



# 50<sup>e</sup> Congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides

150 ANS



**PESTICIDES ET  
AGRICULTURE  
DURABLE,  
COMMENT LES  
CONCILIER ?**

18-19-20 mai 2022  
Bourse de Namur  
Belgique

 UCLouvain

 LIÈGE  
université

# **Métrologie et méthodes analytiques**

## **Projet PESPOT : développement d'échantillonneurs passifs pour le suivi de pesticides et produits de transformation ultra-polaires dans les eaux**

Vincent Dufour (1), Laure Wiest (1), Aurélie Fildier (1), Xavier Dauchy (2), Mar Esperanza (3), Jérôme Enault (3), Emmanuelle Vulliet (1)

- (1) Univ Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, Institut des Sciences Analytiques, UMR 5280, 5 rue de la Doua, F-69100 VILLEURBANNE, France – [vincent.dufour@isa-lyon.fr](mailto:vincent.dufour@isa-lyon.fr)
- (2) ANSES, Laboratoire d'Hydrologie de Nancy, 40 Rue Lionnois, F-54000 NANCY – [xavier.dauchy@anses.fr](mailto:xavier.dauchy@anses.fr)
- (3) SUEZ, CIRSEE (Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement) – 38 rue du président Wilson, 78230 Le Pecq, France – [mar.esperanza@suez.com](mailto:mar.esperanza@suez.com)

*Mots-clés : pesticides, produits de transformation, molécules ultra-polaires, Chemcatchers<sup>TM</sup>, PMOCs*

La contamination chimique des eaux est une préoccupation constante car elle impacte les activités humaines qui en dépendent, ainsi que la biodiversité. Les pesticides sont parmi les molécules organiques les plus fréquemment retrouvées et sont généralement considérés comme préoccupants compte tenu de leur toxicité intrinsèque. Leur dégradation dans l'environnement ou au cours de procédés de traitement (e.g. potabilisation, stations d'épuration) est susceptible de générer des produits de transformation (TPs) bien plus polaires et dont les notions d'occurrence et d'impact sont parfois floues. Pour ces raisons, les taux en pesticides et en leurs TPs sont contrôlés dans le cadre de la production d'eau potable (Directive UE 2020/2184), mais également parce qu'ils ont susceptibles de générer des sous-produits de désinfection, potentiellement toxiques pour les consommateurs, bien que peu documentés à l'heure actuelle. Certaines de ces molécules font partie des PMOC (Composés Organiques Persistants et Mobiles) dont la principale caractéristique est d'être ultra-polaires ( $\log P < -1$ ) donc difficilement analysables avec des méthodes classiques, et plus difficilement traitable en potabilisation.

L'échantillonnage passif représente une voie pour répondre à cette problématique et dans ce cadre, le projet PesPot (Occurrence de PESTicides ultra-polaires et leurs produits de transformation dans les eaux POTables) innove notamment en développant des échantillonneurs passifs de type Chemcatchers<sup>TM</sup> adaptés aux molécules ultra-polaires. Des phases AttractSPETMDisks Oasis HLB (polarité médiane) ont été testées en laboratoire,

en parallèle de phases échangeuses de cations et d'anions, plus susceptibles d'échantillonner ces molécules à fort enjeu. Des tests en batch ont permis d'optimiser les conditions d'exposition et d'analyse, et l'outil est apte à être déployé sur le terrain pour le suivi des pesticides les plus polaires ainsi que de leurs TP's ou encore des sous-produits de désinfection.

## **Amélioration de la sensibilité de la o-DGT pour la surveillance des micropolluants organiques dans les eaux : Première application pour les pesticides neutres**

Rachel Martins De Barros, Juliette Rougerie, Thomas Ballion, Rémy Buzier\*, Stéphane Simon, Robin Guibal, Sophie Lissalde, Gilles Guibaud

*Université de Limoges, E2Lim, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges Cedex, France ; \* Auteur correspondant : remy.buzier@unilim.fr*

*Mots-clés : Échantillonnage passif, DGT, Pesticides neutres, Surveillance de la qualité des eaux*

Au cours des dernières années, l'utilisation de la o-DGT (Gradients Diffusifs en Couches Minces) s'est considérablement développée pour la surveillance des micropolluants organiques dans les eaux. Contrairement aux autres échantillonneurs passifs (i.e., POCIS, Chemcatcher), la o-DGT présente un gel diffusif lui permettant d'être moins sensible aux fluctuations hydrodynamiques. Cependant, son principal inconvénient est sa plus faible sensibilité analytique. Ainsi, son utilisation dans les eaux naturelles peut être limitée compte-tenu des faibles concentrations des composés organiques généralement rencontrées ( $\text{ng.L}^{-1}$  au  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). Selon le principe de fonctionnement des échantillonneurs DGT, la masse échantillonnée est proportionnelle à leur surface d'échantillonnage. L'augmentation de la surface d'échantillonnage semble donc une voie pertinente d'amélioration de la sensibilité des échantillonneurs o-DGT.

Dans cette étude, une configuration plus large nommée "Large o-DGT" (Lo-DGT) a été évaluée pour l'échantillonnage de 24 pesticides et métabolites neutres appartenant à différentes familles chimiques et couvrant une large gamme d'hydrophobicité ( $\log K_{ow}$  de 0,43 à 3,95). Cette configuration est identique à la o-DGT, à l'exception de sa surface d'échantillonnage qui est multipliée par 4,8 (15,2 vs. 3,14  $\text{cm}^2$ ) grâce à l'utilisation du support Chemcatcher commercialement disponible.

L'un des principaux objectifs de ces travaux était de vérifier la transposabilité du modèle de quantification DGT à ce nouveau design. Pour ce faire, l'accumulation des composés au cours du temps par la Lo-DGT a directement été comparée à celle de la o-DGT lors de déploiements simultanés dans une solution synthétique (4 h à 24 h d'exposition). L'accumulation des composés par la Lo-DGT était linéaire dans le temps et proportionnelle à l'augmentation de sa

surface d'échantillonnage. Ce comportement correspond à celui attendu d'après le principe de fonctionnement des échantillonneurs DGT et par conséquent, le modèle de quantification est transposable à la Lo-DGT.

Par ailleurs, ce nouveau design permet d'augmenter la quantité accumulée, et donc la sensibilité, d'un facteur 4,8. L'intérêt de cette plus grande sensibilité a été démontré lors d'un déploiement terrain de 14 jours dans deux rivières faiblement contaminées (pesticides neutres totaux < 0,1  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). En effet, la Lo-DGT a permis une fréquence de quantification plus élevée que la o-DGT (14 vs. 5 composés quantifiés) grâce à ses plus faibles limites de quantification (0,2 à 1,3  $\text{ng.L}^{-1}$  pour la Lo-DGT vs. 0,8 à 8,1  $\text{ng.L}^{-1}$  pour la o-DGT). La Lo-DGT apparaît ainsi plus adaptée que la o-DGT pour le suivi des composés organiques dans les milieux faiblement contaminés.

## Reconnaissance spécifique et détection de la chlordécone par des hémicryptophanes dans l'eau

Oriane Della-Negra (1), Jean-Pierre Dutasta (2), Pierre-Loïc Saaidi (3), Alexandre Martinez (1)

(1) Aix Marseille Univ., CNRS, Centrale Marseille, iSm2, Marseille, France, alexandre.martinez@centrale-marseille.fr

(2) Laboratoire de Chimie, École Normale Supérieure de Lyon, CNRS, 46 Allée d'Italie, F-69364 Lyon, France

(3) UMR 8030 Génomique métabolique/CEA/Institut de Biologie François Jacob/Genoscope/Université d'Evry Val d'Essonne/Université Paris-Saclay, France, plsaaiddi@genoscope.cns.fr

*Mots-clés : chlordécone, hémicryptophane, détection, fluorescence, chimie supramoléculaire*

La chlordécone est un insecticide organochloré, utilisé mondialement au XX<sup>e</sup> siècle, et classé comme polluant organique persistant depuis 2009. Cette molécule, de formule brute  $C_{10}Cl_{10}O_2H_2$ , a une structure particulière (bishomocubane perchloré) qui lui confère des propriétés physico-chimiques spécifiques telles qu'une forte hydrophobicité (solubilité estimée à environ 2 mg/L dans l'eau à pH 7) et une forte affinité pour la matière organique. Massivement utilisé pour lutter contre le charançon du bananier dans les Antilles Françaises de 1972 à 1993, ce pesticide est responsable d'une pollution à long terme de l'environnement (systèmes hydriques, sols, sédiments...), d'une partie de la chaîne alimentaire résultant en une exposition de la population antillaise. Son caractère toxique reconnu et sa persistance sont à l'origine de graves problèmes de santé publique, sociaux et économiques.

Plusieurs techniques analytiques, faisant appel pour la plupart à la spectrométrie de masse, ont été développées au fil des années pour quantifier et surveiller la présence de la chlordécone dans l'eau et les denrées alimentaires, pour notamment veiller au respect des Limites Maximales de Résidus (LMR). Ici, nous proposons une alternative innovante pour la détection de la chlordécone dans l'eau par simple suivi de fluorescence d'un complexe chlordécone-hémicryptophane formé par reconnaissance spécifique de l'invité (la chlordécone) par l'hôte fluorescent (hémicryptophane).

Les hémicryptophanes sont des molécules de symétrie C<sub>3</sub>, constitués d'une unité cyclotrivératrylène et d'un groupement pouvant être de plusieurs natures : triamide, tris(2-aminoéthyl)amine (tren), trialkanolamine ou encore

comprenant une plateforme benzénique tripodale. Parmi les différentes fonctions de ces « cages », l'une d'entre elle consiste à l'encapsulation ou la reconnaissance spécifique de plus petites molécules.

Nous avons ainsi criblé plusieurs hémicryptophanes de différentes tailles, comportant différentes fonctions chimiques afin de déterminer la(les) plus affine(s) pour la chlordécone. Par des expériences de titration suivie par résonance magnétique nucléaire, nous avons été capables d'établir des constantes d'association, témoignant de l'affinité de l'hôte pour l'invité, entre les hémicryptophanes étudiés et la chlordécone. Nous avons pu estimer des constantes comprises entre 103 et 105 M<sup>-1</sup> pour certaines de ces cages ce qui démontre une très forte affinité pour la chlordécone par rapport à d'autres molécules. Des modélisations en utilisant la théorie de la fonctionnelle de la densité ont permis de mieux comprendre les interactions expliquant l'affinité de la cage modèle pour la chlordécone.

Dans un deuxième temps, nous avons synthétisé des hémicryptophanes contenant des groupements fluorophores. Nous avons ensuite vérifié que l'incorporation chimique de ces motifs ne diminuait pas de manière rédhitoire leur capacité à encapsuler la chlordécone (constantes d'association supérieures ou égales à 103 M<sup>-1</sup>). A l'aide d'un fluorimètre, nous avons étudié les modifications du spectre de fluorescence de ces hémicryptophanes lors d'ajouts successifs de chlordécone. Un hémicryptophane modèle a alors été sélectionné afin de démontrer qu'il était possible de relier l'intensité du signal de fluorescence à la concentration en chlordécone. Le système de reconnaissance a ensuite été adapté pour détecter la chlordécone dans l'eau à des niveaux de pollution environnementale (de l'ordre de 0,1 à 2 µg/L).

Finalement, la chimie supramoléculaire nous a permis d'élaborer un système de reconnaissance spécifique de la chlordécone pour développer une nouvelle méthode de détection dans l'eau par mesure de la fluorescence. De nouveaux hémicryptophanes pourraient être envisagés afin d'abaisser encore la limite de détection. L'utilisation d'un lecteur de fluorescence en plaque pourrait même offrir la possibilité d'analyses haut-débit. La méthode présentée représenterait donc une alternative plus facile à mettre en place et moins onéreuse que les analyses classiquement réalisées (chromatographie couplée à un spectromètre de masse) pour le monitoring de la chlordécone dans l'environnement. Il restera enfin à déterminer les performances en termes de reproductibilité, sensibilité, et exactitude par rapport aux protocoles usuels.



# Une méthode d'analyse du glyphosate et de l'AMPA dans le pollen

Nathalie Ducat, Dimitri Villette, Solange Mahiat, Alain Delvaux

*CRA-W, Unité Produits de protection, de contrôle et résidus, Bâtiment Carson, Rue du Bordia 11, 5030 Gembloux, n.ducat@cra.wallonie.be*

*Mots-clés : Glyphosate, AMPA, analyse, pollen, LC-MS/MS*

La sensibilisation du grand public à un système agricole alternatif sans usage de pesticides chimiques de synthèse et pauvre en nitrates est un objectif du projet « PlanBee », piloté par Nature & Progrès Belgique et financé par la SPGE (Société Publique de Gestion de l'Eau).

Ce système alternatif est basé sur une diversité de cultures mellifères sur de grandes surfaces.

Les abeilles y sont considérées comme des bio-indicateurs de l'état de l'environnement des sites étudiés. Dans ce contexte, des analyses de pesticides, notamment du glyphosate et de son métabolite l'AMPA, ont été réalisées dans du pollen, du pain d'abeille et du pain d'osmie (abeille sauvage).

Une méthode d'analyse a été validée pour déterminer le glyphosate et l'AMPA dans ces 3 matrices. Cette méthode rapide, sans dérivation, utilise une colonne Restek Raptor Polar X qui est bien adaptée à la séparation de composés polaires. Le système LC-MS/MS utilisé est composé d'un UHPLC Nexera (Shimadzu) couplé à un spectromètre de masse 5500QTrap (Sciex). L'utilisation d'un ajout dosé, pour chaque échantillon, a permis de contourner les difficultés rencontrées à cause de « l'effet matrice » qui est très différent d'un pollen à l'autre et très important pour l'AMPA. De plus, l'ajout de dichlorométhane avant la mise en fiole a rendu possible la filtration de la solution échantillon en éliminant des composés non polaires présents dans l'extrait.

La limite de quantification est de 10 ng.g<sup>-1</sup> pour le glyphosate et pour l'AMPA dans le pollen, le pain d'abeille et le pain d'osmie.

En 2021, 28 échantillons (20 pollens (PO), 3 pains d'abeille (BB) et 5 pains d'osmie (OB)) ont été prélevés dans 5 ruchers implantés dans des sites expérimentaux situés en Wallonie (Belgique) autour de captages d'eau de la SWDE (Société Wallonne Des Eaux).

Du glyphosate a été détecté (> 3 ng.g<sup>-1</sup>) dans 27 échantillons sur 28. Le glyphosate a été quantifié (> 10 ng.g<sup>-1</sup>) dans 15 échantillons (11/20 PO, 2/3 BB et 2/5 OB) dont deux échantillons (1/20 PO et 1/5 OB) présentent des

concentrations en glyphosate de, respectivement, 246 et 168 ng.g<sup>-1</sup>. Les 13 autres échantillons montrent des teneurs en glyphosate en dessous de 25 ng.g<sup>-1</sup>. L'AMPA n'a été détecté dans aucun échantillon.

## **Protocole d'extraction QuEChERS pour l'analyse de la chlordécone et ses produits de transformation dans des procédés de (bio)remédiation et des échantillons de sol**

Déborah Martin (1), Delphine Muselet (1), Perla Alnajjar (2), Stéphane Pacaud (3), Yves Le Roux (2, 3), Sébastien Bristeau (4), Jennifer Hellal (4), Cyril Feidt (2), Pierre-Loïc Saaidi (1)

(1) UMR 8030 Génomique Métabolique, CEA, Institut de Biologie François Jacob, Genoscope, Université d'Evry Val d'Essonne, Université Paris-Saclay, Evry, France – [plsaaidi@gensocope.cns.fr](mailto:plsaaidi@gensocope.cns.fr)

(2) Université de Lorraine - INRAe (USC340), URAFPA, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54000 Nancy, France – [cyril.feidt@univ-lorraine.fr](mailto:cyril.feidt@univ-lorraine.fr)

(3) Chaire Agrométhé, Université de Lorraine-ENSAIA, URAFPA, 2 Avenue de la Forêt de Haye, TSA 40602, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy – [yves.leroux@univ-lorraine](mailto:yves.leroux@univ-lorraine)

(4) BRGM, F- 45060, Orléans, France - [j.hellal@brgm.fr](mailto:j.hellal@brgm.fr)

*Mots-clés : Chlordécone, produits de transformation, QuEChERS, (bio)remédiation*

La chlordécone (CLD) est un pesticide organochloré massivement épandu aux Antilles entre 1972 et 1993 afin de lutter contre le charançon du bananier. Près de 30 ans après son interdiction, la CLD peut encore être retrouvée à des taux supérieurs au mg/kg dans le sol. L'imprégnation forte de la population due aux denrées locales contaminées a des conséquences dramatiques aux Antilles (sur-incident du cancer de la prostate, interdiction de pêche, perte de confiance en l'Etat et non adhésion à la vaccination anti-COVID). Au cours des dernières années, plusieurs équipes ont mis en évidence la possibilité de dégrader la CLD de manière chimique et/ou microbiologique. Ces résultats ont ouvert la voie à des stratégies de (bio)remédiation. Ils ont également mis en lumière le nombre et la diversité très élevée des produits de transformation (PTs) issus de la dégradation de la CLD. Un certain nombre de ces composés ont même pu être détectés dans divers échantillons environnementaux de Martinique montrant qu'une dégradation naturelle de la CLD était déjà en cours. L'analyse et la quantification des produits de transformation de la CLD revêtent donc une importance capitale à la fois pour l'optimisation des procédés de remédiation mais aussi pour étudier les conditions propices à la dégradation naturelle de la CLD.

Notre objectif a été de développer un protocole simple, rapide et efficace d'extraction des PTs de la CLD dans des matrices complexes issues de deux procédés de remédiation (dégradation par voie chimique utilisant du fer zéro-valent, méthanisation de déchets végétaux et animaux) ainsi que dans des sols contaminés. Pour cela, la méthode d'extraction QuEChERS (de l'anglais *Quick, Easy, Cheap, Efficient, Rugged and Safe*) a été choisie. Plusieurs paramètres ont été adaptés selon la matrice (solvant d'extraction, pH ou encore quantité de matrice extraite). Les protocoles QuEChERS appliqués aux processus de remédiation ont permis de quantifier la dégradation de la CLD et la formation de divers PTs. En plus d'être simple à mettre en place, la méthode QuEChERS, peu chronophage, permet d'obtenir des résultats robustes pour des matrices complexes. Ces nouveaux protocoles d'analyse, adaptés à la CLD et ses PTs, permettent aujourd'hui d'envisager des campagnes d'échantillonnage environnementales à grande échelle pour étudier le devenir de la molécule mère et ses dérivés.



# **Agroécologie, méthodes alternatives et agriculture biologique**

## **Un jeu sérieux adossé à un modèle spatialisé de bassin versant : expérimentation d'un outil de dialogue entre acteurs opérationnels pour limiter la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires**

Véronique Gouy Boussada (1), Olivier Barreteau (2), Laura Seguin (2),  
Géraldine Abrami (2), Gilles Armani (1), Elsa Leteurtre (3), Stéphanie  
Malingrey (2), Michael Rabotin (1), Jules Grillot (1), Nadia Carluer (1),  
Claire Lauvernet (1)

(1) Riverly, INRAE Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône Alpes, Villeurbanne –  
veronique.gouy@inrae.fr

(2) UMR G-Eau, Montpellier – olivier.barreteau@inrae.fr

(3) LISODE, Montpellier – elsa.leteurtre@lisode.com

*Mots-clés : contamination agricole diffuse, organisation paysagère, scénarios spatio-temporels, gestion concertée*

Un jeu sérieux s'appuyant sur une représentation simplifiée de bassin versant agricole (quelques km<sup>2</sup>) a été élaboré dans le cadre des projets SPIRIT (projet EcoPhyto-recherche : « Leviers Territoriaux ») et DIALECTIC (projet du pack Ambition Recherche 2019 de la Région AURA, France). Le paysage, à la croisée de différentes perceptions des acteurs du territoire et siège de multiples enjeux, est au centre du jeu dont l'objectif est de faire émerger des freins et leviers à l'action concertée, voire collective, en vue de limiter la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires. La démarche est mise en œuvre sur deux sites à enjeux vis-à-vis de la préservation de la ressource en eau et correspondant à des situations socio-agri-environnementales contrastées (viticulture en Beaujolais et polyculture élevage dans les Monts du Lyonnais).

Un travail préliminaire a consisté en la réalisation d'entretiens semi-directifs auprès d'acteurs diversifiés du territoire et en la mise en œuvre d'ateliers préparatoires qui ont permis de mieux cerner les enjeux, les ressources, les processus humains et les interactions entre les acteurs ainsi que leur perception de la place du paysage (intérêt, contraintes, valeurs et biens communs associés). En parallèle, a été élaboré un outil de modélisation spatialisée simplifiée (GéoMelba) à l'échelle d'un bassin versant virtuel représentatif de chaque terrain, rendant compte, à dire d'experts, de l'effet combiné de la localisation des systèmes de culture et de l'organisation des éléments paysagers sur les transferts des phytosanitaires au cours d'eau. Sur cette base le jeu sérieux

Causerie a été co-construit entre chercheurs et acteurs de terrain puis mis en œuvre collectivement afin d'explorer des scénarios d'évolution. Les systèmes cultureux (correspondant à différents niveaux d'intrants phytosanitaires : assuranciel, optimisé, sans produits de synthèse) et les éléments paysagers (bandes enherbées, haies, fossés, zones tampons humides artificielles) représentés dans le modèle sont facilement modifiables en cours de jeu pour faciliter la visualisation de leurs effets sur la qualité de l'eau, en séance. De même, les contraintes et bénéfices des changements pour l'agriculteur sont abordées et un bilan économique simplifié calculé à chaque tour de jeu avec un pas de temps pluriannuel – ces éléments étant un facteur important de la prise de décision. En complément des dynamiques spatiales (localisation des actions et transferts des produits au sein du bassin versant) et des stratégies agro-économiques (contraintes/bénéfices), le jeu prend également en compte des dynamiques plus larges entre les acteurs (les différents rôles attribués dans le jeu étant : agriculteurs, gestionnaires de l'eau, conseillers agricole, acteurs des filières) ou en lien avec des variables d'influence externes (cartes événements : évolution du marché, opportunité de nouvelles filières, injonctions socio-environnementales, météo, ...).

Les résultats montrent que le focus du jeu autour de la qualité de l'eau et des aménagements paysagers concerne beaucoup d'acteurs opérationnels, soit directement ou indirectement, au sein d'un territoire ; toutefois, certains sont difficiles à mobiliser, notamment les agriculteurs, ce qui implique de revoir les stratégies de leur implication. Le jeu sérieux proposé est apparu crédible aux acteurs opérationnels sur les deux sites et propice à des apprentissages multiples. La dimension collective, supposée prendre de l'ampleur à l'échelle du bassin versant n'est cependant pas fortement ressortie au cours des ateliers qui rendent compte de choix essentiellement en individuel ou tout au plus en bilatéral entre les acteurs.

A ce jour, le jeu semble trouver un écho privilégié auprès de certains acteurs (syndicats de rivières, instituts techniques, associations environnementales et syndicats d'aménagement de territoire), comme outil d'aide à l'animation, la concertation et co-construction de programme d'action plus cohérents. Des applications du jeu pour la formation (lycée agricole, BTS, ...) sont à l'étude notamment pour mieux faire appréhender par les élèves le rôle et les interactions entre les différents acteurs territoriaux ainsi que l'influence des dynamiques spatiales (agricoles, hydrologiques) dans la problématique « agriculture et qualité de l'eau. Un travail complémentaire dans le cadre du projet Causerie (AAP Carnot EE- 2021) doit permettre de faciliter la transposition des outils et méthodologies développées à d'autres contextes et faciliter la montée en généralité et en ergonomie de GéoMelba et du jeu du même nom.



Les auteurs remercient les partenaires opérationnels des sites cités (IFV, Lycée de Bel Air, Loire Forez Agglo) ou en lien (chambres d'agriculture du Rhône et de la Loire, syndicats de rivières, DDT) et les participants aux ateliers. Ils remercient également le plan Ecophyto, les ministères en charge de l'agriculture, de l'environnement, et de la recherche ainsi que l'OFB et la Région AURA pour leurs soutiens financiers.

## **SemioCloud : Plateforme numérique pour le contrôle de la diffusion de sémiochimiques**

Jean-Philippe Trani (1), Cyril Tinet (1), Jean-Paul Douzals (1), Frédéric Lebeau (2)

(1) *ITAP, Univ Montpellier, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France, 361 Rue Jean-François Breton 34196 Montpellier – jean-philippe.trani@inrae.fr*

(2) *Digital Energy and Agriculture Lab (DEAL), Biosystems Dynamics and Exchanges (BioDynE), TERRA Teaching and Research Center, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liege, Belgium – f.lebeau@ulg.ac.be*

*Mots-clés : Diffusion contrôlée, Cloud computing, IoT, dispersion atmosphérique, sémiochimique*

Les produits sémiochimiques ont depuis longtemps démontré leur contribution à la protection des cultures basée sur le biocontrôle 0, facilitant la transition vers une agriculture plus durable. Les connaissances en écologie chimique ont été transposées à des stratégies de protection efficaces telles que celles basées sur la confusion sexuelle ou le piégeage. Les sémiochimiques sont majoritairement émis au moyen de méthodes de diffusion passive qui exploitent la dynamique de volatilisation obtenue à l'aide d'une matrice polymère poreuse appropriée. Cette approche a été progressivement améliorée pour atteindre une meilleure adéquation entre le taux de volatilisation et les besoins réels indépendamment des circonstances climatiques.

Malgré ces progrès, la diffusion active a depuis longtemps été identifiée comme un moyen nécessaire pour parvenir à un meilleur contrôle de la dynamique des émissions. Cette approche s'est avérée très efficace pour la confusion sexuelle sur certains nuisibles notamment par l'entremise de méga-diffuseurs, appelés puffers, dans lesquels le sémiochimique est stocké dans un récipient sous pression. Les puffers sont capables de remplacer avantageusement les diffuseurs passifs en dispensant des doses à intervalles programmés pendant la saison de protection. Cependant, ces diffuseurs actifs sont généralement limités aux stratégies de confusion sexuelle qui nécessitent une densité d'émetteurs limitée pour interférer efficacement avec les trajectoires d'accouplement sur une zone de protection en utilisant des taux d'émission locaux assez élevés

D'autres stratégies de lutte biologique comme le piégeage nécessitent des taux d'émission beaucoup plus faibles pour attirer le ravageur ciblé ainsi qu'éventuellement le respect de consignes strictes d'émission voire l'adaptation de l'attractif au cours de la saison de protection de la culture 0.

L'implémentation de ces stratégies implique l'usage de diffuseurs capables d'émettre de très faibles volumes de sémiochimiques ainsi qu'une contrôlabilité élevée des cinétiques de diffusion.

Une baisse importante du coût des systèmes technologiques de production de nano-débits ainsi que la maturation des technologies de l'internet des objets (IoT) et du Cloud Computing 0, permettent aujourd'hui d'envisager la conception de nano-puffers mobilisables dans des scénarios de diffusions complexes intégralement supervisés.

Afin de démontrer l'efficacité apportée par la diffusion contrôlée des sémiochimiques nous avons développé un prototype de plateforme numérique dédiée au pilotage de nano-diffuseurs. Le faible coût de la technologie mobilisée ainsi que la consommation énergétique frugale de ces nano-diffuseurs ont permis leur intégration au sein d'un objet connecté. L'architecture informatique de gestion de ces objets se base sur des écosystèmes logiciels Open Source permettant l'implémentation des différentes tâches nécessaires au processus de pilotage (robustesse de la communication avec les objets connectés, historisation des données, modèles numériques).

Le workflow décisionnel permettant de générer des consignes variables selon les conditions environnementales et potentiellement différentes pour chaque diffuseur fait à ce stade appel à un modèle de dispersion en panache de type Gaussien intégrant les paramètres météorologiques 0, complété par un séquenceur alimenté par un ensemble de données spécifiques associés à l'activité du ravageur (rayonnement solaire, température, cycle diurne).

Au-delà du pilotage individualisé d'un ensemble de diffuseurs, le caractère générique des outils développés permet d'envisager la génération de paysages olfactifs complexes, pour l'étude de l'attraction ou de la répulsion des ravageurs de cultures, en faisant appel à des matrices actives composées de plusieurs nano-diffuseurs couplés au sein d'un même substrat, autorisant une gestion dynamique de l'émission des sémiochimiques.

#### Références :

[1] The use of semiochemical slow-release devices in integrated pest management strategies, Stéphanie Heuskin, François J. Verheggen, Eric Haubruge, Jean-Paul Wathélet, Georges Lognay, 2011.

[2] Frerot B., Leppik E., Brevet FR3035775, Composition attractive pour la bruche, INRA et Arvalis, 2016.

[3] Olivier Debauche\*, Jean-Philippe Trani, Saïd Mahmoudi, Pierre Manneback, Jérôme Bindelle, Sidi Ahmed Mahmoudi, Adriano Guttadauria, Frédéric Lebeau, Data Management and Internet of Things : A Methodological Review in Smart Farming, Internet of Things · March 2021, DOI: 10.1016/j.iot.2021.100378.

[4] YOLIHANNA FARES, PETER J. H. SHARPE AND CHARLES E. MAGNUSON, Pheromone dispersion in forests, December 1980, Journal of Theoretical Biology.

