contrôlées ; et le tête de boule, *Pimephales promelas*, espèce autochtone du continent Nord-Américain, afin d'étudier les effets du tritium seul ou un mélange dans un contexte réel de contamination aux effluents d'un centre de recherche. L'évaluation des effets du tritium a été réalisée par l'analyse d'une batterie de biomarqueurs à différentes échelles biologiques, de la molécule à l'individu. L'analyse de l'ensemble des résultats permettra de mieux comprendre les effets du tritium, seul ou en mélange, sur la physiologie du poisson.

Mots clés

Ecotoxicologie ; tritium ; tête de boule, *Pimephales promelas* ; poisson zèbre, *Danio rerio* ; biomarqueurs ; laboratoire ; terrain

Béatrice GAGNAIRE*(1), Caroline ARCANJO (1), Amy FESTARINI (2), Virginie CAMILLERI (1), San Bog KIM (2), Isabelle CAVALIE (1), Magali FLORIANI (1), Olivier SIMON (1), Francesca FARROW (2), Danielle BEATON (2), Christelle ADAM-GUILLERMIN (1), Marilyne STUART (2)

(1) IRSN – Institut de Radioprotection et Sécurité Nucléaire, Laboratoire d'Ecotoxicologie des Radionucléides, Centre de Cadarache, 13115 St Paul lez Durance

(2) CNL – Canadian Nuclear Laboratories, 286 Plant Road, Chalk River, Ontario, Canada

Contact e-mail :
beatrice.gagnaire@irsn.fr

REPONSE DES COMMUNAUTES MICROBIENNES DE SEDIMENT A UNE EXPOSITION REALISTE AU CUIVRE : REMANIEMENT STRUCTUREL, FONCTIONNEL ET ACQUISITION DE TOLERANCE

Bien que de nombreux métaux s'accumulent dans le compartiment sédimentaire des écosystèmes aquatiques, les connaissances sur la réponse des communautés naturelles du sédiment à cette contamination sont rares. Ce constat est vrai pour les communautés microbiennes benthiques qui jouent un rôle écologique majeur dans ce compartiment. En prenant comme modèle le cuivre (Cu), une approche expérimentale en microcosmes a été réalisée à partir d'un sédiment naturel de surface prélevé dans la rivière de l'Ain. Cette approche visait à caractériser les réponses fonctionnelles et structurelles ainsi que les mécanismes d'adaptation de communautés microbiennes exposées pendant 21 jours à une concentration réaliste en Cu (~50 mg Cu kg⁻¹ sédiment sec). Nos résultats montrent des effets immédiats et significatifs du Cu sur la plupart des fonctions mesurées, incluant notamment différentes activités enzymatiques respectivement impliquées dans la dégradation de matières organiques carbonées, azotées et phosphatées. L'étude de la diversité des communautés microbiennes (bactéries et archées) indique des effets rapides et significatifs du Cu, qui perdurent durant toute la période de l'expérimentation en engendrant une restructuration de la communauté. Celle-ci se traduit notamment par la diminution de la richesse spécifique et par une baisse d'équitabilité entre les taxons. Ces résultats ont été complétés par une analyse taxonomique qui a permis d'identifier les principaux taxons responsables des remaniements observés regroupant des espèces qui sont négativement affectées (potentiellement sensibles) et des espèces qui sont au contraire favorisées par la présence du Cu. Pour appréhender les conséquences de ces remaniements sur la capacité de tolérance au Cu de la communauté dans son ensemble, nous avons mis en œuvre une approche PICT (*Pollution Induced Community Tolerance*) réalisée à l'aide de tests de toxicité aiguë sur les activités β -glucosidase et phosphatase. L'augmentation des CE₅₀ obtenues avec les communautés exposées au Cu confirme l'acquisition d'une tolérance à l'échelle de la communauté suite au développement d'espèces tolérantes. Par ailleurs, l'absence d'augmentation de l'abondance du gène *cusA* (impliqué dans la résistance au Cu) au sein des communautés exposées suggère que l'acquisition de tolérance n'est pas liée à une augmentation du potentiel génétique associé à ce processus. Cependant pour vérifier cette hypothèse, d'autres gènes de résistance (e.g. *copA*) seront quantifiés prochainement.

En résumé, les résultats de cette étude montrent que le Cu a eu un impact sur le potentiel fonctionnel et la diversité des communautés microbiennes de sédiment, ce qui a également engendré le développement de capacité de tolérance à ce métal du fait d'une sélection de taxons tolérants au détriment des plus sensibles. Par conséquent et en raison de la forte implication des communautés microbiennes benthiques dans les cycles biogéochimiques, ces modifications fonctionnelles et structurelles pourraient avoir des répercussions importantes sur le fonctionnement global des écosystèmes aquatiques. Par ailleurs l'acquisition de tolérance observée chez les communautés exposées au Cu ouvre également des perspectives pour l'application du PICT dans le compartiment sédimentaire comme un outil de bio-surveillance pour l'évaluation des impacts écotoxicologiques dans les milieux naturels contaminés au Cu.

Mots clés: PICT, Écotoxicologie Microbienne, Métaux, Diversité, Gènes de résistance

Référence:

Mahamoud Ahmed et al., 2018. *Frontiers in Microbiology*, doi:10.3389/fmicb.2018.01852

Ayanleh MAHAMOUD AHMED (1; 2), Vincent TARDY (1;2), Bernadette VOLAT (1), Anaïs CHARTON (1), Chloé BONNINEAU (1), Stéphane PESCE (1), Emilie LYAUTEY (1;2)

(1) Irstea, UR RiverLy, 5 rue de la Doua, CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

(2) CARTELE, UMR INRA/USMB, Domaine Universitaire, 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex, France

Contact:

ayanleh.mahamoud-ahmed@irstea.fr

ayanleh.mahamoud-ahmed@univ-smb.fr

TESTS ECOTOXICOLOGIQUES POUR LES SOLS UTILISANT LES NEMATODES

Hélène CEREMONIE (1), Manon TRAMBOLHO (1), Anne JIMENEZ (1)
Marina LE GUEDARD (2) Cécile VILLENAVE (1)

(1) ELISOL environnement + 10 av du midi
30111 CONGENIES

(2) LEB Aquitaine Transfert + E + adresse
CP VILLE

Contact e-mail : contact@elisol-environnement.fr

Les sols sont soumis à des pressions et des dégradations anthropiques de plus en plus importantes, nécessitant de les protéger. Agir pour les sols requière donc de connaître les impacts sur les sols de l'exposition aux contaminants. Or, les transformations des contaminants, leurs biodisponibilités et interactions sont aussi diverses dans les sols que les sols eux-mêmes, si l'on intègre les composantes pédoclimatiques et biologiques. Les bioindicateurs édaphiques «in situ» permettent de caractériser et assurer un suivi de la qualité du sol en intégrant de nombreux facteurs liés à son historique résultant de données climatiques, anthropiques et biologiques : tels que pratiques de gestion, contaminations (types, nombres, fréquences, évolution). L'Indice Nématodes (nématofaune) est un bioindicateur normalisé NF ISO 23611-4 (2008) permettant de caractériser le fonctionnement biologique du sol basé sur la grande diversité fonctionnelle des nématodes et de leur sensibilité aux conditions de leur milieu de vie. Parallèlement les sols pollués peuvent constituer une source potentielle de toxicité qu'il est nécessaire de pouvoir évaluer et appréhender. Une mesure directe de toxicité du milieu sur les organismes peut donc s'avérer être une information importante pour déterminer les effets générés par les contaminants sur le fonctionnement des sols ou évaluer le risque potentiel du sol sur un organisme modèle. Les tests écotoxicologiques «ex situ» normalisée NF ISO 10872 (2010) permettent de mesurer l'inhibition de la croissance, de la fertilité ou de la reproduction sur le nématode *Caenorhabditis elegans* d'un sol contaminé par rapport à un témoin non contaminé. Dans le cadre du programme Appoline, ces deux outils in vivo et in vitro ont été utilisés sur trois sites avec les objectifs (1) de consolider la méthode de diagnostic de la qualité du sol par l'analyse du bio-indicateur « nématofaune » dans plusieurs contextes de pollution / réhabilitation de sols et (2) d'évaluer la complémentarité avec les résultats obtenus par le test écotoxicologique sur les mêmes sites en lien avec la phytodisponibilité des ETMs et / ou la présence des PCB.

Résultats :

(1) Salsigne (Aude) : ancienne mine d'or = essai de phytostabilisation

L'Indice Nématodes montre un fonctionnement biologique satisfaisant malgré une contamination encore significative. Il semble y avoir une « adaptation » des communautés de nématodes. Malgré la très forte toxicité pour *C. elegans*, des communautés de nématodes réduites mais relativement normales se développent.

(2) Châteauneuf (Loire) : ancien crassier métallurgique = essai de phytostabilisation

L'Indice Nématodes montre que les apports d'amendements permettent d'améliorer l'activité biologique des sols. Cependant, les test écotoxicologiques sur *C. elegans* indiquent que la toxicité n'est pas réduite par l'apport des deux types d'amendements

(3) St Cyprien (Loire) présente une contamination accidentelle aux PCB

L'Indice Nématodes reflète une activité biologique du sol importante sur le site, le fonctionnement biologique est toutefois réduit aux plus fortes teneurs en PCB comparativement à la parcelle témoin. Tous les échantillons testés sur ce site montrent une faible toxicité pour *C. elegans*, même ceux présentant des très fortes teneurs en PCB.

Mots clés : Nématodes ; ISO23611-4 ; ISO ISO10872 ; sol ; Tests écotoxicologiques, PCB ; métaux ; sites pollués ; réhabilitation ; phytoremédiation

Remerciements : Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet APPOLINE financé dans le cadre du programme GESIPOL de l'ADEME.

Références

NF ISO 10872 (2010) ISO 10872 (2010). Qualité de l'eau – Détermination de l'effet toxique d'échantillons de sédiment et de sol sur la croissance, la fertilité et la reproduction de *Caenorhabditis elegans* (nématode)

LES TÉLOMÈRES EN ECOTOXICOLOGIE : ETAT DE L'ART ET PREMIERS ESSAIS SUR UN INVERTEBRE TERRESTRE, L'ESCARGOT PETIT GRIS

Les télomères (TL) sont des séquences d'ADN non-codantes, répétées, conservées et localisées à l'extrémité des chromosomes. Ils ont un rôle de protection et de stabilisation du génome (Oeseburg et al., 2010; Grach, 2013). Pour de nombreux animaux et l'homme, les TL raccourcissent avec le vieillissement des individus (Louzon et al., soumis). Par conséquent, la mesure de la longueur des télomères peut être pertinente en écotoxicologie pour identifier: i) de nouveaux mécanismes toxicologiques en lien avec un vieillissement prématuré des organismes consécutif à une exposition à un contaminant, ii) des effets écotoxiques précoces à l'origine de potentielles altérations de la durée de vie reproductive des individus. Bien que la longueur des TL soit régulièrement mesurée dans les études en toxicologie environnementale sur l'homme et les oiseaux (Mitro et al., 2016; Blévin et al., 2017), une absence de connaissance sur la pertinence de la mesure des TL existe pour les invertébrés, notamment pour les bioindicateurs communément utilisés en biosurveillance. Ainsi, l'objectif des travaux présentés est d'acquérir les premières données sur les TL chez l'escargot Petit Gris, mollusque gastéropode utilisé en biosurveillance des sites et sols contaminés (de Vaufleury, 2015), et d'évaluer la pertinence de la mesure de la longueur des TL pour l'évaluation des risques environnementaux des sites et sols contaminés. Après une étape de mise au point de la mesure de la longueur des TL dans l'hémolymphe, la relation taille des télomères en fonction de l'âge des escargots (1 mois à 2 ans) a été analysée. D'autre part, des escargots sub-adultes ont été exposés durant 1 à 2 mois à un sol contaminé en HAP (somme des 16 de l'US EPA : 10 mg/kg) et à des sols ISO diversement contaminés en Cd (100 à 1000 mg/kg) et en Hg (100 à 10 000 mg/kg). En parallèle la mortalité, la bioaccumulation, la croissance et la maturation sexuelle des escargots ont été suivies. Une inhibition de la maturation sexuelle de 100% a été déterminée pour les individus exposés aux sols les plus contaminés. Les résultats de ces expériences préliminaires montrent uniquement un raccourcissement des TL dans l'hémolymphe entre le stade juvénile (1 mois) et le stade sub-adulte (3 mois). Ceci, suggère l'existence de systèmes performants de maintien de l'intégrité des TL durant la vie adulte des escargots, notamment lorsqu'ils sont soumis à un stress chimique. Ces résultats devront être validés dans d'autres tissus comme la glande digestive et ouvrent un nouveau champ d'investigation car la dynamique des TL chez le Petit Gris, tout comme chez d'autres invertébrés tels que le nématode (Raices et al., 2005) ne suit pas la relation observée chez de nombreux vertébrés.

