

48^{ème} Congrès du Groupe Français des Pesticides

30 Mai - 1^{er} Juin 2018

Faculté des Sciences et Techniques
Limoges

Métriologie des
pesticides et
évaluation des
risques pour
l'Homme et pour les
milieux naturels.



Sponsors	1
Plan	3
Programme	5
Résumés présentations orales	9
Résumés posters	63



Agilent Technologies





Mercredi 30 mai 2018

(Amphithéâtre Couty)

- 9h - 9h30 **Accueil**
- 9h30 - 10h15 **Café d'accueil/mise en place posters**
- 10h15 - 10h45 **Ouverture du 48^{ème} congrès du GFP**
- 10h45 - 11h35 *Pesticides et réseaux (eaux pluviales, eaux potables et eaux usées)*
- Devault D. Estimation d'exposition à des pesticides déterminée par épidémiologie des eaux usées dans un secteur urbain de Martinique
- Dufour V. Contamination en pesticides des écosystèmes péri-urbains : source agricole ou origine urbaine ?
- 11h35 - 12h05 *Présentations techniques des fournisseurs de matériels*
- Lavergne L. Analyse des pesticides en chromatographie gazeuse et spectrométrie de masse : stratégies de Thermo Fisher Scientific
- Sauvard E. Analyse en chromatographie et spectrométrie de masse
- 12h05 - 13h30 **Buffet déjeunatoire**
- 13h30 - 15h *La métrologie et les méthodes analytiques de suivi des pesticides -1*
- Le Dréau M. Les échantillonneurs passifs pour évaluer la contamination diffuse en pesticides des eaux de surface : intérêts et limites actuelles au transfert opérationnel vers les gestionnaires
- Bernard M. Déploiement large échelle du POCIS pour l'établissement des relations entre pressions phytosanitaires et occupations du sol
- Gaillard J. Mélanges complexes de pesticides dans les cours d'eau de zones viticoles mis en évidence par l'échantillonnage passif
- Margoum C. Opportunités d'application de l'échantillonneur passif TSP pour étudier les voies de transfert des pesticides dans des petits bassins versants agricoles
- Gallé T. Validation d'une analyse de risque du lessivage de substances phyto par des campagnes d'échantillonnage passif dans différents contextes hydrogéologiques
- 15h - 15h30 **Pause-café/thé + poster**
- 15h30 - 16h30 *La métrologie et les méthodes analytiques de suivi des pesticides -2*
- Hulin M. Surveillance des pesticides dans l'air ambiant : démarche de sélection des substances
- Douzals J.P. Mesure de la dérive de pulvérisation : récents développements méthodologiques pour une meilleure prise en compte des impacts
- Grimbuhler S. Protection des travailleurs agricoles exposés aux produits phytopharmaceutiques lors des phases de rentrée en arboriculture et viticulture
- 16h30 - 17h30 **Assemblée générale GFP**
- 17h30 - 18h **Présentation des travaux du lauréat du prix Phytopharma 2018 - Xavier Peyrard**
- 18h - 20h **Cocktail de bienvenue avec remise du prix Phytopharma**

Jeudi 31 mai 2018
(Amphithéâtre Duchaigne)

9h - 10h20 *Méthodes alternatives et agro-écologie*

- Berger C. Transfert systémique des produits phytosanitaires dans les arbres après injection dans le tronc
Contrôle de la vectorisation des xénobiotiques chez les plantes : une nouvelle manière d'aborder le ciblage des parasites afin de réduire les impacts environnementaux
- Chollet J.F. Une alternative pour la protection des cultures : les Rhamnolipides Conception et évaluation contre différents pathosystèmes
- Le Guenic S. Prediction of the electrical energy per order used during photocatalytic degradation of thiamethoxam by using Box Behnken Design

10h20 - 10h50 **Pause-café/thé + poster**

- 10h50-12h10 *Pesticides et santé humaine : exposition des utilisateurs et des consommateurs - I*
- Charlier C. Exposition aux pesticides d'enfants vivant en Wallonie
- Bureau M. Estimation de l'exposition aux pesticides des personnes travaillant dans les vergers de pommes (Etude CANEPA)
- Parny M. Impact, in vitro, de produits phytoprotecteurs utilisés dans les pommeraies sur les cellules immuno-inflammatoire cutanées
- Pinto M.P. La pomme du Limousin : mesure de la perception du fruit et de son label, évaluation du risque sanitaire

12h10 - 13h40 **Buffet déjeunatoire**

13h40 - 14h40 *Pesticides et santé humaine : exposition des utilisateurs et des consommateurs - II*

- Chaperon L. Exposition professionnelle des viticulteurs aux pesticides arsenicaux : prévalences d'exposition entre 1979 et 2000
- Delattre F. Impact des pratiques d'utilisation des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar au Sénégal
- Laurent F. Impact de la Chlordécone sur le développement du cancer de la prostate chez un modèle animal, le rat TRAP (ANR Chlorprost).

14h40 - 16h *Impacts sur les écosystèmes : toxicité chronique/aiguë, exposition passive/active*

- Thiour-Mauprivez C. A new tool to assess the ecotoxicological impact of β -triketone herbicides on soil microbial communities.
- Dromard C.R. Devenir de la chlordécone dans les milieux côtiers : bilan des dernières études menées en Guadeloupe et en Martinique
- Bouagga A. Caractérisation de la pression phytosanitaire dans les vignobles tunisiens
- Darriet F. Quand les intrants agricoles favorisent la pullulation des moustiques

16h - 17h **Pause-café/thé + poster**

18h - 19h **Visite Musée Adrien Dubouché**

19h30 - 20h **Apéritif**

20h -minuit **Diner de gala**

Vendredi 1er Juin 2018

(Amphithéâtre Duchaigne)

8h30 - 9h **Accueil des nouveaux participants**

9h00 - 10h50 *Évaluation de la contamination des milieux*

Dufour V. Contamination en pesticides des écosystèmes péri-urbains : source agricole ou origine urbaine ?

Lissalde S. Contamination des têtes de bassins versants : évaluation de l'état des masses d'eau grâce au couplage échantillonnage passif - échantillonnage ponctuel

Farlin J. Optimisation de la représentativité d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines intégrant les informations existantes sur les concentrations en micropolluants et les temps de transit

Fribourg Blanc B. Les produits phytosanitaires dans les eaux de surface du bassin Adour-Garonne, une empreinte bien marquée

10h50 - 11h10 **Pause-café/thé + poster**

11h10 - 12h30 *Solutions de traitement en potabilisation*

Darracq G. Politique d'Eau de Paris sur la problématique « pesticide » : Protection de la ressource et Traitement de l'eau destinée à la consommation humaine

Reungoat J. Le CARBAZUR-UP : un procédé à flux ascendant d'adsorption sur charbon actif en grain pour maîtriser les pollutions organiques en production d'eau potable

Sauvignet P. Utilisation du Charbon Actif en Poudre pour éliminer le métaldéhyde par clarification Actiflo® Carb

Pérot J. Le traitement des eaux souterraines karstiques par CarboPlus® µG pour la production d'eau potable : Retour d'expérience sur une installation industrielle

12h30 - 14h00 **Buffet déjeunatoire**

14h00 - 16h00 *Politique publique et prévention*

Belis S. et Vachon C. Plan Ecophyto II

Merlo M. La phytopharmacovigilance : une surveillance intégrée des effets indésirables des produits phytopharmaceutiques

De Paepe I. Surveillance des métabolites non pertinents des substances actives des pesticides dans les eaux, distinguer les approches environnementales et sanitaires

Pak L.T. Observatoire Pesticeros des transferts de substances actives phytosanitaires dans les eaux de ruissellement d'un bassin versant agricole représentatif des régions limoneuses en grandes cultures.

Le Grusse P. La Smart Agriculture au service de la gestion des risques phytosanitaires agricoles

Feuillade R. La surveillance des pesticides en air ambiant sur la région Nouvelle-Aquitaine

16h – 16h30 **Clôture du GFP 2018**

16h30-18h **Conférence grand public**

Pourquoi les pesticides sont-ils difficiles à traquer en environnement ?