## **Des huiles essentielles comme alternatives aux herbicides conventionnels : les résultats en conditions réelles**

Bérénice Foncoux (1), Simon Dal Maso (2), Haïssam Jijakli (1)

(1) *Laboratoire de Phytopathologie Intégrée et Urbaine, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 2 passage des Déportés 5030 Gembloux, Belgique – b.foncoux@uliege.be*

(2) *Agronomical Plant Extract & Essential Oil, APEO, 2 passage des Déportés 5030 Gembloux, Belgique – s.dalmaso@apeosolutions.com*

*Mots-clés : huiles essentielles, bioherbicide*

Depuis de très nombreuses années, la gestion des maladies, ravageurs et adventices passe principalement par l'utilisation de pesticides de synthèse. Cependant, d'une part leur incidence sur l'environnement et la santé humaine et d'autre part, le développement de populations de bioagresseurs résistants et en particulier celles des adventices résistants aux herbicides remettent en question l'utilisation des pesticides conventionnels.

Pour ces raisons, la recherche d'alternatives durables et respectueuses de l'environnement telles que les huiles essentielles (HES) a été une priorité au laboratoire de Biologie Végétale de l'université de Liège Gembloux. La pluralité des molécules composant les HES leur offre une grande diversité de modes d'action ce qui prévient le développement de résistance. De plus, leur volatilité et faible persistance dans les sols et les eaux leur offrent l'avantage de limiter les résidus dans l'environnement.

L'efficacité des HES comme produits médicinaux ou antibactériens sont connus depuis des centaines d'année. Récemment, la recherche a mis en évidence leur efficacité comme insecticide et fongicide, faisant d'eux des alternatives intéressantes aux pesticides de synthèse. Peu d'auteurs ont étudié l'efficacité des HES comme herbicide.

APEO pour « Agronomical Plant Extract and Essential Oil » est une spin-off de l'Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech qui a vu le jour après plus de dix années de recherche sur l'efficacité des HES comme pesticide. Suite à ces recherches, APEO a mis au point plusieurs bioherbicides à base d'huiles essentielles. Notre objectif a été de formuler un produit stable et efficace. Cette efficacité a été testée en serre dans des conditions contrôlées mais également au

champ en conditions réelles contre différentes adventices retrouvées dans les cultures.

Les essais en serre ont été réalisés en conditions contrôlées à partir de semis de trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum* L.) et de ray-grass anglais (*Lolium perenne* L.) ayant atteint un stade BBCH de 13. L'Huile Essentielle 1, HE1, a été pulvérisée une ou deux fois à dix jours d'intervalle dans un essai à quatre répétitions. L'efficacité a été mesurée quotidiennement pendant deux semaines.

Les essais en champ ont été réalisés en Belgique pendant deux années consécutives en 2019 et 2020, de mai à juillet 2019 et de septembre à décembre 2020 respectivement. En mai 2019 et septembre 2020, les parcelles d'essais ont été semés sur la même zone géographique avec trois espèces de monocotylédones et douze espèces de dicotylédones. Les adventices ont atteint un stade BBCH de 15-20 après quoi elles ont été traitées deux fois avec dix jours d'intervalle sur deux répétitions. L'efficacité a été mesurée régulièrement pendant cinq semaines.

Les essais en serre ont montré que, même si une application de HE formulée (HE1) avait une efficacité intéressante sur certaines adventices, celle-ci nécessite d'être pulvériser deux fois afin d'avoir une efficacité totale contre les monocotylédones et dicotylédones après deux semaines.

En 2019, la moyenne d'efficacité au champ pour les dicotylédones était de 98% et pour les monocotylédones de 24%. La moyenne d'efficacité en 2020 était pour les dicotylédones et pour les monocotylédones de 100% et de 80% respectivement. Comme pour les essais en serre, les résultats des essais en champ montrent donc qu'HE1 est totalement efficace contre les dicotylédones pour les deux années étudiées. La différence notable d'efficacité de l'HE1 sur les monocotylédones entre 2019 et 2020 peut s'expliquer par les conditions climatiques différentes. Pour affirmer le positionnement de l'HE1 et augmenter leur efficacité par temps chaud, des recherches sont en cours de réalisations afin d'optimiser la formulation de l'HE1.

Au vu de la forte capacité herbicide de l'HE1 en serre et en champs, celle-ci pourrait offrir une alternative efficace aux méthodes conventionnelles de gestion des adventices à un coût abordable. Les premiers résultats pour l'homologation semblent indiquer un moindre impact pour l'environnement et la santé humaine. Les conditions d'application adéquates, les modes d'action et la formulation vont encore être étudiés afin de mieux comprendre les mécanismes de ces HEs et de développer un produit de protection des plantes sûr et optimal.

## **Développement d'alternatives biologiques aux insecticides pour lutter contre *Drosophila suzukii* avec des produits sémiocchimiques et des champignons entomopathogènes**

Chloé Galland D. (1), Ismahen Lalaymia (2), Stephan Declerck (2), François Verheggen (1)

(1) *Functional and Evolutionary Entomology, Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège - Terra - Avenue de la faculté d'Agronomie, 2B 5030 Gembloux, Belgique - cgalland@uliege.be; fverheggen@uliege.be*

(2) *Earth and Life Institute, Applied Microbiology, Mycology - Université catholique de Louvain - Croix du Sud - 2 box L7.05.06, Belgium - ismahen.lalaymia@uclouvain.be ; stephan.declerck@uclouvain.be*

*Mots-clés : bicontrôle, drosophile à ailes tachetées, gestion intégrative, espèce invasive*

*Drosophila suzukii* est une espèce de mouche des fruits considérée comme un ravageur mondial des fruits à peau fine, grâce à sa courte durée de développement, sa grande fertilité et sa large gamme d'hôtes. Les mesures de contrôle actuelles sont principalement basées sur l'utilisation d'insecticides, qui se sont avérés partiellement inefficaces. Nous cherchons donc à développer des méthodes alternatives biologiques associant des produits sémiocchimiques et des champignons entomopathogènes (EPF).

Dans un premier lot d'expériences, nous avons sélectionné des attractifs et des répulsifs, parmi des substances biologiques issues de plantes et de fruits, présentées individuellement ou en mélange. Nous avons constaté que l'huile essentielle de menthe poivrée est la plus répulsive, tandis que le mélange de substances sémiocchimiques le plus attractif comprend de l'éthanol et de l'acétoïne. Ensuite, nous avons réalisé un essai de terrain dans des serres commerciales de fraises où nous avons associé des répulsifs (situés à l'entrée des serres) à des pièges contenant des attractifs, situés dans les lignes de fraises. Cette association a permis de réduire de 42% le nombre de *D. suzukii* piégés à l'intérieur de la serre, et donc d'augmenter la proportion de fruits commercialisables.

Dans une deuxième série d'essais, nous avons sélectionné un champignon entomopathogène (EPF) en fonction de sa capacité à adhérer facilement et à pénétrer rapidement la cuticule des mouches. Le criblage a été effectué sur cinq

souches de EPF, bien connues pour leur potentiel dans la lutte contre les insectes nuisibles : *Beauveria bassiana* (MUCL 1555), *Metarhizium anisopliae* (MUCL 6859), *Metarhizium brunneum* (MUCL 9645), *Paecilomyces fumosoroseus* (MUCL 1522) et *Lecanicillium lecanii* (MUCL 8115). Des individus de *D. suzukii* ont été exposés à des conidies sèches de chaque EPF pendant 10 secondes, 1 minute, 10 minutes, 1 heure ou 3 heures. Le taux de survie a ensuite été évalué quotidiennement pendant 10 jours. *Beauveria bassiana* a été le plus efficace des EPFs testés. Le temps d'exposition à l'EPF a eu un impact sur le taux de mortalité : la moitié de la population de *D. suzukii* est morte en 4 jours après une exposition de 3 heures à la souche de *B. bassiana*, alors que 6 jours ont été nécessaires pour obtenir le même résultat avec une exposition de 10 secondes. La spécificité de la souche de *B. bassiana* sélectionnée a également été démontrée en appliquant des conidies sèches sur des organismes non ciblés, fréquemment rencontrés dans les cultures infestées par *D. suzukii*, notamment le prédateur *Orius laevigatus* et le bourdon *Bombus terrestris*.

Nous discutons de l'importance de combiner les méthodes de contrôle pour parvenir à une gestion efficace et sûre de ce ravageur.

## **Impact des modes de production économes en pesticides de synthèse sur la qualité microbiologique des sols viticoles**

Cyril Zappellini (1), Samuel Dequiedt (1), Vincent Masson (2), Jean Masson (3), Pierre-Alain Maron (1), Lionel Ranjard (1)

(1) UMR Agroécologie, INRAE Dijon, 17 rue de Sully 21000 Dijon France, - [cyril.zappellini@inrae.fr](mailto:cyril.zappellini@inrae.fr)

(2) Soins de la Terre, les crêts 71250 Château France, - [contact@soin-de-la-terre.org](mailto:contact@soin-de-la-terre.org)

(3) UMR SVQV, INRAE Colmar, 28 Rue de Herrlisheim 68000 Colmar France, - [jean.masson@inrae.fr](mailto:jean.masson@inrae.fr)

*Mots-clés : Ecologie-microbienne ; sol viticoles ; science participative ; mode de production ; pratique viticole.*

La viticulture est un secteur d'activité agricole stratégique pour la France car elle représente le 1<sup>er</sup> poste exportateur du secteur agroalimentaire pour seulement 3% de la SAU Française. Toutefois, elle est aussi une forte consommatrice de produits phytosanitaires avec 20% des pesticides utilisés en France à elle seule, couplé aussi à une forte mécanisation. Tout ceci entraîne une dégradation de la qualité des sols, qu'elle soit physique (Quiquerez *et al.*, 2008), ou biologique (Dequiedt *et al.*, 2011). Une baisse importante de la biodiversité du sol altère ses grandes fonctions d'intérêts telles que la décomposition de la matière organique et la fourniture d'éléments minéraux, l'effet barrière aux populations exogènes de pathogènes, l'amélioration de la structure du sol, la dégradation des polluants (Maron et Ranjard, 2019).

Face à ces constats, la viticulture biologique (AB, 9% de la SAU viticole), voire biodynamique (BD, 1% de la SAU viticole) se développent fortement avec un taux moyen de conversion de 1-2% par an. Toutefois, à ce jour nous manquons encore de connaissances sur les impacts de ces modes de production et sur les pratiques associées notamment sur la qualité des sols viticoles. Il est donc encore difficile de conclure sur l'intérêt et la légitimité de ces modes de production dans un contexte de transition agroécologique. Dans ce contexte, l'INRAE Dijon a lancé une étude à grande échelle impliquant directement les viticulteurs en pratiques stabilisées dans différents modes de production. Ce projet, appelé EcoVitiSol, est financé par l'Office Français de la Biodiversité et le Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne. L'objectif d'EcoVitiSol est d'étudier scientifiquement l'impact des modes de production (conventionnelle,



AB, BD) sur la qualité écologique et plus particulièrement microbiologique des sols.

### **Un projet pour et par les viticulteurs**

L'originalité et priorité de ce projet est d'aborder cette problématique avec des approches participatives en impliquant directement 145 viticulteurs de Bourgogne et d'Alsace. Les 145 viticulteurs ont identifié et mis à disposition leur parcelle sur lesquelles les chercheurs sont venus échantillonner le sol. En parallèle ils ont décrit précisément les pratiques et participé au final à l'interprétation des résultats obtenus avec les chercheurs. Ce réseau de parcelles a été élaboré avec une répartition équilibrée entre conventionnel, AB, et BD au sein des deux territoires.

### **Des outils modernes de caractérisation de la qualité microbiologique du sol**

Les outils utilisés sont basés sur l'extraction et la caractérisation de l'ADN extrait du sol (Bouchez *et al.*, 2017 ; Djemiel et Terrat, 2019). Ils permettent de caractériser l'abondance, la diversité et les interactions microbiennes (Karimi *et al.*, 2017). Tout cela mène à un diagnostic opérationnel et robuste grâce aux référentiels d'interprétation nationaux validés par la recherche menée à l'INRAE depuis 20 ans.

### **Les résultats**

Seulement 20% des parcelles viticoles analysées dans ce projet sont dans un mauvais état microbiologique, 35% sont dans un état non critique mais à surveiller et 44% sont dans un bon état microbiologique. Il n'y a donc pas d'état d'urgence sur la qualité microbiologique des sols viticoles des territoires étudiés mais plutôt un état de surveillance.

L'impact des pratiques viticoles montrent un effet négatif du travail du sol, sous toutes ses formes, sur la qualité microbiologique. A l'inverse les pratiques d'enherbement sont démontrées vertueuses et ceci est d'autant plus efficace que l'enherbement est pérenne et diversifié. Enfin, pour la première fois nous avons considéré l'impact de la gestion des sarments et nous avons montré que la restitution des sarments au sol avait un effet bénéfique assez significatif sur la qualité microbiologique des sols.

L'analyse des modes de production montre une amélioration significative de la qualité microbiologique en AB et BD. Ceci pourrait d'abord s'expliquer par l'application de pratiques plus vertueuses, mais il n'en est rien. En effet, au sein de notre réseau de parcelles les vigneron en AB et en BD sont ceux qui enherbent le moins, qui travaillent plus le sol et qui ne restituent pas les sarments. L'amélioration est donc potentiellement due à des pratiques propres à ces modes de production. Ces résultats sont en accord avec les conclusions d'une méta analyse scientifique internationale portant sur l'impact des modes de production sur la qualité écologique des sols (Christel *et al.*, 2021).

Les réseaux d'interactions microbiens sont plus complexes et structurés pour les sols des parcelles menées en BD (146 000 interactions) en comparaison des sols en AB (63 491 interactions) et en Conventionnel (89341 interactions). Une telle dégradation de la complexité des réseaux d'interactions entraîne généralement une baisse de la fonctionnalité de la communauté mais aussi de sa stabilité (Karimi *et al.*, 2017). Ceci confirme la meilleure qualité écologique des sols pour les modes de production en BD.

EcoVitiSol a permis de démontrer que les approches participatives associant les chercheurs et les viticulteurs stimule un échange de savoirs à même de répondre à des questions de recherche fondamentale mais aussi très finalisée. Grâce à ce projet nous avons pu confirmer l'impact de certaines pratiques viticoles sur la qualité des sols mais aussi plus largement aborder l'impact des modes de production en intégrant la BD. Il est prévu que ce projet continue sur les dix prochaines années en ciblant un nouveau territoire viticole de France chaque année avec les mêmes outils et les mêmes approches participatives. Ceci permettra de vérifier si les tendances que nous observons sur l'impact des pratiques viticoles et les modes de production en Bourgogne et en Alsace se vérifient à l'échelle nationale.

#### Références :

- Quiquerez A., Brenot J., Garcia J.-P., Petit C., 2008. Soil degradation caused by a high-intensity rainfall event: Implications for medium-term soil sustainability in Burgundian vineyards. *Catena*, 73, 89-97.
- Dequiedt S., Saby NPA., Lelievre M., Jolivet C., Thioulouse J., Toutain B., Arrouays D., Bispo A., Lemanceau P., and Ranjard L. 2011. Biogeographical Patterns of Soil Molecular Microbial Biomass as Influenced by Soil Characteristics and Management. *Global Ecology and Biogeography*. 20: 641-652.
- Maron PA., Ranjard L. Qualité écologique des sols. *Technique de l'ingénieur*. GE-1051 V1 (2019)
- Bouchez T., Blieux AL., Dequiedt S., Domaizon I., Dufresne A., Ferreira S., Godon JJ., Hellal J., Joulian C., Quaiser A., Martin-Laurent F., Mauffret A., Monier JM., Peyret P., Schmitt-Koplin P., Sibourg O., D'oiron E., Bispo A., Deportes I., Grand C., Cuny P., Maron PA., Ranjard L. 2017. La microbiologie moléculaire au service du diagnostic environnemental. *Etude et gestion des Sols*, 24 :9-31.
- Djemiel C., Terrat S. Nouvelles techniques de méta-omiques pour le diagnostic de la qualité microbiologique des sols. *Technique de l'ingénieur*. GE1052 v1 (2019)
- Karimi B, Maron PA., Chemidlin Prévost Bouré N., Bernard N., Gilbert D., Ranjard L. 2017. Microbial diversity and ecological networks as indicators of environmental quality, *Environ Chemistry Letters*, 15:265-281
- Christel A., Maron PA., Ranjard L. 2021. Impact of farming systems on soil ecological quality: a metanalysis. *Environmental Chemistry Letters* 19:4603-4625. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01302-y>.

## **Transition agroécologique en grandes cultures : évaluation multicritère de nouveaux modes de conduite, en vue de réduire l'usage des pesticides**

Francis Macary (1), Elisa Jurine (2), Kévin Petit (1), Daniel Uny (1),  
Gwenaël Imfeld (3)

(1) INRAE, UR ETTIS, 50 avenue de Verdun Gazinet, F-33612 Cestas cedex, France -  
francis.macary@inrae.fr, kevin.petit@inrae.fr, daniel.uny@inrae.fr

(2) Bordeaux Sciences Agro, 1 Cours du Général de Gaulle, 33170 Gradignan, France -  
elisa.jurine@agro-bordeaux.fr

(3) Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES), University of  
Strasbourg/EOST/ENGEES - CNRS UMR 7063, 5 rue Descartes, F-67084  
Strasbourg, France - imfeld@unistra.fr

*Mots-clés : Agroécologie ; Grandes cultures ; Pesticides ; Analyse multicritère*

Pour répondre aux besoins alimentaires de la croissance démographique, l'évolution de la productivité en agriculture s'est faite durant près d'un demi-siècle dans les pays industrialisés par l'usage massif et souvent excessif d'intrants chimiques de synthèse (produits phytosanitaires, fertilisants). Cela est bien évidemment accompagné d'autres déterminants d'une agriculture intensive (génétique, rotations culturales très courtes, hyper mécanisation adaptée aux grandes parcelles, d'où pertes de biodiversité et d'habitats pour les auxiliaires des cultures, liées à la destruction des haies, arbres et bosquets, etc.).

L'objectif était alors la lutte contre les cryptogames, les ravageurs des plantes et la gestion de la concurrence des adventices, dans une démarche de production agricole intensive. Ces pesticides, d'utilisation faciles et très efficaces, ont été systématiquement appliqués durant ces décennies suivant des recommandations, sans tenir compte généralement des considérations agronomiques ou écologiques. L'usage excessif d'intrants chimiques de synthèse trouve ses conséquences dans la contamination des écosystèmes et particulièrement les hydrosystèmes et les sols. Les transferts des pesticides d'origine agricole essentiellement depuis les parcelles d'épandage vers les cours d'eau sont connus. La toxicité des molécules pour les utilisateurs, les consommateurs, et les milieux biotiques est désormais avérée. Elle a ainsi des effets délétères (directs et indirects) sur de nombreux organismes non cibles des milieux récepteurs (van der Werf, 1996 ; Aubertot *et al.*, 2005).

Les différentes politiques publiques mises en œuvre visent à évoluer d'un système global productiviste vers un système plus durable, notamment dans le cadre de la transition agroécologique (MAP, 2008 ; MAAF, 2012 ; Caquet *et al.*, 2020). Cela nécessite de profondes mutations dans les pratiques de protection phytosanitaire mais de façon plus globale, dans les systèmes et modes de production (Altieri, 1995 ; Gliessman, 1998 ; Doré *et al.*, 2011).

Le projet PESTIPOND étudie le rôle des retenues d'eau dans le transfert et les impacts des pesticides sur les eaux de surface de la zone critique agricole (Imfeld *et al.*, 2021).

Dans un bassin versant en grandes cultures du sud-ouest de la France, nous avons d'abord évalué les risques de transferts des produits phytosanitaires vers les eaux de surface par une méthode d'analyse multicritère pour l'aide à la décision, de chaque parcelle de vigne, couplée à un système d'information géographique. Puis nous avons construit des scénarios en optimisant la pression phytosanitaire appliquée et les bonnes pratiques environnementales. L'évaluation multicritère (méthode de tri, Electre Tri-C) de ces scénarios, couplée à un SIG, montre que les risques de contamination peuvent être diminués sur des parcelles mais que globalement à l'échelle du bassin versant, ils restent encore élevés.

Nous avons ensuite modélisé des scénarios de systèmes de production avec différents modes de conduite : conventionnel, conventionnel optimisé, biologique au niveau d'exploitations agricoles virtuelles. Les performances économiques et environnementales de ces systèmes ont été évaluées grâce à la méthode d'analyse multicritère, Electre III.

Les résultats obtenus avec les systèmes en agrobiologie sont les plus performants, et cela grâce à des cultures secondaires très rémunératrices (lentilles, pois chiches), qu'il serait peu envisageable d'étendre à l'échelle de tout un territoire, car leurs contrats sont limités en surface. En revanche, des systèmes de production optimisés c'est à dire intégrant diverses démarches agroécologiques (allongement des rotations, diminution de la pression, renforcement de la biodiversité) peuvent permettre de réduire l'usage des pesticides, et de mieux s'orienter vers une transition agroécologique.

Cette étude permet d'ouvrir de nombreuses pistes de discussion avec les acteurs du monde agricole pour développer des modes de productions économes en intrants et ainsi diminuer les risques de contamination des écosystèmes par les pesticides.

Remerciements: Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet PESTIPOND avec le soutien financier de l'ANR-18-CE32-0007.

Références :

- Altieri, M. A. (1995) *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture* (2nd Ed). Westview Press, 448 p.
- Aubertot, J.-N., Barbier, J.-M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., and Voltz, M., eds. (2005). "Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective", 902 p. INRA, Cemagref, Paris.
- Caquet T, Gascuel C, Tixier-Boichard M, coord. (2020) *Agroécologie. Des recherches pour la transition des filières et des territoires*. Versailles, France: Quae, 104 p.
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchiane, M., Tittone, P. (2011) Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge - *European Journal of Agronomy* - Vol. 34, n° pp. 197-210.
- Doré T, Bellon S. 2019. *Les mondes de l'agroécologie*. Versailles, France: Quae, 176 p.
- Gliessman, S. R. (1998). "Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture," *Ann Arbor, Chelsea*.
- Imfeld, G., Payraudeau, S., Tournebize, J., Sauvage, S., Macary, F., Chaumont, C., Probst, A., Sánchez-Pérez, J.-M., Bahi, A., Chaumet, B., Gilevska, T., Alexandre, H., and Probst, J.-L. (2021). The Role of Ponds in Pesticide Dissipation at the Agricultural Catchment Scale: A Critical Review. *Water* 13, 19.
- MAAF (2012) *Agricultures, produisons autrement : projet agroécologique pour la France*, Ministère en charge de l'agriculture, 16 p.
- MAP (2008) *Plan Ecophyto 2018 de réduction des usages de pesticides 2008-2018*, Ministère français de l'agriculture et de la pêche, 21 p.
- van der Werf, H. M. G. (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 60, 81-96.

## **Bioprécurseurs d'acide salicylique en vue de stimuler les défenses naturelles des plantes**

Benoit Guichard (1), Hanxiang Wu (2), Cécile Marivint-Mounir (1), Jean-François Chollet (1)

(1) IC2MP (Institut de Chimie des Milieux et des Matériaux de Poitiers), UMR CNRS 7285, Université de Poitiers, 4 rue Michel Brunet, TSA 51106,<sup>[1]</sup><sub>[SEP]</sub>F-86073 Poitiers Cedex 9, France – jean.francois.chollet@univ-poitiers.fr ; cecile.marivint.mounir@univ-poitiers.fr

(2) State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China

*Mots-clés : acide salicylique, bioprécurseur, vectorisation, défenses naturelles des plantes, éliciteur*

Réduire l'utilisation des produits phytosanitaires, sans affecter le rendement et la qualité des productions agricoles, est l'un des grands enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle. La recherche de nouvelles molécules « phyto-protectrices » doit se concentrer sur une efficacité optimale tout en minimisant les effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement. D'autres solutions avec des profils de sécurité plus favorables peuvent également être envisagées. Parmi celles-ci, la stimulation des défenses naturelles des plantes occupe une place de choix afin de réduire l'utilisation de pesticides. Les plantes sont capables de développer en réponse à un stress la production de molécules qui vont induire une réponse de défense adaptée. Certains de ces composés, appelés éliciteurs, jouent un rôle majeur dans la mise en place des réactions de défenses des plantes.

L'acide salicylique est un composé impliqué dans de nombreux processus biologiques et physiologiques des plantes dont l'effet éliciteur. L'usage d'acide salicylique pour la protection naturelle des cultures a montré son intérêt, mais avec toutefois une limitation majeure. En effet, lorsqu'il est apporté de façon exogène à la plante, ce dernier est rapidement métabolisé et compartimenté, et n'aura donc une activité biologique que sur une courte période. Il s'avère donc nécessaire de trouver une stratégie permettant à l'acide salicylique d'être disponible à plus long terme in planta. Pour parvenir à cet objectif, nous avons utilisé une stratégie de prodrogue validée antérieurement au laboratoire avec un fongicide associé à un nutriment tel qu'un alpha-aminoacide ou un sucre que nous appellerons « conjugué ». Dans le cadre de ces travaux, l'acide salicylique a été sélectionné en tant que substance active ainsi que deux analogues chlorés, les acides 5-chloro et 3,5-dichlorosalicylique.

Des conjugués d'acide salicylique ou de ses deux analogues chlorés ont tout d'abord été synthétisés en réalisant diverses variations structurales au niveau du nutriment (alpha-aminoacide ou sucre) ou de l'espaceur qui est un élément porteur de groupements fonctionnels reliant les deux entités. Ces synthèses multi-étapes ont permis l'obtention de conjugués d'acide salicylique ou d'analogues halogénés liés à différents aminoacides de série L ou à un sucre, ceci avec des rendements globaux satisfaisants. Ces bioprécurseurs potentiels, ainsi que tous leurs intermédiaires, ont été caractérisés par des techniques usuelles d'analyse de molécules organiques telles que la résonance magnétique nucléaire et la spectrométrie de masse.

Des études biologiques ont ensuite été réalisées avec six de ces conjugués. Ces derniers associent l'acide salicylique et ses deux analogues chlorés à du  $\beta$ -D-glucose ou de l'acide L-glutamique via un espaceur 1,2,3-triazole. La mobilité phloémienne a été évaluée chez le ricin en comparaison des trois molécules parents. Les résultats obtenus ont mis en évidence une meilleure mobilité en présence d'un alpha-aminoacide. Ces six conjugués ont ensuite été évalués sur un modèle de laboratoire quant à leurs activités biologiques sur l'helminthosporiose du maïs provoquée par le champignon parasite *Bipolaris maydis*. Tous les composés ont montré une action préventive en réduisant la taille des nécroses induites par *B. maydis* sur les feuilles de maïs. Toutefois, les deux conjugués associant l'acide salicylique ou son analogue monochloré en position 5 à l'acide glutamique sont ceux qui présentent la plus forte efficacité préventive alors qu'ils n'ont aucune action fongicide directe *in vitro*. On peut donc alors supposer que ces deux produits ont stimulé les défenses naturelles chez le maïs. Cette hypothèse a ensuite été confirmée car ces molécules induisent, de façon similaire aux composés parents, une régulation positive de l'expression de deux gènes liés à la défense, *ZmNPR1* et *ZmPR1*.

## Conception de pesticides biocontrôlés par l'inhibition des tréhalases d'insectes ravageurs

Virgile Neyman (1), Catherine Michaux (1), Frédéric Francis (2), Eric Perpète (1)

(1) *Laboratoire de Chimie Physique des Biomolécules (CPB), UCPTS, UNamur, rue de Bruxelles 61, 5000 Namur, Belgique – eric.perpete@unamur.be*

(2) *Laboratoire d'Entomologie, Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT), ULiège, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgique – frederic.francis@uliege.be*

*Mots-clés : Acyrthosiphon pisum, tréhalase, purification, biocontrôle*

Suite à leur impact sur la santé humaine et l'environnement, le pouvoir public pousse à réduire l'utilisation de produits de synthèse comme les néonicotinoïdes, alors que des phénomènes de résistance des insectes nuisibles à ce type de molécules deviennent problématiques. L'agriculture biologique en Wallonie est un créneau d'intérêt général en pleine croissance suite à la demande des consommateurs. Le marché des insecticides dans l'UE est évalué à 1,3 milliard € par an mais les biopesticides à base de produits naturels ne représentent que 5% à ce jour, ce qui démontre l'urgence d'un développement plus poussé.

Les pucerons sont des ravageurs majeurs des forêts, cultures fruitières, céréales et légumes, non seulement en raison de leur action directe sur les plantes, mais également comme vecteurs de nombreux virus phytopathogènes [1]. Les infestations de pucerons sont généralement contrôlées à l'aide d'insecticides classiques, dont les problèmes de toxicité et d'efficacité vont croissant.

Par conséquent, de nouvelles solutions pour lutter efficacement contre ces parasites doivent être développées. Parmi celles-ci, des méthodes de contrôle biologique utilisant des prédateurs ou des parasitoïdes de pucerons ont été développées. Cependant, dans un contexte de grandes cultures, ils ne permettent pas encore d'assurer des rendements de production à coût compétitif. Une autre voie actuellement à l'étude est la formulation de nouveaux bioinsecticides visant à perturber les fonctions biochimiques de l'insecte.