Mots clés : Escargots, Télomères, Vieillesse, Contaminants

Remerciements : Les auteurs remercient les institutions qui supportent leurs travaux (UBFC, CNRS, TESORA)

Références

- Blévin P., Angelier F., Tartu S., Bustamante P., Herzke D., Moe B., Bech C., Gabrielsen G.W., Bustnes J.O. et Chastel O. 2017. Perfluorinated substances and telomeres in an Arctic seabird: Cross-sectional and longitudinal approaches. *Environ Pollut* 230, 360-367.
- de Vaufleury A. 2015. Landsnail for ecotoxicological assessment of chemicals and soil contamination. In Armon, R.H., Hänninen O. (Ed.), *Environmental Indicators*. Springer, Dordrecht, 345-391.
- Louzon M., Coeurdassier M., Gimbert F., Pauget B. et de Vaufleury A. Telomere dynamic in humans and animals: review and perspectives in environmental toxicology. Soumis à *Environment International*
- Mitro, S.D., Birnbaum, L.S., Needham B.L. et Zota A.R. 2016. Cross-sectional associations between exposure to persistent organic pollutants and leukocyte telomere length among U.S. adults in NHANES. *Environ Health Perspect* 124 (5), 651-658.
- Oeseburg, H., de Boer, R.A., van Gilst W.H. et van der Harst P. 2010. Telomere biology in healthy aging and disease. *European Journal of Physiology* 459 (2), 259-268.
- Raices, M., Maruyama, H., Dillin, A., Karlseder, J., 2005. Uncoupling of longevity and telomere length in *C. elegans*. *PLOS Genetics* 1(6), e81.

Maxime LOUZON (1), Sandrine ZAHN (2), Nicolas CAPELLI (1), Michael COEURDASSIER (1), Frédéric GIMBERT (1), Sylvie MASSEMIN (2), Benjamin PAUGET (3), François CRISCUOLO (2), Annette de VAUFLEURY* (1)

(1) UMR 6249 UFC/CNRS Laboratoire Chrono-Environnement USC INRA, 25030 Besançon Cedex

(2) IPHC UMR 7178 DEPE, 67087 Strasbourg Cedex 3

(3) TESORA, 94110 Arcueil

Contact e-mail :

annette.devaufleury@univ-fcomte.fr

EVALUATION ÉCO-TOXICOLOGIQUE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES REJETS DE SAUMURE DES USINES DE DESSALEMENT AU NIVEAU DU LITTORAL OCCIDENTAL ALGÉRIEN: DE L'INFRA-INDIVIDUEL AU SUPRA-INDIVIDUEL

L'étude de la biosurveillance intégrative le long du littoral occidental algérien nous a permis d'évaluer la qualité et l'état de santé de l'environnement marin. En effet, cette étude a fait appel à plusieurs outils de la biosurveillance à l'échelle supra individuelle, individuelle et infra-individuelle et à travers divers paramètres à savoir : les paramètres écologiques, biologiques, chimiques et biochimiques. La première partie de l'étude de terrain concerne la prospection du littoral occidental algérien et le diagnostic faunistique de la zone intertidale. Elle nous a permis d'identifier plusieurs types de perturbations environnementales et sources de pollution. Quant au diagnostic écologique global, il nous a permis de recenser un total de 18 espèces mais aussi d'évaluer l'abondance des espèces, la richesse et la diversité du milieu. En effet, la distribution des organismes, l'abondance par la présence ou l'absence d'une espèce de mollusques étudiés permet de renseigner sur l'état du milieu environnant. Cette variabilité de l'abondance et de la répartition, oscille selon les sources et l'intensité de la pollution, et la nature des polluants. Néanmoins, les changements et les effets qui se manifestent à l'échelle supra-individuelle ne peuvent être décelés qu'à long terme. A l'issue de la prospection et du diagnostic écologique nous avons pu cibler quelques sites pour une étude beaucoup plus approfondie qui a permis cette fois ci de déceler les effets réels d'une pollution donnée, celle des rejets de dessalement de Bousfer et cela grâce à la biosurveillance intégrative. L'étude écologique a également permis de choisir le modèle biologique adéquat pour l'étude écotoxicologique et nous a permis ainsi de cibler l'espèce *Patella rustica* comme espèce sentinelle. Dans cette étude, les effets sublétaux et chroniques sur les populations naturelles de cette espèce exposée à ces rejets de saumure ont été déterminés. Pour cela, des biomarqueurs de défenses (CAT, SOD, GR et T-GPx, activités Se-GPx et GST) et des dommages (activité AChE, LPO à travers les niveaux de TBARS et activité de type CSP3) ont été mesurés dans les tissus de cette espèce. Le suivi écotoxicologique a regroupé le diagnostic physicochimique des eaux, chimique et biochimique. Encore une fois les résultats du diagnostic chimique lui seul, réalisé grâce aux mesures de la bioaccumulation métallique n'a pas pu refléter une importante contamination du milieu. L'étude biochimique réalisée sur les populations présentent au niveau du point de décharge de la saumure de l'usine de dessalement de Bousfer et dans les sites environnants nous a permis de confirmer l'existence d'une réelle et importante menace pour la faune marine et tout l'écosystème côtier. En outre, cette étude a également confirmé que *Patella rustica*, est un bon bioindicateur pour la surveillance marine. En effet, la sensibilité de cette espèce sentinelle nous a permis d'élucider les perturbations physiologiques dans les organismes selon le niveau d'altération de l'environnement. L'approche multibiomarqueurs nous a permis d'établir un diagnostic de l'état de santé des patelles. Les réponses aux biomarqueurs de défense et de dommages suivis sont fiables et précieuses pour déchiffrer les altérations biologiques et les perturbations physiologiques observées dans les organismes exposés à l'environnement modifié. Les résultats actuels suggèrent que la salinité élevée et les polluants chimiques des stations de dessalement semblent représenter un stress pouvant augmenter la génération de ROS chez les patelles. Ces résultats devraient inciter les scientifiques et les décideurs à coopérer et à repenser leurs stratégies pour améliorer et développer la gestion de ce type de rejets industriels, en particulier les saumures afin de protéger et préserver le milieu marin.

Omar ROUANE-HACENE*(1),
Meriem BENAÏSSA (1), Zitouni
BOUTIBA (1), Dominique HABIB
(2), Marielle E. GUIBBOLINI-
SABATIER (2), Christine RISSO-DE
FAVERNEY (2)

(1) Université d'Oran 1- Ahmed BEN
BELLA, Laboratoire Réseau de
Surveillance Environnementale (LRSE),
Département de Biologie, BP 1524 El
M'naouer, 31000 Oran, Algérie

(2) Université Côte d'Azur, CNRS FRE
3729 ECOMERS, 28 Avenue Valrose BP
71, 06108 Nice Cedex 2, France
Contact e-mail :
rouaneho@yahoo.fr

Mots clés : Biomonitoring, biomarqueurs, impact, station de dessalement, saumure, littoral occidental algérien.

GESTION DES EAUX URBAINES EN TEMPS DE PLUIE

La gestion des eaux urbaines par temps de pluie est une problématique historiquement forte sur le territoire de la Métropole de Lyon. Réseaux unitaires, réseaux séparatifs, techniques alternatives pour la gestion à la source des eaux pluviales : différents dispositifs techniques se sont développés pour limiter les impacts sur la ville et l'environnement. Dans un contexte réglementaire visant au bon état des milieux aquatiques et un contexte local de fort développement urbain, la Métropole soutient et suit les actions de recherche visant à mieux connaître et améliorer les performances de ces systèmes.

Dans le cadre de l'appel à projets national porté par l'ONEMA sur les micropolluants, la Métropole a mis à disposition quelques sites de gestion des eaux pluviales afin d'analyser la performance de ces systèmes pour l'abattement des micropolluants. En lien avec d'autres projets portés sur le territoire français, les résultats de ces recherches permettent d'établir des conclusions encourageantes pour la gestion à la source des eaux pluviales.

Mots clés

Pluvial, micropolluant, recherche, gestion intégrée

Remerciements : OTHU, GRAIE.

Références

Sylvie Barrault INSA, Elodie BreLOT GRAIE

Philippe GILLES, Laurence CAMPAN*(1)

Métropole de Lyon,
20 rue du Lac 69003 LYON

Contact e-mail :
lcampan@grandlyon.com)

DEVENIR DES CONTAMINANTS ÉMERGENTS : APPORTS DES APPROCHES NON CIBLÉES

La présence de micropolluants soulève un véritable problème d'ordre environnemental lié aux effets néfastes qu'ils peuvent induire sur les organismes exposés (e.g. perturbation endocrinienne, toxicité...). Ces contaminants sont d'autant plus préoccupants que la majorité d'entre eux ne sont pas identifiés. La stratégie actuellement appliquée pour la surveillance de la qualité chimique du milieu est basée sur des analyses chimiques, ciblées sur une liste de composés prédéfinis (e.g. 45 substances prioritaires dans la DCE). Confronté au nombre important de molécules chimiques mises sur le marché européen (plus de 110 000 composés) et considérant le fait que ce nombre est amplifié par leurs produits de transformation, cette sélection de composés ne représente que de manière partielle le risque écotoxicologique de toutes les molécules présentes dans l'environnement et par conséquent, sous-estime les risques environnementaux. Afin de déterminer de façon plus globale la contamination, il est intéressant d'employer de nouveaux outils de caractérisation. En cela, la spectrométrie de masse haute résolution (HRMS) offre de nouvelles perspectives analytiques en détectant l'ensemble des molécules présentes dans l'échantillon (composés connus, non recherchés, inconnus). Ainsi, la caractérisation de la contamination est effectuée de façon globale sans être basée sur une présélection de composés.