Résumés des présentations orales

Estimation d'exposition à des pesticides déterminée par épidémiologie des eaux usées dans un secteur urbain de Martinique

Damien A. Devault (1), Sara Karolak (1), Laurence Amalric (2), Sébastien Bristeau (2), Ettore Zuccato (3), Sara Castiglioni (3), Yves Lévi (1)

(1) *Groupe Santé Publique-Environnement, UMR 8079 Écologie Systématique Évolution, Univ. Paris-Sud, Faculté de Pharmacie, UMR 8079, CNRS, AgroParisTech CNRS, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 5 rue Jean Baptiste Clément, 92290, CHATENAY-MALABRI, France*

(2) *BRGM, Division Laboratoires, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 ORLEANS cedex 2, France IRCCS - Istituto di Ricerche Farmacologiche "Mario Negri", Environmental Biomarkers Unit, Laboratory of Food Toxicology, Department of Environmental Health Sciences, Via La Masa 19, 20156 MILAN, Italie*

Les programmes de surveillance de l'exposition des populations aux micropolluants sont dispendieux en temps et en argent et d'interprétation parfois difficile. Une approche émergente évalue l'exposition des populations, par le suivi de molécules de référence, molécules-mères ou métabolites des micropolluants considérés, excrétées après exposition par les habitants dans les eaux usées. Cette approche, dite « épidémiologie des eaux usées », se réalise déjà pour suivre les consommations de drogues illicites et se développe pour toute molécule dont le métabolisme est connu, ce qui est le cas de certains pesticides. Dans le contexte insulaire de la Martinique, les usages, les volumes et les flux de résidus de pesticides sont plus aisément évalués par les services ministériels déconcentrés et les agences. Le suivi journalier sur une semaine de la station d'épuration de la Pointe-des-Nègres, collectant l'essentiel des eaux usées émises par environ 19 000 équivalent-habitants, a été réalisé du 1^{er} au 7 juillet 2017. Le contenu des eaux usées en quelques s-triazines et métabolites, organophosphorés, pyréthrinoïdes et chlordécone a été analysé. La chlordécone est un insecticide organochloré qui fut intensivement épandu dans les Antilles Françaises mais est interdit (et n'est plus utilisé) depuis plus de vingt ans. L'exposition des populations locales ne peut plus s'opérer, depuis la sécurisation de l'approvisionnement en eau potable, que par voie trophique. Cette exposition a été estimée par le croisement des habitudes alimentaires déclarées et l'analyse des prélèvements opérés aux étals (étude Kannari). Or, le sol et les eaux souterraines, exempts de pollution par la chlordécone, mais aussi l'absence d'élevage ou d'abattage sur le secteur considéré, ont permis d'écarter le risque d'infiltrations qui auraient pu contaminer les eaux usées avec de la chlordécone ou implique des molécules non issues du métabolisme humain. De plus, le contexte urbain limite l'autoconsommation et l'achat au sein du marché informel, identifié comme la source des aliments les plus contaminés. Enfin, la très faible dégradation de la chlordécone est un atout dans le cadre d'une campagne d'épidémiologie des eaux usées puisque son taux d'excrétion en est remarquablement élevé, favorisant son suivi.

Nos analyses des échantillons d'eaux usées ont montré, pour la chlordecone, des résultats inférieurs à la limite de détection de 0,1 µg/L. Sur cette base et en considérant une hypothèse extrême reposant sur la valeur de la limite de détection, un calcul donnerait, sur le secteur considéré et durant la période de suivi, une population qui n'aurait pas été exposée à une quantité de chlordécone supérieure à la dose journalière admissible (DJA). La population vivant sur le secteur n'a, collectivement, pas été exposée à un danger sanitaire dans son mode de consommation par la chlordécone. Inversement, sur la base des résultats (jusqu'à 126 mg/jour/1000 habitants), l'exposition aux pyrèthrinoïdes s'est avérée proche (90 % en moyenne) de la DJA et ce pour tous les jours du suivi. Or, les pyrèthrinoïdes sont localement exclusivement utilisés pour contrôler l'entomofaune locale (traitement du bois et pulvérisation domestique). Les organophosphorés, utilisés en itinéraire technique sur la banane, et les s-triazines, d'origine plus débattue, n'ont pas présenté d'exposition aussi remarquable (inférieure à 8mg/jour/1000 habitants). Dans la mesure où les pouvoirs publics se sont investis dans la sécurisation de l'alimentation et la prévention des mauvaises pratiques, l'exposition estimée à la chlordécone conforte une appréciation positive de son action. Néanmoins, l'étude, si elle confirme la pertinence de l'épidémiologie des eaux usées appliquée aux pesticides en général et à la chlordécone en particulier, serait utilement répétée pour percevoir les tendances saisonnières et dupliquée à des secteurs plus sujets à l'autoconsommation, au recours au marché informel ou incluant des agriculteurs applicateurs. De plus, d'autres micropolluants peuvent être analysés de même, et leur suivi permettrait de mettre en rapport leur impact sanitaire avec celui des pesticides étudiés.

Mots-clés : s-triazines, organophosphorés, pyréthrinoïdes, chlordécone, rétro-calcul

Contamination en pesticides des écosystèmes péri-urbains : source agricole ou origine urbaine ?

Dufour Vincent (1), Chollet Céline (1), Cruz Justine (1), Le Menach Karyn (1), Pardon Patrick (1),
Capdeville Marion-Justine (2), Chambole Mélodie (2), Budzinski Hélène (1)

(1) Université de Bordeaux UMR 5805 EPOC-LPTC, 351 cours de la Libération, 2^{ème} étage ouest 33405 TALENCE

(2) LyRe, Centre de R&D SUEZ EAU France, Domaine du Haut Carré, bâtiment C4 43 rue Pierre Noailles, 2^{ème} étage 33405 TALENCE cedex

L'augmentation de la population couplée à une amélioration globale des conditions de vie humaine entraîne un accroissement de la pression anthropique appliquée aux cours d'eaux. Cela se traduit notamment par une augmentation des apports en micropolluants, des molécules pouvant impacter les écosystèmes aquatiques à l'état de traces (ng.L^{-1}). Au vu des enjeux économiques, sanitaires et environnementaux associés à cette ressource, les réglementations actuelles, et notamment la DCE (Directive Européenne Cadre sur l'Eau), visent à réduire les apports en micropolluants vers les écosystèmes aquatiques. Parmi les molécules concernées, les pesticides représentent une classe emblématique : ce sont des molécules ayant connu un fort développement à partir des années 1950 (donc relativement anciennes pour certaines), très fortement diversifiées en termes de structures chimiques et d'usages, souvent retrouvées dans les écosystèmes aquatiques à des concentrations supérieures à 100 ng.L^{-1} (Belles 2012; Cruz 2015), et possédant une toxicité intrinsèque avérée en lien avec leurs usages en tant que pesticides.

Si l'agriculture était initialement le domaine préférentiel d'application des pesticides, les usages de ces molécules se sont diversifiés et certaines substances peuvent aujourd'hui être retrouvées dans des usages plus larges et non agricoles (traitements vétérinaires, matériaux de construction, protection des textiles, protection des papiers, etc.). Du fait de cette diversité d'usages, il est possible de retrouver des pesticides dans les eaux pluviales urbaines (Gasperi *et al.* 2014), et également dans les eaux résiduaires (Choubert *et al.* 2011; Cruz 2015). Ainsi, bien qu'il apparaisse nécessaire de contrôler les quantités de pesticides apportées vers les eaux de surface, la multiplicité d'usages ne permet pas actuellement d'avoir une vision claire des sources majoritaires d'apport de ces contaminants.

Cette étude, positionnée sur le territoire de la métropole de Bordeaux, vise à caractériser et à hiérarchiser plusieurs sources potentielles de pesticides. Elle met en jeu une démarche originale basée sur l'étude du bassin versant d'un petit cours d'eau péri-urbain (Jalle de Blanquefort). Des méthodes analytiques ultra-traces ont permis un suivi de la contamination dissoute en pesticides sur 4 ans, à la fois sur les eaux du cours d'eau (6 sites), mais également dans des effluents urbains se déversant dans ce dernier : des exutoires pluviaux (3 sites) et les effluents d'une station de traitement des eaux usées (STEU). Des eaux résiduaires provenant de têtes de réseaux domestiques (8 sites) ont également été caractérisées à titre informatif afin de remonter jusqu'aux usages potentiellement responsables des apports.