Le tréhalose (alpha-D-glucopyranosyl-alpha-D-glucopyranoside) est le principal sucre circulant dans l'hémolymphe des insectes. Il joue un rôle crucial en tant que réserve énergétique (rôle de protection contre le stress environnemental, régulation des aliments, vol,...). Son hydrolyse en deux molécules de D-glucose est sous contrôle enzymatique de l'alpha,alpha-tréhalase (Treh), régulant ainsi



le métabolisme énergétique. Par conséquent, l'inhibition de cette enzyme devrait constituer une solution efficace pour lutter contre ces nuisibles [2].

En effet, une inhibition sélective de son activité entraînerait une réduction considérable du métabolisme lié au glucose et un dysfonctionnement des systèmes biologiques de survie des pucerons. En raison de la grande spécificité de ces agents, il existe peu de risque pour l'environnement et la santé humaine. Pour promouvoir ces biopesticides, nous utiliserons des microorganismes de type *Streptomyces*, générant naturellement des métabolites inhibiteurs de Trehs [3].

Ce projet vise à mettre en évidence des inhibiteurs sélectifs des tréhalases d'*Acyrtosiphon pisum* ou plus communément appelé le puceron vert du pois, modèle utilisé étant donné que son génome a été séquencé et annoté, et présentant un intérêt agronomique majeur [4].

Références:

- [1] Sylvester ES. Circulative and propagative virus transmission by aphids. *Annu Rev Entomol* (1980) 25:257-286.
- [2] E. Shukla, L.J. Thorat, B.B. Nath, S.M. Gaikwad, Insect trehalase: Physiological significance and potential applications, *Glycobiology*. 25 (2015) 357-367.
- [3] T.C. Zhou, B.G. Kim, J.J. Zhong, Enhanced production of validamycin A in *Streptomyces hygroscopicus* 5008 by engineering validamycin biosynthetic gene cluster, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98 (2014) 7911-7922.
- [4] S. Richards et al., Genome Sequence of the Pea Aphid *Acyrtosiphon pisum*. *PLoS Biol* (2010) 8(2): e1000313.

## Etude de la tréhalase et de la chitinase chez *Halyomorpha halys* : vers de nouvelles stratégies d'élaboration d'insecticides

Poucet Jean (1), Neyman Virgile (1), Michaux Catherine(1), Francis Frédéric(2) et Perpète Eric(1)

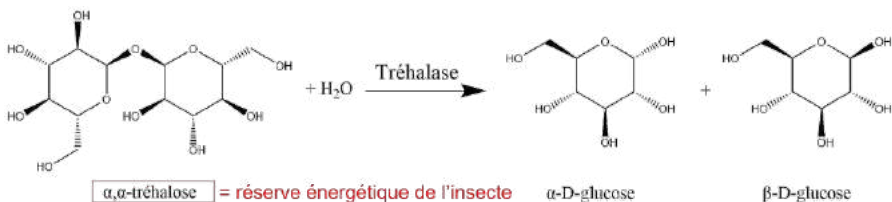
(1) Laboratoire de Chimie Physique des Biomolécules (CPB), UCPTS, UNamur, rue de Bruxelles 61, 5000 Namur, Belgique – eric.perpete@unamur.be

(2) Laboratoire d'Entomologie, Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT), ULiège, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgique – frederic.francis@uliege.be

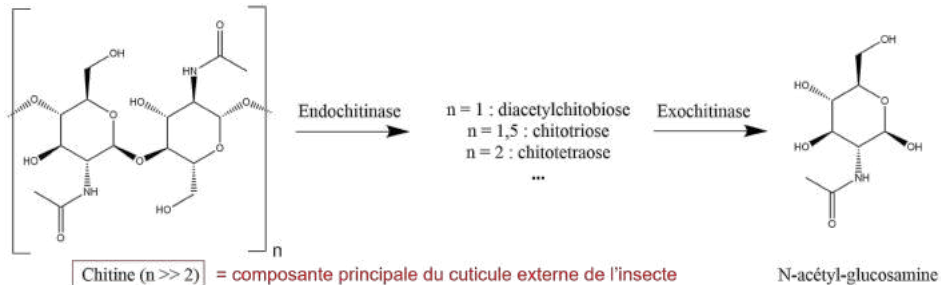
Mots-clés : *Halyomorpha halys*, tréhalase, chitinase, purification.

D'énormes quantités de pesticides sont actuellement utilisées pour soutenir le développement de l'agriculture (66 600 tonnes par an en France). Cependant, leur application fréquente a des effets néfastes sur la santé humaine et les insectes visés développent par ailleurs des résistances contre ces substances. Les insecticides actuels ne sont pas spécifiques des espèces nuisibles, affectant également les insectes utiles comme les pollinisateurs. Cette problématique conduit les scientifiques à concevoir des alternatives pour cibler spécifiquement certaines fonctions biologiques essentielles des insectes ravageurs. Dans ce projet, l'insecte étudié est *Halyomorpha halys*, également connu sous le nom de punaise diabolique. Ce nuisible, originaire d'Asie de l'Est, se répand progressivement dans le monde entier et cause des millions d'euros de pertes dans l'industrie alimentaire. Les principaux objectifs de cette étude sont de purifier et de caractériser des enzymes intervenant dans des fonctions biologiques (tréhalase et chitinase) chez *Halyomorpha halys* afin d'en élaborer des inhibiteurs spécifiques. Deux enzymes sont étudiées ici :

**La tréhalase** : cette enzyme est responsable de l'hydrolyse du tréhalose en deux molécules de glucose. Le tréhalose est une réserve d'énergie essentielle chez la plupart des insectes. L'inhibition de la tréhalase affecte donc des fonctions essentielles de l'insecte comme le vol, la croissance ou la métamorphose.



**La chitinase** : cette enzyme est responsable de la dégradation de la chitine et permet à l'insecte de muer. Son inhibition affecte donc sa croissance.



# Trajectoires de transition pour une réduction de l'utilisation des pesticides en Province de Luxembourg

Noé Vandevoorde, Yannick Agnan, Philippe Baret

*Earth and Life Institute (ELI), UCLouvain, Louvain-la-Neuve –  
noe.vandevoorde@uclouvain.be*

*Mots-clés : Farming System Research, trajectoire de transition, résidus de pesticides, rotation, filières*

Compte tenu de leurs impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine, de plus en plus de substances actives de synthèse sont interdites chaque année en Europe. Pourtant, la quantité totale de produits phytopharmaceutiques (PPP) utilisés en Belgique n'a pas diminué de manière significative au cours de la dernière décennie [1]. Dans la province de Luxembourg, de plus en plus de prairies permanentes sont converties en cultures, augmentant aussi bien la quantité totale de PPP utilisée que les surfaces concernées par l'utilisation de ces produits sur le territoire, faisant du thème de la réduction de l'utilisation des pesticides un sujet d'actualité pour l'autorité politique provinciale.

Dans cette thèse, nous étudions le rôle des pesticides et leur importance dans le système agroalimentaire en Province de Luxembourg, et ce à trois niveaux ontologiques (réductionnisme vs. holisme) et épistémologiques (objectivisme vs. relativisme) différents [2] :

- à un niveau *technocentrique* (objectivisme—réductionnisme) nous quantifions les résidus de pesticides dans les sols agricoles à l'échelle de la parcelle sur différents sites représentatifs de la diversité pédoclimatique de la Province ;
- à un niveau *écocentrique* (objectivisme—holisme) nous étudions l'(arché)tyologie de la diversité des pratiques agricoles (stratégies de luttes, succession de cultures, etc.), et ;
- à un niveau *holocentrique* (relativisme—holisme) nous analysons le rôle des pesticides dans le système agricole et les verrous face à la réduction de l'utilisation des pesticides à l'échelle du territoire de la Province du Luxembourg.

En adoptant le cadre du *Farming System Research* [3], nous espérons élever le débat actuel sur les pesticides d'un large agribashing à une reconnaissance de la

nécessité de transitions systémiques prenant en compte un panel d'acteurs plus large que les seuls agriculteurs.

Références :

[1] Phytoweb (2022). Données de ventes. SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne Alimentaire et Environnement. En ligne (consulté le 21 mars 2022) : <https://fytoweb.be/fr/plan-de-reduction/vigilance/donnees-de-vente>

[2] Bawden R. (1997). The Community Challenge: the Learning Response. 29th Annual 1 International Meeting of the Community Development Society. Athens, Georgia, USA.

[3] Darnhofer I., Gibbon D. et Dedieu B., éd. (2012). Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic

# **Usages, Réglementation et Homologation**

## **Les spécifications FAO/OMS pour les pesticides utilisés en agriculture et santé publique contribuent à réduire leur risque pour la santé et l'environnement**

Olivier Pigeon (1), Dominic Schuler (2), Marion Law (2),  
YongZhen Yang (3)

- (1) *Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), Unité Produits de protection, de contrôle et résidus, Bâtiment Carson, Rue du Bordia 11, 5030 Gembloux - o.pigeon@cra.wallonie.be*
- (2) *World Health Organization (WHO), Prequalification Unit – Vector Control Products Assessment (PQT/VCP), Geneva, Switzerland - mlaw@who.int, schulerd@who.int*
- (3) *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Plant production and Protection Division, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy - YongZhen.Yang@fao.org*

*Mots-clés : pesticides, spécifications, physico-chimie, qualité*

Les propriétés physico-chimiques des produits de protection des plantes et biocides influencent leur efficacité biologique et les risques qu'ils peuvent représenter pour les utilisateurs, les consommateurs et l'environnement.

L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) établissent et publient des spécifications pour les produits de protection des plantes (PPP) et les pesticides utilisés en santé publique. Ces spécifications internationales définissent les paramètres et critères minimums permettant de garantir la qualité physico-chimique des produits techniques et formulés de pesticides, tels que l'apparence, la teneur en substance active et toute impureté pertinente, les propriétés physiques et chimiques et la stabilité en cours de stockage.

Des produits de mauvaise qualité peuvent être dus à des problèmes physico-chimiques tels que, par exemple : une teneur en substance active ne correspondant pas à la teneur déclarée ; la présence d'impuretés toxiques à des concentrations inacceptables ; des problèmes de dispersion, d'émulsification ou de mise en solution de la substance active dans le pulvérisateur pouvant affecter l'homogénéité du traitement et son efficacité ; la présence de particules insolubles pouvant bloquer les filtres et buses du pulvérisateur ; la présence de poussières respirables dans des formulations granulés solides représentant un danger pour l'utilisateur ; un relargage trop rapide de la substance active pour

des produits à libération lente ; un manque de stabilité du produit en cours de stockage ... Les tolérances fixées dans les spécifications FAO/OMS pour les paramètres physico-chimiques pertinents permettent d'éviter ce type de problème.

Les spécifications FAO/OMS sont utilisées par les autorités compétentes pour vérifier que la qualité de la formulation sur le marché est la même que celle homologuée, et dans le cadre d'un contrat de vente, afin qu'un acheteur puisse acheter un produit avec une garantie de la qualité attendue. Elles sont conçues pour améliorer la confiance dans l'achat et l'utilisation de pesticides. Elles peuvent être utilisées par les autorités nationales comme point de référence international, mais ne sont pas destinées à remplacer les exigences nationales ou régionales en matière d'homologation.

Depuis la mise en place en 2002 de la nouvelle procédure publiée dans le Manuel sur l'élaboration et l'utilisation des spécifications FAO/OMS pour les pesticides, la FAO et l'OMS ont publié respectivement des spécifications pour les produits techniques et formulés pour une centaine de substances actives utilisées en agriculture et pour une quarantaine de substances actives utilisées en santé publique. Les spécifications FAO/OMS ne s'appliquent qu'aux produits des fabricants dont les données scientifiques ont été évaluées par la Réunion conjointe FAO/OMS sur les spécifications relatives aux pesticides (JMPS). Le JMPS est composée d'experts indépendants désignés par la FAO et l'OMS, et qui possèdent collectivement les connaissances nécessaires pour évaluer les informations scientifiques pertinentes et contribuer à l'élaboration des spécifications.

Les spécifications FAO/OMS permettent de garantir la qualité des PPP et biocides afin de limiter leurs effets néfastes pour la santé et l'environnement. Elles permettent ainsi de renforcer la confiance dans l'achat et l'utilisation des pesticides et, en même temps, contribuent à une meilleure lutte contre les ravageurs, à une production agricole saine et durable, à des mesures efficaces de lutte antivectorielle, à l'amélioration de la sécurité des utilisateurs, de la société publique et de l'environnement.

Cette présentation orale met en avant les principales propriétés physico-chimiques des pesticides à prendre en considération, l'importance du contrôle qualité des produits, le contenu des spécifications FAO/OMS, leur objectif, leur processus d'élaboration, et leur contribution pour réduire les risques liés à l'utilisation des pesticides.



# **Gouvernance des pesticides et pratiques phytosanitaires en agriculture urbaine en Côte d'Ivoire**

Wadjamsse Beaudelaire Djezou (1), Vincent Koffi Koffi (1), Atsé Eric Noel  
Aba (1), Martine Audibert (2)

(1) *Université Alassane Ouattara, LAMPE, Bouaké, Côte d'Ivoire*

(2) *CERDI-CNRS, FERDI, Clermont-Ferrand, France*

*Mots clés : producteurs, réglementation, usage de pesticides, maraîchage, logit.*

Suite à une croissance démographique très rapide dans la plupart des villes africaines (UNCHS, 2001), la sécurité alimentaire urbaine est devenue à la fois une question cruciale pour les décideurs (Koc *et al.*, 1999) et un véritable problème pour la population. Pour relever ce défi, est apparue progressivement une agriculture urbaine et périurbaine, capable de répondre à une demande croissante, notamment de légumes, conduisant au développement du maraîchage (FAO, 2010).

Ce type d'agriculture semble lié à un usage excessif des produits phytosanitaires pour l'obtention de beaux légumes comme l'exigent la plupart des consommateurs (Alfa, 2014). Or, l'utilisation abusive de ces produits pose des problèmes environnementaux et expose aussi bien les consommateurs que les producteurs à des risques sanitaires (PAN, 2005).

Pour préserver la santé humaine et protéger l'environnement, la Côte d'Ivoire s'est dotée d'un arsenal normatif et institutionnel en matière de circulation et d'usage des produits phytosanitaires. Cependant, malgré un dispositif institutionnel et réglementaire, l'usage des produits phytosanitaires ne s'est pas réduit et constitue toujours un risque environnemental et sanitaire (Tohouiri, 2015). Face à ce constat, il semble nécessaire de se demander pourquoi la pratique agricole maraîchère s'écartere de la réglementation en matière d'usage des produits phytosanitaires. Est-ce une méconnaissance de la réglementation ? Comment les décisions, en matière de pesticides, sont-elles prises ? L'ensemble des parties prenantes sont-elles associées à la gestion des pesticides ?

Ces questions ont été, à notre connaissance, très peu abordées dans la littérature. Ainsi, cette communication veut combler cette insuffisance en analysant, à partir de l'étude du cas de Bouaké, l'effet de la gouvernance des pesticides sur les pratiques phytosanitaires dans le maraîchage urbain en Côte d'Ivoire.

Pour ce faire, l'étude applique l'économétrie des variables qualitatives, en l'occurrence le modèle logit binaire aux données recueillies auprès de 421 producteurs dans la ville de Bouaké.

Il ressort des analyses que la plupart des maraîchers ne sont pas associés à la gestion des pesticides. Par conséquent, leur faible niveau de connaissance, en matière de produits homologués et de la réglementation des pesticides, a un impact significatif sur leur fréquence d'application des produits phytosanitaires. Par ailleurs, l'encadrement des producteurs améliore les pratiques en matière d'épandage des pesticides.

Ainsi, une politique d'encadrement et d'implication effective des maraîchers à la gestion des pesticides constitue un gage pour une bonne utilisation des pesticides en Côte d'Ivoire.

#### Références :

Alfa A. D. (2014), Construction sociale des processus décisionnels en matière d'usage des pesticides par les maraîchers de Sèmè-Kpodji », Mémoire de DEA, Université d'Abomey Calavi, Bénin.

FAO. (2015), Projet de renforcement des relations commerciales entre les petits producteurs et les acheteurs dans la filière des racines et tubercules en Afrique, Plan de Travail, Côte d'Ivoire.

Koc M., MacRae R., Mougeot L.J.A., Welsch J. (1999), For hunger-proof cities. Sustainable urban food systems, Ottawa, Canada: IDRC, 252 p.

Pesticide Action Network (2005), Étude d'impact socio-économique, sanitaire et environnemental de l'utilisation des POPs à Davié au Nord de Lomé (région Maritime), Rapport d'étude, Lomé, IPEP, PAN Togo, 37p.

Tohouri A. (2015), Géographie de l'activité maraîchère dans la ville de Bouaké, Mémoire de Master, Centre de Recherche pour le Développement, Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire.

United Nations Centre for Human Settlements (2001), Cities in a Globalizing World: Global Report on Human Settlements, London, Sterling, VA: Earthscan Publications.

## **RISKPPP : Un outil d'aide à la décision pour prévenir les pollutions ponctuelles des ressources en eaux par des produits de protection des plantes**

Julien Herinckx (1), Damien Maillard (2), Viviane Planchon (2),  
Bruno Huyghebaert (1), Bernard Weickmans (1).

- (1) *Unité sols, eaux et productions intégrées, Département Durabilité, Systèmes et prospectives, Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), 5030 Gembloux, Belgique – j.herinckx@cra.wallonie.be; b.huyghebaert@cra.wallonie.be; b.weickmans@cra.wallonie.be*
- (2) *Unité agriculture, territoire et intégration technologique, Département Productions agricoles, Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W), 5030 Gembloux, Belgique – d.maillard@cra.wallonie.be; v.planchon@cra.wallonie.be*

*Mots-clés : Pollution de l'eau, zone sensible, base de donnée harmonisée*

Il est aujourd'hui grandement reconnu par la communauté scientifique que l'application de produit de protection des plantes (PPP) à usage agricole exerce une pression certaine sur de multiples compartiments de l'environnement dont la ressource en eau (Edwards, 1973).

Ces pressions sur la ressource en eau peuvent être classées en deux groupes. On distingue d'une part les pollutions diffuses, dues aux applications répétitives d'un produit sur une surface importante, et d'autre part les pollutions ponctuelles qui, par opposition, se produisent de manière accidentelle et/ou très localisée. Ces dernières surviennent généralement lors d'une mauvaise manipulation d'un produit ou de son application sur une zone à sensibilité accrue, ce qui favorise le transfert vers les cours d'eau ou les nappes phréatiques des substances composant le produit. Selon le temps de rétention dans les sols propre à chaque substance, une dégradation plus ou moins complète en métabolite doit aussi être prise en compte dans l'analyse du risque.

Pour parvenir à la prévention de ces pollutions, de nombreuses réglementations définissent une liste de zones à caractère sensible sur lesquelles toute application de PPP est interdite ou, à minima, conditionnée. L'identification des géométries relatives à chacune de ces zones relève cependant d'une importante difficulté pour l'agriculteur cherchant à respecter les restrictions appliquées à sa parcelle.

Le projet RISKPPP veut répondre à ces difficultés en proposant une application permettant la visualisation directe de ces zones sur une interface

cartographique. Parmi celles-ci, les zones tampons étant dimensionnées selon des combinaisons bien spécifiques de matériel / produits / cultures / techniques d'applications utilisées, les règles relatives à chacune de ces combinaisons doivent être extraites des actes d'autorisation des produits. Afin de parvenir à ces objectifs, RISKPPP couple son interface cartographique à une base de données. Celle-ci harmonise et standardise l'ensemble des données présentes sur les actes d'autorisation de la plateforme Phytoweb, la référence fédérale en matière de législation des PPP, tout en y ajoutant également les restrictions en vigueur en Région wallonne.

La modélisation actuelle de la base de donnée facilitera la connexion d'organismes extérieurs afin qu'ils puissent la questionner et en extraire toute information pertinente à leur propre domaine de recherche. Prenant en compte l'historique des modifications tant des autorisations que des réglementations régionales, cette base de donnée s'imposera comme une nouvelle référence pour la consultation d'informations relatives à l'utilisation des PPP en Wallonie.

Référence :

Edwards, C. 1973, Environmental pollution by pesticides. In: Environmental Science Research Series (A. Hollaender, R. Probst, D. Rall, E.S. Starkman, B. Welch), Springer, Boston, MA, 409-458

## **Le maraichage intra-urbain à l'épreuve de la demande croissante des citadins en légumes : mésusage des pesticides et risques sanitaires à Bouaké (Côte d'Ivoire)**

Remi Kouakou N'dri (1), Raphaël Oura Kouadio (1), Florence Fournet (2), Théodore Doudou Dimi (1)

(1) *Université Alassane Ouatara, Bp V 18 Bouaké 01 – ndrremi@gmail.com; ouranien@yahoo.fr*

(2) *Institut de Recherche pour le Développement (IDR).*

*Mots-clés : pesticide, mésusage, maraîcher, consommateur, risque sanitaire*

La ville de Bouaké, dans le centre ivoirien, connaît un croit démographique significatif qui accentue la demande en légumes et le mésusage des pesticides. En effet, pour une meilleure rentabilité de l'activité, les maraichers utilisent de façon inappropriée les pesticides au point que les risques sanitaires sont élevés.

Cette communication s'intéresse aux modes d'utilisation des pesticides et leurs impacts sanitaires chez les maraichers et les consommateurs. La population urbaine est passée de 323 000 en 1988 à 536 189 habitants en 2014 (INS, 2014). Cet accroissement s'est accompagné d'une demande en vivres surtout en légumes, de plus en plus forte, avec pour conséquence immédiate le mésusage des pesticides de la part des maraichers urbains. Selon le directeur du service maraicher du CNRA-Bouaké, il faut, pour les plantes légumières, un seul traitement insecticide chaque deux semaines, soit deux traitements le mois. Mais plus de 71% des producteurs font des traitements phytosanitaires au-delà de ces normes.

Par ailleurs, plus de 84% des maraichers ne respectent pas les normes inscrites sur les boîtes de pesticide. En outre, les producteurs utilisent des produits, certes homologués mais non recommandés au maraichage. Peu soucieux des bonnes pratiques agricoles, ils font appel à des produits plutôt destinés au coton et au cacao. Nos résultats ont démontré que cette façon d'utiliser les pesticides expose les légumes à des risques sanitaires. Les problèmes observés sont d'ordres respiratoire, musculaire, dermatologique. La fatigue (74,5%), le rhume (52,1%), la migraine (40,3%) sont les symptômes qu'ils ont le plus cités. Ces malaises réduisent leur capacité de travail et peuvent par conséquent avoir un impact négatif sur le rendement agricole. Aussi, dans des proportions faibles, des maraichers disent avoir contracté des constipations (10,7%) et des maladies

des yeux (12,8%). Si les producteurs ont ainsi l'habitude de minimiser les effets du non-respect des normes d'usage des pesticides, leur acte expose également les consommateurs à des risques sanitaires.

Des consommateurs (14,18%) témoignent avoir ressenti des malaises suite à la consommation des légumes produits dans la ville. Les infections digestives représentent les principaux malaises cités. Certains disent avoir eu des indigestions après avoir consommé des légumes tels que la tomate et l'aubergine. Aussi, les crudités telles que la salade et le concombre provoquent la nausée, le vomissement et le vertige.

Le maraichage, tel que pratiqué dans la ville de Bouaké, ne respecte pas les normes d'usage des pesticides. Mais, en dépit des nombreux risques que présente le mésusage des produits phytosanitaires, rien n'indique aujourd'hui une fin proche de ces mauvaises pratiques, puisque ces producteurs poursuivent librement leur activité, sans avoir la moindre crainte d'être contrôlés, encore moins d'être poursuivis.

## **Drainage et désherbage durable en Lorraine, comment concilier environnement et réalité économique ?**

Ludovic Bonin (1), Magalie Devavry (2), Frédéric Pierlot (3, 5), Mathias Sexe (4), Nicolas Gruselle (4), Céline Ballesteros (2)

- (1) ARVALIS INSTITUT DU VEGETAL - 3 rue Joseph et Marie Hackin 75116 PARIS – [l.bonin@arvalis.fr](mailto:l.bonin@arvalis.fr)
- (2) Bayer S.A.S. 16 Rue Jean-Marie Leclair - CP 90106 69009 Lyon cedex 09 – [magalie.devavry@bayer.com](mailto:magalie.devavry@bayer.com) [celine.ballesteros@bayer.com](mailto:celine.ballesteros@bayer.com)
- (3) La Chambre Régionale d'Agriculture du Grand Est - 9 rue de la Vologne, Bâtiment I, 54520 LAXOU – [frederic.pierlot@univ-lorraine.fr](mailto:frederic.pierlot@univ-lorraine.fr)
- (4) EMC2, Société coopérative Agricole - 55100 Bras-sur-Meuse – [Mathias.SEXE@emc2.coop](mailto:Mathias.SEXE@emc2.coop) [Nicolas.GRUSELLE@emc2.coop](mailto:Nicolas.GRUSELLE@emc2.coop)
- (5) Université de Lorraine, LAE, UMR 1121 Univ. Lorraine/INRA, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy - [frederic.pierlot@univ-lorraine.fr](mailto:frederic.pierlot@univ-lorraine.fr)

*Mots-clés : Lorraine, céréales, parcelles drainées, résistances herbicides, pratiques culturales*

En France, environ 3 millions d'hectares sont drainés, soit 10% de la surface agricole utile (SAU). Le drainage, par son action d'évacuation rapide des excès d'eau hivernaux, apporte des bénéfices agronomiques tels que la régularisation des rendements, la limitation du ruissellement, etc. La gestion du désherbage des parcelles drainées devient de plus en plus complexe, du fait de l'évolution de la réglementation avec l'interdiction d'appliquer certains produits sur parcelles drainées, en particulier à l'automne. Si, en plus, ces parcelles sont concernées par des difficultés de désherbage (infestations importantes, résistances à certaines matières actives), le recours aux herbicides d'automne, pourtant essentiel pour préserver le potentiel de rendement des récoltes (qualité, quantité), devient quasi impossible et remet même en cause l'implantation de la culture faute de solutions.

Un projet de suivi multipartenaires (Arvalis Institut du végétal, la coopérative agricole EMC2, la Chambre d'Agriculture Régionale du Grand-Est, l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Nancy et Bayer) a été initié en 2021 en Lorraine, où le drainage est deux fois plus présent qu'en moyenne nationale. Ce projet a pour objectifs de réaliser un état des lieux de la problématique et d'évaluer l'impact des restrictions drainage à l'échelle d'un territoire en zone céréalière fortement drainée sur des enjeux de désherbage (impasses

techniques, évolution des résistances, évolutions des pratiques agronomiques mises en œuvre par les agriculteurs).

Ce projet a commencé par une enquête auprès de 79 agriculteurs lorrains sur les zones de la Seille et de la Woëvre, secteurs où le drainage est prépondérant. L'objectif était de recueillir et d'analyser leurs pratiques (rotation, travail du sol, herbicides utilisés) et le niveau d'infestation de vulpins estimé. La deuxième partie a consisté à l'évaluation du niveau d'infestation et de la qualité du désherbage sur la flore présente - exclusivement vulpin- avec prélèvements de graines dans 93 parcelles drainées. Ceci afin de déterminer le statut de résistance de la flore présente aux herbicides de printemps - mode d'action ALS (HRAC 2) et ACCase (HRAC 1) - en céréales.

Les premiers résultats montrent que contrairement aux idées reçues, le travail profond est encore bien présent sur ces zones avec environ 60% des parcelles enquêtées labourées, de manière permanente ou ponctuelle. Les rotations ont également évolué, et la rotation classique colza/blé/orge n'est plus la norme, de nombreuses parcelles étant conduites sur une rotation sans colza ou en rotation "allongée" avec l'introduction de culture de printemps (maïs ou tournesol). Selon l'enquête, les  $\frac{3}{4}$  des agriculteurs estiment avoir des parcelles avec un fort niveau d'infestation, confirmé par les notations au champ. Par ailleurs, les premiers résultats de résistance montrent une forte proportion des populations de vulpins présentant une moindre sensibilité aux produits à mode d'action ALS et/ou ACCase.

Ces premiers éléments montrent l'importance des pratiques culturales et des programmes herbicides intégrant des produits dès l'automne pour la gestion de cette graminée afin d'assurer de manière durable le potentiel de rendement voire la possibilité de cultiver ces parcelles.



# **Problématique d'une réglementation efficiente des pesticides en agriculture urbaine en Côte d'Ivoire**

Pélagie Théoua-n'Dri, Roland Kossonou

*Centre de Recherche et d'Étude sur le Droit et les Finances Publiques (CREDFIP),  
Université Alassane Ouattara- Bouaké credfiprecherche@uao.edu.ci*

*Mots-clés : Réglementation, pesticides, agriculture urbaine, environnement, Côte d'Ivoire.*

Les découvertes récentes sur les risques sanitaires et environnementaux liés à l'usage des pesticides en agriculture permettent, au fil des ans, de mettre l'accent sur une problématique existentielle majeure. Dans un contexte de prise de conscience collective de la nécessité de protéger la planète, les volontés nationales se solidarisent pour établir, de concert, des règles de protection de notre patrimoine commun. Sur ce fondement, et à l'aune de la vulgarisation du concept de développement durable au plan national et international, la Côte d'Ivoire s'arme progressivement de moyens juridiques nécessaires à une réglementation appropriée de l'usage des pesticides en agriculture. Le défi de l'heure est donc de prendre le pouls de ces efforts, afin de juger de l'efficacité du dispositif en agriculture urbaine ; tant ce domaine de l'agriculture semble quelque peu négligé.