Marie-Hélène DEVIER* (1),
Caroline GARDIA-PAREGE (1),
Laura FUSTER (1), Emmanuel
GENESTE (1), Héléne BUDZINSKI
(1)

(1) Université de Bordeaux, UMR
EPOC 5805 CNRS, LPTC, Talence,
France
Contact e-mail : helene.budzinski@u-
bordeaux.fr

Des analyses non ciblées ont été effectuées sur des échantillons extraits sur phase solide d'eaux brutes et traitées de station de traitement des eaux usées urbaines (STEU). Plusieurs milliers de signaux analytiques ont été détectés dans les échantillons. Un travail de retraitement permet de relier des signaux communs à une même et unique entité. La comparaison des résultats obtenus dans l'extrait d'eau brute et traitée permet de constater que le traitement dégrade 83% des entités entrantes en STEU. Cependant, 70% des entités sortantes sont détectés uniquement dans les eaux traitées. Ce résultat suggère que le processus de traitement peut être à l'origine de produits de transformation. Une fois déversés dans le milieu, les composés présents dans l'effluent de STEU peuvent subir à nouveau des phénomènes de dégradation. Ainsi, des expériences menées en laboratoire, ont été également réalisées afin de mimer les processus de biodégradation en milieu estuarien. Les échantillons initiaux (t0) et ceux obtenus après 21 jours d'incubation (t21) ont ensuite été analysés par HRMS. Globalement, après 21 jours d'incubation plus de 939 entités ont été éliminées alors que 794 sont nouvellement détectées. Près de 526 entités sont présentes dans les deux temps d'incubation et sont donc considérés comme persistantes.

Pour identifier les entités dégradées, persistantes ou nouvellement générées, une stratégie d'identification a été élaborée. Plusieurs molécules ont ainsi pu être identifiées ou suspectées dans les différents échantillons, comme la O-desméthylvenlafaxine ou la 5-hydroxypropafénone, produits de transformation de médicaments détectés dans l'effluent de STEU. L'analyse non ciblée ouvre ainsi de nouveaux champs d'investigation en permettant d'identifier des micropolluants non recherchés ou inconnus ou en suspectant leurs produits de transformation potentiels.

Mots clés : Station de traitement des eaux usées, spectrométrie de masse haute résolution, biodégradation, contaminants émergents.

Remerciements

Cette étude a été conduite avec les supports financiers du groupement d'intérêt publique Seine Aval dans le cadre du projet CRAPPE, de l'Agence Française pour la Biodiversité dans le cadre du projet REGARD et de l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du Programme Investissements d'Avenir au sein des Laboratoires d'Excellence COTE (ANR-10-LABX-45).

BIOAMPLIFICATION APPARENTE DES ACIDES PERFLUOROALKYLES DANS LE RESEAU TROPHIQUE D'UNE RIVIERE URBAINE: CONTRIBUTION POTENTIELLE DE PRECURSEURS CIBLES ET NON IDENTIFIES.

Certains xénobiotiques peuvent être bioamplifiés, c'est-à-dire voir leur teneur augmenter avec le niveau trophique des organismes considérés. La bioamplification est un processus essentiel à appréhender car elle peut conduire à des niveaux de contamination élevés, notamment chez les prédateurs supérieurs. Tandis que le transfert trophique des polluants organiques persistants historiques est relativement bien connu, celui de composés plus émergents est nettement moins renseigné. C'est notamment le cas pour les composés per- et poly-fluoroalkylés (PFAS), une famille de micropolluants organofluorés complexe aux propriétés atypiques (amphiphiles) dont la dynamique au sein des réseaux trophiques est délicate à appréhender, du fait de multiples voies d'exposition, de la biotransformation de certains de ces composés et de l'absence de modèles de transfert appropriés. Ces travaux avaient ainsi pour objectif d'étudier la bioamplification des PFAS dans le réseau trophique d'un cours d'eau urbain fortement impacté par les activités humaines, notamment en termes de disponibilité et de qualité physico-chimique des habitats : l'Orge, site atelier du programme PIREN-Seine préalablement identifié comme relativement contaminé par les PFAS (ex : concentration en phase dissoute > 10 fois la médiane nationale). Dans un premier temps, les relations trophiques ont été définies sur la base des comportements alimentaires connus et affinées à l'aide de données isotopiques, via la projection de l'ensemble des signaux isotopiques dans le plan $\delta^{13}\text{C} - \delta^{15}\text{N}$. Dans un second temps, 16 acides perfluoroalkylés (PFAA) et 10 de leurs précurseurs (pré-PFAA) ont été analysés dans des échantillons d'eau, de sédiments et de biote, un total de 22 composés étant détectés dans ce dernier compartiment (2,0 à 147 ng g⁻¹, poids frais). Le perfluorooctane sulfonate (PFOS) et les perfluoroalkylcarboxylates (PFCA) en C₁₂ à C₁₄ se sont avérés prédominants, alors que la contribution des pré-PFAAs ciblés était comprise entre 1 et 18 % de Σ PFAS. Les facteurs d'amplification trophique (TMF) ont été largement utilisés pour estimer *in situ* le potentiel de bioamplification des composés organohalogénés dans de nombreux écosystèmes aquatiques et terrestres. Dans l'Orge, des valeurs de TMF supérieures à 1 (suggérant la bioamplification) ont été déterminées pour les PFCA C₉-C₁₄, les perfluoroalkylsulfonates (PFSA) C₇-C₁₀ et plusieurs pré-PFAA (par exemple, 8:2 et 10:2 fluorotéломères sulfonates). La diminution significative du rapport Σ pré-PFCA/ Σ PFCA avec le niveau trophique suggère une probable contribution des précurseurs ciblés à la bioamplification apparente des PFCA via leur biotransformation, alors que cela est moins évident pour le PFOS. Par ailleurs, l'approche TOP (Total Oxidizable Precursor Assay), appliquée pour la première fois à des échantillons de sédiments et de biote, a révélé la présence de proportions substantielles de pré-PFAA non identifiés dans tous les échantillons (15 à 80 % de Σ PFAS). Cette proportion diminue de manière significative des sédiments aux invertébrés et aux poissons, indiquant ainsi la biotransformation de pré-PFAA non identifiés au sein du réseau trophique, qui contribue ainsi directement à la bioamplification apparente des PFAA (PFSA C₇ à C₁₀ et PFCA C₉ à C₁₂).

Caroline SIMONNET-LAPRADE (1),
Hélène BUDZINSKI (1), Aurélie
GOUTTE (2), Kévin MACIEJEWSKI
(1), Karyn LE MENACH (1), Fabrice
ALLIOT (2), Raphaël SANTOS (3),
Pierre LABADIE* (1)

(1) UMR 5805 EPOC, Université de
Bordeaux/CNRS, Equipe LPTC, 351
cours de la Libération, 33405 TALENCE,
France

(2) UMR 7619 Metis, CNRS/ EPHE/PSL,
75005, PARIS, France

(3) Université des sciences appliquées
de Suisse Occidentale, 1254 JUSSY,
Suisse

*Contact e-mail : pierre.labadie@u-
bordeaux.fr

Mots clés

Composés fluoroalkylés ; bioamplification ; réseau trophique ; écosystème lotique

Remerciements

Zone atelier Seine CNRS/INEE (programme PIREN-Seine) et LabEx COTE

VALORISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE EN ENROCHEMENTS POUR LA REHABILITATION DES BERGES DE VOIES NAVIGABLES : SUIVI ECOTOXICOLOGIQUE PAR GAMMARES ENCAGES

Voies Navigable de France (VNF) est le deuxième maître d'ouvrage fluvial français en ce qui concerne les volumes de sédiments dragués, derrière la Compagnie Nationale du Rhône. La Direction Territoriale Nord-Pas-de-Calais de VNF porte la stratégie de gestion et de valorisation des sédiments, Alluvio. Cela consiste à trouver des alternatives de gestion à terre définitive des sédiments non dangereux non inertes et à développer des applications innovantes créatrices d'emplois pour la région. Parmi les filières de valorisation envisagées, la fabrication d'enrochements en béton à base de sédiments pour l'aménagement des berges est une solution qui a été étudiée dans le cadre de cette stratégie, et dont la mise en œuvre a été financée dans le cadre de la démarche Sédimatériaux animée par la Région.

Ainsi, un site expérimental mis en place en 2017 sur les berges du canal de la Sensée (59) à proximité de Douai a permis d'installer trois types de matelas gabions composés respectivement (i) d'enrochements naturels, (ii) d'enrochements en béton et (iii) d'enrochements en béton-sédiments. Pendant un an, un suivi environnemental de la qualité de l'eau a été réalisé au niveau de chacun de ces 3 matelas. En parallèle, un suivi écotoxicologique a également été mis en œuvre par déploiement de gammares encagés lors de cinq campagnes réalisées entre mai 2017 et mai 2018. Ce dispositif a permis l'étude des taux de survie et de l'activité alimentaire des organismes exposés pendant 7 jours.

Les résultats mettent en évidence un impact de la qualité générale de l'eau sur les organismes, indépendamment de la composition des matelas, et dû notamment aux fortes températures de l'eau mesurées dès le printemps. Aucun impact toxique n'a été mesuré sur les gammares exposés à proximité des enrochements naturels. Si le matelas composé d'enrochements en béton ne présente qu'un effet très limité sur les organismes, on note de faibles effets du matelas composé de béton-sédiments recyclés sur les campagnes mises en place 6 mois après l'installation des enrochements sur les berges. Ces résultats encourageants ouvrent ainsi la voie à un déploiement de ce type de matelas à base de matériaux alternatifs à plus grande échelle dans les Hauts de France.

Emilie PRYGIEL*(1), Sandrine TAQUIN (1), Céline HEBRARD LABIT (1), Marion DELPLANQUE (2), Guillaume JUBEAUX (3), Laurent VIVIANI (3)

(1) Cerema Hauts de France, 151 rue de Paris, 02 100 SAINT-QUENTIN et 42 bis rue marais, 59 482 HAUBOURDIN
(2) VNF, 37 rue du plat, 59034 LILLE
(3) BIOMAE, 705-53 rue de la Outarde, 05100 CHATEAU-GAILLARD
Contact e-mail : emilie.prygiel@cerema.fr

Mots clés

Sédiments de dragage - matériaux alternatifs - réhabilitation de berges - gammares encagés

COHABITATION AVEC UNE DÉCHARGE ET RISQUES TOXICOLOGIQUES : CAS DE LA DÉCHARGE D'AKOUÉDO (ABIDJAN, CÔTE D'IVOIRE)