Bien que majoritairement marqués par le glyphosate et son produit de transformation l'AMPA, les différents types d'eaux possèdent des profils de contamination distincts. Les eaux naturelles présentent des profils complexes, très marqués en métolachlore et en ses métabolites (usages agricoles), alors que les exutoires pluviaux sont plus concentrés en biocides utilisés dans la protection des matériaux de construction tels le diuron et la carbendazime. Le profil des effluents de STEU est proche de celui des exutoires pluviaux mais se démarque par la présence de molécules à usages vétérinaire absentes de ces derniers.

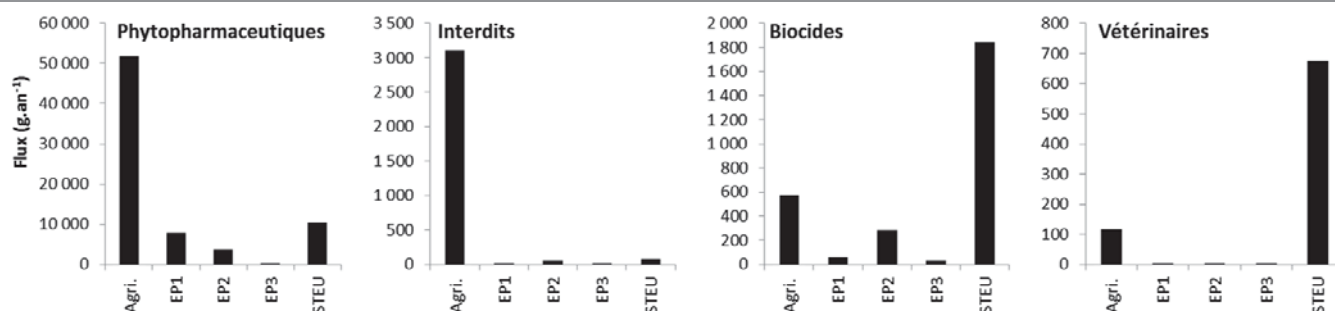


Figure 1. Comparaison des flux en pesticides en fonction des grands types de sources: agriculture (Agri.), exutoires pluviaux (EP1-EP3) et effluents traités d'une STEU.

La comparaison des flux annuels des différents sites étudiés (Figure 1), permet d'identifier l'agriculture comme la probable source majoritaire en phytopharmaceutiques, et les eaux résiduaires comme vecteurs à la fois de biocides et de molécules à usages vétérinaires. L'étude du réseau d'assainissement, en amont des STEU, a permis dans certains cas de relier la présence de pesticides à des usages domestiques, notamment en ce qui concerne les insecticides fipronil et imidaclopride (traitements vétérinaires antipuces), la carbendazime (papier toilette), ou encore le glyphosate et l'AMPA (détergents). Bien que non majoritaires en termes d'apports, les exutoires pluviaux doivent également être considérés puisqu'ils se déversent généralement dans le milieu naturel sans traitement préalable, pouvant théoriquement conduire à une augmentation des concentrations environnementales autour du point de rejet.

Ces résultats ont permis de générer des schémas reprenant les voies d'apports conduisant à la contamination des eaux de surface en lien avec les usages. Bien que lourd à mettre en œuvre, ce type d'étude apporte des informations très utiles pour accompagner la mise en place de mesures de gestion des pesticides et des micropolluants en général.

Remerciements : Cette étude a bénéficié de fonds en relation avec les projets RESEAU, REGARD et le plan Micropolluants - Bordeaux Métropole (Financeurs : Agence de l'Eau, Agence Française pour la Biodiversité ; associés en tant que partenaires : Bordeaux Métropole, LyRE centre de recherche et développement SUEZ, IRSTEA, CNRS, Université de Bordeaux, CHU de Bordeaux et la Région Aquitaine). Le projet RESEAU est cofinancé par le LyRE (centre de R&D SUEZ à Bordeaux) et la Région Aquitaine. Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche française (ANR) dans le cadre du programme investissements d'avenir, au sein du Laboratoire d'excellence COTE (ANR-10- labex-45).

Belles, A. 2012: Développement et applications environnementales des échantillonneurs passifs pour la surveillance des écosystèmes aquatiques. *Université de Bordeaux - Thèse en chimie analytique*, 470.

Choubert, J.-M., Martin Ruel, S., Esperanza, M., Budzinski, H., Miège, C., Lagarrigue, C. and Coquery, M. 2011: Limiting the emissions of micro-pollutants: what efficiency can we expect from wastewater treatment plants? *Water Science & Technology* 63, 57.

Cruz, J. 2015: Etude de la contamination par les pesticides des milieux eau, air et sols : développement de nouveaux outils et application à l'estuaire de la Gironde. *Université de Bordeaux - Thèse en chimie analytique et environnementale*.

Gasperi, J., Sebastian, C., Ruban, V., Delamain, M., Percot, S., Wiest, L., Mirande, C., Caupos, E., Demare, D., Kessoo, M.D.K., Saad, M., Schwartz, J.J., Dubois, P., Fratta, C., Wolff, H., Moilleron, R., Chebbo, G., Cren, C., Millet, M., Barraud, S. and Gromaire, M.C. 2014: Micropollutants in urban stormwater: occurrence, concentrations, and atmospheric contributions for a wide range of contaminants in three French catchments. *Environmental Science and Pollution Research* 21, 5267–5281.

Mots-clés : pesticides, sources, eaux résiduaires, exutoires pluviaux, STEU, rivière péri-urbaine

Les échantillonneurs passifs pour évaluer la contamination diffuse en pesticides des eaux de surface : intérêts et limites actuelles au transfert opérationnel vers les gestionnaires

Le Dréau Matthieu, Margoum Christelle, Liger Lucie, Guillemain Céline, Gouy Véronique ⁽¹⁾

(1) Irstea, UR RiverLy, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua CS 20244, 69625 Villeurbanne

Face à la problématique de la contamination des cours d'eau par les pesticides, les gestionnaires des milieux aquatiques (syndicats d'aménagement de bassins, groupes régionaux phytosanitaires, gestionnaires d'eau potable, agences de l'eau, agences territoriales...) ont besoin i) de réaliser des diagnostics fiables de la contamination en pesticides et ii) de mesurer l'efficacité des plans d'actions mis en place localement pour limiter cette contamination.

Pour cela, ils s'appuient le plus souvent sur une stratégie d'analyses chimiques à partir d'échantillonnages ponctuels. Cette méthodologie rend cependant difficilement compte de la variabilité temporelle de la contamination, surtout au niveau des têtes de bassins versants agricoles marqués par une dynamique de transfert rapide des pesticides, fortement influencée par le croisement des périodes de traitement et des conditions météorologiques. En raison de la difficulté d'interprétation des données acquises, les gestionnaires mettent régulièrement en doute cette stratégie de mesure qui ne contribue en définitive pas à une meilleure évaluation, compréhension et gestion des transferts des pesticides vers les cours d'eau.

Les échantillonneurs passifs sont des outils qui, placés dans le milieu aquatique, permettent un échantillonnage en continu. De nombreuses études ont démontré qu'ils améliorent ainsi la représentativité de la mesure de la qualité du milieu en permettant d'obtenir une concentration intégrée sur le temps d'exposition de l'outil. Ces échantillonneurs apparaissent donc comme une alternative intéressante aux prélèvements ponctuels. Initialement développés pour répondre à des questions de recherche, les échantillonneurs passifs peuvent néanmoins répondre aux questionnements des opérationnels : nous avons ainsi démontré leurs capacités à réaliser des diagnostics fiables sur la distribution spatiale et temporelle des pesticides et produits de dégradation dans divers contextes agricoles (vigne, grandes cultures céréalières, maïs...) et saisonniers. Nous présenterons notamment des exemples d'application des échantillonneurs Tiges Silicone Polaire (TSP) sur un cours d'eau exposé aux herbicides utilisées sur grandes cultures (le Charlet en Auvergne - printemps 2017), ou encore sur une rivière principalement contaminée par des fongicides utilisés sur la culture de la vigne (l'Ardières dans le Beaujolais viticole – printemps 2014 et 2015).