L'objectif de cette communication est donc d'autopsier l'éventail juridique existant en vue de mettre à nu ses insuffisances. La communication permettra aussi de comprendre les facteurs de ces insuffisances et de proposer des pistes de solutions pour une conciliation efficiente de l'usage des pesticides en agriculture urbaine avec l'objectif de protection durable de l'environnement.

La méthodologie adoptée est à la fois empirique, analytique et systémique. Elle aura permis d'établir un glossaire des dispositions ivoiriennes en matière de réglementation de l'usage des pesticides en agriculture urbaine. Les textes répertoriés ont pu être analysés par la mesure de leur effectivité et de leur efficacité.

A l'évidence, il ressort de ces analyses que, la réglementation applicable à l'usage des pesticides en agriculture urbaine en Côte d'Ivoire est d'une efficacité relative. Les défaillances observées sont tributaires d'un dispositif normatif inadapté, couplé d'une gestion institutionnelle lacunaire. Aussi l'encadrement de l'usage des pesticides en agriculture urbaine renseigne-t-il sur l'existence d'une véritable problématique à résoudre. La qualité de l'encadrement juridique devra être revue à travers, d'une part, l'amélioration des textes aussi bien dans leur

substance que dans leur application par les acteurs publics que privés et, d'autre part, le renforcement du dispositif institutionnel.



# **Prévention et Remédiation**

# Comparaison de l'efficacité et la cinétique de 4 techniques de remédiation de sols agricoles historiquement contaminés par la dieldrine

Félix Colin (1,2), Grégory Cohen (1), Olivier Atteia (1)

(1) UMR 5805 EPOC, Bordeaux INP – Université de Bordeaux, France –

Felix.colin@bordeaux-inp.fr

(2) Bordeaux Métropole, Esplanade Charles de Gaulle, 33000, France

*Mots-clés : Dieldrine, Contamination ancienne, Traitements physico-chimiques, Propriétés des sols, Réacteur fermé*

La contamination des sols agricoles par des résidus de Pesticides OrganoChlorés (POCs) est une problématique mondiale. Au cours de la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, la dieldrine a été largement utilisée pour protéger les cultures des insectes nuisibles. En France, malgré une interdiction d'utilisation de ce POC dans l'agriculture depuis 1972, son caractère persistant induit encore aujourd'hui une contamination de certains sols agricoles pouvant conduire à la contamination de certains produits cultivés, notamment les cucurbitacées, avec parfois des teneurs supérieures aux Limites Maximales en Résidus (LMR). Pour réduire ces teneurs dans le sol, de nombreuses études se sont penchées sur plusieurs techniques physico-chimiques de décontamination reposant majoritairement sur des expériences effectuées avec des sols artificiellement dopés en contaminants (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, Polychlorobiphényles et autres). Cependant, ceci ne reflète pas le comportement réel d'une contamination historique car suite à l'effet de vieillissement, l'accessibilité et la disponibilité du contaminant vont différer en raison de l'évolution des phénomènes de sorption/désorption avec la matière organique et les particules du sol (Alexander, 2000; Northcott and Jones, 2001; Pignatello and Nason, 2020; Umeh *et al.*, 2017). Ainsi, les contaminants ayant été introduits il y a plusieurs dizaines d'années sont plus fortement liés au sol et donc plus difficilement re-mobilisable que ceux fraîchement dopés. Par ailleurs, la décontamination de sols agricoles présente une complexité supplémentaire puisque leurs qualités agronomiques doivent être préservées.

Afin de déterminer l'efficacité et la cinétique de 4 techniques de remédiation, des expériences en réacteurs fermés ont été menées sur des échantillons de 20 à 120 g de sol agricole présentant une contamination historique en dieldrine ( $\approx 100 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Ces techniques sont : (i) la dégradation au Fer zéro Valent (Fe0) à 5% (w/w) avec ou sans additifs (sulfate d'aluminium et acide acétique), (ii)

l'immobilisation avec des charbons actifs (CA) à 3% (w/w), (iii) le traitement thermique à très basse température (90°C) avec extraction d'air et (iv) l'extraction au CO<sub>2</sub> supercritique (SC) à 50°C et 200 bar. La concentration en dieldrine a été mesurée dans le sol avant traitement et après différents temps d'incubation (70 jours maximum), en fonction de la technique utilisée. L'impact sur le pH et la teneur en MO du sol a également été mesurée pour les techniques présentant une efficacité supérieure à 50%.

Les résultats montrent que la dégradation au Fe<sub>0</sub> et l'immobilisation aux CA ne sont pas efficaces (abattement des concentrations inférieures à 30%) pour diminuer la concentration en dieldrine dans le sol, même après 70 jours de traitement. En revanche, le traitement thermique à très basse température et l'extraction au CO<sub>2</sub> SC engendrent une diminution de la concentration en dieldrine de l'ordre de 85% après seulement quelques heures de traitement. Les cinétiques associées à ces deux dernières techniques sont d'ordre 1 et présentent des constantes de  $2.5 \times 10^{-1}$  et  $8.1 \times 10^{-1} \text{ h}^{-1}$  pour le traitement thermique et l'extraction au CO<sub>2</sub> SC, respectivement. De plus, le traitement thermique ne montre aucune variation significative de pH et de teneur en MO du sol alors que l'extraction au CO<sub>2</sub> SC induit une légère diminution du pH de 0.4 unité.

Ainsi, le traitement thermique très basse température (90°C) avec extraction d'air et l'extraction au CO<sub>2</sub> SC réduisent efficacement (85%) la concentration en dieldrine du sol en quelques heures, en impactant très légèrement le pH mais pas la teneur en MO du sol. Ces 2 techniques sont donc très prometteuses pour décontaminer des sols agricoles historiquement contaminés en dieldrine tout en conservant leurs propriétés agronomiques. Afin d'appliquer ces techniques sur site en conditions réelles, des études complémentaires sont néanmoins nécessaires pour (i) préciser les mécanismes physico-chimiques impliqués et (ii) identifier les verrous liés au changement d'échelle.

#### Références:

Alexander, M., 2000. Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants. *Environ. Sci. Technol.* 34, 4259–4265. <https://doi.org/10.1021/es001069+>

Northcott, G.L., Jones, K.C., 2001. Partitioning, extractability, and formation of nonextractable PAH residues in soil. 1. Compound differences in aging and sequestration. *Environ. Sci. Technol.* 35, 1103–1110. <https://doi.org/10.1021/es000071y>

Pignatello, J.J., Nason, S.L., 2020. Importance of Soil Properties and Processes on Bioavailability of Organic Compounds, in: *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer International Publishing, pp. 7–41. [https://doi.org/10.1007/698\\_2020\\_510](https://doi.org/10.1007/698_2020_510)

Umeh, A.C., Duan, L., Naidu, R., Semple, K.T., 2017. Residual hydrophobic organic contaminants in soil: Are they a barrier to risk-based approaches for managing contaminated land? *Environ. Int.* 98, 18–34. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.09.025>

## **Revue des processus de dissipation des pesticides dans les zones tampons humides artificielles de type « pond ».**

Aya Bahi (1), Sabine Sauvage (2), Sylvain Payraudeau (3), Gwenaël Imfeld (3), José-Miguel Sánchez-Pérez (2), Betty Chaumet (2), Julien Tournebize (1)

- (1) *INRAE, French National Research Institute for Agriculture, Food and the Environment, University of Paris-Saclay, CS 10030, F-92761 Antony, France  
aya.bahi@inrae.fr , julien.tournebize@inrae.fr*
- (2) *Laboratory of functional Ecology and Environment, University of Toulouse, CNRS, UPS, Toulouse INP, ENSAT campus, F-31326 Toulouse, France  
sabine.sauvage@univ-tlse3.fr, jose-miguel.sanchez-perez@univ-tlse3.fr,  
betty.chaumet@toulouse-inp.fr*
- (3) *ITES, Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES), University of Strasbourg /ENGEES, CNRS UMR 7063, F-67084 Strasbourg, France  
sylvain.payraudeau@engees.unistra.fr, imfeld@unistra.fr*

*Mots-clés : Pond; pesticide; dissipation; processus.*

Les pesticides sont une source de pollution diffuse qui affecte la qualité des ressources en eaux et des habitats aquatiques. Afin d'éviter leurs transferts des parcelles agricoles vers les eaux de surface et souterraines, de nombreuses installations ont été mises en place à cet effet. Les ponds collectant les flux de ruissellement et d'érosion offrent un outil complémentaire pour atténuer le transfert de pesticides. Les ponds sont des zones humides à surface libre, rarement asséchées et ne dépassant pas deux mètres de profondeur. Leurs principaux compartiments comprennent une colonne d'eau, une couche de sédiments, des organismes vivants et de la matière en suspension. Le potentiel de dissipation des pesticides par les ponds est dû à une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques que les pesticides subissent dans une interaction entre les différents compartiments du pond. Bien que de nombreuses études sur le potentiel de dissipation des ponds portent sur les nitrates et les sédiments en suspension, on sait très peu de choses sur le comportement des pesticides. De plus, la plupart des études évaluent un processus individuellement sans mettre l'accent sur son interaction éventuelle avec d'autres processus, et encore moins d'articles proposent des formulations mathématiques pour les processus de transfert et de transformation des pesticides pour la modélisation des ponds. L'objectif de ce travail est d'étudier et évaluer les interactions et la contribution de multiples processus à la dissipation

des pesticides dans les ponds ainsi que leurs formules mathématiques et leur facteur de contrôle. Notre évaluation suggère que la quantification de la contribution de chaque processus à la dissipation des pesticides dans les ponds est un outil majeur pour hiérarchiser les processus de dissipation. Nous pensons que cette quantification et hiérarchisation peuvent améliorer l'estimation de l'efficacité globale des ponds à réduire le transfert des pesticides aux ressources d'eau naturelles pour concevoir des ponds plus performants et efficaces.



## **Prévention des contaminations des eaux souterraines : étude de la lixiviation des pesticides au sein d'un sol limoneux typique de Wallonie**

Clémence Pirlot (1), Alodie Blondel (2), Boris Krings (2),  
Olivier Pigeon (2), Aurore Degré (1)

(1) Uliège, Gembloux Agro-Bio Tech, 2, Passage des Déportés, 5030 Gembloux,  
Belgique – [clemence.pirlot@uliege.be](mailto:clemence.pirlot@uliege.be)

(2) CRA-W (Centre wallon de Recherches Agronomiques), 11, rue du Bordia, 5030  
Gembloux, Belgique – [a.blondel@cra.wallonie.be](mailto:a.blondel@cra.wallonie.be)

*Mots-clés : Contamination, pesticides, lixiviation, colonne de sol, sol limoneux*

L'utilisation intensive des pesticides ces dernières décennies a détérioré la qualité des eaux souterraines. Afin d'assurer une meilleure protection de la ressource, de nombreux outils de modélisation ont vu le jour et permettent de rapidement déterminer les risques potentiels liés à l'utilisation de pesticides sur les sols agricoles. Ces modèles utilisent principalement deux paramètres nécessaires à la modélisation du transport de pesticides, qui sont le coefficient de sorption (Kd) et le temps de demi-vie (DT50). Ces paramètres sont donnés par les fabricants des produits phytosanitaires mais la littérature démontre que pour refléter les conditions de terrain, ils doivent être ajustés. Une des stratégies possibles et utilisée ici est de déterminer ces paramètres par modélisation inverse des courbes d'élution sur base d'expériences de lixiviation en colonnes de sol.

Quinze colonnes de sol de 8,4 cm de diamètre et de 30 cm de haut ont été prélevées sur un sol limoneux agricole typique de Wallonie à Gembloux. Trois colonnes de chaque horizon (0-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm) et de chaque parcelle cultivée (betteraves, maïs, caméline) ont été réalisées. Un pulse de 8 pesticides (Chlortoluron, Flufenacet, Terbuthylazine, Metamitron, Metazachlore, Metolachlore, Ethofumesate et Bentazone) a été appliqué à une concentration correspondant à la dose agréée au-dessus de chacune des colonnes. Les colonnes ont été éluées avec de l'eau distillée. Les concentrations en pesticides des percolats ont été mesurées par UPLC-HRMS par le CRA-W.

Les résultats préliminaires montrent que les courbes d'élution sont majoritairement asymétriques dû aux flux préférentiels présents au sein du profil de sol. L'allure des courbes peut être très variée en fonction des pesticides, montrant leurs différents comportements d'adsorption et de

dégradation. Au niveau de l'horizon 1, entre 10 à 20% des quantités de pesticides appliqués ont été lixiviées des colonnes prélevées dans les parcelles en betteraves et en caméline et moins de 10% pour les colonnes prélevées sur les parcelles en maïs. Au niveau des horizons 2 et 3, de plus grandes quantités de pesticides ont été lixiviées avec des valeurs aux alentours des 50% pour l'horizon 2 et entre 40 et 60% pour l'horizon 3.

Les quantités de bentazone sont les plus élevées avec environ 70% de la quantité initiale lixiviées pour l'ensemble des colonnes. Les quantités de métamitron récupérées sont également plus élevées que celles des autres pesticides avec environ 30% pour l'horizon 1, et plus de 60% pour les horizons 2 et 3.

Ainsi, les premiers résultats sont très prometteurs et cohérents avec la littérature. A partir de ces résultats la modélisation inverse pourra être réalisée afin d'obtenir les caractéristiques de sorption et de dégradation des 8 pesticides étudiés, pour les trois horizons et pour les trois cultures. Ces résultats permettront d'obtenir des valeurs adaptées aux sols agricoles wallons et de mieux gérer l'utilisation des pesticides afin de protéger les eaux souterraines.

## Mise en évidence d'une biodégradation efficace de la chlordécone en conditions méthanogènes

Déborah Martin (1), Delphine Muselet (1), Perla Alnajjar (2), Stéphane Pacaud (3), Yves Le Roux (2,3), Cyril Feidt (2), Pierre-Loïc Saaidi (1)

- (1) UMR 8030 Génomique Métabolique, CEA, Institut de Biologie François Jacob, Genoscope, Université d'Evry Val d'Essonne, Université Paris-Saclay, Evry, France – [plsaaiddi@genoscope.cns.fr](mailto:plsaaiddi@genoscope.cns.fr)
- (2) Université de Lorraine-INRA (USC340), URAFPA, 2 Avenue de la Forêt de Haye, TSA 40602, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France – [cyril.feidt@univ-lorraine.fr](mailto:cyril.feidt@univ-lorraine.fr)
- (3) Chaire Agrométhé, Université de Lorraine-ENSAIA, URAFPA, 2 Avenue de la Forêt de Haye, TSA 40602, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy – [yves.leroux@univ-lorraine](mailto:yves.leroux@univ-lorraine)

*Mots-clés : chlordécone, produits de transformation, méthanisation, biodégradation*

La chlordécone (CLD,  $C_{10}Cl_{10}H_2O_2$ ) est un pesticide organochloré qui a été massivement utilisé aux Antilles entre les années 1972 et 1993 afin de lutter contre le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*). La structure bis-homocubane perchlorée de la CLD lui confèrent une faible solubilité dans l'eau, une grande hydrophobicité et un caractère persistant dans l'environnement. Sa bioaccumulation tout au long de la chaîne alimentaire engendre une contamination de la population antillaise entraînant une toxicité chronique chez l'homme. Une des mesures prises pour limiter cette contamination est de déplacer les animaux d'élevage contaminés sur des parcelles « propres » en CLD pour qu'ils éliminent naturellement la CLD via leurs déjections avant abattage. La gestion de ces effluents d'origine animale constitue alors un enjeu majeur pour limiter la contamination de ces nouvelles parcelles.

Bien que récalcitrante, la CLD peut subir une dégradation dans des conditions réductrices se traduisant par la formation de plusieurs familles de produits de transformation (PTs). L'application de fer zéro-valent sur des sols contaminés par la CLD conduit notamment à la formation d'hydrochlordécones ( $C_{10}Cl_{10-n}O_2H_{2+n}$ ,  $1 \leq n \leq 5$ ). En laboratoire, la forme la plus réduite de la vitamine B12 (noyau cobalt au degré d'oxydation +I) induit la conversion de la CLD en hydrochlordécones, en polychloroindènes ( $C_9Cl_{6-n}H_{2+n}$ ,  $1 \leq n \leq 3$ ) ainsi qu'en acides polychloroindénecarboxyliques ( $C_{10}Cl_{5-n}H_3+nO_2$ ,  $1 \leq n \leq 3$ ). De manière microbiologique, deux bactéries du genre *Citrobacter* (sp.86 et sp.92) ont été identifiées pour leur capacité à ouvrir la cage bis-homocubane de la CLD, aboutissant principalement à des polychloroindènes possédant, pour certains,

une fonction acide carboxylique. Des consortia bactériens ont même conduit à la formation d'un produit de transformation entièrement déchloré. Des dérivés thiol et méthylthioéther, issus d'une sulfuration réductrice de la CLD suivie le cas échéant d'une étape de méthylation, ont également été détectés en présence de certaines bactéries. Dans des conditions méthanogènes à 50°C, l'archée *Methanosarcina thermophila* a conduit à la transformation de la CLD en plusieurs PTs polaires et apolaires. L'efficacité particulière observée (85% d'abattement en seulement 10 jours) dénote par rapport aux autres expériences de biodégradation.

Globalement, les études de dégradation microbiologique de la CLD mettent en évidence l'importance des conditions particulières suivantes : l'usage d'un fort agent réducteur, l'absence d'oxygène, ainsi que la présence de microorganismes capables de dégrader la CLD, notamment ceux produisant des corrinoïdes et/ou le coenzyme F430. Ces observations nous ont amenés à supposer que le processus de méthanisation, qui nécessite principalement i) un potentiel redox inférieur ou égal à -300 mV, ii) l'absence d'oxygène et iii) la présence de consortia de microorganismes (par exemple des producteurs de corrinoïdes et du facteur F430), pourrait être une stratégie efficace pour dégrader la CLD. Cette hypothèse avait été émise par Hervé Macarie dès 2014. On peut noter que les dégradations microbiologiques conduisent majoritairement à l'ouverture de la cage bis-homocubane de la CLD avec la perte d'au moins cinq atomes de chlore. Cette voie de dégradation semble donc particulièrement efficace pour atteindre son élimination complète. Enfin, Il faut rappeler que les procédés de méthanisation répondent également à des enjeux environnementaux et énergétiques, en particulier pour les territoires insulaires comme les Antilles.

L'objectif de cette étude, à travers le projet DeChlorMeth, a été de montrer qu'un processus de méthanisation pouvait conduire à une dégradation efficace de la CLD. Pour cela, différentes conditions méthanogènes, mésophile (37.5°C) et thermophile (55°C), en batch, ont été testées sur un digestat préalablement supplémenté à 20 mg.L<sup>-1</sup> de CLD. Afin d'avoir un suivi de la dégradation de la CLD, différents temps d'incubation ont été mis en place avec une approche sacrificielle (T0, T5, T20 et T40 jours). La production de méthane a également été suivie afin de s'assurer que l'activité méthanogène des microorganismes était constante tout au long de la durée d'incubation. Les extractions des digestats ont été réalisées à l'aide d'un protocole QuEChERS (de l'anglais Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) préalablement adapté pour cette matrice. Une double analyse GC-MS et LC-HRMS a été effectuée afin de détecter les différentes familles de PTs. La concentration de la CLD et de certains PTs ont été suivies tout au long du processus de méthanisation. Une recherche non-ciblée a également été réalisée afin de rechercher d'autres PTs encore inconnus qui auraient également pu se former lors de la dégradation de la CLD.

Dans un premier temps, le suivi de la production de méthane a montré que les concentrations en CLD introduites n'ont pas eu d'impact sur l'activité des microorganismes. Nos résultats ont montré qu'une dégradation significative de la CLD s'était produite suite au processus de méthanisation, en conditions thermophile et mésophile. Après 40 jours, des taux d'abattement de la CLD compris entre 30 et 40% en condition mésophile et entre 85 et 90% en condition thermophile ont été obtenus. En parallèle, plusieurs PTs tels que des hydrochlorodécones, des polychloroindènes ainsi que des acides polychloroindèncarboxyliques ont été détectés et leurs concentrations ont été déterminées. Le profil de ses PTs est très similaire à celui observé jusque-là dans le cadre des dégradations microbiologiques.

La méthode analytique QuEChERS qui a été introduite a permis de réaliser, pour la première fois, un suivi temporel fiable de la concentration de la CLD et de ses PTs dans le cadre d'une expérience de biodégradation. Les résultats montrent qu'un processus de méthanisation peut induire une transformation efficace de la CLD en différentes familles de PTs. Une approche par méthanisation émerge donc comme une solution possible aux problématiques environnementales et énergétiques des Antilles.

## Variation inter et intraspécifique de la concentration en dieldrine dans les fruits de cucurbitacées

Marie-Cécile Affholder (1), Grégory Cohen (2), Michel Mench (3)

- (1) EPOC - UMR CNRS 5805 – Equipe PROMESS, Université de Bordeaux - Bordeaux INP, Avenue des facultés, CS60099, 33400 Talence, France – [affholder@bordeaux-inp.fr](mailto:affholder@bordeaux-inp.fr)
- (2) UMR CNRS 5805, EPOC, Avenue des facultés, CS60099, 33400 Talence, France – [gregory.cohen@ipb.fr](mailto:gregory.cohen@ipb.fr)
- (3) INRAE – UMR BIOGECO INRA 1202 – Equipe écologie des communautés, Université de Bordeaux, Bat. B2, Allée Geoffroy St Hilaire, CS50023, 33615 Pessac, France – [michel.mench@inrae.fr](mailto:michel.mench@inrae.fr)

*Mots-clés : Dieldrine, Cucurbitacées, contamination historique, fruit, Gironde*

Suites aux pratiques agricoles passées et à la contamination diffuse, il est commun d'identifier des sols maraichers contaminés par des Pesticides OrganoChlorés (POC). Leur persistance dans les sols entraîne des expositions chroniques via la consommation de produits végétaux contaminés et des restrictions d'usages en lien avec une toxicité potentielle vis-à-vis de l'Homme et des animaux présents dans l'environnement. L'imprégnation de certains légumes, notamment les Cucurbitacées, par ces composés est avérée et, dans certains cas, les concentrations en POC des produits récoltés dépassent les Limites Maximales en Résidus (LMR) réglementaires.

Afin de préserver et restaurer les services rendus par ces sols agricoles contaminés, ainsi que pour maintenir et conforter l'activité des exploitations concernées par cette problématique, il est essentiel de trouver des solutions innovantes et concrètes. L'identification d'espèces et variétés de Cucurbitacées accumulant peu de POC, notamment la dieldrine, est une solution intéressante pour maintenir les cucurbitacées dans les rotations culturales tout en limitant le transfert de contaminants dans la chaîne alimentaire. Des recherches antérieures (Otani *et al.*, 2007) ont montré une grande variabilité intra- et interspécifique concernant l'accumulation de dieldrine dans les parties aériennes de cucurbitacées. Cependant, cette étude a été réalisée sur des sols contaminés artificiellement et sur une période d'exposition limitée (3 semaines) ne permettant pas de prendre en compte le niveau de contamination des fruits.

Dans cette étude, 28 variétés de cucurbitacées, regroupant 8 espèces (courgettes, concombres, courges, potirons, melons, pastèques, concombres mexicain et concombres amer), ont été cultivées pendant 3 mois en pots (25L),

semi-enterrés sur site, avec le sol historiquement contaminé en dieldrine de la parcelle. Les fruits ont été récoltés à taille commercialisable. Les concentrations en dieldrine ont été analysées pour chaque pot et chaque fruit, pour lesquels les données physiologiques ont été relevées (biomasse, distance du collet, date de récolte, etc.).

Plus de 330 fruits de cucurbitacées ont été récoltés. Les résultats confirment que les concentrations en dieldrine dans les fruits varient fortement entre les espèces et variétés de cucurbitacées, le concombre étant l'espèce la plus accumulatrice. Une forte variabilité intraspécifique a été mise en évidence chez les courgettes. Plusieurs variétés produisent des fruits dont les concentrations en dieldrine sont, en moyenne, inférieures aux LMR tandis que d'autres sont plus accumulatrices. Pour les concentrations en dieldrine des sols considérées (entre 60 et 180  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), l'accumulation de dieldrine dans les fruits atteint un plateau pour la plupart des variétés. Cependant, pour certaines courgettes, des facteurs physiologiques tels que l'âge de la plante ou la biomasse du fruit peuvent avoir une influence sur la concentration en dieldrine dans les fruits.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier l'ADEME (Agence française de la transition écologique), Bordeaux-Métropole et le conseil départemental de la Gironde pour le financement du projet PhytoPOC, ainsi que les maraîchers qui ont fournis graines, plants et terrain pour les expérimentations.

Références :

Otani, T., Seike, N., Sakata, Y., 2007. Differential uptake of dieldrin and endrin from soil by several plant families and Cucurbita genera. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53, 86-94.

## **BUVARD-MES : Un outil en ligne pour dimensionner les zones tampons enherbées afin de limiter les transferts de pesticides vers les eaux de surface**

Florent Veillon, Nadia Carluer, Claire Lauvernet, Michaël Rabotin

*Riverly, INRAE, 5 Rue de la Doua. CS 20244, Villeurbanne Cedex, France –  
florent.veillon@inrae.; frnadia.carluer@inrae.fr; claire.lauvernet@inrae.fr;  
michael.rabotin@inrae.fr*

*Mots-clés : zone tampon enherbée, pesticides, SIG, base de données sol, application web*

BUVARD (BUffer strip runoff Attenuation and pesticide Retention Design tool) est un outil de dimensionnement des bandes enherbées (BE) pour limiter le transfert des pesticides, disponible gratuitement en ligne. Cet outil prend en compte le contexte local d'implantation de la zone tampon, car les caractéristiques topographiques et pédologiques de la zone considérée influencent significativement l'efficacité de la zone tampon. Malgré l'effort pédagogique réalisé pour accompagner l'utilisateur, une difficulté reste pour celui-ci de caractériser correctement le sol de la zone d'implantation, point pourtant crucial pour bien dimensionner la zone tampon.

Afin d'accroître sa diffusion et son utilisation en guidant l'utilisateur dans la caractérisation des sols, une nouvelle version de BUVARD est développée. Elle s'appuie notamment sur l'utilisation de bases de données sol (issu du programme IGCS, <https://www.gissol.fr/>) et intègre une interface cartographique.

La version actuelle de BUVARD (<http://buvard.irstea.fr/>, Carluer *et al.*, 2017, Catalogne *et al.*, 2018, Carluer *et al.*, 2019) représente uniquement l'abattement d'eau sur la bande enherbée (on néglige donc le transfert de matières en suspension (MES) et des pesticides associés). Le ruissellement entrant sur la bande enherbée est calculé par la méthode du Soil Conservation Service de l'USDA, à partir d'événements de pluie typiques de la zone considérée, et la rétention du ruissellement au sein de la bande par le modèle déterministe VFSSMOD (Muñoz-Carpena *et al.*, 1999, Muñoz-Carpena *et al.*, 2019, Lauvernet et Muñoz-Carpena, 2019).

Le fait de ne considérer que l'abattement des flux d'eau, et pas celui des MES ou des pesticides peut conduire à surdimensionner la zone tampon (Reichenberger *et al.*, 2018). Une version "MES et pesticides" de BUVARD est donc développée,



en intégrant l'équation de perte universelle en terre (MUSLE, Wischmeier *et al.*, 1978) pour évaluer la mobilisation de particules sur la zone contributive au ruissellement alimentant la BE. Toutefois, intégrer la prise en compte de l'érosion implique des données supplémentaires sur les sols ; notamment, en plus de la texture déjà utilisée pour déterminer le "Curve Number", paramètre qui caractérise la propension de la zone contributive à générer du ruissellement : la teneur en sable fin, la teneur en matière organique du premier horizon, la densité apparente, etc... Cette nouvelle version de BUVARD implique donc une refonte assez complète de l'outil pour être plus facilement utilisable par son public cible : conseillers agricoles, animateurs territoriaux, agriculteurs, enseignement agricole, bureaux d'étude. Elle est pour l'instant développée pour la région Bretagne, où les données sol sont disponibles.

Le dimensionnement est réalisé selon 4 étapes successives, matérialisées chacune par un onglet dans l'outil :

- Détermination de la zone considérée (BE et zone contributive) : L'utilisateur peut rechercher une parcelle et tracer une bande enherbée grâce à un système d'information géographique intégré dans l'outil
- Détermination d'événements « types » de ruissellement: Le ruissellement est modélisé en fonction de paramètres sol issus des bases de données. Ces paramètres sont modifiables à chaque étape et sont affichés dans l'interface.
- Caractérisation de la bande enherbée : il s'agit notamment de déterminer les paramètres relatifs au sol
- Calcul de l'efficacité de la bande enherbée : celle-ci est évaluée pour 4 scénarios de pluie, pour différentes largeurs de bande et pour 3 pesticides (un très mobile, un très peu mobile et un choisi par l'utilisateur).