Pour faire face au défi d'élimination sûre des déchets dans la capitale économique, la ville d'Abidjan s'est dotée depuis 1965, d'une décharge contrôlée à ciel ouvert. Elle est l'unique décharge du District d'Abidjan. Dans son fonctionnement actuel, elle représente une source de nuisances renouvelées et un problème de santé publique majeur pour le District d'Abidjan. Elle reçoit tous les types de déchets, des déchets toxiques-dangereux (des déchets industriels, biomédicaux, des abattoirs...) aux déchets ménagers (Adjiri et al., 2015) avec un approvisionnement quotidien d'environ 2500 tonnes (Adjiri, 2010). Initialement située à 12 km de la ville d'Abidjan, elle jouxte aujourd'hui deux villages et certains quartiers huppés du District d'Abidjan. Les habitants de ces quartiers et villages sont obligés de supporter en continu, les odeurs ainsi que les mouches et autres insectes vecteurs de maladies provenant de la décharge (Attahi 2002). Des études antérieures réalisées par Kouamé et al. (2006), Adjiri et al. (2008), Adjiri (2010), Adjiri et al. (2015), ont montré que l'environnement de cette décharge est totalement pollué. Dès lors, évaluer les risques sanitaires liés à l'exposition aux polluants de la décharge, s'avère nécessaire. L'évaluation de l'exposition au plomb, au cadmium, au mercure et au chrome a nécessité l'exploitation de deux sources de données : les informations apportées par des données sanitaires relatives à l'exposition humaine et les résultats de mesures dans l'environnement et de simulation par CalTOX. Le croisement de ces deux sources de données a permis de calculer une dose journalière d'exposition, via la consommation de poussière de sol, d'eau contaminée et de denrées alimentaires cultivées sur le site de la décharge et de déceler les pathologies courantes dans la zone ou susceptibles d'être décelées. Ainsi, la quantification des doses journalières d'exposition donne pour le mercure ($1,46 \cdot 10^{-2}$ - $2,16 \cdot 10^{-2}$ ppm), pour le plomb (1,05 - 1,34 ppm) et pour le chrome ($5,76 \cdot 10^{-1}$ - $5,89 \cdot 10^{-1}$ ppm, contre les valeurs limites respectives $3 \cdot 10^{-4}$ ppm, $5 \cdot 10^{-3}$ ppm et $3 \cdot 10^{-3}$ ppm. Les quotients de danger sont également élevés. Par exemple, par voie orale, les doses absorbables de plomb et de mercure (à travers les poussières de sol et la chaîne alimentaire) des populations ayant résidé pendant 43 années de façon continue à proximité du site de la décharge et dans un rayon de 2 km, sont respectivement de 220 et 54 fois supérieures au VTR. Par voie respiratoire et dans les mêmes conditions, les risques de contracter des affections suite au dépassement des VTR, ne sont obtenus que pour le mercure. Toutefois, seule l'exposition au plomb présente un danger pour les nourrissons. Les quotients de dangers calculés sont 15 fois les VTR. Le calcul de l'impact sanitaire dû au chrome donne 9 cas de cancers qui seraient déclarés par an. Soit en moyenne 383 cas de cancer qui seraient déclarés depuis 1965 (date d'ouverture de la décharge). La comparaison des valeurs théoriques avec celles estimées par calcul donne des ratios de danger théoriques surévalués pour les quatre polluants (Cd, Pb, Hg, Cr). Une surévaluation qui serait liée aux incertitudes dans les mesures et dans les calculs. Cependant, on peut retenir que les populations vivant aux alentours de la décharge d'Akouédo sont exposées aux intoxications au plomb, au mercure et au chrome. Toutefois, cette exposition est fonction du lieu d'habitation : plus on est loin de la décharge, moins on est exposé. En résumé, cette étude consacrée à l'évaluation du risque sanitaire de la zone d'Akouédo, a abouti à la conception et à la réalisation d'un guide méthodologique d'expertise qui a permis d'apprécier les niveaux de risques inhérents à cette pollution en vue de proposer des solutions dans une optique de développement durable.

Oi Adjiri ADJIRI*(1), Any-GRAH AKA (2), Victor Kouamé KOUAME (3), Bintou KONE (4)

(1) UFR Environnement, Université Jean Lorougnon GUEDE, BP 150 Daloa (Côte d'Ivoire)

(2) UFR Sciences pharmaceutiques et biologiques, Université Félix Houphouët Boigny, 22 B.P. 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire)

(3) UFR Environnement, Université Jean Lorougnon GUEDE, BP 150 Daloa (Côte d'Ivoire)

(4) UFR Sciences Géologiques et Minières, Université de Man, BP 20 Man (Côte d'Ivoire)

Mots clés: Décharge sauvage, Métal lourd, Impact sanitaire, Cancer.

Remerciements : Nous adressons nos sincères remerciements au Directeur Général du Groupe EOULEE pour son appui financier et matériel.

Références

- Adjiri O. A, Mafou K. C, Konan K. P. (2015). Impact de la décharge d'Akouédo (Abidjan - Côte d'Ivoire) sur les populations: étude socio-économique et environnementale. *Int. J. Innovation and Appl. S (IJIAS)*, 13 (4) : 979-989; Adjiri O. A., 2010, Évaluations environnementale et du risque sanitaire liés à la présence d'une décharge sauvage en secteurs résidentiels dans un pays en voie de développement: cas de la décharge d'Akouédo (Abidjan, Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat Unique de l'Université de Cocody (actuelle Université Félix Houphouët Boigny), Abidjan, 230p
- Adjiri OA, Goné DL, Kouamé KI, Kamagaté B et Biémi J. 2008. Caractérisation de la pollution chimique et microbiologique de l'environnement de la décharge d'Akouédo, Abidjan-Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2(4): 401-410.
- ATTAHI K. (2002). Chapitre 2. Abidjan, Côte d'Ivoire dans dans La gestion des déchets urbains : des solutions pour l'Afrique. Adepoju G. O, Kumuyi A. J, Koffi A., Mougeot L. J.A., Lusugga J.M. K., Swilling M. et Hutt D. (Red.). CRDI/Editions Karthala, Karthala. pp. 5-10.
- KOUAME I.K., GONE D.L., SAVANE I, KOUASSI E.A, KOFFI K, GOULA B.T.A et DIALLO M. (2006b). Mobilité relative des métaux lourds issus de la décharge d'Akouédo et risque de contamination de la nappe du continental terminal (Abidjan - Côte d'Ivoire). *Revue Afrique Science* Vol. 02, N°. 1, pp. 39-56.

EVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES: PERSPECTIVES

Dans le cadre réglementaire européen pour la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (PPP) Règlement CE No 1107/2009), l'évaluation des risques est un préalable obligatoire à la mise sur le marché européen pour tous les produits et toutes les substances actives qui les composent. L'objectif est de garantir la sécurité vis-à-vis de la santé humaine et environnementale dans les conditions d'utilisation prévues du produit.

Cette communication fournit un état des lieux sur l'évaluation des risques environnementaux réalisée pour l'autorisation des PPP et les enjeux à venir.

Les différentes étapes de l'autorisation des pesticides concernant l'évaluation de l'exposition et du danger seront brièvement abordées. Les méthodologies actuelles pour estimer les concentrations dans l'environnement et caractériser l'écotoxicité des substances actives contenues dans les PPP se composent de plusieurs étapes. Les plus simples sont basées sur des essais en laboratoire, et les plus complexes sur des essais conduits en champ ou via des reconstitution d'écosystème artificiel (mésocosme). Ces méthodologies d'évaluation permettent d'appréhender les interactions entre un milieu et les organismes y vivant (exemple: concentrations prévisible dans le sol et effets sur les organismes du sol; ou dans le système eau-sédiment et toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques). Ces méthodologies sont fréquemment actualisées pour mieux caractériser le devenir dans l'environnement mais aussi l'écotoxicité. Parmi les futurs développements méthodologiques pour l'évaluation des risques l'opportunité d'un changement d'échelle a été soulevée. Ainsi, passer d'évaluation du risque à l'échelle du champ à une évaluation à l'échelle du paysage est un des axes identifiés. Le développement de modèles écologiques pourrait permettre de prédire l'importance d'un effet à l'échelle d'une population, d'un écosystème, d'un territoire... Par ailleurs, l'utilisation en routine de modèles de toxico-cinétiques/toxico-dynamiques (TD/TK) pourrait permettre de mieux prendre en compte les effets toxiques au cours du temps sur les organismes non cibles. Afin d'illustrer l'intérêt et la complémentarité de ces nouvelles approches pour l'évaluation réglementaire des risques des PPP, cet exposé se focalisera sur le devenir et le comportement des substances dans les milieux aquatiques et l'écotoxicité vis-à-vis des organismes aquatiques. En outre, il sera présenté l'intérêt et les développements nécessaires pour mieux prendre en compte les mesures de réductions de l'exposition dans l'évaluation des risques.

Mots clés

Pesticides, Réglementation, Evaluation de risque, Environnement, Ecotoxicologie, Perspectives

Références

Boivin P. and Poulsen V. 2017. Environmental risk assessment of pesticides: state of the art and prospective improvement from science. Environ Sci Pollut Res (2017) 24: 6889. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8289>

Vanessa MAZEROLLES *(1),

(1) ANSES, 14 rue Pierre et Marie -
94701 Maisons-Alfort Cedex

Contact e-mail :
vanessa.mazerolles@anses.fr

VERS UN ENSEMBLE COORDONNE DE DISPOSITIFS DE RECHERCHE AU SERVICE DE L'ECOTOXICOLOGIE

Les recherches en écotoxicologie bénéficient aujourd'hui d'un ensemble coordonné de dispositifs pour l'animation scientifique et la valorisation, l'observation, l'expérimentation et la modélisation.

Le réseau d'écotoxicologie terrestre et aquatique, ECOTOX (<https://www6.inra.fr/ecotox>) contribue 1) à la réflexion scientifique, à la programmation et à l'animation de la recherche en écotoxicologie en France, 2) à l'initiation de partenariats et de projets de recherche, 3) à la valorisation et à la dissémination des résultats de la recherche (dont un référentiel de terminologie partagé), et 4) à l'accroissement de la visibilité de l'écotoxicologie et de ses acteurs. Il interagit également avec d'autres acteurs au plan national (Fondation Rovaltain, GDR d'écotoxicologie aquatique, initiative RECOTOX...). RECOTOX (<https://www.recotox.eu>) est une initiative de recherche inter-organismes en écotoxicologie/toxicologie qui a pour objectifs 1) de promouvoir une recherche transversale et intégrée pour répondre aux challenges scientifiques visant à comprendre et anticiper les impacts environnementaux et sanitaires des pesticides, 2) d'analyser la chaîne "pressions-expositions-impacts" en coordonnant et en intégrant l'observation et l'expérimentation in natura, et 3) de partager au sein de ses sites et partenaires une culture commune autour de l'écotoxicologie. RECOTOX s'appuie sur les compétences, activités et moyens spécifiques de sites instrumentés en France métropolitaine et aux Antilles, représentatifs de différents contextes agro-pédo-climatiques. L'initiative porte une ambition thématique transversale aux Infrastructures de Recherche existantes qui ciblent les écosystèmes ou des approches systèmes environnement-société.

Parmi ces infrastructures de recherche, Analyse et Expérimentation sur les écosystèmes (AnaEE-France, <https://www.anaee-france.fr/>) offre aux écotoxicologues des plateformes expérimentales (en milieu contrôlé ou semi-naturel), des plateformes d'analyses comme Biochem-Env (<https://www.biochemenv.fr/>) pour la biochimie environnementale, des plateformes de génomique environnementale... de l'instrumentation partagée, et des plateformes de modélisation.

D'autres dispositifs seront décrits lors de la présentation, ainsi que les interactions au sein de cet ensemble.

Mots clés : Contaminants, pesticides, biodiversité, pratiques culturales, écosystèmes, sites, approches multi-échelles, plateformes, évaluation du risque a posteriori, thésaurus, veille

Remerciements

L'INRA et Irstea, l'alliance AllEnvi et le CNRS-INSU, l'ANR et le PIA, le GIS IBISA sont remerciés pour leur soutien.