Nous avons également montré l'intérêt des échantillonneurs passifs pour des applications plus spécifiques et locales : pour illustration nous présenterons le suivi d'efficacité d'une Zone Tampon Humide Artificielle (ZTHA) aménagée dans le département de l'Ain par un syndicat de rivière. L'emploi de TSP au printemps 2017 a ainsi permis de mettre en évidence des abattements de concentrations en pesticides entre l'amont et l'aval de la ZTHA différenciés en fonction des molécules concernées.

Les gestionnaires se montrent ainsi intéressés pour employer ces outils simples d'utilisation, et depuis quelques années le transfert des échantillonneurs passifs dans le champ opérationnel est fortement envisagé, voire à l'étude. Pour réussir ce transfert, il apparaît cependant indispensable de mettre en place une stratégie complète allant du déploiement des outils sur le terrain jusqu'à l'interprétation des résultats. Si les premières étapes de ce processus peuvent être prises en charge par des opérateurs externes aux laboratoires de recherche (laboratoire d'analyses, bureau d'études, start-up...), il reste encore des freins pour l'aide à l'interprétation des résultats qui nécessite une expertise spécifique.

Une expertise complète, du terrain jusqu'à la réponse aux questions opérationnelles, faciliterait pourtant la diffusion de ces outils auprès des gestionnaires. De plus, cette prise en main externe permettrait d'améliorer l'opérationnalité de l'outil (augmentation du nombre de molécules calibrées, meilleure prise en compte des conditions environnementales...).

Cette opération de transfert vers le domaine opérationnel est actuellement étudiée dans le cadre de plusieurs projets financés notamment par les programmes Ecophyto ou de l'Agence Française de la Biodiversité.

Mots-clés : Échantillonnage passif, pesticides, transfert opérationnel, suivi de plans d'actions

Déploiement large échelle du POCIS pour l'établissement des relations entre pressions phytosanitaires et occupations du sol

Bernard Marion (1), Boutry Sebastien (1), Lissalde Sophie (2), Guibaud Gilles (2), Saüt Margaux (3), Rebillard Jean-Pierre (3), Mazzella Nicolas (1)

(1) Irstea Bordeaux, 50 Avenue de Verdun 33610 CESTAS-Gazinet

(2) PEIRENE-GRESE, Université de Limoges, 123 Avenue Albert Thomas 87060 LIMOGES

(3) Agence de l'eau Adour-Garonne (AEAG), 90 Rue du Feretra 31078 TOULOUSE-Cedex 4

Classiquement, la surveillance de la qualité des eaux vis-à-vis des micropolluants organiques, tels que les pesticides, est effectuée *via* la réalisation de prélèvements ponctuels. Cette technique d'échantillonnage présente certains inconvénients, tels que des limites de quantification élevées et un manque de représentativité spatiale et temporelle. En effet, le niveau de contamination d'un cours d'eau peut varier brutalement en fonction de la saisonnalité, des applications et de l'hydrologie du moment. Ainsi, des pics de contamination survenus pendant des périodes de crue, par exemple, peuvent passer inaperçus aux regards des réseaux de mesure, ce qui engendrerait une image partielle de la qualité des milieux aquatiques (Novic et al., 2017; Ort et al., 2010). Pour remédier à ces inconvénients, des techniques d'échantillonnage passif ont été développées. Celles-ci permettent la pré-concentration *in-situ* des analytes et disposent d'une capacité intégrative sur plusieurs semaines. Dans cette étude, le Polar Organic Chemical Integrative Sampler (POCIS), largement utilisé pour l'échantillonnage des pesticides polaires ($0 < \log K_{ow} < 4$), a été considéré (Alvarez et al., 2004). L'intérêt et la pertinence de cet outil pour estimer les niveaux de contamination de petits bassins hydrographiques ont déjà été démontrés (Poulier et al., 2015). Cette étude vise à prouver que l'utilisation du POCIS, dans la cadre d'un déploiement large échelle, permet d'obtenir de nombreuses informations rendant possible l'établissement de liens certains entre niveaux de contamination des milieux aquatiques et occupations du sol et usages. Pour cette étude, 28 pesticides ont été suivis sur 51 stations appartenant au réseau de surveillance du bassin Adour-Garonne (117 650 km² - Sud-Ouest de la France). Ces stations ont été sélectionnées selon les pressions agricoles et urbaines avérées, le type d'usages et les pratiques afin d'obtenir des profils de contamination différents. Ainsi, pour chaque station sélectionnée, des POCIS ont été déployés sur six périodes de 14 jours au cours de l'année 2016 (mars - décembre).

Dans un premier temps, le taux de perte des POCIS sur cette année de déploiement s'élève à seulement 10 % (total de 550 POCIS déployés). Ceci montre une bonne mise en œuvre de cet outil malgré la complexité des conditions sur le terrain en particulier pour un déploiement à large échelle. Dans un second temps, cette étude a démontré que l'utilisation du POCIS fournit de nombreuses données complémentaires aux échantillons ponctuels, réalisés dans le cadre de la surveillance classique, sur la contamination du bassin Adour-Garonne par les pesticides. Compte tenu de la grande quantité de données recueillies au cours de ce suivi au moyen de POCIS pendant un an, des corrélations entre les pesticides recherchés et l'occupation du sol ou usages ont été établies. Par exemple, la réalisation d'analyses en composantes principales (ACP) et de corrélations de Spearman ont révélé les relations entre les contaminants retrouvés (Metolachlore, Tebuconazole...) et les activités agricoles typiques (maïs, tournesol et blé) pour certains sous bassins versants. De même, la présence de Norflurazon et de Dimetomorph a été corrélée avec la présence de vignobles, ce qui est cohérent avec leur utilisation. Enfin, les projections cartographiques des niveaux de contamination retrouvés pour chaque période d'échantillonnage et chaque analyte ont mis en évidence des variations saisonnières caractéristiques de certaines utilisations.

Alvarez, D. A., Petty, J. D., Huckins, J. N., Jones-Lepp, T. L., Getting, D. T., Goddard, J. P., & Manahan, S. E. (2004). Development of a Passive, In Situ, Integrative Sampler for Hydrophilic Organic Contaminants in Aquatic Environments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(7), 1640. <https://doi.org/10.1897/03-603>

Novic, A. J., Brien, D. S. O., Kaserzon, S. L., Hawker, D. W., Lewis, S. E., & Mueller, J. F. (2017). Monitoring Herbicide Concentrations and Loads during a Flood Event: A Comparison of Grab Sampling with Passive Sampling. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02858>

Ort, C., Lawrence, M. G., & Reungoat, J. (2010). Sampling for PPCPs in Wastewater Systems : Comparison of Different Sampling Modes and Optimization Strategies. *Environmental Science and Technology*, 44(16), 6289–6296.

Poulier, G., Lissalde, S., Charriau, A., Buzier, R., Cleries, K., Delmas, F., ... Guibaud, G. (2015). Estimates of pesticide concentrations and fluxes in two rivers of an extensive French multi-agricultural watershed : application of the passive sampling strategy. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 8044–8057. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2814-y>

Mots-clés : POCIS, pesticides, large échelle, qualité de l'eau

Mélanges complexes de pesticides dans les cours d'eau de zones viticoles mis en évidence par l'échantillonnage passif

Gaillard Juliette (1), Dévier Marie-Hélène (1), Le Menach Karyn (1), Pardon Patrick (1), Corrales Thomas (1), Macary Francis (2), Budzinski Hélène (1)

(1) Université de Bordeaux-CNRS, EPOC UMR 5805, LPTC, 351 Cours de la Libération, F-33405 Talence Cedex

(2) Irstea, UR ETBX, 50 avenue de Verdun, F-33612 Gazinet Cestas

Les pesticides sont utilisés à grande échelle dans le monde entier pour combattre les maladies fongiques, les plantes adventices, les insectes et autres organismes nuisibles. Les ventes de matières actives phytosanitaires sont estimées à environ 68 000 tonnes dont 28 000 tonnes de fongicides. Face à l'omniprésence des pesticides, il demeure crucial d'évaluer précisément la contamination des écosystèmes aquatiques par ces substances et métabolites et ainsi caractériser l'exposition des organismes. L'évaluation de l'exposition est en effet un préalable indispensable à l'élaboration de méthodes de mesures de risque fiables. Les pratiques culturales et phytosanitaires, la fréquence et la durée des ruissellements, l'importance des réseaux de drainage entraînent des fluctuations de courte durée des concentrations en pesticides. Ces fluctuations limitent la capacité de l'échantillonnage ponctuel à capturer les pics de concentration (exposition aiguë) ou à représenter avec un niveau de confiance acceptable les concentrations moyennes (exposition chronique). Une approche pour surmonter ces limites est l'utilisation d'un échantillonneur passif intégrateur de composés organiques polaires (POCIS – Polar Chemical Integrative Sampler) qui caractérise l'exposition chronique à des produits chimiques relativement solubles.