BUVARD-MES est pour l'instant développé uniquement pour la région Bretagne, mais est voué à être déployé sur d'autres régions de France, sous réserve de la disponibilité des données sol au format Donesol et de l'accompagnement par des experts sols de la région, pour valider sur chaque zone les choix méthodologiques effectués dans Buvard-MES.

#### Références :

Carluer, N., C. Lauvernet and C. Catalogne (2019). BUVARD Online : un outil en ligne pour dimensionner les bandes tampons végétalisées destinées à limiter les transferts de pesticides par ruissellement. Polldiff'Eau 2019. Lille.

Carluer, N., C. Lauvernet, D. Noll and R. Munoz-Carpena (2017). "Defining context-specific scenarios to design vegetated buffer zones that limit pesticides transfer via surface runoff." *Science of the Total Environment* 575: 701-712.

Muñoz-Carpena, R., C. Lauvernet and N. Carluer (2018). "Shallow water table effects on water, sediment, and pesticide transport in vegetative filter strips --Part 1: nonuniform

infiltration and soil water redistribution " Hydrology and Earth System Sciences22: 53-70.

Catalogne, C., C. Lauvernet and N. Carluer (2018). Guide d'utilisation de l'outil BUVARD\* pour le dimensionnement des bandes tampons végétalisées destinées à limiter les transferts de pesticides par ruissellement AFB. Irstea: 66 pp.

Lauvernet, C. and R. Munoz-Carpena (2018). "Shallow water table effects on water, sediment, and pesticide transport in vegetative filter strips --Part 2: model coupling, application, factor importance, and uncertainty " Hydrology and Earth System Sciences22: 71-87.

Reichenberger, S., R. Sur, C. Kley, S. Sittig and S. Multsch (2018). "Recalibration and cross-validation of pesticide trapping equations for vegetative filter strips (VFS) using additional experimental data." STOTEN647: 534-550.

Wischmeier W. H. & Smith, D. D. Washington, D. U. (Ed.) Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. Agriculture Handbook, Agriculture Handbook, 1978

## **GeoMelba - outil pédagogique pour la visualisation des transferts de produits phytosanitaires à la surface d'un bassin versant**

Jules Grillot, Michael Rabotin, Véronique Gouy Boussada, Nadia Carluer, Claire Lauvernet

*Riverly, INRAE Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône Alpes, Villeurbanne –  
veronique.gouy@inrae.fr*

*Mots-clés : outil spatialisé, impact environnemental, qualité des cours d'eau, systèmes de culture, organisation paysagère, scénarios de gestion au bassin versant*

GeoMelba est un outil SIG de construction de maillage d'un bassin versant représentant les éléments du paysage qui influencent les transferts par ruissellement de surface à cette échelle (<10 km<sup>2</sup>), et en particulier les transferts de produits phytosanitaires. Il a été élaboré par l'équipe Pollutions Diffuses (UR RiverLy, INRAE Villeurbanne). Il sert notamment de support à une modélisation simplifiée de l'impact de changements d'occupation du sol et d'organisations paysagères sur la contamination de cours d'eau, en appui au développement d'un jeu sérieux (Causerie) visant à faciliter la concertation et la co-construction de solutions correctives. Son réalisme, sa simplicité et sa rapidité d'utilisation ont été des critères essentiels pour permettre son usage en temps réel au cours d'ateliers participatifs réunissant un panel d'acteurs opérationnels (profession agricole, gestionnaires de l'eau, associations environnementales notamment). Il permet, en particulier, la création de cartes de visualisation et de comparaison des différents scénarios d'évolution du bassin versant proposés par les participants pendant les ateliers. L'outil a essentiellement été utilisé, à ce jour, sur des bassins réalistes mais virtuels (en polyculture-élevage et viticulture). A partir de fichiers de formes de parcelles et d'éléments linéaires, un algorithme crée des Unités Homogènes (UH) surfaciques ou linéaires selon l'occupation du sol, le type de linéaire, le type de sol, etc.... Il ordonne ensuite ces divers éléments en fonction de leur altitude et crée des connexions hydrologiques entre eux qui simulent les chemins de transfert de surface des produits phytosanitaires. Des coefficients de « production » ou au contraire « d'atténuation » du ruissellement des produits phytosanitaires sont appliqués de manière différenciée selon le système de culture type considéré (assurantiel, optimisé ou sans produits de synthèse), le relief ou le type d'infrastructure paysagère (bande enherbée, haie, fossé plus ou

moins végétalisé, chemin enherbé ou non, zone tampon humide artificielle ...). Ces coefficients sont basés sur les résultats de la littérature ou, à défaut, sur des connaissances d'experts. L'outil, développé en plugin QGIS (libre et en open source), a vocation à être transféré vers les opérationnels pour l'aide aux actions concertées ou à des fins pédagogiques. Son utilisation est envisageable sous sa forme intégrée au jeu sérieux *Causerie*, mais également de manière autonome en appui à la gestion du territoire (diagnostics de zones à risques, optimisation de solutions correctives en termes d'occupation du sol (assolement, rotations) et d'organisation paysagère, ...). Dans ce sens, des développements complémentaires sont en cours pour faciliter l'intégration de données réelles, souvent imparfaites du point de vue topologique ou géométrique. Enfin, on souligne que *GéoMelba* est également développé pour la préparation des données d'entrée du modèle hydrologique spatialisé à bases physiques *PeshMelba* (Pesticides et Hydrologie : Modélisation à l'échelle du Bassin versant) développé au sein d'INRAE Villeurbanne, visant une description dynamique et plus quantitative de la contamination.

Remerciements : Les auteurs remercient notamment le plan *Ecophyto*, les ministères en charge de l'agriculture, de l'environnement, et de la recherche ainsi que l'OFB et la Région AURA pour leurs soutiens financiers.

## Les biochars, un outil pour améliorer la qualité des eaux de drainage agricoles ?

Damien Banas (1), Lionel Limousy(2), Simona Bennici(2), Xavier Dauchy(3), Gaspard Conseil(1), Frédéric Pierlot(4,5)

- (1) Université de Lorraine, UR AFPA, 2 Avenue de la Forêt de Haye, BP 20163, 54505 Vandoeuvre-lès-Nancy [damien.banas@univ-lorraine.fr](mailto:damien.banas@univ-lorraine.fr) ; [gaspard.conseil@univ-lorraine.fr](mailto:gaspard.conseil@univ-lorraine.fr)
- (2) Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M) - CNRS UMR 7361 – UHA 3n rue Alfred WERNER, 68093 Mulhouse [lionel.limousy@uha.fr](mailto:lionel.limousy@uha.fr) ; [simona.bennici@uha.fr](mailto:simona.bennici@uha.fr)
- (3) ANSES (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety), LHN (Nancy Laboratory for Hydrology), 40 Rue Lionnois, F-54 000 Nancy [xavier.dauchy@anses.fr](mailto:xavier.dauchy@anses.fr)
- (4) Université de Lorraine, LAE, UMR 1121 Univ. Lorraine/INRAE, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy [frederic.pierlot@univ-lorraine.fr](mailto:frederic.pierlot@univ-lorraine.fr)
- (5) Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est, 9 Rue de la Vologne, 54520 Laxou

*Mots-clés : remédiation – Zones Tampons Humides Artificielles – Pesticides – adsorption*

Malgré les efforts déployés pour limiter et encadrer leurs usages (Ecophyto, interdiction de certaines S.A. ...), le transfert de pesticides d'origine agricole vers les eaux reste à l'origine de la dégradation de masses d'eau vis-à-vis de la réglementation, mais également de multiples effets délétères sur les biocénoses. Dans le cas de sols drainés, le rejet des eaux issues de la parcelle se fait directement dans le cours d'eau et, de ce fait, les bandes enherbées, obligatoires le long des cours d'eau, sont inutiles. Les transferts issus des réseaux de drainage ne peuvent être interceptés que par la mise en place de Zones Tampon Humides Artificielles (ZTHA) dont l'efficacité moyenne de 15% (Pierlot *et al.*, 2020) cache une large hétérogénéité (de 0% à 75% d'abattement). Optimiser ces dispositifs afin d'accroître l'abattement constitue un enjeu particulièrement prometteur au regard de l'adhésion des exploitants agricoles et de l'efficacité déjà démontrée de ces dispositifs, complémentaires à des adaptations agronomiques des systèmes pour réduire et améliorer l'utilisation des produits phytosanitaires. L'intérêt d'utiliser des biochars dans ce but vient i) de la disponibilité et de la variété des matières premières d'origine agricole sur les territoires concernés : ii) du fait que ces matières premières peuvent être transformées de façon peu impactante d'un point de vue environnemental et

énergétique afin de produire des adsorbants dans le cadre d'une économie circulaire de territoire responsable et iii) l'utilisation des biochars ne requiert pas l'intégration d'une cascade de procédés (systèmes membranaires avec prétraitement de coagulation-floculation,...), ce qui limite fortement leur coût d'exploitation et ne génère pas de nouveaux effluents pollués concentrés (par concentration de la pollution) et donc la nécessité d'un stockage ou d'une étape de traitement ultime. L'utilisation de biochar paraît une alternative intéressante et une revue de la bibliographie mettant en œuvre des biochars pour traiter les PPP dans les eaux nous a permis de répertorier 21 articles scientifiques récents (entre 2014 et 2020) sur le sujet de l'adsorption des pesticides par les biochars. Ces travaux permettent d'apprécier les capacités encourageantes d'adsorption de ces produits, sans qu'il soit possible de relier ces résultats aux caractéristiques des pesticides ni des biochars, tant les conditions d'utilisation et les ratios de biochar / pesticides sont différents dans ces études. Nous évaluons également ici les manques dans les études précédentes pour imaginer une inclusion de biochars « locaux », issus de paille de colza, dans les ZTHA à des proportions compatibles avec une viabilité technique et économique pour une insertion dans le milieu agricole.

## **Consortia microbiens pour le traitement des eaux contaminées par un herbicide à base de bentazone**

Véronique Ninane (1), Céline Aerts (1), Mathilde Ferrière (2), Bruno Godin (1), Frédéric Debode (3)

- (1) *Centre wallon de recherches agronomiques, Département Connaissance et valorisation des produits, 24 Chaussée de Namur, B-5030 Gembloux – v.ninane@cra.wallonie.be*
- (2) *Haute école de la province de Liège, Département sciences et techniques, 6 Quai Goesener, B-4020 Liège*
- (3) *Centre wallon de recherches agronomiques, Département Sciences du vivant, 234 Chaussée de Charleroi, B-5030 Gembloux – f.debode@cra.wallonie.be*

*Mots-clés : traitement des eaux, agriculture, herbicide, bentazone, micro-organismes*

L'objectif était de sélectionner des consortia microbiens capables d'assainir l'eau de rinçage des cuves de pulvérisateur après application d'un herbicide. L'herbicide ciblé était un produit commercial (BEST®, Sharda Cropchem, Murcia, ES) à base de bentazone. Les consortia microbiens ont été isolés en soumettant des échantillons d'eau, prélevés dans une citerne d'eau de pluie et dans un étang, à de fortes doses d'herbicide. Certains échantillons d'eau ont été additionnés de terre et/ou de tryptone et de sel. La capacité de quatre consortia, sélectionnés en fonction de leur origine et de leur apparence, à assainir l'eau a été évaluée en bouillons de culture contenant l'herbicide comme unique source de C, de N et de S. Deux doses d'herbicide, dilué 100 fois et dilué 10 000 fois, ont été incubées pendant 11 jours à température ambiante en présence des consortia. Au terme de l'incubation, la teneur en bentazone des bouillons clarifiés, débarrassés des micro-organismes, a été mesurée par spectrométrie UV à 334 nm. Une diminution de la teneur en bentazone a été observée dans la plupart des bouillons traités, à des taux variables en fonction du consortium utilisé et de la teneur initiale en bentazone. Le taux d'assainissement maximal a été observé dans le bouillon le plus contaminé en herbicide ( $10^{-2}$ ) et traité avec le consortium issu d'une eau pluviale ; il atteignait 4 %. Étonnamment, en présence d'une autre source de C, de N et de S, les consortia assainissaient plus efficacement le milieu : ils réduisaient dans ce cas la teneur en bentazone dans des proportions pouvant atteindre jusqu'à 43 % de la teneur initiale. Avec cette source additionnelle de C, de N et de S, le développement des micro-organismes, estimé par l'observation de la turbidité des bouillons en fin d'incubation, avait

été plus intense que celui observé dans les bouillons qui en étaient dépourvus. L'apport de ce substrat avait stimulé l'activité microbienne et en parallèle probablement aussi la dégradation de la bentazone. Il n'est toutefois pas exclu qu'une fraction non négligeable de la bentazone ait été accumulée par les micro-organismes et éliminée avec eux en fin de traitement.





# **PRIX PHYTOPHARMA**

# Traitement phytosanitaire des arbres par micro-injection : résilience de la blessure, transfert des molécules et efficacité.

Cyndel BERGER

*UMR Toxalim, INRAE Toulouse, ED SEVAB Toulouse*

La pulvérisation est actuellement la méthode la plus courante pour l'application de produits de traitement des plantes (PPP) sur les arbres. A cause du risque de dispersion des PPP dans l'environnement (vaporisation, dérive de pulvérisation, etc.) et des risques pour les applicateurs et le voisinage, des restrictions réglementaires à l'utilisation des PPP synthétiques ont été édictées, notamment pour les lieux publics et les jardins amateurs. A côté de cela, des solutions alternatives à la pulvérisation sont recherchées pour minimiser ces risques. Parmi celles-ci, l'injection des substances actives (s.a.) dans le tronc des arbres semble être une méthode prometteuse.

Cette méthode, dites d'endothérapie, consiste à délivrer les PPP directement dans le système vasculaire xylémien (le bois ou aubier) de l'arbre pour contourner la barrière cuticulaire du feuillage, le flux xylémien assurant ensuite la translocation de la substance active vers les feuilles. Cette méthode supprime ainsi les dispersions aériennes et apparaît donc plus respectueuse de l'environnement pour contrôler de nombreux parasites (insectes, champignons, etc.). Plusieurs systèmes d'injection ont été développés nécessitant, pour la plupart, une perforation de l'écorce et des premiers cernes d'aubier, préalablement à l'injection des préparations phytosanitaires, la taille des mèches de perçage allant de 3 à 10 mm de diamètre. Ces méthodes sont intrusives pour l'arbre, provoquant des blessures importantes et nécessitant en général, après l'injection, l'obturation de l'orifice d'injection pour éviter une infection de la blessure ainsi causée. Afin de minimiser cette dernière, des systèmes utilisent des aiguilles (diamètres inférieur à 3 mm) sans pré-perçage du tronc. L'injection des substances se fait ensuite à pression atmosphérique par écoulement gravitaire et entrainement de la préparation par le flux de sève, soit en pression avec des systèmes manuels ou pressurisés. En général, le volume de préparation injecté est relativement grand, plusieurs dizaines de millilitres, et nécessite de laisser le système d'injection en place sur le tronc un certain temps. Le premier chapitre de cette thèse fait le point, sous forme d'une revue, sur les diverses techniques de cette méthode et leurs diverses applications.

Parmi les méthodes avec aiguille, une méthode a priori moins destructive pour le tronc, la microinjection, a été développée sur le modèle d'une seringue,

notamment pour un usage en arboriculture. Cet appareil est équipé d'une aiguille de petit diamètre (2,9 mm) et permet d'injecter de faible volume de préparation (environ 1 ml). L'aiguille est enfoncée dans l'écorce jusqu'au bois et la préparation phytosanitaire injectée dans ce dernier par poussée manuelle.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse a été d'évaluer, dans un premier temps, la résilience de la blessure causée sur le tronc par la micro-injection (chapitre 2). Dans un second temps, les résultats des tests d'efficacité de cette méthode d'injection étant, semble-t-il, incertains, ils nécessitaient de mieux comprendre le transfert et la distribution des s.a. dans l'arbre à partir du point d'injection afin d'optimiser les traitements pour obtenir une couverture de l'arbre homogène. Cette recherche fait l'objet des chapitres 3 et 4. Enfin, des tests d'efficacité de s.a. antifongiques ont été réalisés au cours d'un stage dans un laboratoire italien (chapitre 5).

La résilience des blessures causées par l'aiguille a été étudiées par observations à l'œil nu de la surface de l'écorce puis sur les coupes transversales et longitudinales de troncs de pommiers dans l'axe des points d'injection, les tissus, écorces et tissus vasculaires, ont été observés en stéréomicroscopie ou en microscopie à différentes longueurs d'onde. Les troncs avaient été collectés 7 ou 31 mois après des essais de micro-injection en plein champs.

Sur pommier, dans la majorité des cas (70% des observations), la surface des troncs présente au site d'injection, un disque légèrement boursoufflé de 5 mm de diamètre avec, au centre, le trou de l'aiguille qui semble fermé. Le disque correspondait à l'impact de la platine porte-aiguille qui vient heurter l'écorce lors de l'enfoncement de l'aiguille dans le tronc. Dans les autres cas, l'écorce apparaît craquelée ou fendue, avec un orifice d'injection mal fermé.

Globalement, le volume de tissus impacté physiquement par l'injection est relativement faible, autour de 100 à 200 mm<sup>3</sup>, correspondant essentiellement à la perforation de l'aiguille. L'écorce peut être écrasée, sur un diamètre de 5 mm, plus ou moins profondément quelques fois jusqu'à l'assise cambiale, laissant alors l'aubier apparent. Cela dépend probablement de la force d'impact lors de l'introduction de l'aiguille. Dans ce bois, les fibres du xylème sont coupées sur les deux ou trois premiers cerne selon la profondeur d'enfoncement de l'aiguille. Cette zone, d'une largeur égale au diamètre de l'aiguille, apparaît colorée en brun par un dépôt de polyphénols. La coloration s'étend longitudinalement sur une trentaine de centimètre de part et d'autre de la blessure. 7 mois après l'injection, un cerne de bois nouveau, pauvre en vaisseaux xylémiens (dit bois de plaie) s'est développé entre l'écorce et le bois lésés obturant, dans les cas les mieux cicatrisés, l'orifice d'injection.

Plusieurs barrières physico-chimiques se sont mises en place pour isoler la blessure. Une assise cellulaire subéro-ligneuse s'est développée, depuis la surface de l'écorce et perpendiculairement à celle-ci, pour isoler de l'air extérieur l'écorce endommagée de l'écorce saine. Cette assise atteint l'aubier

quand la plaie est mal cicatrisée. Au niveau de l'aubier, en bordure de la zone colorée précédemment décrite, les fibres sont épaissies par un dépôt de lignine et les rayons parenchymateux sont obturés par un dépôt de polyphénols. Plus en périphérie de cette zone, la lumière des vaisseaux xylémiens est obturée par l'invagination (des thylls) des membranes cytoplasmiques des cellules adjacentes.

31 mois après l'injection, les cernes de nouveau bois (formé n+2), semblent fonctionnels avec une densité de vaisseaux normale. Cependant, lorsque l'assise cambiale est trop endommagée, les nouveaux cernes n'ont pas totalement obturé l'orifice d'injection. Ainsi, c'est principalement l'impact de la platine porte-aiguille qui cause les dommages majeurs de l'injection et bloque une cicatrisation complète. Toutefois, dans aucune des observations il n'a pas été noté d'attaque fongique dans ces plaies mal cicatrisées. En parallèle (chapitre 3), trois s.a. (imidaclopride, pyriméthanile et difénoconazole), choisies pour leur lipophilie chimique différentes (Kow : 0,57, 2,84 et 4,36, respectivement), ont été micro-injectées dans des pommiers. Leur distribution dans l'arbre (feuillage et fruits) a été suivie au cours du temps et selon leur localisation dans le houppier. Les analyses ont été réalisées par LC-MS/MS. Les trois s.a. présentent un comportement différent. L'imidaclopride a un coefficient de transfert dans le feuillage relativement élevé (24 %) et les données de concentrations ont permis une analyse pharmacocinétique de sa distribution avec un pic maximum obtenu autour de 20 j (Tmax), une demi-vie d'environ 12 jours et un temps de résidence moyen dans le feuillage de 24 jours. Ces paramètres associés aux données de concentrations efficaces, permettront de déterminer la période efficace de cette molécule après l'injection. Cependant, la distribution verticale (haut ou bas du houppier) ou latérale (à droite ou à gauche du point d'injection) est très variable avec des concentrations moyennes variant de plus d'un facteur 10 entre les différents secteurs atteint par le traitement à partir du point d'injection. Par contre, le difénoconazole n'est que très faiblement transloqué vers le feuillage avec des concentrations moyennes inférieures à la LOD, le pyriméthanile présentant une situation intermédiaire. Pour ces deux molécules, du fait de ces plus faibles concentrations et d'une durée de prélèvement des échantillons trop courte après leur Tmax, il n'a pas été possible de faire une analyse pharmacocinétique des données. Enfin, à la récolte, très peu de résidus sont retrouvés dans les fruits et à des concentrations inférieures aux limites maximales de résidus. (excepté un point de pyriméthanil). Ainsi, bien que la micro-injection soit réalisée directement dans le flux de circulation xylémien, supprimant de fait la barrière cuticulaire, la translocation des s.a. vers le feuillage reste dépendante de leur lipophilie. Probablement que les molécules les plus lipophiles ont tendance à s'adsorber à la surface des vaisseaux xylémiens (la lignine imprégnant leurs parois étant un polymère très lipophile), Cette adsorption expliquerait, d'une part, le retard de distribution par rapport à l'imidaclopride des deux autres s.a. et d'autre part les plus faibles

concentrations obtenues dans le feuillage. La compartimentalisation de la circulation xylémienne chez le pommier et le faible volume de préparation injectée expliquerait une distribution des molécules très localisée.

Pour tester cette hypothèse chez le pommier, des expérimentations ont été réalisées in-vivo ou ex vitro (chapitre 4). L'injection de colorants (éosine et bleu de bromophénol) ont montré qu'à partir du point d'injection, les colorants sont essentiellement distribués selon l'axe vertical, avec une très faible diffusion latérale. Par contre, si une branche secondaire (par rapport à l'axe principal), se trouve positionnée à la verticale du point d'injection, le flux de colorant est détourné vers cet axe latéral. Cela confirme la forte compartimentalisation des flux chez le pommier et explique, en partie par l'architecture de l'arbre, la variabilité de la distribution à partir d'un point d'injection.

La rétention des s.a. dans les vaisseaux de xylème a été étudiée dans des rameaux excisés de pommiers (30 cm), à l'aide de molécules radiomarquées pour servir de traceur. Après absorption, l'imidaclopride est transloqué vers les feuilles apicales du rameau en plusieurs jours (concentrations maximales au jour 4) et les concentrations à l'instant  $t$  varient peu selon la hauteur de la tige. Par contre, en suivant une molécule modèle très lipophile, le fluoranthène (Kow 5.1), la concentration dans les feuilles n'augmente que très peu et un fort gradient décroissant est détecté dans la tige. Il en est de même avec le difénoconazole. La détermination des isothermes d'adsorption des s.a. sur le bois de pommier montre que leur coefficient d'adsorption  $KF$  (selon la modélisation de Freundlich) est fonction exponentielle de leur lipophilie. Par ailleurs, alors que la désorption de ce dernier est totale, elle n'est que partielle pour le difénoconazole. L'ajout d'un tensioactif, Tween 20, dans la solution de difénoconazole augmente son transfert vers les feuilles et les concentrations dans l'ensemble de la tige tout en maintenant un gradient dans celle-ci. Cet effet n'est cependant pas retrouvé quand le Tw20 est rajouté dans les solutions d'imidaclopride ou de pyriméthanile. Il est à noter que le comportement d'adsorption sur le bois des différentes molécules varie selon le tensioactif utilisé (SDS ou Tw20). L'adsorption des molécules sur les vaisseaux xylémiens explique la rétention de certaines s.a. comme le difénoconazole mais, même pour des molécules comme l'imidaclopride, cette adsorption, quoique faible, peut entraîner un retard de translocation par rapport au flux de sève pure. En effet, la vitesse de translocation de l'imidaclopride n'est pas identique à celle du courant de sève xylémienne ( $1 \text{ m.h}^{-1}$  chez le pommier). Le  $T_{\text{max}}$  de l'imidaclopride est d'environ 20 j pour des arbres d'environ 3,5 m de haut. Et sur des branches excisées de 30 cm, ce  $T_{\text{max}}$  est supérieur à 4 jours alors que la solution d'imidaclopride dilué a été absorbé en 2 à 3 h.

D'autre part, les préparations pour l'injection sont relativement visqueuses du fait des fortes concentrations en s.a. (entre 10 et 20  $\text{mg.l}^{-1}$ ) et en co-formulants.

Cette viscosité est un des paramètres explicatifs de la faible vitesse de distribution des s.a. comparée à la vitesse de circulation de l'eau dans les pommiers comme le montre nos dernières expérimentations. Sur des branches excisées, le flux est réduit de 95% entre l'eau pure (viscosité 1 mPa.s<sup>-1</sup>, proche de la sève brute : 1,1 mPa.s<sup>-1</sup>) et une solution de viscosité de 70 mPa.s<sup>-1</sup> (viscosité moyenne des préparations utilisées dans cette étude).

Enfin, le chapitre 5 est le résultat d'un stage dans le laboratoire TESAF de l'université de Padoue (Italie) dont les recherches portent sur une autre technique d'injection dans le tronc et sur l'efficacité des s.a.. Ce stage rentrait dans le cadre du parcours de thèse EIR-A pour lequel j'ai obtenu, de la DARESE (INRA), une bourse de 3 mois. Ce chapitre traite de l'efficacité in-vitro contre différents champignons pathogènes des arbres et de la vigne de trois s.a., le thiabendazole, l'allicine et des nanoparticules d'argent, en vue de leur utilisation par injection. Le thiabendazole présentait la meilleure efficacité, mais l'allicine pouvait aussi inhiber totalement la croissance des mycéliums. Au regard des travaux précédemment, l'allicine très soluble dans l'eau (24 g.l<sup>-1</sup> à 20 °C) pourrait être un bon candidat remplaçant efficacement des molécules de synthèse.

Ces travaux de thèse ont permis de montrer que la micro-injection, sans perçage préalable du tronc, était une méthode peu invasive pour les arbres dû à la cicatrisation relativement efficace de la blessure. Elle peut donc être une méthode de traitement durable pour les pommiers. Cependant, des travaux annexes de cette thèse ont montré que la résilience de la blessure n'était pas aussi efficace chez d'autres espèces telles que la vigne, par exemple. Ils pourraient en être de même entre les variétés de pommier et devrait donc être vérifiée. D'autre part, la sectorisation importante de la translocation montre qu'il est nécessaire d'avoir plusieurs points d'injection répartis sur la circonférence d'un tronc, dont le nombre devra être optimisé en fonction de l'essence afin d'avoir une couverture correcte de la protection phytosanitaire et éviter le risque d'avoir des zones faiblement traitées pouvant être des foyers de résistance. De plus, toutes les molécules ne peuvent être utilisées malgré la suppression de la barrière cuticulaire et cet outrepassement ne dispense pas de travaux sur les formulations pour réduire notamment la rétention des s.a. dans les vaisseaux. Une voie de recherche pourrait aussi être de trouver des s.a., notamment antifongiques, moins lipophiles ou plus hydrosolubles que celles existantes actuellement. Il faut noter que des essais avec du phosphonate de potassium (molécule très soluble dans l'eau), dans le cadre du projet soutenant cette thèse, se sont montrés efficaces contre certaines maladies fongiques du pommier ou de la vigne avec cette méthode de traitement.

Enfin, bien que peu de résidus aient été trouvés dans les fruits à la récolte lors de nos essais, il ne faudrait pas négliger ce risque selon la période de traitement et la s.a. considérée, de même qu'une attention devra être portée sur le risque de

transfert vers les fleurs pour des traitements avant ou pendant la floraison. Enfin et bien sûr, le paramétrage des doses de traitement se devra d'être étudié de manière précise et adapté à cette méthode et non pas empiriquement comme réalisé actuellement par un simple calcul de proportionnalité entre une dose conventionnelle et un nombre d'arbres à l'hectare comme cela peut être fait actuellement.

De nombreux travaux restent à effectuer, particulièrement pour consolider ceux effectués durant cette thèse mais cette méthode semble digne d'intérêt pour une agriculture durable et protectrice de l'environnement.