Références

- Mougin C., Bouchez A., Denaix L., Laurent F., Martin-Laurent F. 2016. ECOTOX, the INRA's network of ecotoxicologists. A major structure involved for the coordination and structuring of the French research in ecotoxicology. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23:2969-2973. DOI: 10.1007/s11356-015-5948-7
- Mougin C., Gouy V., Bretagnolle V., Berthou J., Andrieux P., Ansart P., Benoit M., Coeurdassier M., Comte I., Dagès C., Denaix L., Doussot S., Ducreux L., Gaba S., Gilbert D., Imfeld G., Liger L., Molénat J., Payraudeau S., Samouelian A., Schott C., Tallec G., Vivien E., Voltz M. 2018. RECOTOX, a French initiative in ecotoxicology-toxicology to monitor, understand and mitigate the eco-toxicological impacts of pollutants in socio-agro-ecosystems. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25(34):33882–33894. DOI: 10.1007/s11356-018-2716-5
- Mougin C., Azam D., Caquet T., Cheviron N., Dequiedt S., Le Galliard J.F., Guillaume O., Houot S., Lacroix G., Lafolie F., Maron P.A., Michniewicz R., Pichot C., Ranjard L., Roy J., Zeller B., Clobert J., Chanzy A. 2015. A coordinated set of ecosystem research platforms open to international research in ecotoxicology, AnaEE-France. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22(20):16215-16228. DOI: 10.1007/s11356-015-5233-9
- Cheviron N., Grondin V., Mougin C. 2018. Biochem-Env: a platform of biochemistry for research in environmental and agricultural sciences. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25(7):6154-6157. DOI: 10.1007/s11356-017-8973-x

Christian MOUGIN* et coll.

INRA, UMR ECOSYS, Pôle
Ecotoxicologie, Route de St-Cyr, 78026
VERSAILLES

Contact e-mail :
christian.mougin@inra.fr



LYON



2019

Avec la participation de :



APPROCHE ÉCOSYSTEMIQUE MULTI-ÉCHELLE ET SCIENCE OUVERTE AU SERVICE DE L'ÉCOTOXICOLOGIE

Marie SIMONIN (1) (2)

(1) Duke University, Durham, NC, USA

(2) IRD, IPME, Montpellier

Contact e-mail : marie.simonin@ird.fr

Dans cette présentation, je démontrerai l'intérêt d'effectuer l'évaluation des risques de contaminants émergents par des approche « top-down », partant d'expérimentations en conditions réalistes et complexes (i.e terrain, mésocosmes) suivi ensuite d'expérimentations en laboratoire en conditions plus simplifiées et contrôlées. En particulier, des expérimentations en mésocosmes permettent d'évaluer la réponse de dizaines d'espèces simultanément tout en considérant leurs interactions biotiques complexes et des effets directs et indirects en cascades à travers les chaînes alimentaires. A partir de quelques exemples concernant les nanomatériaux métalliques, j'illustrerais ces approches multi-échelles « top-down » et leurs bénéfices pour l'évaluation des risques.

Un autre courant important dans la recherche actuelle concerne la science ouverte. Il se traduit par le partage des données scientifiques sur des bases de données ouvertes au niveau des instances européennes ou académiques ou via l'exigence de certains journaux de mettre en libre accès les données brutes de l'étude pour la transparence de la recherche et la possibilité future d'effectuer des méta-analyses. C'est particulièrement vrai pour toutes les données « Omics » où la majorité des données publiées sont déposées sur des plateformes comme NCBI, ENA ou MG-RAST. L'ensemble de ces données « Omics » financées à grands frais durant les 10 dernières années sont une potentielle mine d'or inexploitée pour réaliser des méta-analyses à l'échelle mondiale et déterminer les effets de contaminants sur la biodiversité (microbiome, eDNA) ou sur la physiologie des organismes (transcriptome). J'illustrerai le potentiel de la science ouverte à travers le Microbiome Stress Project, un projet collaboratif pluridisciplinaire qui construit une base de données de l'ensemble des études publiées sur les effets de perturbations (contaminants, climats, pathogènes...) sur les microbiomes environnementaux ou associés à des hôtes (Rocca et al. 2019). Cette base de données sera ensuite en libre accès pour réaliser des méta-analyses sur la réponse des communautés ou espèces microbiennes à des stressseurs spécifiques ou dans des environnements précis (e.g. aquatiques, terrestres, animaux, plantes). Je présenterai les résultats d'une première méta-analyse du Microbiome Stress Project et le potentiel de telles approches pour l'écotoxicologie.

Mots clés

Multistress, Mésocosmes, Expositions chroniques et réalistes, Base de données, Microbiome, Méta-analyse

Remerciements

Je tiens à remercier Emily Bernhardt, Jennifer Rocca, les chercheurs du projet CEINT et du Microbiome Stress Project. Financement CEINT (US-EPA, NSF).

Références

Rocca JD, Simonin M, Blaszcak JR, Ernakovich JG, Gibbons SM, Midani FS, Washburne AD (2019). The Microbiome Stress Project: towards a global meta-analysis of environmental stressors and their effects on microbial communities. *Frontiers in Microbiology*, 9:3272

PROTEOME MODULATION AS AN EARLY MARKER OF γ -IRRADIATION EFFECT ON CAENORHABDITIS ELEGANS EGG HATCHABILITY?

Non-human species exposure to ionizing radiations (IR) is a major environmental problematic as ecosystems are chronically exposed to natural IR and to radionuclides released in Environment following anthropogenic activities and nuclear accidents, e.g. Chernobyl, Fukushima. However underlying radiotoxicity mechanisms are still unclear, for instance the radiosensitivity of species covers 5 orders of magnitude [1] and the effects are different depending on the exposure modes [2], i.e. chronic or acute; and chronic exposure suffers from a lack of knowledge [3]. To better understand the ecotoxic effects of IR, elucidate these differences and improve chronic risk assessment, subcellular level studies, allowing the identification of earlier and more sensitive markers, need to be performed. Thus, modulation of protein expression and damage (i.e. oxidation via carbonylation assessment) were assessed after acute and chronic exposure of *C. elegans*.

C. elegans were exposed to different acute and chronic doses of γ rays (Cs-137) from 0 to 200Gy. Then, reproduction was monitored (number of offspring, rate of hatchability) and samples prepared for protein damage assessment and a global proteome label free LC-MS/MS analysis.

As results, a significant decrease of offspring number was observed after chronic and acute exposure from 2.5Gy and 30Gy, respectively, whereas a decreased rate of hatchability was only observed after acute irradiation from 30Gy. At molecular level, protein carbonylation appears to be differently regulated depending on the mode of irradiation, i.e. increased and decreased in acute and not modulated in chronic. Finally, the analysis of protein expression has demonstrated i) the modulation of proteins involved in regulatory biological processes such as lipid transport, DNA replication, aging, apoptosis, ion transport, cuticle development, and germ cell development at lower doses than those for which individual effects on reproduction have been previously observed, and ii) 12 common proteins between acute and chronic, oppositely regulated after irradiation.

These results highlight that protein carbonylation is not a relevant marker for chronic exposure, that protein expression modulation could be an early marker of effect, especially on reproduction decline, relevant to assess radiation-induced toxicity molecular mechanisms. In addition, these results underline the limitation of data extrapolation from acute to chronic exposure for environmental risk assessment.

These results highlight that protein carbonylation is not a relevant marker for chronic exposure, that protein expression modulation could be an early marker of effect, especially on reproduction decline, relevant to assess radiation-induced toxicity molecular mechanisms. In addition, these results underline the limitation of data extrapolation from acute to chronic exposure for environmental risk assessment.

Mots clés : proteome modulation, *Caenorhabditis elegans*, gamma irradiation, chronic and acute exposure.

Remerciements

Authors want to thanks Needs Environment consortium for the PROBIORICA project support. Proteomics analysis was supported by the Institut Paoli-Calmettes and the Centre de Recherche en Cancérologie de Marseille. Proteomic analyses were done using the mass spectrometry facility of Marseille Proteomics (marseille-proteomique.univ-amu.fr) supported by IBISA (Infrastructures Biologie Santé et Agronomie), Plateforme Technologique Aix-Marseille, the Cancéropôle PACA, the Provence-Alpes-Côte d'Azur Région, the Institut Paoli-Calmettes and the Centre de Recherche en Cancérologie de Marseille.

Références

- [1] Garnier-Laplace, J., Geras'kin, S.b, Della-Vedova, C.c, Beaugelin-Seiller, K.a, Hinton, T.G.a, Real, A.d, Oudalova, A.b, 2013, Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposures? A case study of Chernobyl wildlife chronically exposed to low dose rates *Journal of Environmental Radioactivity* Vol. 121, Pages 12-21
- [2] Pereira, S., Bourrachot, S., Cavalie, I., Plaire, D., Dutilleul, M., Gilbin, R., Adam-Guillermin, C., 2011. Genotoxicity of acute and chronic gamma-irradiation on zebrafish cells and consequences for embryo development. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30, 2831-2837.
- [3] R. Clarke, F. Fry, J. Stather, et G. Webb, 1993, « 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection », *Doc. NRPB*, vol. 4, no 1, p. 1-5.

Cécile DUBOIS (1), Luc CAMOIN (2), Matthieu POPHILLAT (2), Stéphane AUDEBERT (2), Catherine LECOMTE (1), Simon GALAS (3), Sandrine FRELON (1)

(1) IRSN/PSE-ENV/SRTE - Laboratoire d'écotoxicologie des radionucléides - BP3 - 13115 St Paul lez Durance Cedex

(2) Centre de recherche en cancérologie de Marseille-27 bd Leï Roure, BP 30059 13273 Marseille cedex 9

(3) IBMM, University of Montpellier, CNRS, ENSCM, Montpellier

Contact e-mail :

sandrine.frelon@irsn.fr

RÉSEAUX DE CO-EXPRESSION POUR L'ANALYSE DE DONNÉES DE PROTÉOMIQUE POUR LA COMPRÉHENSION DES MÉCANISMES D'ACTION DE CONTAMINANTS CHEZ UNE ESPÈCE NON-MODÈLE, *GAMMARUS FOSSARUM*

En écotoxicologie, les approches omiques permettent d'informer sur les mécanismes d'actions des contaminants chez des espèces de pertinence environnementale, sur les déterminismes moléculaires de la sensibilité des populations naturelles ou encore de pouvoir identifier des biomarqueurs d'effet ou d'exposition utilisables en biosurveillance. Les approches de réseaux de co-expression offrent un excellent cadre méthodologique pour étudier la richesse du contenu des jeux de données omiques. Dans le cadre de notre étude, nos objectifs ont été i) d'adapter une méthode de construction de réseaux de co-expression classiquement utilisée pour l'interprétation de données de puces à ADN (package R Weighed Gene Co-expression Network Analysis : WGCNA) (Langerfelder et Horvath, 2008) à des données de protéomique shotgun, ii) d'identifier les modules de protéines co-exprimées dans un contexte d'exposition au laboratoire de l'espèce de crustacé sentinelle *Gammarus fossarum* à des substances chimiques modèles connues pour leur reprotoxicité potentielle chez les arthropodes et induisant une réduction de la production de spermatozoïdes chez le gammare, iii) d'établir des corrélations entre les modules et l'exposition aux contaminants testés, iv) d'émettre des nouvelles hypothèses concernant les mécanismes d'action des contaminants testés.

L'analyse a été effectuée sur un jeu de données de protéomique shotgun (Trapp *et al.*, 2015), constitué de 40 échantillons préparés à partir des testicules de gammares exposés à deux concentrations de cadmium (Cd), de pyriproxifène et de méthoxyfénoside. Une analyse de réseaux de co-expression basée sur le package R WGCNA a été ensuite réalisée.

Six modules de protéines co-exprimées ont été mis en évidence. Parmi ces derniers, trois modules distincts ont été identifiés comme significativement corrélés à chaque contaminant. L'analyse d'enrichissement a permis d'identifier pour chaque module associé aux trois substances des protéines impliquées dans des processus biologiques spécifiques, suggérant ainsi différents mécanismes d'action sous-jacents à l'infertilité induite par l'exposition à ces trois substances.