Dans cette étude menée dans le vignoble bordelais, les concentrations de 200 pesticides et métabolites ont été mesurées dans les cours d'eau d'un site expérimental d'environ 830 ha localisé sur la rive droite de l'estuaire de la Gironde. L'activité agricole prépondérante dans le site est la viticulture (75 % de la surface agricole utile) associée à l'utilisation de fongicides. Les points de suivi sont localisés sur un tributaire de la Gironde (la Livenne) et sur un ruisseau (les Souches) drainant les eaux de parcelles viticoles vers ce tributaire (Figure 1). Afin de caractériser les niveaux de contamination des eaux de surface, 72 échantillonneurs passifs de type POCIS ont été déployés entre janvier et décembre 2017 pour évaluer l'exposition cumulée sur 30 jours des 6 points de suivi aux pesticides polaires et semi-polaires. Des échantillons d'eau ont été collectés mensuellement ou bimensuellement parallèlement au déploiement des POCIS pour permettre la comparaison des résultats obtenus par échantillonnages passifs et ponctuels. Les pesticides ont été élués de la phase des POCIS à l'aide de méthanol et de dichlorométhane. Les pesticides et certains de leurs métabolites ont été extraits des échantillons d'eau par microextraction en phase solide (SPME) ou extraction en phase solide (SPE), en fonction des composés, puis quantifiés par LC-MS/MS et GC-MS/MS (dilution isotopique).

Les résultats présentés ici portent sur les échantillons collectés entre janvier et juin 2017 et sur les composés analysés en LC-MS/MS. Les analyses par GC-MS/MS sont actuellement en cours d'acquisition. Parmi les 130 substances recherchées, 29 substances sont explicitement utilisées par les viticulteurs du site expérimental et 100 substances sont associées à d'autres usages, actuels ou historiques. Sur les 29 substances appliquées sur le bassin versant et recherchées, 75% sont quantifiées parmi lesquelles une majorité de fongicides. Les fongicides bénomyl, diméthomorphe, métalaxyl, spirométhylamine et tebuconazole et l'herbicide propyzamide sont quantifiés dans 100% des POCIS déployés et dans 49 à 86% des échantillons d'eau. Les fréquences de quantification sont généralement supérieures dans les échantillonneurs passifs par rapport aux échantillons d'eau à l'exception de quelques composés. Le glyphosate et son métabolite, l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) sont par exemple quantifiés dans 100% des échantillons d'eau mais ne sont pas adsorbés par la phase des POCIS [1] et donc non retrouvés dans ces derniers. Les concentrations les plus élevées en herbicides, fongicides et insecticides sont généralement mesurées dans le cours d'eau drainant les parcelles viticoles (points SE et ST) et les concentrations les plus faibles sont mesurées à l'amont de la Livenne (point L1 et L2) (Figure 1). Cependant, certaines substances font exception. Les plus fortes concentrations en AMPA sont mesurées à l'aval de la Livenne avec des concentrations de l'ordre du µg/L aux points L3 et L4 et de l'ordre de la centaine de ng/L pour les autres points de suivi. De manière similaire, certaines substances utilisées en viticulture (benthiavalcarb isopropyle, carfentrazone éthyle) ne sont épisodiquement quantifiées que dans les POCIS déployés aux points L3 et L4. La

variabilité des concentrations observée entre l'amont et l'aval de la Livenne ne peut pas s'expliquer uniquement par celle du ruisseau des Souches ce qui laisse supposer l'existence d'autres sources de pesticides vers la Livenne. Parmi les 101 substances recherchées associées à d'autres usages (ex : grandes cultures) ou à des usages historiques, 23% sont quantifiées parmi lesquelles une majorité d'herbicides. Les substances les plus fréquemment quantifiées sont des métabolites tels que la simazine-hydroxy, la 2-hydroxy-atrazine, le S-métolachlore ESA ou la terbuthylazine-hydroxy. Environ un tiers de ces substances est quantifié par échantillonnage passif uniquement. La terbuthylazine déséthyle, l'atrazine ou l'hexazinone sont quantifiées dans plus de 50% des POCIS déployés mais ne sont pas quantifiées dans les eaux en lien avec un abaissement des limites de quantification permis par l'accumulation des micropolluants dans l'échantillonneur passif. L'atrazine-2-hydroxy est quantifiée à des niveaux similaires quel que soit le point de suivi tandis que le S-métolachlore ESA est présent en plus fortes concentrations dans la Livenne (points L1 à L4) et la terbuthylazine-hydroxy dans les Souches (points SE et ST).

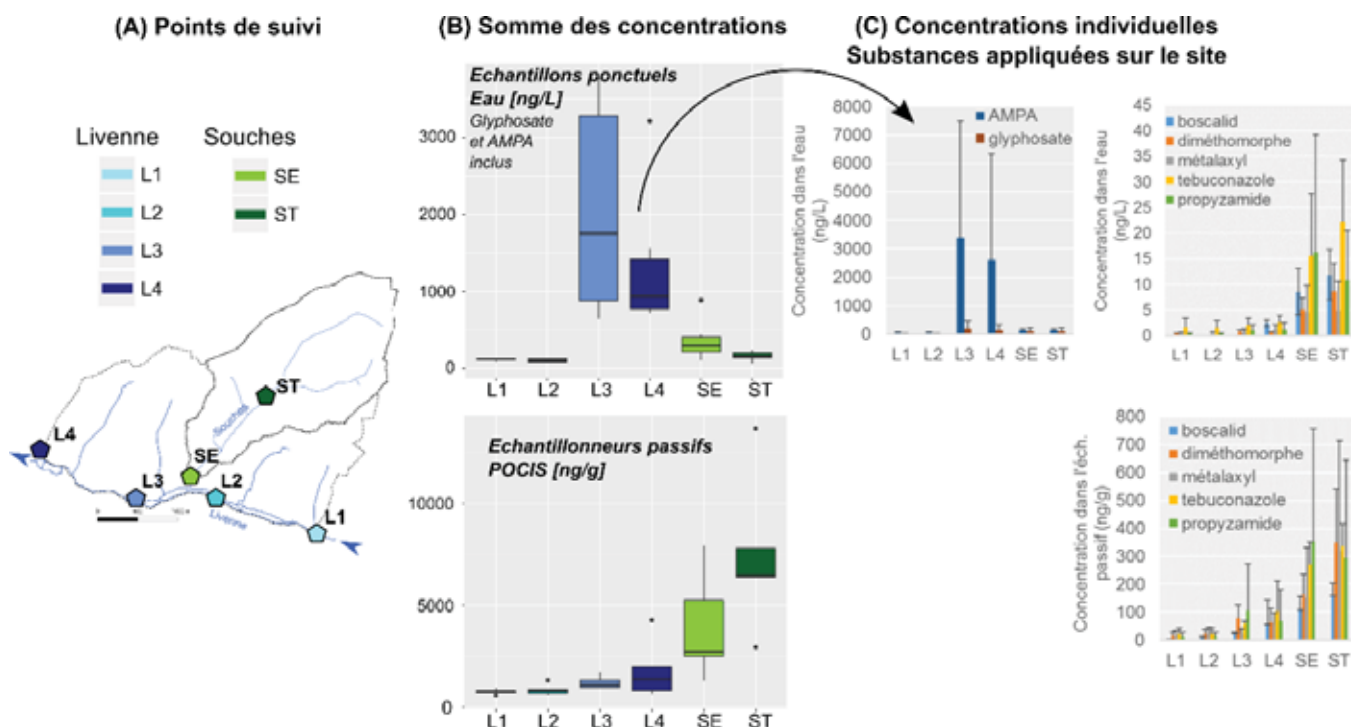


Figure 1. (A) : localisation des points de suivi ; (B) : distribution de la somme des concentrations par échantillons et (C) concentrations individuelles de substances appliquées sur le site expérimental pour les 6 points de suivi.