# **Etat des lieux, impact et devenir des pesticides à l'échelle du territoire**

## **Principales conclusions de l'expertise scientifique collective portant sur les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité, les fonctions et les services écosystémiques le long du continuum terre-mer en France métropolitaine et ultramarine.**

Stéphane Pesce (1), Laure Mamy(2), Wilfried Sanchez(3), Sophie Leenhardt(4) et un collectif de 43 scientifiques francophones du domaine académique

(1) INRAE, UR RiverLy, 69625 Villeurbanne, France – [stephane.pesce@inrae.fr](mailto:stephane.pesce@inrae.fr)

(2) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, 78850 Thiverval-Grignon, France – [laure.mamy@inrae.fr](mailto:laure.mamy@inrae.fr)

(3) Ifremer, Direction Scientifique, Station de Sète, avenue Jean Monnet, 34200 Sète, France – [wilfried.sanchez@ifremer.fr](mailto:wilfried.sanchez@ifremer.fr)

(4) INRAE, Direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE), 75338 Paris, France – [sophie.leenhardt@inrae.fr](mailto:sophie.leenhardt@inrae.fr)

*Mots-clés : Contamination ; Effets directs et indirects ; ESCo ; Pesticides ; Risques*

Mis en place en France en 2008 suite au Grenelle de l'environnement, le Plan ECOPHYTO ambitionnait de réduire le recours, les risques et les impacts des produits phytopharmaceutiques avec comme objectif phare une réduction de 50% de l'utilisation en 10 ans. Cet objectif n'ayant pas été atteint, ce plan a été renouvelé depuis, et sa dernière génération (ECOPHYTO 2+, en cours) met l'accent sur la recherche et l'innovation. C'est dans ce contexte que les ministères français respectivement en charge de l'environnement (Ministère de la Transition Ecologique), de l'agriculture (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation) et de la recherche (Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation), ont confié en 2019 à INRAE (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement) et à l'Ifremer (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) la réalisation d'une expertise scientifique collective (ESCo) traitant des impacts des produits phytopharmaceutiques conventionnels et de biocontrôle sur la biodiversité et les services écosystémiques [1]. Le périmètre de cet état des lieux des connaissances couvre l'ensemble des territoires français métropolitains et ultramarins en considérant les écosystèmes terrestres (incluant le

compartiment aérien), aquatiques continentaux de surface et marins. Il a pour objectif d'établir un bilan des connaissances scientifiques disponibles sur cette thématique afin d'éclairer les politiques publiques en matière d'utilisation des produits phytopharmaceutiques et d'évaluation de ses risques et impacts.

Pour ce faire, un collectif de 43 experts francophones (et 2 contributeurs plus ponctuels) [2] du monde de la recherche académique (universités et instituts de recherche publique) a été mobilisé sous l'égide d'une équipe projet composée d'une chef de projet, de trois pilotes scientifiques, de trois documentalistes issus d'INRAE et de l'Ifremer, et de deux chargées de mission sur des thématiques plus ponctuelles [3]. Le collectif ainsi formé a permis de couvrir les nombreuses disciplines nécessaires à cette expertise telles que la chimie environnementale, l'écotoxicologie, l'écologie, l'agronomie, la modélisation, l'évaluation du risque, la réglementation, la socio-économie et les sciences humaines et sociales.

A l'occasion de ce 50<sup>ème</sup> congrès du GFP, les principaux enseignements qui ressortent de cette ESCo (achevée en mai 2022) seront présentés et discutés, en décrivant les connaissances majeures et en proposant des pistes de recherches qui permettraient de combler certaines lacunes identifiées.

Remerciements : L'équipe de pilotage et l'ensemble des experts remercient l'Office Français de la Biodiversité (OFB) pour le financement de cette ESCo dans le cadre du plan ECOPHYTO 2+, ainsi que la Direction Scientifique d'INRAE, la Direction Générale de l'Ifremer et la DEPE INRAE pour leur soutien et leur accompagnement au cours de l'exercice.

#### Références :

[1] Pesce S, Mamy L, Achard AL, Le Gall M, Le Perchec S, Réchauchère O, Leenhardt S, Sanchez S (2021) Collective scientific assessment as a relevant tool to inform public debate and policymaking: an illustration with the effects of plant protection products on biodiversity and ecosystem services. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 38448-38454. Doi: 10.1007/s11356-021-14863-w

[2] Liste des 43 experts (par ordre alphabétique) : Marcel Amichot, Joan Artigas, Stéphanie Aviron, Carole Barthélémy, Rémy Beaudoin, Carole Bedos, Annette Bérard, Philippe Berny, Cédric Bertrand, Colette Bertrand, Stéphane Betouille, Eve Bureau-Point, Sandrine Charles, Arnaud Chaumot, Bruno Chauvel, Michael Coeurdassier, Marie-France Corio-Costet, Marie-Agnès Coutellec, Olivier Crouzet, Isabelle Doussan, Juliette Faburé, Clémentine Fritsch, Nicola Gallai, Patrice Gonzalez, Véronique Gouy, Mickael Hedde, Alexandra Langlais, Fabrice Le Bellec, Christophe Leboulanger, Christelle Margoum, Fabrice Martin-Laurent, Rémi Mongruel, Soizic Morin, Christian Mougin, Dominique Munaron, Sylvie Nélieu, Céline Pelosi, Magali Rault, Sergi Sabater, Sabine Stachowski-Haberkorn, Elliott Sucre, Marielle Thomas, Julien Tournebize ; avec la participation ponctuelle de : Jean-Paul Douzals et Nicolas Ris

[3] Documentalistes : Anne-Laure Achard (INRAE), Morgane Le Gall (Ifremer), Sophie Le Perchec (INRAE) ; Chargées de mission : Estelle Delebarre et Florianne Larras (INRAE)

# **Contamination de l'environnement par les produits phytopharmaceutiques en France : approches bibliographiques et bibliométriques**

Christelle Margoum (1), Anne-Laure Achard (2), Carole Bedos (3),  
Morgane Le Gall (4) Dominique Munaron (5), Sylvie Néliou (3), Stéphane  
Pesce (1)

(1) INRAE UR RiverLy, 5 rue de la Doua, 69100 Villeurbanne –  
*christelle.margoum@inrae.fr*

(2) INRAE département AQUA, 5 rue de la Doua, 69100 Villeurbanne

(3) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Ecosys, 78850 Thiverval-  
Grignon

(4) Ifremer, Information Scientifique et Technique, Bibliothèque La Pérouse, 29280  
Plouzané

(5) MARBEC, Ifremer, Univ Montpellier, CNRS, IRD, 34200 Sète

*Mots-clés : expertise collective, pesticides, exposition, milieux terrestres et  
aquatiques, atmosphère*

Les Ministères français en charge de l'Environnement, de l'Agriculture et de la Recherche ont mandaté les instituts de recherche INRAE et Ifremer pour piloter entre 2020 et 2022 une expertise scientifique collective (ESCo) pour évaluer l'état des connaissances concernant les effets non intentionnels des produits phytopharmaceutiques (PPP) sur la biodiversité et les services écosystémiques dans le contexte français. Parmi l'ensemble des questions scientifiques abordées dans le cadre de cette ESCo, un volet concernait plus spécifiquement la contamination de l'environnement par les PPP en France, y compris outre-mer, en considérant à la fois les sols, les milieux aquatiques continentaux et marins, l'air, ainsi que le biote associé à chacun de ces compartiments. Il s'agissait notamment de dresser l'état des lieux de la contamination et son évolution au cours des vingt dernières années, mais aussi d'identifier les principales sources de PPP dans l'environnement ainsi que les développements méthodologiques mis en œuvre pour améliorer les connaissances.

Nous avons choisi ici, en nous appuyant sur les « Principes de conduite des expertises scientifiques » (cf. <https://hal.inrae.fr/hal-03373922>), d'illustrer le processus de recherche bibliographique et la méthodologie bibliométrique adoptés pour répondre spécifiquement à la question posée, sans aborder les résultats scientifiques.

La première étape de la recherche bibliographique a reposé sur la co-construction (scientifiques/documentalistes) de requêtes couvrant la période 2000-2020, sur la base de mots-clés appartenant à quatre catégories : i) les termes relatifs à chacun des compartiments, ii) le vocabulaire lié à la contamination de l'environnement, iii) les différentes familles de contaminants considérées dans l'ESCo (PPP organiques, inorganiques, biocontrôle) et iv) les zones géographiques (France, métropole et outre-mer ; jardins, espaces végétalisés et infrastructures - JEVI). Les requêtes ont ensuite été appliquées dans le Web of science (WOS) en ciblant le titre des articles, les mots-clés des auteurs et en étendant parfois la recherche aux résumés. Cette première phase de recherche globale a recueilli 10926 articles (épurgés des doublons) à partir du WOS. Tous n'étant pas pertinents, plusieurs étapes de tri et de recherches complémentaires (pour intégrer la littérature grise, rajouter des références absentes ou les actualiser) ont été nécessaires pour raffiner progressivement le corpus bibliographique utilisé par les experts. Ces différentes étapes ont abouti à 561 références retenues pour la synthèse, parmi lesquelles 444 articles scientifiques dont 59 revues de synthèse, 92 rapports scientifiques, 13 ouvrages ou chapitres d'ouvrage et 3 travaux universitaires. Le champ des disciplines scientifiques concernées est multidisciplinaire mais assez naturellement dominé par les sciences environnementales (186 références) et la chimie analytique (53 références).

Cet exercice original mêlant expertises bibliographique, bibliométrique et scientifique a permis de mettre en évidence différents points dont l'intérêt va au-delà des questions scientifiques posées, comme par exemple :

- L'ESCo doit être considérée comme un exercice spécifique qui a pour objectif de répondre aux questions ciblées d'une saisine, se différenciant ainsi d'une revue systématique qui vise à l'exhaustivité de l'analyse. C'est un exercice complexe qui recouvre, dans le cas présent, un champ thématique très large, avec l'usage de mots-clés génériques (tels que « contamination », « pollution » ...) faisant ressortir un nombre important de publications (plus de 10 000), parfois très éloignées des questions posées initialement.

- Un compromis doit être trouvé entre des requêtes exhaustives qui génèrent beaucoup de « bruit » (notamment lorsqu'on interroge les résumés) et des recherches plus resserrées (sur le titre et les mots-clés) qui peuvent engendrer d'importantes lacunes dans les résultats. L'exercice a bien mis en évidence l'importance, au moment de la rédaction des articles, du choix des titres et des mots-clés pour rendre visibles les publications.

- Le regard et l'expertise des scientifiques restent indispensables pour compléter la panoplie d'outils bibliographiques, pour orienter et réajuster les requêtes au fur et à mesure de l'avancée des travaux, notamment via le rajout d'une importante littérature grise et d'articles non référencés dans les bases bibliographiques, mais pertinents au regard du sujet traité. Cela souligne aussi

la forte proportion de données et d'études pertinentes disponibles concernant la contamination par les PPP en France, mais généralement non valorisées scientifiquement.

- D'un point de vue bibliométrique, il a été noté une forte disparité du nombre de publications entre compartiments, avec une plus forte représentation des milieux continentaux terrestres et aquatiques (proches de 30% des articles), sur les compartiments marin et aérien (20% ou moins). La contamination des JEVI, de l'outre-mer et le biocontrôle ont par ailleurs fait l'objet d'un nombre restreint de publications. Le glyphosate et la chlordécone sont les PPP qui ressortent le plus en termes bibliométriques, tous compartiments confondus.

## **Détermination de la pression phytosanitaire sur un petit captage d'eau dans les altérites en zone de polyagriculture élevage dans l'ouest du massif Central**

Rachel Martins De Barros, Robin Guibal, Sophie Lissalde, Gilles Guibaud

*Université de Limoges, E2Lim, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges Cedex, France.*

*Mots-clés : Échantillonnage passif, Pesticides ioniques, eaux potables, métabolites*

Les territoires ruraux de l'ex-Limousin, longtemps considérés comme des territoires préservés de toute contamination car peu soumis à des pressions anthropiques sont, comparativement à d'autres régions, assez peu contaminées par les pesticides. On y retrouve cependant une large variété de composés et la plupart du temps à quelques ng/L. Les pesticides organiques peuvent se dégrader sous l'effet de processus biotiques et/ou abiotiques une fois dans l'environnement et donner des sous-produits, appelés en général métabolites possédant leurs propres grandeurs physico-chimiques et toxicologiques souvent différentes de la molécule mère. Récemment, l'ANSES a émis un avis (ANSES, 2019) sur 8 métabolites de 4 herbicides interdit d'usage à l'exception du S-métolachlore et l'intérêt de les rechercher dans les Eaux Destinées à la Consommation Humaine (EDCH). Dans ces têtes de bassin versant sur géologie de socle, une partie des Eaux Destinées à la Consommation Humaine (EDCH) est issue des eaux de subsurface captées à faible profondeur (entre 2 et 6 m) dans les altérites (décomposition de la roche mère à l'aspect sableux). Ces captages sont naturellement vulnérables au transfert de polluants utilisés à la surface des sols. Le captage G (production de 25 m<sup>3</sup>/h et alimentant une population de 3700 habitants env.) est considéré dans ce travail. Les analyses phytosanitaires réalisées montrent une présence d'un métabolite "pertinent" (Anses, 2019) : le métolachlore-ESA. Au début de l'année 2020 la concentration de ce métabolite du S-métolachlore dépasse la limite de qualité règlementaire de 0,1 µg/L (Décret 2007-49, CSP 2007).

Sur ces constats, un suivi d'un an est engagé sur le bassin versant du captage (deux points de mesure) et sur le captage G composé de 11 campagnes de suivi par échantillonnage passif de type POCIS (POCIS-MAX et POCIS-HLB). Ces campagnes sont complétées par échantillonnage ponctuel à la pose et à la dépose des échantillonneurs pour suivre les pesticides neutres et ioniques.

Ce suivi a permis d'évaluer la qualité des eaux du bassin versant environnant le captage mettant en évidence une faible contamination globale en produits



phytosanitaires. Les pesticides sont présents dans une assez grande variété (17 molécules différentes dont 5 métabolites) avec des concentrations de quelques ng/L (5 ng/L en moyenne sur le captage et jusqu'à 30ng/L sur un cours d'eau voisin). Seul le métabolite ESA du S-métolachlore est présent parfois à de très fortes concentrations indiquant de fortes dégradations du milieu naturel voisin. La qualité des eaux du captage est régulièrement atteinte avec des valeurs moyennes sur le captage en métolachlore-ESA de 0,1 µg/L et des concentrations maximales observées pouvant atteindre 2 µg/L.

Les données acquises permettent d'envisager un mécanisme de contamination du captage sur la période de suivi via la constitution d'un stock de métabolite sur une période sèche de plusieurs 10aine de jours, puis sa remobilisation au début d'une longue période fortement pluvieuse. Le recul sur les données issues des suivis du captage en métabolites de pesticides est faible, mais l'hydrogéologie locale (captage sur altérites) et le mécanisme envisagé de contamination des eaux par le métolachlore-ESA laisse envisager un arrêt de la problématique sur les eaux du captage avec l'arrêt de constitution de ce stock.

Les solutions curatives existent si l'on considère les traitements par charbon actif notamment. Cependant, dans le contexte local de nombreux petits captages (production, nombre d'habitants desservis), ces solutions sont difficilement soutenables d'un point de vue économique.

La mise en place de mesure de protection sur les zones d'aires d'alimentation des captages semblent être des solutions plus adaptées car peu d'agriculteurs sont concernés (champs captants de petite taille). Les mesures préconisées pour la reconquête de la qualité de l'eau semblent alors se diriger vers un arrêt le plus global possible de l'utilisation des produits phytosanitaires sur le champ captant à minima.

# **Restauration de la qualité des eaux de surface : évaluation quantitative de la performance des trajectoires agroécologiques d'atténuation des concentrations de pesticides avec SWAT**

Odile Phelpin, Françoise Vernier, Kévin Petit

*INRAE, UR ETTIS, 50 avenue de Verdun, F-33612 Cestas cedex, France –  
odile.phelpin@inrae.fr, francoise.vernier@inrae.fr, kevin.petit@inrae.fr*

*Mots-clés : Scénarios d'atténuation ; Pesticides ; Modélisation ; Pollution diffuse ;  
Variabilité spatiale*

Les ressources en eau se détériorent en raison de multiples facteurs, presque partout dans le monde. Au niveau territorial, les tensions entre les différents usages de l'eau s'exacerbent et poussent les acteurs du territoire à s'accorder pour la gouvernance de l'eau, surtout lorsque les besoins fondamentaux sont en jeu.

La pollution diffuse provenant de diverses utilisations du sol affecte régulièrement les écosystèmes et met en danger les captages d'eau pour l'alimentation en eau potable. L'agriculture est principale utilisatrice et contributrice à la pollution diffuse. Elle est aussi un facteur socio-économique et de souveraineté alimentaire à préserver. Alors que la conscience collective s'est fait jour sur la nécessité d'une agriculture plus durable, l'utilisation des pesticides n'a pourtant cessé d'augmenter. Cette tendance pourrait s'aggraver avec les projections de changement climatique.

En effet, malgré deux décennies de politiques publiques de restauration de la ressource, la plupart des masses d'eau européennes n'a pas atteint le «bon» état requis en 2015. Un report à 2027 a été demandé et accordé. La pollution diffuse est complexe à appréhender, en particulier du fait des mécanismes physico-chimiques impliqués dans le transfert et le devenir des polluants. Ainsi, à pression phytosanitaire équivalente, certaines zones sont disproportionnellement contributives à la pollution des eaux superficielles. Les moyens financiers étant limités, les décideurs ont besoin de cibler les plans d'action sur les zones les plus contributives (Lescot *et al.*, 2013). Parmi les méthodes d'aide à la décision, la modélisation écohydrologique permet d'évaluer l'efficacité environnementale des scénarios de transition agroécologique, en prenant en compte les variabilités spatio-temporelles et biophysiques du milieu et les effets des pratiques anthropiques.

Sur le bassin versant de la Charente (S.O. France), territoire à enjeux eau (captages Grenelle et pesticides), des scénarios, co-construits avec les acteurs locaux, ont été simulés. La performance des scénarios est évaluée par modélisation et quantifiée sur la base des réductions de pesticides dans les eaux de surface. Nos résultats montrent qu'il est possible de différencier les scénarios en fonction de leur performance et de leurs orientations agronomiques combinées (agriculture biologique, systèmes innovants, bandes filtrantes végétatives, prairies). Ils permettent d'identifier dans l'espace et dans le temps, les facteurs les plus influents. Ainsi, en identifiant les zones hautement prioritaires vulnérables aux pesticides, et la réponse des hydrosystèmes aux changements d'usage du sol, la modélisation écohydrologique contribue à éclairer les décideurs pour cibler plus efficacement des programmes d'atténuation, en contexte de changement climatique.

Remerciements : Nous remercions la Commission européenne pour le financement du Programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 dans le cadre de la convention de subvention N° 773782, à savoir le projet COASTAL (Collaborative lAnd Sea inTegrAtion pLatform).

#### Références :

Vernier F., Leccia-Phelpin O., Lescot J.-M., Minette S., Miralles A., Barberis D., Scordia C., Kuentz Simonet V., Tonneau J.P. (2017). Integrated modeling of agricultural scenarios (IMAS) to support pesticide action plans: the case of the Coulonge drinking water catchment area (SW France). *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (8), 6923-6950, <https://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-7657-2>, <https://hal.inrae.fr/hal-02604761>

Zahm F., Kephaliacos C., Vernier F., del Corso J.P., Kuentz V., Leccia O., Lescot J.-M., Rousset S., Scordia C., Guichard L., Minette S., Nguyen N., Fort J.L., Petit K., Tinland K., Uny D. (2016). Evaluation intégrée des mesures agro-environnementales territorialisées à enjeu "qualité des eaux" sur la période 2007 à 2011 : le projet MAEVEAU. In : *Eaux et Territoires agricoles : dépasser les contradictions ? Résultats de sept projets de recherche*. CGDD, 61-70, <https://hal.inrae.fr/hal-01306213>

Boithias L., Sauvage S., Srinivasan R., Leccia O., Sanchez-Perez J.-M. (2014-08). Application date as a controlling factor of pesticide transfers to surface water during runoff events. *CATENA*, 119, 97-103, <https://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.03.013>, <https://hal.inrae.fr/hal-02092936>

Lescot J.-M., Bordenave P., Petit K., Leccia O. (2013). A spatially-distributed cost-effectiveness analysis framework for controlling water pollution. *Environmental Modelling and Software*, 41, 107-122, <https://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.10.008>, <https://hal.inrae.fr/hal-02092965>

Lescot J.-M., Bordenave P., Leccia O., Petit K. (2013). Contrôle des pollutions diffuses par les pesticides : une approche coût-efficacité spatialement distribuée. *Economie rurale*, (333), 123-150, <https://hal.inrae.fr/hal-01436627>

Macary F., Leccia O., Almeida Dias J., Morin S., Sánchez-Pérez J.M. (2013). Agro-environmental risk evaluation by a spatialised multi-criteria modelling combined with the PIXAL method. *Revue Internationale de Géomatique*, 23 (1), 39-70, <https://dx.doi.org/10.3166/riq.23.39-70>, <https://hal.inrae.fr/hal-02597674>

# **INDIC'eau : un outil d'estimation du risque de transfert des pesticides vers la ressource en eau au niveau de l'exploitation**

Bastien Durenne, Guillaume Bergiers, Bernard Weickmans, Bruno Huyghebaert

*Unité sols, eaux et productions intégrées, Département Durabilité, Systèmes et prospectives, Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), 5030 Gembloux, Belgique ; b.durenne@cra.wallonie.be, g.bergiers@cra.wallonie.be, b.weickmans@cra.wallonie.be, b.huyghebaert@cra.wallonie.be*

*Mots-clés : pesticides, ressource en eau, indicateur, alternatives*

D'un point de vue régional, la Wallonie s'est engagée dans une politique forte de prévention en vue de limiter l'impact des produits phytopharmaceutiques (PPP) sur l'environnement et la santé humaine. L'utilisation des pesticides a contribué fortement à l'intensification de l'agriculture et à l'augmentation de la production agricole, mais a également engendré une contamination de l'environnement par la diffusion de résidus de substances actives (s.a.) et/ou de leurs métabolites associés (Le Bellec *et al.*, 2015). Parmi les différents compartiments environnementaux, la ressource en eau fait l'objet d'une attention particulière en Wallonie et notamment, au niveau de la protection des captages pour la production d'eau potable. Le réseau wallon de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines compte environ 400 sites de contrôle dont environ 50 % sont gérés par les producteurs d'eau. Bon nombre d'herbicides, y compris également certaines s.a. dont l'usage est aujourd'hui en 2022 interdit (atrazine et chloridazon), sont retrouvées au niveau de la ressource en eau (SPW, 2021).

Dans ce contexte, l'objectif d'INDIC'eau a été de développer, en partenariat avec l'asbl PROTECT'eau, un indicateur de risque de transfert des PPP vers la ressource en eau qui soit spécifique et applicable au contexte wallon. Afin de maximiser le temps de travail concernant la récolte des données pertinentes d'applications de pesticides au niveau d'une trentaine d'exploitations partenaires et ceci en ciblant la protection de l'eau, nous avons défini une liste négative de substances actives (principalement des herbicides) ayant un impact avéré au niveau des eaux souterraines (ESO) et des eaux de surface (ESU) wallonnes. La collecte des données au niveau des cinq centres d'action de PROTECT'eau répartis sur l'ensemble du territoire a ensuite servi de base pour calculer les QAC définis comme les quantités de substances actives appliquées par culture en kg.ha<sup>-1</sup> de l'exploitant. Afin d'éviter l'écueil de l'IFT (indicateur de

fréquence de traitement) développé en France (Guichard *et al.*, 2017), l'ISAC a été mis en place et correspond à un indice de substances actives par culture. Celui-ci est égal aux QAC divisées par la DMA correspondante, à savoir la dose maximale autorisée par s.a. à l'hectare pour la culture en question, ceci afin de normaliser les traitements de manière similaire à un IFT basé sur les s.a. En restreignant le calcul de l'indice aux molécules de la liste négative, l'ISAC'eau ainsi obtenu a permis une comparaison aisée et indépendante de la taille de l'exploitation entre les différents itinéraires techniques réalisés par les agriculteurs regroupés sous des conditions régionales pédoclimatiques et phytotechniques similaires.

Pour le risque ESO spécifiquement, il existe une quinzaine d'indices de lixiviation des s.a. vers les eaux souterraines, ceux-ci prenant en considération les paramètres correspondant aux caractéristiques physico-chimiques des molécules (Akay Demir *et al.*, 2019). En comparant les différentes variables impliquées dans chaque indice, le Koc/Kfoc est majoritairement pris en compte, suivi par la DT50 et enfin la solubilité. L'indice LEACH modifié (M.Leach) reprend judicieusement l'ensemble des trois, et sur base de celui-ci avec des variables contextualisées au niveau wallon, nous avons développé, en pondérant avec les ISAC'eau, notre propre indicateur de risque ESO.

Pour les eaux de surface, il a été choisi de travailler sur base d'un code couleur en fonction des différentes s.a. car l'estimation de ce risque n'est pas simple et nécessite une intégration de données géomatiques au niveau parcellaire, ainsi qu'une prise en compte indéniable des conditions météorologiques pendant et après l'application des PPP (Bockstaller *et al.*, 2017). Les différentes données récoltées, les ISAC'eau et les risques ESO associés permettent d'objectiver la sensibilisation des agriculteurs wallons à la protection de la ressource en eau et ont mis en évidence des usages de PPP pouvant potentiellement être problématiques.

Enfin, INDIC'eau permet également de situer les différentes pratiques agricoles au regard de celles du territoire et d'identifier les améliorations et alternatives possibles en vue de réduire la pression exercée sur l'eau potable, notamment en termes de lutte contre les adventices, par la promotion du désherbage mécanique, de la réduction de doses ou de réflexions concernant les schémas de traitements.

#### Références:

Akay Demir AE, Dilek FB, Yetis U (2019). A new screening index for pesticides leachability to groundwater. *Journal of Environmental Management* 231:1193-1202. DOI:10.1016/j.jenvman.2018.11.007

Bockstaller C, Pierlot F, Marks-Perreau J, et al (2017) Evaluation de la qualité prédictive d'indicateurs pesticides de transfert vers les eaux: le projet EQUIPE. *Innovations Agronomiques* 59(2017), 25-39 DOI: 10.15454/1.513784868270021E12

Guichard L, Dedieu F, Jeuffroy M-H, et al (2017). Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. Cahiers Agricultures 26:14002. DOI: 10.1051/cagri/2017004

Le Bellec F, Vélou A, Fournier P, et al (2015). Helping farmers to reduce herbicide environmental impacts. Ecological Indicators 54:207-216. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.02.020

SPW (Février 2021). Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, Belgique. <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas>

## **Suivi sur le long terme de la contamination d'un petit cours d'eau par les pesticides : variabilités inter et infra annuelle et stratégie d'échantillonnage**

Hélène Blanchoud (1), Arnaud Blanchouin (2), Céline Schott (3), Fabrice Alliot (1), Sira Traoré (1), Patrick Ansart (2)

(1) METIS, SU, EPHE, Université PSL, CNRS, Paris, [helene.blanchoud@ephe.psl.eu](mailto:helene.blanchoud@ephe.psl.eu)

(2) INRAe, UR HYCAR, Antony – [arnaud.blanchouin@inrae.fr](mailto:arnaud.blanchouin@inrae.fr)

(3) INRAe – Unité ASTER – Mirecourt – [celine.schott@inrae.fr](mailto:celine.schott@inrae.fr)

*Mots-clés : pesticides, rivière, contamination, prélèvement continu*

Les prélèvements ponctuels ne sont souvent pas pertinents pour la comparaison avec des simulations de modèles de transfert à l'échelle des bassins versants car les concentrations sont très fluctuantes dans le temps, surtout dans les petits cours d'eau. Le suivi sur le long terme de la contamination du milieu par les pesticides reste pourtant une action indispensable à mener. Il doit être complété par des données hydrologiques et une bonne connaissance des usages sur le bassin. Le PIREN Seine travaille sur le bassin versant de l'Orgeval (77) géré par l'INRAe depuis 60 ans. Le GIS Oracle est un observatoire qui regroupe les données acquises sur le bassin et possède l'expertise et le relationnel avec les agriculteurs. Par ailleurs, une caractérisation plus fine des échanges nappe – rivière est en cours pour représenter au mieux les processus de transfert dans la modélisation.

Le suivi en continu de la contamination par les pesticides dans le bassin versant de l'Orgeval (France) a été initié en 2008 afin de répondre aux attentes du devenir des pesticides dans les bassins versants sur le long terme et permettre la validation de modèles de transfert des contaminations diffuses. Ainsi, 12 ans de données de contamination sont maintenant disponibles pour une liste de molécules toujours en évolution en fonction des nouveaux usages. En parallèle, les usages phytosanitaires passés ont été déterminés par le biais d'enquêtes directement auprès des agriculteurs du bassin. Les bilans des usages actuels sont extraits de la BNV-D sur le département de la Seine et Marne.

Les prélèvements sont asservis au débit et moyennés mensuellement, ce qui permet d'avoir un lissage des fluctuations de concentrations et un calcul plus juste des flux de pesticides exportés. Un focus est fait sur les molécules emblématiques pour lesquelles la tendance d'évolution peut être directement mise en relation avec la dynamique saisonnière des usages phytosanitaires :



l'exportation du chlortoluron est un pesticide modèle des usages en période hivernale, alors que le métolachlor se caractérise par des usages de printemps. L'atrazine et ses métabolites se caractérisent quant à eux par un bruit de fond d'une contamination ancienne.

Au-delà de la dynamique saisonnière de la contamination, le suivi permet également de mettre en évidence les changements de contribution des masses d'eau au débit du cours d'eau et le temps de transfert de chaque substance. En effet, depuis 2017, la terbuthylazine est à nouveau autorisée pour le désherbage du maïs à raison d'un traitement tous les deux ans. Cette molécule très souvent détectée dans l'Orgeval avant son interdiction en 2003 a donc été rajoutée à la liste des molécules à suivre. Au contraire, l'isoproturon a été interdite en 2017, nous pouvons ainsi voir la vitesse de dissipation de cet herbicide au sein du bassin versant.