Cette analyse a montré que les réseaux de co-expression sont des outils performants et adaptés pour exploiter les données issues de la protéomique shotgun chez *Gammarus fossarum*, et ce même en l'absence d'un génome annoté. Ces approches aident à mettre en lumière les mécanismes d'actions des contaminants et identifier des acteurs moléculaires nécessitant des analyses fonctionnelles approfondies.

Mots clés : *Gammarus fossarum*, ecotoxicology, system biology, co-expression network analysis, proteomics.

Remerciements

Cette étude a été financée par l'initiative Institut Carnot "Risque" (Projet Vulneromix) et le programme ANR « ProteoGam » (ANR-14-CE21-0006-02).

Références

- Langfelder P. et Horvath S. 2008. « WGCNA: an R package for weighted correlation network analysis ». BMC Bioinformatics 9, no: 559.
- Trapp J., Armengaud J., Pible O., Gaillard J.-C., Abbaci K., Habtoul Y., Chaumot A., et Geffard O. 2015. « Proteomic Investigation of Male *Gammarus Fossarum*, a Freshwater Crustacean, in Response to Endocrine Disruptors ». Journal of Proteome Research 14, no 1: 292-303.

Natacha KOENIG (1), Christine ALMUNIA (2), Arnaud CHAUMOT (1), Jean ARMENGAUD (2), Olivier GEFFARD (1), Davide DEGLI ESPOSTI (1)

(1) IRSTEA, UR RIVERLY, Ecotoxicology Group, 5 rue de la Doua, CS 20244, F-69625, VILLEURBANNE Cedex, France

(2) CEA-MARCOULE, DRF/Joliot/DTMS/SPI/Li2D, Laboratory "Innovative technologies for Detection and Diagnostics", BP 17171, F-30200, BAGNOLS-SUR-CEZE, France

Contact e-mail :
davide.degli-esposti@irstea.fr

LES DONNEES OMIQUES DE TYPE DOSE-REPONSE DANS LE CADRE DE L'APPRECIATION DU RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Les données omiques sont de plus en plus utilisées en écotoxicologie dans le cadre de l'appréciation quantitative du risque environnemental lié à la contamination chimique des milieux. De nombreux outils d'analyse de ce type de données ont été proposés ces dernières années, mais la plupart sont adaptées à une analyse différentielle des données omiques : comparaison de deux ou plusieurs conditions. Leur utilisation pour analyser des données de type dose-réponse est délicate voire peu adaptée. Notre objectif dans la construction du package DRomics et de l'application shiny associée (Larras et al., 2018), est de fournir aux écotoxicologues un outil adapté à l'analyse de données omiques en grande dimension de type dose-réponse. Nous nous sommes en particulier attachés à proposer un outil performant sur des schémas expérimentaux recommandés en dose-réponse, c'est-à-dire privilégiant le nombre de doses/concentrations testées plutôt que le nombre de réplicats par dose. Cet outil opérationnel dans sa version actuelle sur des données transcriptomiques de type micro-array, procède 1) à la normalisation des données, 2) à la sélection des réponses significatives, qu'elles soient monotones ou biphasiques, 3) à la modélisation des courbes dose-réponse sélectionnées et au calcul d'un seuil de sensibilité de type "benchmark dose" pour chacune d'entre elles. L'outil a été optimisé sur la base d'un jeu de données transcriptomiques de type micro-array obtenu sur l'espèce d'algue verte *Scenedesmus vacuolatus* exposée 14h à 5 concentrations de triclosan en plus du contrôle. Dans ce jeu de données comportant 61535 probes correspondant à 21495 contigs différents, la présence de plusieurs probes par contig pour certains contigs a permis de caractériser la répétabilité des sorties principales de DRomics que sont notamment la forme de la réponse (courbe croissante, décroissante, biphasique en U ou en cloche) et la "benchmark dose". En outre, nous illustrerons, sur ce jeu de données, l'utilisation que l'on peut faire de ces sorties en lien avec l'annotation fonctionnelle des gènes associés aux contigs sélectionnés, dans le but d'identifier les voies métaboliques associées, leur sensibilité, et la forme des courbes dose-réponse correspondantes. DRomics est disponible en tant qu'application en ligne (<https://lbbe.univ-lyon1.fr/-DRomics-.html>) avec un package R, mais est encore en développement, notamment pour y intégrer des fonctions facilitant l'interprétation des résultats en lien avec l'annotation fonctionnelle, et adapter les différentes phases de traitement aux données issues de l'analyse du métabolome ou encore du séquençage d'ARN. Nous sommes ouvertes à toute collaboration pour vous initier à l'utilisation de cet outil, le mettre à l'épreuve et l'optimiser.

Mots clés : Omics data, dose-response design, environmental risk assessment, benchmark dose

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Programme national EC2CO-Ecodyn/MicrobiEn (DROMADERE)

Références

Larras, F., Billoir, E., Baillard, V., Siberchicot, A., Scholz, S., Wubet, T., Tarkka, M., Schmitt-Jansen, M. & Delignette-Muller, M. L. (2018). DRomics: A Turnkey Tool to Support the Use of the Dose-Response Framework for Omics Data in Ecological Risk Assessment. *Environmental science & technology*, 52(24), 14461-14468.

Marie Laure DELIGNETTE-MULLER*(1), Floriane LARRAS (2), Elise BILLOIR (3), Aurélie SIBERCHICOT (1), Mechthild SCHMITT-JANSEN (2)

(1) LBBE, CNRS, Université de Lyon, VetAgro Sup, 69622 VILLEURBANNE

(2) Helmholtz-Centre for Environmental Research UFZ, 04318 LEIPZIG, Germany

(3) LIEC, CNRS, Université de Lorraine, 57580 METZ

Contact e-mail :

marielaure.delignettemuller@vetagro-sup.fr

PRISE EN COMPTE DE LA BIOTRANSFORMATION DANS UN MODELE TOXICOCINETIQUE GENERIQUE APPLIQUE AUX INVERTEBRES AQUATIQUES.

Les modèles toxicocinétiques (TK) décrivent le processus de bioaccumulation comme un équilibre entre l'absorption de contaminants provenant de différentes sources (voie dissoute et/ou trophique) et leur élimination (excrétion, croissance et/ou biotransformation) ^[1]. Les paramètres des modèles TK sont généralement estimés en ajustant le modèle à des données expérimentales obtenues en laboratoire par une approche fréquentiste en deux étapes. Cette méthode nécessite la plupart du temps de fixer certains paramètres lorsque tous ne peuvent pas être estimés simultanément, induisant un biais puisque ces paramètres sont corrélés (e.g. taux d'accumulation et taux d'élimination). De plus, avec cette approche il n'est pas possible de prendre en compte simultanément des données de nature différente (e.g. données de

bioaccumulation et de croissance). Dans ce contexte, l'incertitude sur les paramètres du modèle, et donc sur les prédictions du modèle, ne peut pas être correctement estimée. L'inférence Bayésienne permet de pallier le problème d'estimation simultanée de tous les paramètres d'un modèle à partir de données de nature différente et de fournir une estimation des incertitudes à travers la distribution jointe *a posteriori* de tous les paramètres (incluant donc leur corrélation).

Enfin, le processus de biotransformation est généralement négligé dans ces modèles, en postulant que les invertébrés ont une faible capacité à métaboliser les contaminants organiques. Cependant certaines espèces telles que l'amphipode *Gammarus pulex* sont capables de métaboliser une vaste gamme de contaminants organiques ^[2], d'autant plus que leurs métabolites sont susceptibles d'avoir des effets toxiques.

L'objectif de cette étude est d'inclure le processus de biotransformation dans un modèle TK générique appliqué aux invertébrés aquatiques dans un cadre Bayésien. Nous avons adapté une des méthodes décrites dans la littérature ^[3] pour estimer simultanément tous les paramètres du modèle (dont le taux de biotransformation) par inférence bayésienne (logiciels R et JAGS), à partir des données d'absorption et d'élimination des composés parents et des métabolites. Nous illustrons cette approche en ajustant le modèle générique (i) à des données disponibles dans la littérature chez plusieurs espèces d'invertébrés exposées à différents contaminants, (ii) à des données TK d'une expérience réalisée dans notre laboratoire où le pyrène et son métabolite le 1-OH-pyrène ont été dosés chez *Gammarus fossarum*.

Mots clés : Invertébrés ; Biotransformation ; Inférence Bayésienne ; Modèle toxicocinétique ; Bioaccumulation ; Composés organiques ; Pyrène.

Remerciements

Agence Française pour la biodiversité (AFB).

Références

- [1] Mackay, D. and Fraser, A. 2000. Bioaccumulation of persistent organic chemicals: Mechanisms and models. *Environmental Pollution*. 110:375-391.
- [2] Ashauer, R., A. Hintermeister, I. O'Connor, M. Elumelu, J. Hollender and B.I. Escher. 2012. Significance of xenobiotic metabolism for bioaccumulation kinetics of organic chemicals in *Gammarus Pulex*. *Environ Sci Technol*. 46:3498-3508.
- [3] Kuo, D.T.F. and C.C. Chen. 2016. Deriving in vivo biotransformation rate constants and metabolite parent concentration factor/stable metabolite factor from bioaccumulation and bioconcentration experiments: An illustration with worm accumulation data. *Environ Toxicol Chem*. 35:2903-2909.

Aude RATIER*(1),
Christelle LOPES (2),
Hélène BUDZINSKI (3),
Karyn LE MENACH (3),
Pierre LABADIE (3),
Olivier GEFFARD (1),
Marc BABUT (1)

(1) Irstea, UR RiverLy, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 Rue de la Doua, CS20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

(2) Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France

(3) Université de Bordeaux, Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux (EPOC), UMR 5805 CNRS, Equipe LPTC, 351 cours de la Libération, 33405 Talence, France.

*Contact e-mail : aude.ratier@irstea.fr

EXTRAPOLATION DES EFFETS INDIVIDUELS AU NIVEAU POPULATIONNEL : ETUDE TRANSGENERATIONNELLE ET MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION CHEZ L'AMPHIPODE MODELE *GAMMARUS FOSSARUM*.

Pauline CRIBIU*(1,2), Alain DEVAUX
(1), Olivier GEFFARD(2), Sylvie
BONY(1), Arnaud CHAUMOT(2)

(1) ENTPE, UMR 5023 LEHNA, Rue
Maurice Audin, F- 69518 Vaulx-en-Velin
Cedex

(2) IRSTEA, UR RIVERLY, 5 rue de la Doua,
69625 Villeurbanne Cedex
Contact e-mail : pauline.cribiu@entpe.fr

Pour aborder le verrou des effets à long terme dans l'évaluation des conséquences populationnelles des effets toxiques des contaminations environnementales [1], les effets transgénérationnels d'une exposition parentale au cadmium ont été explorés chez l'amphipode modèle *Gammarus fossarum*. Le choix s'est porté sur cet organisme car son aire de répartition est assez large en Europe et il occupe une place centrale dans la chaîne trophique des hydrosystèmes d'eau douce. De plus, la bonne connaissance de sa biologie et en particulier de son développement et de sa reproduction, la possibilité de mesurer différents biomarqueurs moléculaires et de suivre plusieurs traits d'histoire de vie chez cette espèce constituent de véritables avantages à son utilisation en écotoxicologie.