L'approche *via* les échantillonneurs passifs a permis de mettre en évidence un mélange complexe de pesticides avec une médiane de 33 substances/POCIS vs 20 substances/échantillon d'eau. Les POCIS ont permis de caractériser la contamination par les substances appliquées sur le site (usage viticole) mais également par des molécules mères et métabolites associées à d'autres usages. L'extrapolation des concentrations obtenues dans les échantillonneurs passifs (ng/g) à des concentrations dissoutes moyennées (ng/L) pour les pesticides dont les taux d'échantillonnage (Rs) ont déjà été déterminés au laboratoire permettra à terme d'améliorer l'évaluation de l'exposition aux pesticides pour chaque point de suivi.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet PhytoCOTE avec le soutien financier de l'ANR dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir, au sein du Laboratoire d'Excellence COTE (ANR-10-labx-45), et de la Région Nouvelle-Aquitaine (2015-1R20602).

Références : [1] Berho, C., Claude, B., Coisy, E., Togola, A., Bayouhd, S., Morin, P., Amalric, L., 2017. Laboratory calibration of a POCIS-like sampler based on molecularly imprinted polymers for glyphosate and AMPA sampling in water. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 409, 2029–2035. <https://doi.org/10.1007/s00216-016-0150-4>

Mots-clés : Échantillonnage passif, POCIS, pesticides, eaux de surface, viticulture

Opportunités d'application de l'échantillonneur passif TSP pour étudier les voies de transfert des pesticides dans des petits bassins versants agricoles

Margoum Christelle, Martin Alexis, Le Dréau Matthieu, Guillemain Céline, Gouy Véronique, Coquery Marina
Irstea, UR RiverLy, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua CS 20244, 69625 VILLEURBANNE

Les échantillonneurs passifs ont été développés comme alternative à l'échantillonnage actif ponctuel et à l'échantillonnage moyenné automatisé pour obtenir, à moindre coût et selon un protocole de mise en œuvre simple, des estimations plus représentatives des concentrations moyennes en contaminants organiques dans les milieux aquatiques. Cette technique permet l'accumulation *in situ* des contaminants présents à l'état de traces dans les eaux pendant la période d'exposition qui varie de quelques jours à quelques mois suivant le type d'échantillonneur, le milieu échantillonné ou la nature des composés ciblés. Dans les petits bassins versants agricoles, les pesticides sont transférés de la parcelle agricole au cours d'eau par diverses voies (ruissellement, infiltration, écoulements latéraux...) qui induisent des niveaux et des dynamiques de concentration souvent différenciés. Afin d'étudier les transferts des produits selon ces différentes voies et d'évaluer le rôle des éléments du paysage ou des aménagements sur leur limitation, il est indispensable de proposer des stratégies d'échantillonnage adaptées aux caractéristiques et à la dynamique de chaque milieu.

Dans ce contexte, un échantillonneur passif composite à base de silicone (dénommé TSP, pour Tige Silicone Polaire) a été conçu pour l'échantillonnage, la détection et la quantification dans les eaux d'une gamme élargie de pesticides (substances actives ou produits de dégradation, $2,3 < \log K_{ow} < 5,5$). Ses caractéristiques (réactif, à usage unique et peu coûteux) le rendent particulièrement intéressant pour des mesures au sein des petits bassins versants. L'objectif de cette présentation est de montrer comment les informations obtenues grâce à cet échantillonneur passif peuvent être exploitées selon différentes méthodes pour répondre à des questions complémentaires. Tout d'abord, la détection de pesticides accumulés sur les TSP renseigne sur leur présence effective dans le milieu échantillonné pendant la période d'exposition. Ensuite, une approche comparative entre plusieurs sites d'un même bassin peut être menée en exploitant les données sur les quantités accumulées dans les TSP (en masse par outil) pour mettre en évidence des gradients de contamination dans un milieu donné. La dernière approche, quantitative, nécessite une calibration préalable de l'échantillonneur en laboratoire pour les pesticides ciblés, et permet de déterminer une concentration moyenne dans l'eau (en ng/L) de chaque composé étudié pendant la période d'exposition.

Nous présentons ici plusieurs exemples d'applications lors de suivis en petits bassins versants agricoles pour illustrer les différentes possibilités d'utilisation et d'interprétation des résultats de l'échantillonneur passif TSP à des fins de recherche ou pour répondre à des enjeux opérationnels multiples.

Des échantillonneurs passifs TSP de petite taille (tiges de 2 cm de long) ont été déployés pendant une semaine dans des milieux aqueux (cours d'eau, nappe superficielle sous une zone tampon, eau de subsurface) de contextes agropédoclimatiques diversifiés pour estimer la contamination par des pesticides de différentes familles. L'interprétation des résultats acquis a été réalisée selon les trois approches mentionnées plus haut. Dans un premier temps, grâce à la capacité d'accumulation d'un large spectre de contaminants sur les TSP, une approche qualitative a permis de détecter la présence de nombreux contaminants organiques (pesticides, produits de dégradation...) dans les eaux lors de suivis spatio-temporels et ainsi de déterminer des fréquences de détection. Par ailleurs, des études comparatives entre des sites amont et aval ont permis d'une part, de mettre en évidence des gradients de contamination dans les cours d'eau et d'autre part, de confirmer le rôle des zones tampons pour atténuer les transferts de contaminants. Enfin, nous avons déterminé les concentrations moyennes, avec leurs incertitudes associées, pour une trentaine de pesticides et produits de dégradation, pour lesquels nous avons auparavant calibré les échantillonneurs en laboratoire. Ces données quantitatives ont permis d'évaluer les effets de la mise en œuvre de plans d'actions en contexte agricole (réduction des doses appliquées, implantation de zones tampons).

Ces différentes études *in situ* et les niveaux d'interprétation des données adaptés à chaque situation ont ainsi permis d'illustrer la flexibilité d'utilisation de l'échantillonneur passif TSP dans un contexte de pollutions agricoles diffuses.

Mots-clés : pesticides, échantillonneur passif, pollution diffuse, transferts, interprétation des données

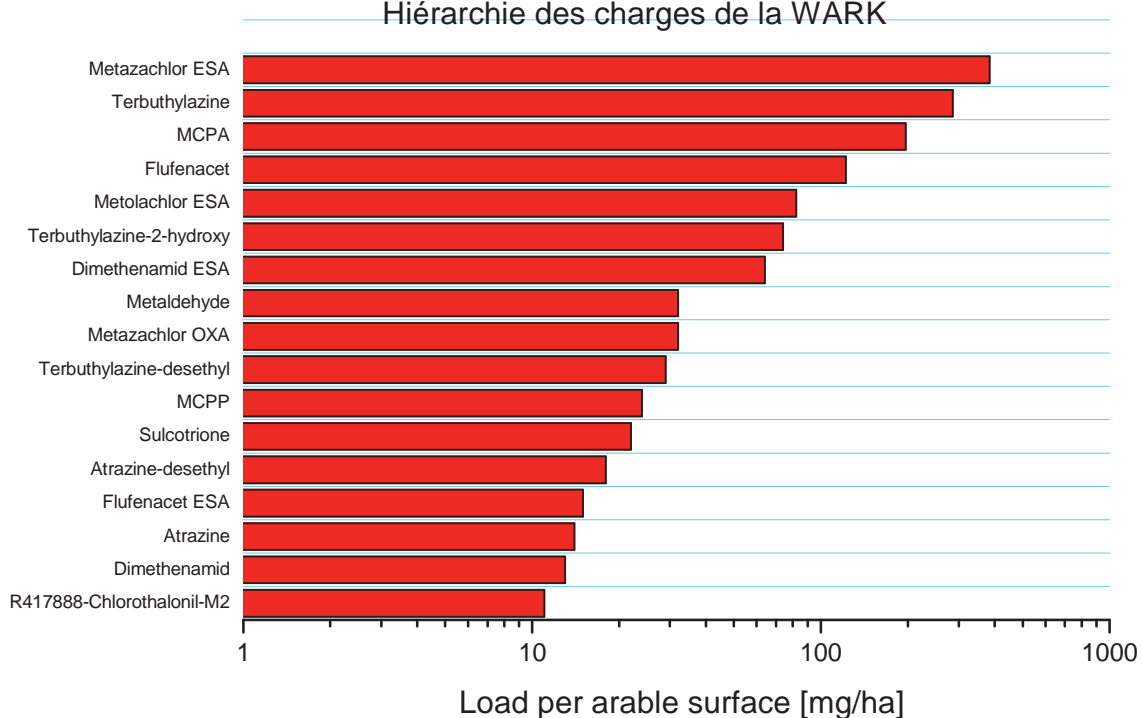
Validation d’une analyse de risque du lessivage de substances phyto par des campagnes d’échantillonnage passif dans différents contextes hydrogéologiques