L'équipement de ce site est également intéressant pour tester et comparer différentes stratégies d'échantillonnage (préleveurs passifs).

## **Identification a priori des substances phytopharmaceutiques susceptibles d'entraîner des effets indésirables sur la faune sauvage terrestre**

Laurie Bedouet (1), Fabrizio Botta (1), Christophe Minier (2), Olivier Cardoso (3), Michaël Coeurdassier (4), Thomas Quintaine (1)

(1) Anses, Unité Phytopharmacovigilance, 94700 Maisons-Alfort –  
*thomas.quintaine@anses.fr*

(2) Université du Havre, UMR-I 02 INERIS-URCA-ULH, 76058 Le Havre –  
*minierc@univ-lehavre.fr*

(3) OFB, DRAS - Service SantéAgri, 45100 Orléans - *olivier.cardoso@ofb.gouv.fr*

(4) Université de Franche Comté, UMR 6249 CNRS/Université de Franche-Comté, UsC  
INRA - *michael.coeurdassier@univ-fcomte.fr*

*Mots-clés : faune sauvage ; produits phytopharmaceutiques ; hiérarchisation ; surveillance*

En 2015, la France s'est dotée d'un dispositif de surveillance des effets indésirables (EI) des produits phytopharmaceutiques (PPP) sur la santé humaine, la santé animale et l'environnement (Décret n°2016-1595 du 24 novembre 2016), appelé phytopharmacovigilance (PPV). La PPV s'appuie notamment sur des réseaux partenaires de surveillance et de vigilance pour faire remonter, centraliser et interpréter des informations liées aux effets indésirables des PPP lors de leur utilisation en conditions réelles. Concernant la surveillance des EI des PPP sur les oiseaux et les mammifères sauvages terrestres, les partenaires sont le réseau SAGIR (OFB/FNC/FDC/ADILVA), le laboratoire de toxicologie vétérinaire de VetAgro Sup de Lyon, et les centres antipoison vétérinaires CAPAE-OUEST et CNITV.

Ces partenaires font remonter à la PPV des données concernant des cas de mortalité et de morbidité d'animaux sauvages détectés sur le terrain et imputés à des intoxications létales ou sublétales aux PPP. De ce fait, cette surveillance ne considère que les effets aigus létaux ou sublétaux suffisants pour être observés sur le terrain, et porte donc généralement sur les substances les plus toxiques (néonicotinoïdes, insecticides inhibiteurs de cholinestérase anticoagulants), voire interdites aujourd'hui (organochlorés, insecticides carbamates). Il résulte de ce constat que peu de données sont disponibles pour un grand nombre de substances qui sont actuellement beaucoup utilisées, à l'instar de certains herbicides (ex. : prosulfocarbe, S-métolachlore) ou fongicides (ex. : cuivre, mancozèbe, folpet) et auxquelles la faune sauvage pourrait être exposée.

En l'absence de données issues de la surveillance de terrain, nous avons cherché à identifier les substances prioritaires pour la faune sauvage, fortement utilisées et susceptibles d'entraîner des effets indésirables, avec la collaboration des partenaires de la PPV et du groupe d'experts en appui de la PPV. Pour cela, à partir de travaux précédents menés par l'Anses (Avis de l'Anses sur les polluants émergents dans l'air ambiant, 2018), une approche de hiérarchisation des substances sur la base de critères objectifs et disponibles pour l'ensemble des substances a été utilisée (Tassin de Montaigu et Goulson, 2020, PeerJ 8 : e9526). Des espèces sentinelles ont été définies au préalable, et le Lièvre d'Europe (*Lepus europaeus*) a servi de modèle. Après n'avoir conservé que les substances dont les usages laissaient supposer une exposition de la faune sauvage, plusieurs critères objectifs ont été utilisés pour classer les substances entre elles :

- Utilisation : Les quantités de substances vendues par an, issues de la Banque nationale des ventes des PPP par les distributeurs (BNV-D) pour renseigner le potentiel d'utilisation de chaque substance ;
- Danger : Les valeurs de toxicité aiguë pour les mammifères (DL50), issues des revues de l'EFSA pour renseigner le potentiel de danger de chaque substance ;

Ensuite, deux méthodes de hiérarchisation ont été utilisées pour obtenir un classement des substances. En premier, les substances ont été classées selon le rang qui leur était attribué pour chaque critère (utilisation et danger, de la plus haute à la plus basse). Le rang final d'une substance est obtenu par la moyenne des rangs de cette substance pour les deux critères. Dans cette méthode, l'exposition des animaux a été prise en compte de deux façons différentes : en considérant les voies d'exposition en fonction des formulations (pulvérisation, granulés, traitement de semences) ou en considérant les surfaces de cultures potentiellement traitées par chaque substance en fonction des usages autorisés. Ceci permet de moduler la quantité de substance vendue à laquelle un lièvre est potentiellement exposé. Ensuite, une hiérarchisation par probabilité de risque calculé à partir des critères d'utilisation et de toxicité a été utilisée. Des probabilités d'exposition et de danger définie à dire d'expert ont été associées respectivement aux quantités vendues et à la toxicité de chaque substance, pour obtenir une probabilité de risque pour chaque substance. Cette méthode se rapproche d'avantage d'une démarche d'évaluation du risque.

Au total, 205 substances sur les 504 substances vendues en 2019 ont été retenues pour cette étude. Les listes hiérarchisées sont fortement influencées par les quantités de substances vendues, qui sont plus fortes pour les herbicides et les fongicides, notamment les prosulfocarbe, mancozèbe, S-métolachlore, cuivre et glyphosate, qui se retrouvent également dans le haut du classement obtenu en résultat des différentes méthodes utilisées. La téfluthrine et lambda-

cyhalothrine sont les seuls insecticides qui apparaissent dans le haut du classement final des deux méthodes.

Les listes obtenues avec les différentes méthodes restent cohérentes entre elles dans l'ensemble. Il semble donc qu'en se basant sur les mêmes critères, leur agrégation ne modifie pas le résultat global de la hiérarchisation, mais joue plutôt sur les niveaux fins dans le classement des substances.

Actuellement, les méthodes utilisées et les données disponibles ne permettent de quantifier l'exposition réelle de la faune sauvage aux PPP pour moduler le potentiel d'utilisation des substances. Un projet est en cours de montage pour acquérir ses données a posteriori qui compléteront ce travail de hiérarchisation a priori en identifiant les substances auxquelles la faune sauvage est effectivement exposée. Ces listes seront un outil permettant d'orienter des dispositifs de surveillance vers des substances qui ne sont actuellement pas forcément considérées pour leurs effets sur la faune sauvage.

Remerciements : Suzanne Bastian, Martine Kammerer et Xavier Pineau pour le suivi du travail en tant qu'experts du GT PPV de l'Anses

## **Effets de la salinité du sol et de l'eau sur le devenir des pesticides dans les agrosystèmes irrigués**

Mariam Khouni (1), Olivier Grünberger (2), Claude Hammecker (2),  
Hanene Chaabene (1)

(1) *Institut National Agronomique de Tunisie, IRD, 43, Avenue Charles Nicolle 1082  
Tunis Mahrajène, TUNISIE – mariem.khouni@inat.ucar.tn -*

*hanene.chaabene@inat.u-carthage.tn*

(2) *Univ Montpellier, (IRD, INRAE, Institut d'Agro), UMR LISAH, 2 place pierre viala  
34060 Montpellier, France - olivier.grunberger@ird.fr - claude.hammecker@ird.fr*

*Mots-clés : Salinité, Pesticides, Devenirs, environnement*

Les traitements pesticides sont intensément appliqués dans les cultures irriguées méditerranéennes. En conséquence, la diffusion et la rémanence des principes actifs et de leurs métabolites produit une contamination environnementale des sols et des eaux. Dans le même temps, la salinisation des aquifères côtiers et la mauvaise gestion de l'irrigation conduit ses agrosystèmes à développer une salinité parfois préjudiciable à la productivité. Nous exposons ici la question des interactions entre ces deux phénomènes abondamment documentés au travers d'une synthèse de l'étude bibliographique de l'impact de la salinité sur le devenir des composés actifs des pesticides dans l'environnement. Il s'agit de décrire les changements référencés des évolutions de comportement de ces derniers sous l'influence de différents niveaux de salinité en mettant en lumière comment les caractéristiques essentielles du devenir des principes actifs sont modifiées telles : la solubilité, les capacités de sorption, de dégradation et de volatilisation ainsi que la conductivité hydraulique du sol.

La diversité des principes actifs est source d'une grande variété de comportements en fonction de la salinité, ces derniers pouvant jouer dans des sens contradictoires vis-à-vis de la rétention et de la persistance. Cependant en augmentant la pression de vapeur et en diminuant la solubilité, la salinité peut changer les propriétés colligatives de l'eau envers les molécules entraînant la modification de la capacité d'échange et de sorption sur les produits chimiques, en particulier pour les composés ioniques et polaires. Il a également été établi que la salinité, peu inhiber ou encourager le processus de biodégradation en réduisant ou favorisant l'activité de certains microorganismes adaptés aux fortes salinités. La salinité favorise la formulation de différents complexes entre l'acide humique par exemple, et les composés actifs étudiés. Enfin, la salinité

peut modifier les propriétés de transfert des particules dans l'eau par le cycle de coagulation et de dispersion des particules argileuses, ou dans le sol par colmatage surtout lorsque le changement de gamme de salinité est brutal.

En conclusion, la synthèse établit une hiérarchie et une quantification entre les différentes modifications référencées apportées par la salinité vis-à-vis de la rétention et la persistance des différents pesticides pour mettre en relief les situations particulières (pratiques agricoles, gammes de salinité) où la salinité est susceptible de représenter un facteur décisif pour la prévention des contaminations.

## **Cultures intermédiaires pièges à nitrates, surfaces d'intérêt écologique, des voies d'exposition aux pesticides sous-estimées pour les pollinisateurs ?**

Louis Hautier (1), Gilles San Martin (1), Etienne Bruneau (2),  
Noa Simon-Delso (3)

- (1) *Unité Santé des plantes et forêts, Centre wallon de Recherches agronomiques, Rue de Liroux, 2 B-5030 Gembloux, Belgique - l.hautier@cra.wallonie.be; g.sanmartin@cra.wallonie.be*
- (2) *Centre Apicole de Recherches et d'Information CARI, Croix du S, 1348 Ottignies-Louvain-la-Neuve, Belgique - bruneau@cari.be*
- (3) *BeeLife, Avenue Louise 209/7 1050 Brussels, Belgium - simon@bee-life.eu*

*Mots-clés : abeilles, exposition, pesticides systémiques, dérives, CIPAN, SIE, PPP*

Une agriculture durable ne peut se concevoir sans la préservation des insectes pollinisateurs. Dans ce contexte, il est essentiel de réduire l'exposition des pollinisateurs aux pesticides, également appelés produits de protection de plantes (PPP). Pour y parvenir, il est important à la fois d'identifier les substances contaminant les ressources alimentaires, mais aussi les différentes voies d'exposition afin de les intégrer dans l'évaluation du risque et éviter toutes expositions dommageables. Parallèlement à l'augmentation de l'offre en produits systémiques, de nouvelles pratiques agricoles sont promues comme l'implantation de Culture Intermédiaire Piège à Nitrate (CIPAN) ou de Surfaces d'Intérêt Ecologique (SIE). Lorsque ces surfaces fleurissent, elles sont fréquemment visitées massivement par les abeilles pour le nectar et le pollen.

Le suivi des résidus de pesticides dans le pollen de trappe collecté dans 40 ruchers a révélé, durant les mois d'août à octobre 2011, la présence de résidus de fongicides (boscalid, pyrimethanil, trifloxystrobine, kresoxim-méthyl, cyprodinil) et d'insecticides (diméthoate, thiaméthoxam). A cette époque de l'année, l'application de pesticides est théoriquement minimale en comparaison au printemps. Afin d'identifier l'origine de ces contaminations, des analyses palynologiques ont été menées. Il en résulte que la contamination par le boscalid peut être prédite par la présence de pollen de Rosaceae et de *Phacelia tanacetifolia* alors que le diméthoate par le pollen de *Vicia* spp. et *P. tanacetifolia*. Afin de vérifier cette voie de contamination par les fleurs de CIPAN, des prélèvements de sommités florales de phacélie, moutarde, radis fourragers ont été effectués en Wallonie à l'automne 2017 et 2018. Les analyses multirésidus indiquent la présence de résidus de pesticides dans plus de la

moitié des échantillons. La contamination par des produits systémiques s'explique très probablement par la rémanence dans le sol de produits appliqués au printemps sur la culture principale. Pour les produits non rémanents, la dérive venant d'un champ avoisinant pourrait expliquer en grande partie les résidus détectés sur ces surfaces théoriquement non traitées.

En fin de saison, les abeilles peuvent donc être exposées à différents pesticides par des ressources théoriquement non traitées comme les CIPAN ou SIE. Cette exposition est d'autant plus importante que les ressources alimentaires disponibles en fin de saison sont limitées pour les abeilles et que ces ressources sont stockées et utilisées durant tout l'hiver. Il en découle la question du risque pour les abeilles d'hiver d'une exposition chronique à des mixtures de pesticides via le pain d'abeilles ou le miel. A l'heure actuelle, ce risque n'est pas pris en compte et devrait être évalué vu l'utilisation de plus en plus fréquente de produits systémiques rémanents dans le sol et l'obligation d'implantation de cultures intermédiaires.

Financements : Direction Générale Opérationnelle Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement (DGO3), Service Public de Wallonie ; Convention cadre Bee Wallonie.

Références :

Simon-Delso, N., San Martin, G., Bruneau, E., Minsart, L.-A., Mouret, C., & Hautier, L. (2014). Honeybee Colony Disorder in Crop Areas: The Role of Pesticides and Viruses. *PLoS ONE*, 9(7), e103073. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103073>

Simon-Delso, N., Martin, G. S., Bruneau, E., Delcourt, C., & Hautier, L. (2017). The challenges of predicting pesticide exposure of honey bees at landscape level. *Scientific Reports*, 7(1), 3801. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03467-5>



## **Devenir des hydrochlordécones, du mirex et d'autres analogues en condition de (bio)dégradation réductive**

Oriane Della-Negra (1), Marion Chevallier (2), Sébastien Chaussonnerie (3), Agnès Barbance (3), Delphine Muselet (3), Eddy Elisée (3), Denis Le Paslier (3), Gilles Frison (4), Pierre-Loïc Saaidi (3)

(1) Aix Marseille Univ., CNRS, Centrale Marseille, iSm2, Marseille, France – [oriane.della-negra@centrale-marseille.fr](mailto:oriane.della-negra@centrale-marseille.fr).

(2) Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, DTNM, 38000 Grenoble, France - [marion.chevallier@cea.fr](mailto:marion.chevallier@cea.fr)

(3) UMR 8030 Génomique métabolique/CEA/Institut de Biologie François Jacob/Genoscope/Université d'Evry Val d'Essonne/Université Paris-Saclay, France – [plsaaiddi@genoscope.cns.fr](mailto:plsaaiddi@genoscope.cns.fr)

(4) Sorbonne Université, CNRS, Laboratoire de Chimie Théorique, Paris, France - [gilles.frison@polytechnique.edu](mailto:gilles.frison@polytechnique.edu)

*Mots-clés : cage bishomocubane, hydrochlordécone, mirex, dégradation, mécanisme*

Parmi les Polluants Organiques Persistants de la Convention de Stockholm, le mirex et la chlordécone partagent tous deux la même structure particulière en forme de cage bishomocubane. Le mirex, de formule brute  $C_{10}Cl_{12}$ , a été utilisé mondialement aux Etats-Unis, au Canada, en Chine, Amérique du Sud et en Afrique comme pesticide ou retardateur de feu. Il est aujourd'hui responsable d'une pollution à long terme, notamment dans la région des Grands Lacs au Canada. Jusqu'à présent très peu d'études font état d'une biodégradation du mirex et seul le 10-monohydromirex a pu être identifié comme produit de transformation (PT). La chlordécone, de formule brute  $C_{10}Cl_{10}O_2H_2$ , a quant à elle été majoritairement utilisée aux Antilles Françaises comme pesticide pour lutter contre le charançon du bananier. Du fait de sa toxicité et de sa persistance, elle est aussi responsable d'une pollution à long terme de ces territoires, de problèmes de santé publique et socio-économiques. Plusieurs équipes ont pu mettre en évidence sa dégradabilité par voie chimique, microbiologique ou encore directement dans les sols. Plus spécifiquement, des bactéries ont été identifiées comme transformant cette molécule en hydrochlordécones, polychloroindènes, acides polychloroindèncarboxyliques ou encore chlordecthiol ; PTs qui ont été retrouvés dans l'environnement en plus de ceux présents comme impureté de la formulation commerciale de la chlordécone ou provenant de sa dégradation par voie photochimique : le chlordécol, la 8-

monohydrochlordécone, et la 2,8-dihydrochlordécone. Ici, nous nous sommes intéressés à la dégradabilité des pesticides ou PTs comportant cette même structure de cage bishomocubane.

Par différentes stratégies de synthèse chimique, nous avons tout d'abord obtenu cinq hydrochlordécones comportant entre 9 et 5 atomes d'hydrogène. Nous avons ensuite suivi leur biodégradation en les plaçant en présence de *Citrobacter* sp.86, bactérie connue pour dégrader la chlordécone en condition réductrice. Des réactions de dégradation chimiques biomimétiques ont confirmé les tendances observées lors des dégradations microbiologiques. Cela a également facilité l'identification des produits formés. La similitude générale entre dégradations chimiques et microbiologiques semble indiquer que les caractéristiques intrinsèques des molécules étudiées dictent en premier lieu leur biodégradabilité (ou non).

Nous avons pu mettre en évidence que les hydrochlordécones A2 et A3 (8-monohydrochlordécone et 2,8-dihydrochlordécone respectivement), se transformaient de façon similaire à la chlordécone et conduisaient à la formation d'autres hydrochlordécones, de polychloroindènes et d'acides polychloroindèncarboxyliques. Par contre pour les hydrochlordécones A1, A4 et A5 (la 10-monohydrochlordécone, la 8,10-dihydrochlordécone et la 2,3,6,7,10-pentahydrochlordécone respectivement) aucune dégradation n'a pu être observée : la présence d'un atome d'hydrogène en position 10 bloquant manifestement l'ouverture de la cage bishomocubane. Ce résultat est d'importance car le procédé chimique « In Situ Chemical Reduction » qui a montré une certaine efficacité sur les sols antillais pour dégrader la chlordécone conduit à ce type d'hydrochlordécones, notamment avec une déchloration privilégiée de la position 10. Même s'ils possèdent moins d'atomes de chlore que la chlordécone, les produits issus du procédé ISCR apparaîtraient donc plus réfractaires à une dégradation microbiologique naturelle.

Concernant le chlordécol également présent aux Antilles, une biodégradation partielle a également été observée au bout d'un temps d'incubation nettement plus long que pour la chlordécone. Des produits partiellement déchlorés et possédant une structure « ouverte » ont notamment été identifiés. Le chlordecthiol a conduit à l'obtention d'hydrochlordecthiols et de composés encore indéterminés. Finalement, à l'issue de 35 semaines, une biodégradation partielle du mirex a pu être constatée, aboutissant à la présence de plusieurs hydromirex et de plusieurs composés inconnus. De manière inattendue, le PT B1 (le 2,4,5,6,7-pentachloroindène) connu pour être l'un des PT principaux observés lors de la dégradation microbiologique de la chlordécone a également été formé au cours de la biodégradation du mirex. La formation possible de B1 dans l'environnement peut donc être également issu de la dégradation du mirex ce qui accentue la nécessité de développer des méthodes de monitoring adaptée à ce composé.

Enfin, des calculs de chimie quantique DFT ont permis de rationaliser les observations expérimentales. Un mécanisme général de dégradation de toutes les cages bishomocubanes chlorés (chlordécone, hydrochlordécones, mirex, chlordécol et chlordecthiol) a été proposé ; il peut servir à prédire le devenir de composés de structure similaire.

# **Influence du glyphosate et de l'AMPA sur l'extractibilité des éléments traces dans les sols contaminés et non contaminés**

Nathan Bemelmans, Bryan Arbalestrie, Yannick Agnan

*Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, 1348 Louvain-la-Neuve,  
Belgique – nathan.bemelmans@uclouvain.be, bryan.arbalestrie@uclouvain.be,  
yannick.agnan@uclouvain.be*

*Mots-clés : éléments traces, glyphosate, mobilité, transfert, sol*

Le glyphosate est un des herbicides les plus utilisés dans le monde et est controversé suite aux preuves de risques pour la santé. En plus de sa fonction herbicide, le glyphosate a la capacité de chélater les éléments traces (éléments généralement métalliques à faible concentration dans l'environnement). Les sols agricoles peuvent être contaminés à différents degrés, ce qui pose la question d'une possible augmentation de leur mobilité due à l'application de glyphosate et à la présence de son métabolite principal, l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), chimiquement proche du glyphosate. L'extractibilité des éléments traces en présence de glyphosate (formulé ou non) et d'AMPA a été étudiée par des expériences en batch en utilisant une solution extractante contenant une substance active à une concentration de 20 ou 100 mg·L<sup>-1</sup>. La solution après extraction est analysée par ICP-MS et HPLC pour la mesure respectivement des éléments traces et des pesticides résiduels (glyphosate formulé ou non et AMPA) dans la solution. Dans notre étude, quatre sols agricoles ont été sélectionnés : un sol non contaminé, deux sols contaminés par des sources anthropiques et un sol naturellement contaminé (enrichissement géogénique). Alors que le glyphosate a augmenté l'extractibilité de plusieurs éléments (Cu, As, Zn, Cd...), l'AMPA a principalement augmenté l'extractibilité de As et diminué l'extractibilité d'autres éléments (Ba, Zn, Sn). Les résultats dépendent du sol considéré et de la concentration de la substance active. Les résultats montrent aussi que le pesticide formulé à base de glyphosate mène, dans tous les sols à l'exception du sol non contaminé, à une extractibilité plus élevée des éléments traces que le glyphosate seul. En parallèle le glyphosate est toujours plus présent dans la solution résiduelle lorsqu'il est ajouté par l'intermédiaire d'un pesticide commercial à base de glyphosate que lorsque la substance seule est ajoutée. Ainsi, le glyphosate peut être considéré comme une cause probable d'augmentation de la mobilité des éléments traces dans les sols,

particulièrement dans les horizons de surface où les concentrations en pesticide peuvent être relativement élevée.

## **PESTEAUX-RW : Modélisation du transfert des pesticides vers les ressources en eau à l'échelle du bassin versant pour la région wallonne.**

Julien Herinckx (1), Jean Pierre Huart (2), Valentin Sohy (1), Bernard Weickmans (1), Durenne Bastien (1), Curnel Yannick (2), Planchon Viviane (2), Huyghebaert Bruno (1).

(1) *Unité sols, eaux et productions intégrées, Département Durabilité, Systèmes et perspectives, Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), 5030 Gembloux, Belgique – j.herinckx@cra.wallonie.be; b.weickmans@cra.wallonie.be; b.durenne@cra.wallonie.be; b.huyghebaert@cra.wallonie.be*

(2) *Unité agriculture, territoire et intégration technologique, Département Productions agricoles, Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W), 5030 Gembloux, Belgique – j.huart@cra.wallonie.be, y.curnel@cra.wallonie.be, v.planchon@cra.wallonie.be*

*Mots-clés: Produits de protection des plantes (PPP), prévention du risque, modélisation, SWAT+*

Les traitements des produits de protection des plantes (PPP) sur les cultures peuvent induire des pertes involontaires vers les ressources en eau, qui risquent d'entraîner une grave détérioration de leur qualité. Le projet PESTEAUX-RW vise à évaluer ce risque en région wallonne à partir d'un modèle hydrologique existant. Le modèle estime le ruissellement des PPP vers les eaux de surface en fonction de multiples processus hydrologiques. Il permettra d'évaluer les pratiques agricoles les plus appropriées pour atténuer le risque de contamination de l'eau par une comparaison des itinéraires culturels types à l'échelle du bassin versant. De plus, il mettra en évidence, pour chaque parcelle, les rotations de cultures et les substances actives induisant les risques les plus élevés de pollution de l'eau.

Un examen de plusieurs modèles hydrologiques a été effectué et a abouti à la sélection du modèle « Soil and Water Assessment Tool : SWAT+ ». En comparaison aux modèles conceptuels tels que Clark, TANK et AWBM, le modèle physique semi-distribué SWAT+ a la capacité d'intégrer la variabilité spatiale de l'utilisation des terres, de la pente, du sol et du climat pour traiter le régime hydrologique correspondant au bassin versant; par exemple au travers des équations de conservation de la masse, de quantité de mouvement et d'énergie[1]. SWAT+ est considéré comme l'un des modèles appliqués les plus

efficaces pour le traitement de questions hydrologiques et environnementales [2]. Il a été largement utilisé pour des études multidisciplinaires, allant d'événements réguliers à des conditions hydro-climatiques extrêmes. Pour chacune de ces études, une évaluation des performances intrinsèques au modèle a été réalisée sur base du coefficient d'efficacité de Nash-Sutcliffe. Dans la majorité des cas, le modèle présente de bonnes ( $> 0,65$ ) voire très bonnes ( $> 0,75$ ) performances pour des opérations de calibration et validation fixées à un pas de temps journalier et mensuel [2,3]. SWAT+ s'appuie sur le concept d'unité de réponse hydrologique (HRU), qui consiste en subdivisions du bassin versant caractérisées par des propriétés homogènes relatives à la composition du sol, à l'utilisation des terres et aux classes de pente. L'utilisation de ces HRU rend le modèle SWAT+ moins exigeant en termes de données et de temps de calcul. Pour faciliter la gestion des données et le paramétrage du modèle, un processus d'automatisation, est en cours de développement sur base du langage Python, choisi en raison de sa compatibilité avec le modèle SWAT+ et les logiciels SIG. Une collecte d'échantillons d'eau et leur analyse sont prévues pour réaliser la calibration et la validation du modèle, étapes nécessaires pour affiner l'estimation de la dynamique des transferts de PPP à l'échelle du bassin versant.

Références :

- [1] Jaiswal R.K., Ali S., Bharti B., 2020, Comparative evaluation of conceptual and physical rainfall-runoff models. *Applied Water Science*, [en ligne], 10 (48), 1-12, <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-019-1122-6>> (consulté le 15 mars 2021).
- [2] Tan L., Gassman P., Srinivasan R., Arnold J., Yang X., 2019. A review of SWAT studies in Southeast Asia: applications, challenges and future directions. *Water* [en ligne], 11(5), 1-16, <<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/5/914>> (consulté le 15 mars 2021).
- [3] Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970, River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, [en ligne], 10 (3), 282-290, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169470902556>> (consulté le 16 mars 2021).

## **La Cellule Diagnostic Pesticides dans les Eaux (CDP'Eau) : un outil pour la protection de l'eau potable**

Florence Williscotte (1), Bernard Weickmans (1), Bastien Durenne (1),  
Nicolas Triolet (2), Bruno Huyghebaert (1)

(1) *Unité sols, eaux et productions intégrées, Département Durabilité, Systèmes et prospectives, Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), 4 rue du Bordia 5030 Gembloux, Belgique – f.williscotte@cra.wallonie.be; b.weickmans@cra.wallonie.be; b.huyghebaert@cra.wallonie.be*

(2) *Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE), 17/19 rue des écoles 4800 Verviers – nicolas.triolet@spge.be*

*Mots-clés : Produits de Protection des Plantes (PPP), Eau potable, Contamination*

Sur la période 2014-2019, près de 59 % (20/34) des masses d'eau souterraine de Wallonie étaient jugées en bon état chimique [1]. L'intensification des productions agricoles a contribué à de larges utilisations de fertilisants et de produits de protection de plantes (PPP). Par conséquent, les normes de qualité des eaux souterraines (NQE) pour les PPP, définis par le Code wallon de l'eau [2], tels que 0,1 µg l<sup>-1</sup> pour une substance active ou certains métabolites et 0,5 µg l<sup>-1</sup> pour la somme des pesticides, sont parfois dépassées dans les captages. La protection des captages d'eau souterraine des activités agricoles est donc essentielle pour assurer une bonne qualité des eaux potables. La Cellule Diagnostic Pesticides dans les Eaux (CDP'Eau) a pour but de déterminer les sources de contamination en pesticides des ressources en eau pour mieux cibler les solutions à mettre en place à l'échelle de la parcelle. Elle a été mise en place en 2005, dans le cadre d'une collaboration entre la Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE) et le Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), pour fournir aux producteurs d'eau une approche scientifique et une expertise agronomique et hydrogéologique. Pour évaluer l'origine de contamination, une recherche documentaire est réalisée pour rassembler les informations pertinentes relatives au site étudié et ainsi émettre les premières hypothèses. Des visites de terrain et des enquêtes auprès des utilisateurs de PPP sont ensuite réalisées pour valider les hypothèses émises. La dernière étape est l'établissement du diagnostic et la proposition de solutions. Depuis sa création, la CDP'Eau a diagnostiqué plus de 30 cas. La majorité des cas étudiés (80%) implique souvent une pollution localisée. Les pollutions diffuses (dérive et lixiviation) sont complémentaires à celle-ci. Les herbicides racinaires sont plus fréquemment retrouvés dans les eaux souterraines dont notamment le S-



métolachlore. Certains produits de contact sont aussi présents comme la bentazone, particulièrement préoccupante dans les zones karstiques. Depuis 2018, le diagnostic de la CPD'Eau s'intègre dans le cadre de Contrats Captage dont le but est d'élaborer un plan d'actions avec les parties prenantes et d'inviter les agriculteurs à co-concevoir des solutions qui seront mises en œuvre sur le terrain pour améliorer l'état des masses d'eau de Wallonie.