Dans le cadre d'une expérimentation de 18 mois, l'exposition à des concentrations environnementales en cadmium (0.3 et 3 µg/L) de géniteurs (F0) pendant un unique cycle de reproduction de 3 semaines a induit des modifications significatives de la fitness des générations successives produites et élevées en condition non contaminée. Une diminution du succès reproductif des femelles F1 issues de l'exposition parentale à 3 µg/L de cadmium a été observée. Les descendants F2 issus de cette même condition d'exposition ont ensuite présenté une puberté précoce, *i.e.* avancée d'un mois et demi par rapport aux témoins qui deviennent adultes à l'âge de 5 mois. Chez ces mêmes individus F2, une diminution significative des quantités des réserves vitellines dans les ovocytes produits par les femelles a été montrée. Ces deux résultats montrent que la courte exposition des géniteurs F0 a généré des changements d'allocation d'énergie importants dans les générations successives non exposées. Les juvéniles F2 issus des organismes F0 exposés investissent plus rapidement dans l'établissement de la maturité sexuelle, puis moins d'énergie est investie ou disponible pour la reproduction. Ces modifications d'investissement énergétique dans les processus reproductifs conduisent même à des taux de croissance significativement plus faibles chez les organismes juvéniles produits en F3.

Cette étude souligne l'intérêt et la nécessité d'une évaluation des effets différés des expositions aux contaminants afin de mieux évaluer les risques encourus par la population. Pour autant, elle n'offre qu'une compréhension qualitative du danger encouru. Afin de quantifier l'impact sur la population et d'identifier les effets individuels les plus néfastes pour le fonctionnement de cette dernière, nous proposons de développer un modèle matriciel de la dynamique de la population suivie au laboratoire (de type Leslie [2]) pour chaque génération de descendants (F1, F2 et F3). Les taux d'accroissement de la population et l'influence des différents effets sur la démographie pour chaque génération peuvent alors être comparés en termes de gravité des impacts.

Mots clés : *Gammarus fossarum*, transgénérationnel, changement d'échelle, modèle de dynamique de population, cadmium

Remerciements

Laura Garnerio, Nicolas Delorme, Hervé Quéau, Khédidja Abbaci, membres de l'équipe ECOTOX de l'UR RiverLy ainsi que Thérèse Bastide du LEHNA-IPE qui m'ont aidée à mener cette expérimentation.

Références

- [1] Forbes V.E., Calow P., Sibly R.M. 2008. The extrapolation problem and how population modeling can help. *Environmental Toxicology & Chemistry* 27:1987-1994.
- [2] Coulaud R., Geffard O., Coquillat A., Quéau H., Charles S., Chaumot A. 2014. Ecological modeling for the extrapolation of ecotoxicological effects measured during in situ assays in *Gammarus*. *Environmental Science & Technology* 48:6428-6436.

ANALYSE DES EXPERIENCES EN MESOCOSME BASEE SUR LA MODELISATION

Viviane DAVID, Rémy BEAUDOUIN

UMR-I 02 SEBIO, Unité des Modèles
pour l'Ecotoxicologie et la Toxicologie
(METO), INERIS, Verneuil en Halatte,
France

Contact e-mail :
remy.beaudouin@ineris.fr

En écotoxicologie, la compréhension des effets directs et indirects des contaminants à des niveaux d'organisations biologiques tels que les populations et les écosystèmes

est d'un enjeu important pour l'évaluation des risques environnementaux. Les écosystèmes expérimentaux (mésocosmes) offrent la possibilité d'accéder à un certain réalisme écologique pour étudier les effets des substances chimiques à différentes échelles (individu, population, communauté, écosystème) tout en permettant de contrôler un certain nombre de paramètres. Cependant, le faible nombre de réplicats, cumulé à la variabilité inhérente à ce type d'étude induit une faible puissance statistique de l'analyse des données produites.

Néanmoins, nous pouvons accroître les connaissances utilisées pour prédire le plus précisément possible les distributions des observations en l'absence de contamination en utilisant un modèle mathématique de dynamique de population (Beaudouin et al. 2008b, Beaudouin et al. 2012b). Ainsi, une bonne connaissance du fonctionnement sans perturbation de l'écosystème permettra d'en déceler les perturbations avec une plus grande acuité. Dans ce contexte, des modèles individu-centrés (IBM) couplés à des modèles bioénergétiques comme le modèle DEB (*Dynamic Energy Budget*) sont des outils prometteurs pour aider à l'analyse des résultats d'expériences en rivières artificielles et permettre une meilleure compréhension des effets d'un stress chimique sur la dynamique de population dans ces mésocosmes.

L'objectif de ce travail était donc de développer un DEB-IBM pour prédire la dynamique de population de l'épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*) en rivières artificielles (mésocosmes) en condition normale et de montrer la plus-value d'une analyse basée sur ce modèle mathématique. Pour cela, nous avons constitué des jeux de données simulés reproduisant des expériences en mésocosme qui ont été analysées d'une part avec une analyse statistique classique et d'autre part en estimant les distributions de probabilité des variables des populations. En se basant sur ces analyses, la plus faible concentration avec des effets observés (LOEC) a été identifiée pour les 1000 expériences en mésocosme simulées afin d'en estimer la distribution.

Globalement, la LOEC médiane évaluée à l'aide de la méthodologie basée sur la modélisation des populations témoins est inférieure à celle utilisant la méthodologie statistique classique. De plus, dans 26% des expériences simulées, la méthodologie classique nous aurait conduit à conclure qu'il n'y avait pas d'effet de la substance toxique alors qu'il y en a un, contre seulement 4,8% avec la méthodologie basée la modélisation, montrant que notre approche permet de réduire le taux de résultats faux négatifs.

Au bilan, nous avons montré que la modélisation de la dynamique de population améliore l'analyse statistique des données produites lors de tests en mésocosme. De plus, d'autres retombées positives sont générées par le développement d'un modèle sur un système biologique. Ainsi, la construction d'un modèle permet de suggérer de nouvelles expériences et d'organiser l'exploration des traits d'histoire de vie des poissons étudiés.

Mots clés

Modélisation individu-centré, modèle bioénergétique, épinoches à trois épines, mésocosme

APPROCHE DE MODELISATION HIERARCHIQUE POUR LA DESCRIPTION DE L'EFFET DE LA COMPETITION INTERSPECIFIQUE SUR LA TOLERANCE CHIMIQUE D'HERBACEES

Les organismes sont soumis dans l'environnement à de nombreuses interactions avec des individus d'espèces différentes ou de la même espèce. La compétition interspécifique est par exemple une interaction importante pour les herbacées au sein des bandes enherbées. La compétition est cependant rarement prise en compte en évaluation du risque environnemental dans ces aires végétalisées pourtant soumises à une exposition à de multiples contaminants, du fait de leur utilisation en tant que tampon contre le ruissellement en zone agricole. Pour évaluer ce point, nous avons testé si la compétition modifie la manière dont les plantes réagissent à une contamination en isoproturon (herbicide) dans une tentative de lier la tolérance individuelle des organismes et la dynamique des communautés.

Six espèces d'herbacées représentant diverses modalités d'aptitude compétitive et de résistance à l'isoproturon ont été utilisées. Elles ont été exposées pendant 25 jours à 6 concentrations d'isoproturon (de 0 à $1,75\mu\text{M}$) en présence et en absence d'un compétiteur, *Bromus erectus*, choisi pour sa haute résistance à l'isoproturon et sa haute compétitivité. Pour chaque condition, 8 réplicats ont été réalisés. Après l'exposition, 10 traits traduisant des réponses morphologiques, physiologiques et de biomasse ont été mesurés afin de caractériser l'état de santé des plantes. Le jeu de données ainsi obtenu a ensuite été utilisé pour modéliser la résistance des plantes vis-à-vis de l'exposition à l'isoproturon (relation concentration-réponse) en absence ou en présence de compétiteur.

Afin d'apporter une réponse générale quant à l'effet de la compétition, nous avons construit un modèle spécifique à chaque trait mais tentant de décrire globalement les données obtenues pour les 6 espèces et les deux modalités de compétition. Pour caractériser précisément le(s) effet(s) de la compétition, un possible impact sur les quatre paramètres de la courbe concentration-réponse sigmoïde (niveau de réponse aux concentrations très faibles (d), amplitude maximale de la réponse (Δd_c), concentration au point d'inflexion (= EC_{50} ; e) et paramètre de forme de la sigmoïde (b)) a été investigué pour chaque trait, et ces impacts ont été modélisés soit par un effet fixe (commun à toutes les espèces), soit par un effet aléatoire (variable entre espèces). Lors du processus de modélisation, nous avons observé 1) que certains traits seulement présentaient une réponse à la contamination et/ou à la compétition 2) qu'il était raisonnable de considérer que l'effet de la compétition, le cas échéant, était le même chez les différentes espèces testées pour les paramètres b et Δd_c , mais que cet effet était variable entre espèces pour les paramètres e et d . En terme d'interprétation biologique, un effet de la compétition sur le paramètre d traduit l'aptitude compétitive des espèces en absence de contaminant, et nos résultats ont montré que cette aptitude n'est pas la même d'une espèce à l'autre, conformément à nos hypothèses de départ. De même, un effet variable de la compétition sur le paramètre e montre que les effets de la compétition interspécifique sur la tolérance au stress des herbacées ne s'exprimeraient pas de la même manière en fonction des espèces.

Mots clés : Compétition interspécifique, Modèle hiérarchique, Herbicide, Bandes enherbées, Inférence bayésienne

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Programme national EC2CO-Ecodyn ECOLOGIE EXPERIMENTALE DE LA STRUCTURATION DES COMMUNAUTES VEGETALES SOUS CONTRAINTE DE STRESS CHIMIQUE et le Programme national EC2CO-Ecodyn/MicrobiEn DROMADERE.

Vincent BAILLARD*(1), Marie Laure DELIGNETTE-MULLER (2), Cécile SULMON (3), Anne-Kristel BITTEBIERE (4), Cendrine MONY (3), Simon DEVIN (1), Elise BILLOIR (1)

(1) LIEC, Rue du Général Delestraint
57580 Metz

(2) LBBE, Université de Lyon,
VetAgro Sup, 69622 Villeurbanne

(3) ECOBIO, Avenue du Général
Leclerc, 35042 Rennes

(4) LEHNA, Rue Raphaël Dubois,
69622 Villeurbanne

Contact e-mail :

vincent.baillard@univ-lorraine.fr

REPONSES DES ESPECES ENVAHISSANTES DU COMPLEXE VEGETAL FALLOPIA A LA POLLUTION URBAINE AUX ETM : TOLERANCE ET FITNESS

Texte Les activités humaines sont responsables de l'émission croissante de nombreux polluants dans l'atmosphère qui se déposent et s'accumulent dans les sols. Parmi ceux-ci, les éléments traces métalliques (ETM) sont non-biodégradables et toxiques pour un grand nombre d'organismes (Yadav, 2010). Pourtant, ils sont très bien tolérés par certains organismes végétaux et microbiens dont les performances ne sont pas affectées par la présence de ces éléments. La tolérance chez les végétaux pourrait en partie reposer sur l'association de la plante avec des endophytes fongiques racinaires tels que les DSE (Dark Septate Endophytes), reconnus pour leur rôle potentiel dans le développement et la résistance de nombreuses plantes aux ETM. Pour autant, ce rôle est mal caractérisé et beaucoup d'études se sont focalisées sur une espèce de DSE en particulier (Grünig et al., 2008). Afin de comprendre la tolérance et les réponses de performances de ces organismes aux ETM, le complexe d'espèces envahissantes Fallopia a été choisi pour sa capacité à se propager très efficacement en zone urbaine, à tolérer des sols contaminés aux ETM et à former des associations symbiotiques avec des endophytes non-mycorhiziens (Gucwa-Przepióra et al., 2016; Binet données personnelles). Une première étude en mésocosmes et conditions contrôlées nous a permis de démontrer que 1) *F. japonica* et *F. x bohemica* cultivés en sol contaminé par un cocktail d'ETM (Cd, Cr, Pb et Zn) accumulent ces éléments dans les parties aériennes et souterraines à l'exception du plomb (Pb) et que 2) les traits de performances liés à la propagation végétative ne sont que très peu affectés par la présence des ETM mais la concentration de torosachryson, métabolite secondaire racinaire de Fallopia, est particulièrement augmentée en condition de pollution métallique (Michalet et al., 2017). Dans une seconde étude, nous avons caractérisé les effets individuels des ETM sur les traits de performances de *F. x bohemica* incluant les traits liés à la propagation végétative de cette espèce et les traits chimiques (métabolites secondaires). Les résultats confirment une forte tolérance de Fallopia aux différents ETM étudiés voire une stimulation des traits de croissance. De plus, chaque ETM induit une réponse spécifique des métabolites secondaires racinaires. Actuellement, nous quantifions et identifions les communautés fongiques associées aux racines des espèces de Fallopia afin de déterminer leurs rôles dans la tolérance de ce complexe végétal hautement performant à la pollution métallique du sol.