Gallé Tom , Farlin Julien, Bayerle Michael, Pittois Denis & Viola Huck

Luxembourg Institute of Science and Technology, 5, Avenue des Hauts-Fourneaux L-4362 Esch-sur-Alzette, Luxembourg

Le Luxembourg adopte une interprétation stricte des limites légales de pesticides en eaux potables en les appliquant aussi aux produits de transformation (PT). Cela implique qu’un tiers des ressources en eaux potables souterraines ne sont pas exploitables sans traitement- principalement à cause des PT –ESA du métazachlore et du métolachlore. Les substances mères ont entretemps été interdites en zone de captage respectivement fortement limitées dans leur application. Leur remplacement par d’autres produits pose le risque de transferts de PT jusqu’à présent non-observés dans les nappes souterraines. Le projet PestRisk a analysé le risque de transfert de tous les pesticides utilisés en agriculture luxembourgeoise ainsi que leurs TP. L’utilisation actuelle et des scénarios d’échange de produits ont été appliqués dans le modèle PEARL calé sur les sols limono-sableux du Grès de Luxembourg. Le résultat de l’exercice est une liste de substances phytopharmaceutiques qui en tant que substances mères ou en tant que PT posent un risque de contamination des eaux souterraines. Les eaux souterraines du Grès de Luxembourg ont un temps de résidence moyen de 5-20 ans, ce qui implique que des changements de gestion phytopharmaceutique se manifestent que très tardivement dans la nappe phréatique et que des pollutions persistent pendant des années voire des décennies. D’où l’idée de vérifier la présence des produits de transformation dans les eaux de surface à transfert plus rapide dans des bassins à pédologie et hydrogéologie distincte. Le projet PestList, a établi une méthode analytique incluant les PT à risque et en a fait la surveillance continue par échantillonneur passif (POCIS – Oasis HLB) pendant les principales saisons d’application dans 4 bassins versant différents. Les charges de pesticides ont pu être calculées et normalisées par surface agricole. Tous les PT pertinents prédits par PestRisk ont été retrouvées dans les eaux de surfaces – souvent avec des charges plus importantes que les substances mères et à des ratios différents avec celles-ci suivant la nature pédologique/hydrogéologique des bassins versants. Cette contribution discute les leçons à tirer des détections et charges en eaux de surface et leur analogie pour les eaux souterraines.

Hierarchie des charges de la WARK



Mots-clés : lessivage ; produits de transformation ; échantillonneurs passifs ; charges

Surveillance des pesticides dans l'air ambiant : démarche de sélection des substances

Hulin Marion (1), Leroux Carole (1), Mathieu Aurélie (1), Gouzy Aurélien (2), Berthet Aurélie (3), Bonicelli Bernard (4), Chubilleau Catherine (5), Hulin Agnès (6), Leoz Garziandia Eva (2), Mamy Laure (7), Millet Maurice (8), Pernot Pierre (9), Quivet Etienne (10), Pernelet-Joly Valérie (1), Merlo Mathilde (1), Ruelle Bernadette (4), Bedos Carole (8).

- (1) Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail 14, rue Pierre et Marie Curie 94 700 Maisons-Alfort
- (2) INERIS, Parc technologique ALATA BP2, 60750, Verneuil-en-Halatte, France
- (3) Lausanne University Hospital, Rue du Bugnon 46, 1011 Lausanne, Suisse
- (4) IRSTEA, 361 Rue Jean François Breton, 34196 Montpellier
- (5) Service d'hygiène hospitalière, centre hospitalier de Niort, 79000 Niort, France
- (6) ATMO Nouvelle Aquitaine, ZI Périgny / La Rochelle 17180 Perigny, France
- (7) UMR ECOSYS INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay 78850 Thiverval-Grignon, France
- (8) ICPEES (UMR 7515 CNRS), Université de Strasbourg, 25 rue Becquere, 67087 Strasbourg Cedex 2, France
- (9) AirParif, 7 rue Crillon, 75005 Paris, France
- (10) Aix Marseille Univ, CNRS, LCE, Marseille, France

En France, la connaissance des niveaux de contamination en pesticides dans l'air est abordée depuis plus de 10 ans par le biais d'initiatives locales et ponctuelles des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Néanmoins, en l'absence de réglementation spécifique relative à la surveillance des pesticides dans l'air ambiant, elle demeure partielle et hétérogène. Compte tenu notamment des divergences/différences actuelles dans les méthodologies employées. L'évaluation de l'exposition aérienne pour la population générale aux résidus de pesticides et des risques associés reste donc actuellement complexe à mettre en œuvre.

Dans ce contexte, l'Anses a été saisie par ses ministères de tutelle afin d'apporter son expertise scientifique à la définition de modalités pour la mise en œuvre d'une surveillance nationale des pesticides dans l'air ambiant en France métropolitaine et dans les départements et régions d'outre-mer (DROM). Pour ce faire, une démarche de sélection des substances prioritaires à surveiller dans l'air ambiant permettant d'évaluer l'exposition chronique et les risques sanitaires pour la population générale via le compartiment aérien a été définie. Cette démarche reposait :

Sur une **hiérarchisation *a priori*** (ou théorique) réalisée à l'aide de l'outil multicritère Sph'Air¹ développé par l'Ineris en 2005 et actualisé dans le cadre de ces travaux. Cet outil permet de hiérarchiser les pesticides à rechercher dans l'air ambiant en s'appuyant à la fois sur un potentiel de quantité, d'émission et de persistance dans l'atmosphère (évalué à partir du tonnage des substances utilisées, à partir de la BNVD² pour les produits phytopharmaceutiques et les caractéristiques physico-chimiques de la substance) et un potentiel de danger pour la santé humaine (évalué selon le calcul d'un score de danger relatif aux effets chroniques).

Sur une **priorisation *a posteriori*** (ou empirique) reposant sur la méthode développée par le réseau NORMAN³ et basée sur les résultats les plus récents (acquis entre 2011 et 2015) des mesures de pesticides dans l'air collectées par les AASQA et disponibles dans la base de données PhytAtmo⁴. Celle-ci s'appuie sur une première étape de catégorisation des substances selon leur fréquence de recherche et de quantification à partir des données de

¹ Gouzy, A., and R. Farret. 2005. Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien: approche par hiérarchisation. Synthèse du comité de pilotage Verneuil-en-Halatte: INERIS.

² BNVD : Banque nationale des ventes des distributeurs de l'Ineris.

³ NORMAN Association. 2013. Network of reference laboratories and related organisations for monitoring and bio-monitoring of emerging environmental substances. Working Group on Prioritisation of Emerging Substances. NORMAN Prioritisation framework for emerging substances. edited by Valeria Dulio & Peter C. von der Ohe. Verneuil-en-Halatte: NORMAN Association.

⁴ Il s'agit de la BDD d'ATMO France regroupant les données de surveillance des pesticides dans l'air recueillies au plan régional par différentes AASQA.

mesures puis une seconde étape d'identification des substances prioritaires d'un point de vue du danger par comparaison des niveaux d'exposition estimés à partir des données de mesures à une valeur seuil de danger. Dans le cadre de ces travaux, il s'agit de l'indicateur AOEL (Acceptable Operator Exposure Level).