Références :

- [1] SPW, Etat des masses d'eau, 10/12/20, (<http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/EAU>)
- [2] Code de l'Eau Coordonné - Partie réglementaire (Livre II du Code de l'Environnement) (<http://environnement.wallonie.be/legis/Codeenvironnement/codeeauucoordonneR.html>)

## **Premier diagnostic de la qualité phytosanitaire des eaux de surface dans un contexte semi-aride (Tunisie, Cap Bon)**

Ghada Dahmeni (1,2), Manon Lagacherie (2), Olivier Grunberger (2), Hanène Chaabane (1)

(3) *Laboratoire Bioagresseurs et Protection Intégrée en Agriculture, Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage, 43, av Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène – ghada.dahmeni22@gmail.com – hanene.chaabane@inat.u-carthage.tn*

(4) *Unité Mixte de Recherche, Laboratoire d'Etude des Interactions entre Sol-Agrosystème-Hydrosystème, Institut de Recherche pour le Développement, SupAgro Montpellier – olivier.grunberger@ird.fr – Manon.lagacherie@ird.fr*

*Mots-clés : eaux de surface, Glyphosate, eau, sol.*

La dégradation de la qualité des eaux de surface représente l'une des conséquences majeures de l'agriculture intensive actuelle marquée notamment par la contamination fréquente des cours d'eau par les pesticides. Dans le contexte méditerranéen et tunisien, cet aspect demeure très peu étudié, notamment du fait de la difficulté d'échantillonner dans des écoulements intermittents. L'étude actuelle présente les résultats d'un premier diagnostic sur la qualité des eaux de surface du bassin versant de Lebna (210 Km<sup>2</sup>) situé au Cap Bon (Tunisie) dans le contexte de la petite céréaliculture pluviale. L'étude cible la détection et la quantification de molécules pesticides dans l'eau des lacs collinaires. L'analyse d'échantillons d'eau de surface prélevés à partir de neuf lacs collinaires pour trois années 2018-2021, a révélé la détection de 17 substances actives. Cependant, la gamme de molécules détectées diffère d'une année à l'autre ce que nous tentons d'expliquer par les résultats d'enquêtes sur les pratiques phytosanitaires des agriculteurs afin de mieux comprendre cette différence interannuelle. Les molécules détectées sont des herbicides dont les plus importants : le 2,4-D, le glyphosate et la simazine; des fongicides tels que : le carbendazime, le thiabendazole et le boscalide et insecticides comme l'imidaclopride et le lindane. Leurs concentrations varient en fonction du lac. D'autres pesticides ont été détectés mais ils sont en dessous de la limite de quantification. D'autres molécules ont aussi été détectées telles que les régulateurs de croissance (chlormequat) et les bactéricides (triclosan). Cependant, le glyphosate marque une concentration maximale remarquable avec une valeur de 0,92 µg L<sup>-1</sup> pour l'année 2018/2019 et 1.73 µg L<sup>-1</sup> pour l'année 2020/2021

dépassant la limite de potabilité européenne de 0,1 µg L<sup>-1</sup>. Cette molécule était présente dans six lacs sur neuf en 2020/2021.

**Monitoring des pesticides dans les  
denrées alimentaires et  
l'environnement et évaluation du  
risque pour la santé**

## **Exposition des Travailleurs agricoles aux produits phytosanitaires dans les pommeraies.**

François Laurent (1), Louisa Mediouni (1), Sonia Grimbuhler (2)

(1) INRAE, UMR Toxalim 180, ch de Tournefeuille, 31027 Toulouse cedex  
francois.laurent@inrae.fr

(2) INRAE, UMR ITAP, 361 Rue Jean-François Breton, 34196 Montpellier cedex  
sonia.grimbuhler@inrae.fr

*Mots-clés : Travailleurs agricoles, exposition, résidus foliaires délogeables, éclaircissage, récolte.*

Après traitement par des produits de protections des plantes (PPP), un délai dit « délai de rentrée » doit être respecté, de 6 h à 48 h, pour pénétrer dans une parcelle traitée. Les TA considèrent souvent qu'il y a une absence d'exposition aux produits phytopharmaceutiques et y pénètrent, en général, sans équipements de protection individuelle. Nous avons déterminé l'exposition potentielle (résidus sur le végétal) et l'exposition réelle (résidus présents sur la peau et les vêtements) des travailleurs agricoles (TA) dans des vergers de pommiers.

La peau (mains et visages) des TA a été essuyée à l'aide compresses et les sous-vêtements et leurs vêtements de travail récupérés pour analyse. Les résidus délogeables sur la végétation (DFR) (feuilles et fruits) des mêmes parcelles ont été extraits. Ces résidus ont été analysés par GC-MS ou LC-MS.

Une douzaine de PPP ont été identifiés dans les fruits récoltés en août dont 3,9 et 56 ng/cm<sup>2</sup>, pour le captane et le dithianon respectivement. Pour le captane, 90% des résidus présents sont délogeables. Les taux retrouvés sur la végétation (fruits et feuilles) sont 3 fois plus élevées lors de l'éclaircissage que durant la récolte. L'exposition dermique potentiel (EDP) des mains après une journée d'éclaircissage, sans port de gants, calculée à partir des DFRfruit sont en moyenne de 0.016 mg/j/kg. Réglementairement, ces EDP sont calculées à partir des DFRfeuilles. Or ces derniers sont 25 fois plus élevés, soit des EDP de 0,4 mg//kg/j en moyenne. Ainsi l'exposition des TA sans EPI serait supérieure à l'AOEL du captane (Acceptable Operator Exposure Level, 0,25 mg/kg/j). Si nous considérons l'exposition dermique totale et pas seulement celle des mains, l'exposition est même 8 fois supérieure à l'AOEL.

Les taux de résidus sur la peau, les sous-vêtements et les vêtements de travail montrent que toutes les parties du corps se retrouvent exposées aux produits phytopharmaceutiques. Les zones du corps les plus contaminées sont les avant-

bras (7 µg/cm<sup>2</sup>), suivi des bras et du torse (environ 0,2 µg/cm<sup>2</sup>), le dos et les cuisses l'étant encore 10 fois moins. Curieusement les mains gauches sont 3 fois plus contaminées que les droites (48.5 et 17.5 µg/j, respectivement). Le visage est aussi contaminé, bien que plus faiblement (3 µg/j). Parmi les différentes phases de travail, l'éclaircissage est plus exposant que la récolte, correspondant à une contamination de la végétation plus élevée. Dans tous les cas, il y a une forte dispersion des valeurs, de plusieurs ordres de grandeur entre médianes et maximales (par ex. 1,4 et 439 103 ng/cm<sup>2</sup> respectivement pour les avant-bras, pour une même période).

La contamination de l'ensemble des vêtements s'explique par un contact général du corps avec la végétation, les deux tâches nécessitant une intervention du TA au cœur du toupet de végétation, comme le montre l'analyse des postures de travail, les avant-bras étant les plus directement en contact avec celle-ci. Le fait surprenant que la main gauche soit plus contaminée que la main droite s'explique car, chez les droitiers (la majorité des TA), cette main sert à écarter la végétation pour accéder aux fruits, la droite servant à éclaircir ou à cueillir les fruits qui sont moins fortement contaminés.

Ces mesures d'exposition et de contamination montrent que les vêtements assurent une bonne protection du TA au risque chimique des PPP, sans toutefois assurer une protection totale puisque la réduction de l'exposition n'est que de 90 à 95%. Une partie de la contamination passe par la peau non protégée mais aussi par les sous-vêtements, ceux-ci étant contaminés malgré les vêtements. De plus, en période de fortes chaleurs, éclaircissage (mai-juin) ou récolte d'été (juillet-août), le travail est souvent effectué par des TA ne portant pas d'EPI ou ouvrant régulièrement leur combinaison de travail, s'exposant ainsi à des valeurs de contamination très largement supérieures aux AOEL des PPP, essentiellement par un contact indirect avec la végétation. Malgré un plus faible taux de résidus délogeables sur la végétation, l'exposition totale durant la récolte tardive (octobre-novembre) peut quand même parfois représenter plus de 4 fois l'AOEL, dans laquelle l'exposition des mains représente jusqu'à 20% du total. Donc, même en cette période de plus faible contamination de la végétation, l'exposition du TA peut être importante et sous-estimée. Se pose alors la question de la refonte des mesures de prévention pour les travailleurs a priori les moins exposés sur une exploitation, ou d'une réévaluation de l'évaluation des PPP vis-à-vis de ces TA, notamment des pires cas d'exposition.

## **Analyse des résidus de pesticides dans les vins tunisiens par chromatographies liquide et gazeuse couplées à une spectrométrie de masse en tandem**

Ghaya Mechichi (1,2), Marie-Louise Scippo (2), Hanène Chaabane(1),  
Laure Joly(3)

- (1) *Laboratoire Bioagresseurs et Protection Intégrée en Agriculture, Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage, 43, av Charles Nicolles, 1082 Tunis Mahrajène – mechichighaya@yahoo.fr – hanene.chaabene@inat.u-carthage.tn*
- (2) *Laboratoire d'analyse des denrées alimentaires, FARA-H-VPH (Fundamental and Applied Research for Animal & Health, Veterinary Public Health), Université de Liège Belgique – mlscippo@uliege.be*
- (3) *Sciensano, service des contaminants organiques et additifs, 14 rue Juliette Wytsman, 1050, Ixelles, Belgique – laure.joly@sciensano.be*

*Mots-clés : vins, pesticides, détection, chromatographie*

La viticulture en Tunisie est sujette à plusieurs problèmes d'ordre économique, cultural et notamment phytosanitaire dus principalement aux bioagresseurs, entre autres les champignons phytopathogènes et les insectes ravageurs. Pour y remédier, l'utilisation de produits de protection des plantes reste la méthode la plus utilisée par les viticulteurs visant l'amélioration du rendement de la culture en quantité et en qualité.

Dans un premier temps, une étude a été réalisée en Tunisie durant la campagne agricole 2020-2021 en vue d'évaluer la contamination des raisins de cuve frais par les pesticides. Les analyses ont démontré la présence de résidus à des teneurs supérieures à la limite maximale en résidus (LMR), autorisée par la réglementation européenne, dans 33% des échantillons de raisins de cuve frais pour les substances actives : chlorpyrifos éthyle (dans 10 échantillons à des concentrations allant jusqu'à 0.22 mg.kg<sup>-1</sup>, iprodione dans trois échantillons (jusqu'à 0.3 mg.kg<sup>-1</sup>), diméthoate et ométhoate dans un même échantillon (concentration égale à 0.02 mg.kg<sup>-1</sup>) et carbendazime dans deux échantillons à des concentrations de 0.63 et 0.7 mg.kg<sup>-1</sup> respectivement.

En parallèle, l'analyse d'échantillons de vins récupérés à partir de quatre caves localisées au nord-est de la Tunisie (dans les régions de Grombalia et de Bouargoub ; deux zones viticoles majeures) a permis d'apprécier le potentiel de transfert des pesticides de l'échantillon frais à l'échantillon transformé. Quinze

échantillons de vins finis (cinq blancs, cinq rosés et cinq rouges) ont été prélevés, homogénéisés, extraits et analysés par chromatographie liquide (CL) et gazeuse (CG) couplée à la spectrométrie de masse en tandem (MS/MS). Quatre-vingt-sept pourcents des échantillons contenaient au moins une substance active appartenant majoritairement (86%) à la classe des fongicides. Les résultats obtenus montrent la présence de 3 résidus par échantillon en moyenne. Au total, sept substances actives ont été détectées dont six fongicides : l'iprodione (dans 5 échantillons à des teneurs variant entre 0.021 et 0.06 mg.kg<sup>-1</sup>), le fenhexamide (5 échantillons) à des concentrations comprises entre 0.016 et 0.091 mg.kg<sup>-1</sup>, le thiophanate-méthyl (4 échantillons), son métabolite le carbendazime (4 échantillons) à des concentrations comprises entre 0,012 et 0.053 mg.kg<sup>-1</sup> et le boscalid dans un seul échantillon à une teneur égale à 0.026 mg.kg<sup>-1</sup>.

Une seule substance active insecticide, qui est l'imidaclopride, a été détectée dans six échantillons avec une concentration maximale égale à 0,031 mg.kg<sup>-1</sup>. Par ailleurs, 33% des échantillons de vins analysés dépassaient la LMR établie par la législation européenne pour une substance active. Cette non-conformité a été constatée pour l'iprodione, non-approuvés par l'Union Européenne, à des teneurs dépassant deux à six fois la LMR. Il est recommandé, par conséquent, de sensibiliser les différents acteurs du secteur viticole en Tunisie afin de mettre au point un système de contrôle quant à l'usage des produits non-approuvés susceptibles d'entraver l'opération d'export du vin tunisien.



## **Réduction et valorisation éco-circulaire des déchets végétaux issus de l'activité de fleuristes en Région Wallonne**

Alodie Blondel (1), Boris Krings (1), Hélène Goethals (2), Jean-Marie Savino (2)

(1) CRA-W, Unité Produits de protection, de contrôle et résidus Bâtiment Carson, Rue du Bordia 11, 5030 Gembloux, a.blondel@cra.wallonie.be

(2) Environnement Eco-Circulaire, Avenue Voltaire 135, 1030 Schaerbeek, jmsavino@ecocirculaire.be

*Mots-clés : Compost, fleuriste, LC-HRMS, analyse qualitative*

Le compostage des déchets organiques est un moyen efficace de réduire la taille de nos poubelles, de limiter le gaspillage de ressources et la pollution. De plus, le compost ainsi produit permet d'enrichir les sols.

C'est dans ce cadre que l'ASBL Environnement Eco-Circulaire a développé, en 2019-2020, un projet pilote sur le compostage des déchets végétaux de fleuristes, financé par la Région Wallonne. Les objectifs généraux de ce projet étaient de comprendre et déterminer les flux de déchets végétaux issus des activités des fleuristes ainsi que leur coût de gestion et de déterminer des pistes possibles de valorisation de ces résidus végétaux ainsi que leurs limites d'utilisation.

En effet, une étude menée en Belgique (Toumi *et al.*, 2016) a montré la présence importante de produits phytopharmaceutiques (PPP) tant en quantité de résidus qu'en nombre de molécules identifiées sur des fleurs fraîches vendues par des fleuristes. Il est donc légitime de se poser des questions quant à la teneur en PPP de compost réalisé exclusivement à partir de déchets végétaux de fleuristes.

L'objectif de l'étude était de vérifier si le compostage, de par son processus, peut favoriser la dégradation et l'élimination de ces PPP ou, au contraire, les concentrer en réduisant le volume de substrat.

Pour vérifier cette hypothèse, il a été décidé de suivre le processus de compostage des résidus végétaux provenant de deux fleuristes différents.

Au cours de ce processus, trois échantillons ont été prélevés : un de broyat de fleurs avant le début du compostage, un de compost jeune après 2 mois et un de compost mi-mûr, après 4 mois et demi.

Ces échantillons ont été broyés puis extraits par la méthode QuEChERS avant d'être analysés par LC-HRMS. Cette méthode d'analyse qualitative permet l'identification des molécules les plus abondantes dans l'échantillon mais pas de quantifier les concentrations en molécules.

Sur chacun des composts suivis, 32 et 35 molécules de PPP ont été identifiées respectivement. De plus, pour la majorité des molécules identifiées, l'intensité du signal analytique diminue dans les échantillons de compost mi- mûr par rapport aux échantillons frais de broyat de fleurs, ce qui démontrent une dégradation substantielle de ces molécules grâce au processus du compostage.

Référence:

Toumi K., Vleminckx C., van Loco J., Schiffers B., 2016, Pesticide residues on three cut flower species and potential exposure of florist in Belgium.

## **Validation d'une méthode d'analyse du glyphosate dans le sol et suivi de son devenir en plein champ en fonction des pratiques culturales**

Alodie Blondel (1), Boris Krings (1), Florent Bachelard (2), Jérôme Pierreux (3), Gilles Colinet (2), Christophe Vandenberghe (2)

- (1) CRA-W, Unité Produits de protection, de contrôle et résidus Bâtiment Carson, Rue du Bordia 11, 5030 Gembloux, a.blondel@cra.wallonie.be
- (2) Gembloux Agro-Bio Tech Uliège, Axe Echanges Eau-Sol-Plantes / GRENeRA, Site Maréchal Juin, Passage des Déportés, 2 - 5030 Gembloux, c.vandenberghe@uliege.be
- (3) Gembloux Agro-Bio Tech Uliège, Axe Ingénierie des productions végétales et valorisation, Passage des Déportés, 2 - 5030 Gembloux, j.pierreux@uliege.be

*Mots-clés : lysimètre, glyphosate, AMPA, sol, eau souterraine*

En Wallonie comme ailleurs dans le monde, le glyphosate est l'herbicide non sélectif le plus utilisé. Afin d'évaluer son impact environnemental, il est important d'appréhender sa persistance dans les sols ainsi que celle de son métabolite l'AMPA et d'observer d'éventuels flux à la base de la zone racinaire.

C'est pourquoi, dans un premier temps, le développement et la validation d'une méthode d'analyse du glyphosate et de l'AMPA dans le sol par LC-MS/MS, qui soit rapide, bon marché et simple ont été réalisés. Cette méthode utilise une colonne hypercarb stable mécaniquement et chimiquement et bien adaptée à l'analyse de composés polaires sans étape de dérivation.

Les limites de quantification atteintes sont de 40  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  pour le glyphosate et de 50  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  pour l'AMPA dans les sols. Cette méthode a été validée sur cinq sols wallons couvrant une large gamme de pH et de teneur en carbone organique.

Suite au développement de cette méthode, deux suivis du glyphosate et de l'AMPA ont été réalisés dans le cadre du projet Sol-Phy-Ly. Du glyphosate a été appliqué une première fois, post-récolte de froment et une seconde fois, en sortie d'hiver.

Un des objectifs du projet Sol-Phy-Ly est d'évaluer le devenir des produits phytopharmaceutiques (PPP) en plein champ en fonction des pratiques culturales afin de contribuer à une meilleure compréhension (i) de la dégradation des PPP dans les sols, en condition réelles de plein champ et dans quatre configurations de pratiques culturales (labour ou travail simplifié du sol

et restitution ou exportation des pailles) et (ii) du flux de PPP vers les eaux souterraines.

Suite à ces applications, un suivi de la concentration en glyphosate et AMPA a été effectué une fois par semaine pour les couches 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm jusqu'à ce que la concentration dans le sol soit sous la limite de quantification.

Le suivi permanent réalisé à l'exutoire des lysimètres à 2 m de profondeur n'a jamais révélé de trace de glyphosate.

Le projet Sol-Phy-Ly bénéficie du soutien financier du Service Public de Wallonie.

# Mise au point sur les traitements chimiques appliqués en arboricultures fruitières en Tunisie et calcul des indices de risque

Asma Ben Salem (1), Hanène Chaabane (2), Fattouch Sami (1)

(1) *INSAT, Laboratoire de biochimie alimentaire et moléculaire, Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Université de Carthage, Centre Urbain Nord, BP 676, Tunis Cedex 1080, Tunisie, – bensalemasma@yahoo.fr*

(2) *INAT, Laboratoire Bioagresseurs Protection Intégrée en Agriculture, Département Santé Végétale et Environnement, Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage, 1082 Tunis Mahragène, Tunisie– chaabane.hanene@gmail.com*

*Mots-clés : Produits phytosanitaires, IRPeQ, IRE, IRS, IRT*

En Tunisie, l'arboriculture fruitière occupe une place importante dans le secteur agricole vue la diversité des espèces cultivées. Néanmoins, ces cultures sont sujettes à plusieurs bioagresseurs et nécessitent des moyens de traitement phytosanitaire. En effet, les agriculteurs interviennent principalement par voie chimique. Divers constats antérieurs ont montré que les agriculteurs non seulement ne respectent pas les Bonnes Pratiques Phytosanitaires (BPP), mais aussi ignorent les effets secondaires des pesticides.

Ce travail dresse l'état des lieux des traitements chimiques appliqués dans les vergers tunisiens sur la vigne, le pêcher et le prunier afin de comprendre les pratiques adoptées par les agriculteurs. Pour cela, une série d'enquête a été réalisée sur cinq ans (selon la culture) afin d'évaluer les problèmes phytosanitaires associés à ces cultures ainsi que les pesticides utilisés.

Les résultats obtenus confirment les constats antérieurs et le non-respect des BPP notamment le port des Equipements de Protection Individuelle (EPI) et la gestion des fonds de cuve et des effluents phytosanitaires. Par ailleurs, l'analyse des données recueillies a montré que quelle que soit la culture, dans le cas des herbicides, la famille chimique des acides aminés domine. En ce qui concerne les insecticides, les organophosphorés ainsi que les néonicotinoïdes sont largement utilisés. Pour les fongicides, la famille chimique des dithiocarbamates apparaît en tête de liste des fongicides utilisés suivie par les thiophanates. D'autre part, les indices de risque, santé et/ou environnement selon le modèle Canadien IRPeQ ont été calculés. Cet outil a permis de classer les substances actives et/les préparations commerciales selon le risque encouru. Ce classement constituera également un outil d'aide au choix des pesticides minimisant ainsi le risque pour

la santé et/ou l'environnement. Du point de vue toxicologique, et quelle que soit la culture, les fongicides zirame et thiophanate - méthyl présentent le risque le plus élevé avec respectivement des valeurs de l'IRT = 1296 et 1225. Cependant, le chlorpyriphos-éthyl apparait comme étant le moins toxique pour l'opérateur avec un IRT= 144. Quant au glyphosate, il est très persistant dans l'environnement ayant un IRS et un IRE élevé respectivement 396,9 et 196.

## **Screening de pesticides dans des plumes de merles et des sols par couplages chromatographie liquide et gazeuse avec la spectrométrie de masse**

Gaëlle Daniele (1), Barbara Giroud (1), Florent Lafay (1), Emmanuelle Vulliet (1), Dariusz Wysocki (3), Frédéric Angelier (4), François Brischoux (4), Pauline Bellot (4), Steffi Rocchi (2), Clémentine Fritsch (2)

- (1) *Univ Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, Institut des Sciences Analytiques, UMR 5280, 5 rue de la Doua, F-69100 VILLEURBANNE, France – gaelle.daniele@isa-lyon.fr*
- (2) *UMR 6249 Chrono-Environnement – CNRS/Université de Franche-Comté Usc INRAE, 16 Route de Gray, F-25030 Besançon Cedex, France – clementine.fritsch@univ-fcomte.fr*
- (3) *University of Szczecin, Dpt. Vertebrate Zoology and Anthropology, Szczecin, Pologne - darekw@univ.szczecin.pl*
- (4) *Univ. La Rochelle / CNRS, CEBC UMR 7372, équipe ECOPHY, F-79360 Villiers en Bois, France - Frederic.ANGELIER@cebc.cnrs.fr*

*Mots-clés : screening, pesticides, plumes, sols, spectrométrie de masse*

Dans le cadre du projet PEPSAN, dont l'objectif est d'améliorer la compréhension des relations entre la contamination environnementale en pesticides, l'occurrence d'un pathogène fongique dans l'environnement et les impacts de ces contaminants sur la faune, un screening des pesticides présents dans des sols et des plumes de merles noirs (*Turdus merula*) a été réalisé par LC-MS/MS, LC-HRMS et GC-HRMS après extraction. Les sols (2,5 g) ont été extraits par QuEChERS puis purifiés sur phase PSA/C18 avant d'être analysés en LC. Pour l'analyse en GC, les sols ont été extraits par un mélange heptane/dichlorométhane préalablement à leur analyse. Pour les plumes, 50 mg ont été extraits avec un mélange acétonitrile/méthanol pour l'analyse par LC et avec un mélange heptane/dichlorométhane pour l'analyse en GC.

Les signaux obtenus dans les extraits ont été comparés avec des bases de données constructeurs (Quanpedia, PestScreener, GC Orbitrap Pesticides). Certaines molécules ont été identifiées au niveau 1 (confirmation par injection du standard correspondant), d'autres au niveau 2 (corrélation avec la base de données mais non confirmation avec le standard). Les résultats du screening seront présentés. Plus d'une centaine de pesticides ou métabolites différents ont été potentiellement retrouvés dans au moins un échantillon de sol, dont 35 sont de niveau 1. Les échantillons de sols analysés contiennent entre 5 et 26

pesticides (niveau 1) et entre 12 et 38 molécules par échantillon (niveau 2). Le nombre de pesticides potentiellement retrouvé dans les plumes est plus faible, avec une quarantaine de pesticides ou métabolites différents (dont 9 de niveau 1) détectés au moins une fois. Les plumes contiennent entre 4 et 21 pesticides.

Le projet PEPSAN a obtenu le soutien financier du CNRS à travers les programmes interdisciplinaires de la MITI (AAP Ecologie de la Santé) et soutiens aux défis sociétaux.



## Exposition humaine aux fongicides SDHIs par les denrées alimentaires

Pasquet Camille, Bonmatin Jean-Marc

Centre de Biophysique Moléculaire, CNRS, rue Charles Sadron CS 80054 45071  
Orléans cedex 02 – camille.pasquet@cnr-orleans.fr

*Mots-clés : SDHI, LC-MS/MS, résidus, alimentation*

Les fongicides sont très souvent employés pour la protection des cultures et/ou pendant le stockage des récoltes afin de lutter contre l'apparition de champignons ou de moisissures. Les premiers fongicides inhibiteurs de la succinate déshydrogénase (SDHI) étaient utilisés, depuis la fin des années 1960 et sont interdits de nos jours. Les plus récents les ont remplacés depuis une dizaine d'année. Le mécanisme d'action des SDHIs est d'inhiber la succinate déshydrogénase (Duarte-Hospital *et al.*, 2021), un complexe enzymatique, acteur clé dans la chaîne respiratoire mitochondriale et donc essentiel à la vie. On notera que la SDH est particulièrement conservée chez les espèces vivantes : les plantes, les animaux et jusqu'à l'Homme. En 2019, Bénit *et al.*, ont démontré que les SDH de vers de terre, des abeilles et des êtres humains sont sensibles à 8 SDHIs. Par ailleurs, l'inhibition complète de l'activité SDH entraîne des modifications métaboliques, transcriptomiques et épigénétiques entraînant le développement de tumeurs et de cancers chez l'Homme.

La littérature scientifique montre que dans la majeure partie des denrées alimentaires ou cultures, un ou des SDHIs ont été identifiés. Différentes études ont pu montrer que la population française est exposée ou potentiellement exposée aux SDHIs par l'air (surveillance du boscalid et fluopyram, Atmo France et Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air, 2019), par l'alimentation (surveillance du boscalid, flutolanil et carboxine, ANSES, 2011), par l'eau (surveillance du boscalid) et par les sols.

C'est pourquoi nous présenterons dans un premier temps les résultats de la revue de la littérature sur la présence des SDHIs dans les denrées alimentaires à l'échelle mondiale. Notre projet vise à caractériser l'exposition humaine à 12 SDHIs et leurs produits de dégradations dans des matrices alimentaires. Une méthode générique sensible et fiable permettant leur quantifications grâce à l'association d'une étape d'extractions (QuEChERS) et d'une étape analytique par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS) est développée pour être optimisée. Afin d'objectiver notre méthode, nous exposerons les premiers résultats sur des matrices simples comme l'eau.

Remerciements : Programme ANR SoEcoHealth ; Programme FRM EcoHealthSDHI ; Réseau de recherches HOLIMITOX (<https://holimitox.fr/>)

Références :

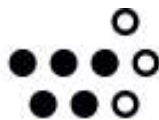
ANSES. (2011). Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2) Tome 2 - Résidus de pesticides, additifs, acrylamide, hydrocarbures aromatiques polycycliques (Vol. 2, Issue Eat 2).

Atmo France et Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air. (2019). Base de données de surveillance de pesticides dans l'air par les AASQA à partir de 2002.

Bénit, P., Kahn, A., Chretien, D., Bortoli, S., Huc, L., Schiff, M., Gimenez-Roqueplo, A.-P., Favier, J., Gressens, P., Rak, M., & Rustin, P. (2019). Evolutionarily conserved susceptibility of the mitochondrial respiratory chain to SDHI pesticides and its consequence on the impact of SDHIs on human cultured cells. *PLOS ONE*, 14(11), e0224132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224132>

Duarte-Hospital, C., Tête, A., Brial, F., Benoit, L., Koual, M., Tomkiewicz, C., Kim, M. J., Blanc, E. B., Coumoul, X., & Bortoli, S. (2021). Mitochondrial Dysfunction as a Hallmark of Environmental Injury. *Cells*, 11(1), 110. <https://doi.org/10.3390/cells11010110>

# Partenaires du GFP 2022



Wallonie - Bruxelles  
International.be