Mots clés : Fallopia spp., plante envahissante, Eléments Traces Métalliques, traits de performances, métabolites secondaires,

Remerciements

Ces études ont été soutenues par l'Initiative Structurante EC2CO et la FR3728 BioEnviS (Lyon1). Nous remercions également la plateforme "Serre et Chambre climatiques" (FR3728 BioEnviS, Lyon1) et Elise Lacroix pour son aide technique.

Références

- Nom Michalet, S., Rouifed, S., Pellassa-Simon, T., Fusade-Boyer, M., Meiffren, G., Nazaret, S., and Piola, F. 2017. Tolerance of Japanese knotweed s.l. to soil artificial polymetallic pollution: early metabolic responses and performance during vegetative multiplication. Environ. Sci. Pollut. Res. 24, 20897–20907.
- Grünig, C.R., Queloz, V., Sieber, T.N., and Holdenrieder, O. 2008. Dark septate endophytes (DSE) of the Phialocephala fortinii s.l.–Acephala applanata species complex in tree roots: classification, population biology, and ecology. Botany 86: 1355–1369.
- Gucwa-Przepióra E., Nadgórska-Socha A., Fojcik B. and Chmura D. 2016. Enzymatic activities and arbuscular mycorrhizal colonization of Plantago lanceolata and Plantago major in a soil root zone under heavy metal stress. Environ. Sci. Pollut. Res. 23, 2016, 4742–4755.
- Yadav, S.K. 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. South Afr. J. Bot. 76, 167–179.

Florence PIOLA*(1), Philippe BINET (2), Louise BARBERIS (1), Wilfried CHEVALIER (3), Sylvie NAZARET (3), Serge MICHALET (3)

(1) UMR 5023 LEHNA, Université Lyon1, 69622 VILLEURBANNE

(2) UMR 6249 LCE, Université de Bourgogne Franche-Comté, 25211 MONTBELIARD

(3) UMR 5557 LEM, Université Lyon1, 69622 VILLEURBANNE

Contact e-mail : florence.piola@univ-lyon1.fr

EFFET DE LA POLLUTION METALLIQUE SUR LA BIODIVERSITE DES SOLS: APPROCHE METABARCODING

Notre problématique porte sur la caractérisation des effets liés aux pollutions industrielles des sols sur la biodiversité édaphique. L'étude des communautés exposées à ces pollutions en conditions naturelles est le plus souvent abordée par des méthodes de dénombrement, de prélèvements et de détermination. Ces résultats permettent d'évaluer la dynamique des populations basées sur les adaptations locales de certaines espèces (démarche taxonomique classique sur la base d'un nombre limité de groupes-cibles : vers de terre, cloportes, collemboles, carabes). Ces méthodes d'observation peuvent être complétées par des méthodes d'analyses d'empreintes moléculaires (metabarcoding) que les organismes peuvent laisser in situ. Les travaux effectués au LECA démontrent que les sols contiennent assez d'ADN extracellulaire provenant de tissus décomposés (même dégradés et en petite quantité) pour permettre l'extraction, l'amplification, et le séquençage de cet ADN sur les séquenceurs de nouvelle génération (1). Avec cette approche, nous avons étudié les effets de pollutions complexes sur la biodiversité édaphique sur le site industriel de 'Metaleurop Nord', localisé dans l'ancien bassin minier aux alentours d'une ancienne fonderie de plomb (Lille, Nord/Pas-de-Calais). Ce site présente des sols fortement contaminés par les métaux suivant un gradient S-SO/N-N-E. Cette pollution (connue, répertoriée) (2) est issue d'une activité métallurgique s'échelonnant de 1890 à 2003 et correspond à un mélange de métaux, dont les principaux sont le Pb, le Zn et le Cd. L'âge, le type et le gradient de pollution déterminent une zone géographique idéale pour l'étude de l'impact de multi-pollutions sur la biodiversité.

Grâce à nos partenaires du LGCgE, nous avons pu déterminer trois gradients de pollution sous des couverts végétaux différents (peupleraie, frênaie, assemblage sauvage). Plusieurs groupes taxonomiques ont été analysés (eucaryotes, insectes, champignons, bactéries) (3). Les résultats montrent (i) que les communautés fongiques sont impactées par le type de couvert végétal, (ii) que le gradient de pollution structure les communautés eucaryotes et procaryotes indépendamment du type de couvert végétal et (iii) que nos résultats permettent d'identifier des effets seuils sur certains OTUs (operational taxonomic units).

Mots clés : metabarcoding, ecotoxicologie, multipollution métallique

Remerciements

Ce projet a été financé par la FRB (projet DNA-Worms) et la FRB-Nord-Pas de Calais (projet ResBioFunc).

Références

- ¹Taberlet et al., 2011, *Molecular Ecology*, 21, 1816-1820.
- ²Fritsch et al., 2011, *PLoS ONE* 6(5), e20682
- ³Riaz et al., 2011, *Nucleic Acids Research* 39(21), e145.

Muriel RAVETON*(1), Frédéric BOYER (1), Christian MIQUEL (1), Brice LOUVEL (2), Francis DOUAY (2) Pierre TABERLET (1), Stéphane REYNAUD (1)

(1) LECA UMR CNRS-UGA-USMB 5553, Université Grenoble Alpes, CS 40700, 38058 Grenoble cedex

(2) LGCgE-ISA Lille, Yncréa Hauts-de-France, Lille, France

Contact e-mail : muriel.raveton@univ-grenoble-alpes.fr

TRANSFERT ET ECOTOXICITE DES PRODUITS DE TRAITEMENT DU HETRE

Le bois de hêtre est actuellement sous-exploité dans la région lorraine, malgré son intérêt pour des utilisations en menuiseries et aménagements extérieurs. Afin de valoriser cette essence, notamment comme matériau de construction, et développer de nouveaux marchés, le Laboratoire d'Etude et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB) et le Centre Régional d'Innovation et de Transferts Technologiques des industries du bois (CRITT Bois) travaillent depuis plusieurs années sur le développement d'un traitement de ce bois par furfurylation (Sejati et al., 2017). Ce nouveau procédé de conservation du bois permet d'améliorer ses propriétés physiques, de diminuer sa sensibilité à la dégradation biologique et physique, en étant moins nocif pour l'environnement que les traitements habituellement utilisés. En effet, ces derniers doivent leur efficacité aux propriétés insecticides, fongicides et/ou biocides de mélanges imprégnés dans le bois, tels que le Tanalith® qui est constitué de cuivre et de biocides organiques (triazoles). La furfurylation du bois consiste en l'imprégnation d'alcool furfurylique dans le bois par catalyse acide, qui forme alors un polymère in situ avec les molécules de lignine et de cellulose.

Après plusieurs années d'études réalisées par le LERMAB et le CRITT Bois, le procédé de furfurylation est aujourd'hui mis au point sur le bois de hêtre. Il est maintenant nécessaire d'évaluer l'écotoxicité du matériau ainsi traité, car très peu d'études sur ce sujet ont été publiées (nous pouvons néanmoins citer les travaux de Pilgård et al. en 2010 mettant en évidence l'écotoxicité de lixiviats de bois furfurylé à l'aide du test Microtox®). Dans le cadre de ce programme de recherche, des tests d'écotoxicité sur daphnies (*Daphnia magna*), rotifères (*Brachionus calyciflorus*) et algues vertes unicellulaires (*Pseudokirchneriella subcapitata*) sont réalisés au Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC) avec des échantillons obtenus selon deux méthodologies différentes :

Dans un premier temps, les tests sur organismes aquatiques ont été réalisés à partir de lixiviats issus de bois de hêtre non traité, furfurylé ou imprégné avec du Tanalith®. Ceux-ci montrent une faible écotoxicité du bois après un traitement par furfurylation en comparaison avec le traitement de référence, mais tout de même un peu plus élevée que celle du témoin sans traitement.

Des essais ont ensuite été conduits en conditions extérieures afin de s'approcher au plus près de l'environnement dans lequel sera utilisé le hêtre furfurylé dans le domaine de la construction. Pour cela, des lysimètres ont été mis en place avec les différents bois traités ou non, placés dans trois sols représentatifs de la région lorraine (un sol des plateaux calcaires, un sol des plaines argilo-marneuses et un sol sur roche siliceuse du massif vosgien).

Ces tests permettront de rendre compte de l'interaction des sous-produits du bois avec le sol, du transfert éventuel vers les ressources en eau, ainsi que de leur écotoxicité engendrée sur le milieu aquatique dans des conditions réelles d'utilisation. Les résultats de cette expérimentation originale n'ayant jamais fait l'objet de publications seront présentés en détail.

Mots clés : traitement du bois, alcool furfurylique, hêtre, écotoxicité, lysimètres, daphnies, rotifères, algues

Remerciements : Les auteurs remercient l'Institut Carnot, ICEEL, pour le financement de ces travaux pour 2018-2019.

Références :

- Pilgård A., Treu A., Van Zeeland A.NT., Gosselink R.J.A., Westin M. 2010. Toxic hazard and chemical analysis of leachates from furfurylated wood. *Environmental Toxicology and Chemistry* 29, No. 9, pp. 1918–1924
- Sejati P., Imbert A., Gérardin C., Dumarcay S., Fredon E., Masson E., Nandika D., Priadi T., Gérardin P. 2017. Tartaric acid catalyzed furfurylation of beech wood. *Wood Science and Technology*. 51(2), 379-394

Robin POIZAC (1), Delphine ARAN (1), Sylvie DOUSSET (1), Clément BOJIC (1), Sylvie COTELLE (1), Philippe GERARDIN (2), Eric MASSON (3)

(1) LIEC, Université de Lorraine, LIEC, CNRS UMR 7360, rue du General Delestraint, 57070 Metz

(2) LERMAB, EA 4370, Faculté des Sciences et Technologies, boulevard des Aiguillettes, 54506 Vandœuvre lès Nancy Cedex - France

(3) CRITT Bois, 27 rue Philippe Séguin, 88051 Epinal

Contact : sylvie.cotelle@univ-lorraine.fr