Sur la confrontation des résultats issus de ces deux approches via la construction d'arbres de décisions. L'objectif est de **catégoriser** les substances en tant que « substances prioritaires ou hautement prioritaires », « substances non hiérarchisées par manque de connaissances » et « substances non prioritaires ».

Parmi les 1 316 substances considérées comme pesticides, 90 substances ont été sélectionnées comme « substances hautement prioritaires et prioritaires », dont 43 nécessitent un développement métrologique et/ou analytique. En revanche, pour 74 substances, la méthode de sélection n'a pu être déclinée, notamment par manque de données sur les caractéristiques physico-chimiques, les usages et utilisations et/ou le score de danger chronique (pour 54 d'entre-elles).

La liste de substances prioritaires ainsi établie sera être prise en compte dans la mise en œuvre, par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air en lien avec les AASQA, d'une campagne exploratoire nationale d'un an à partir du 2^{ème} trimestre 2018. In fine, les résultats de cette campagne permettront de stabiliser la constitution de listes socles pour la surveillance nationale des pesticides pour la métropole et les DROM.

La démarche de hiérarchisation et de priorisation des substances d'intérêt développée dans le cadre de cette expertise peut également être déclinée pour d'autres situations et notamment l'exposition de riverains vivant à proximité des sources d'émissions de pesticides ou pour la surveillance des pesticides au regard des risques pour les écosystèmes.

Mesure de la dérive de pulvérisation : récents développements méthodologiques pour une meilleure prise en compte des impacts

Jean-Paul Douzals (1), Yoan Hudebine (1), Florence Verpont (2), Benjamin Perriot (3),

(1) IRSTEA UMR ITAP 361, rue Jean-François Breton 34270 MONTPELLIER

(2) CTIFL Lanxade, 28 route des Nebouts 24130 PRIGONRIEUX

(3) ARVALIS Station expérimentale 91720 BOIGNEVILLE

Lors d'applications phytosanitaires, une fraction de la bouillie pulvérisée n'atteint pas la cible et peut être transportée par voie aérienne. Ce phénomène de dérive apparaît au moment de l'application et est dépendant des conditions d'application et des conditions atmosphériques. Si un modèle européen est utilisé de longue date pour vérifier les impacts éco-toxicologiques des produits soumis à autorisation de mise sur le marché (Focus EU), la mesure au champ de la dérive des sprays de pulvérisation s'avère nécessaire pour vérifier les performances de matériels ou de pratiques selon un protocole défini par la norme ISO 22866.

Cette norme spécifie notamment les conditions climatiques acceptables pour les mesures (vitesse minimale de vent, plage de directions) et les méthodes d'échantillonnage de la dérive. Ainsi deux principes d'échantillonnage coexistent : la dérive sédimentaire correspond à la mesure de dépôts au sol réalisée à différentes distances du champ traité et la dérive aérienne qui correspond à l'interception de gouttelettes dans l'atmosphère à une distance définie et à différentes hauteurs. Si la première est utilisée de longue date pour étudier les impacts dans les eaux de surface, la seconde devient d'actualité pour la contamination de l'air et du voisinage. Au fil du temps, l'accumulation des données de dérive sédimentaire en cultures basses dans différents pays (Van de Zande et al., 2015) a fait émerger des difficultés de comparaison des résultats ce qui peut entraîner des différences sur les largeurs de ZNT affectées à certains produits et les exigences de mitigation entre différents pays européens. Ainsi l'analyse de plus de 2000 essais unitaires collectés dans le cadre du projet SETAC DRAW font apparaître des écarts significatifs entre modalités a priori identiques qui ne sont pas a priori pas liés à l'intensité du vent.

La dérive aérienne quant à elle n'a été que très peu étudiée jusqu'à présent et les critères réglementaires appliqués à la dérive sédimentaire ne peuvent pour l'instant se transposer à la dérive aérienne.

Différents projets français ou internationaux visent ainsi à mieux cerner d'une part les déterminants pratiques de la dérive sédimentaire notamment les conditions climatiques ou la présence d'une culture et d'autre part à trouver des alternatives méthodologiques facilitant la réalisation opérationnelle des essais par mesure aérienne notamment en cultures pérennes (projet AFB PulvArbo).

La présente étude se focalise sur la description de ces deux verrous méthodologiques de comparabilité des mesures inter-laboratoires d'une part et de comparabilité de méthodologies d'autre part.

FOCUS EU: Forum for the Co-ordination of Pesticide fate models and their Use.
<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/focus-dg-sante>

ISO 22866 : 2005. Matériel de protection des cultures – mesurage de la dérive du jet au champ. 19p

J. Van de Zande, D. Rautmann, HJ. Holtermann and JFM Huijsmans ; Joined spray drift curves for boom sprayers in The Netherlands and Germany. WUR. Report 526, 82p. Plant Research International Ed., Wageningen.

Mots-clés : Dérive, pulvérisation, méthodologie

Protection des travailleurs agricoles exposés aux produits phytopharmaceutiques lors des phases de rentrée en arboriculture et viticulture

Grimbuhler Sonia

IRSTEA UMR ITAP 361, rue Jean-François Breton 34270 MONTPELLIER

La norme ISO 27065 : 2017 « Habillement de protection -- Exigences de performance pour les vêtements de protection portés par les opérateurs appliquant des pesticides et pour les travailleurs de rentrée » a été révisée et finalisée depuis septembre 2017 afin de transformer les vêtements de travail en Equipements de Protection Individuelle (EPI) et de rendre obligatoire leur port par les agriculteurs lors des tâches de rentrée. Aujourd'hui, ces vêtements ne sont pas portés sur le terrain, les agriculteurs évoquent leur manque de confort. Dans ce contexte, comment faire accepter le port de ces vêtements en rentrée ?

L'objectif de ce travail consiste d'une part, à simuler des tâches de rentrée en pomiculture et viticulture pour évaluer le confort des vêtements et d'autre part, à identifier la position des différents acteurs sur le projet de révision de la norme ISO 27065. Pour cela, des tests de confort en conditions contrôlées ont été réalisés et des entretiens ont été menés avec les acteurs impliqués (agriculteurs, préventeurs, administrateurs, firmes phytopharmaceutiques, syndicats ...). 25 entretiens ont été réalisés auprès des acteurs de la sécurité des travailleurs qui conseillent les arboriculteurs et les viticulteurs.

Les résultats des tests montrent l'influence du port des vêtements de travail sur la pénibilité de la tâche réalisée. L'évaluation subjective du confort tend à montrer un lien entre niveau de sudation, aisance des mouvements et niveau d'habillement des utilisateurs. Les résultats en laboratoire ont été confrontés à ceux sur le terrain. Ainsi, des études de confort et de pénibilité ont été réalisées sur le terrain.

Parmi les acteurs interrogés, certains doutent du risque d'exposition en rentrée, et d'autres pensent que les agriculteurs qui n'ont pas conscience du risque, ne porteront pas d'EPI en rentrée. Finalement, le confort a été pris en compte dans le projet de révision de la norme dans le but de favoriser le port de ces EPI sur le terrain.

Cependant, pour en faciliter l'acceptation des agriculteurs, une stratégie de communication devra être élaborée et les agriculteurs devront être accompagnés dans les modifications organisationnelles qui en résulteront.

Transfert systémique des produits phytosanitaires dans les arbres après injection dans le tronc

Berger Cyndel (1), Renier Adeline (2), Mediouni Louisa (1), Laurent François (1)

(1) INRA UMR 1331 Toxalim, 180 chemin de Tournefeuille, 31300 Toulouse

(2) Cetev, La Pousaraque, 31460 Le Faget

En arboriculture conventionnelle, la pulvérisation de produits phytosanitaires est la méthode la plus employée pour lutter contre les parasites et les maladies cryptogamiques. Cependant, une partie non négligeable du produit pulvérisé n'atteint pas la cible, le feuillage, à cause de retombées sur le sol, de dérive de pulvérisation, etc. Afin de réduire la contamination de l'environnement, des restrictions réglementaires sur les produits phytosanitaires ont été édictées, limitant l'utilisation de ces pratiques. L'objectif de ces restrictions est de parvenir à une utilisation des produits phytosanitaires compatible avec la notion de développement durable et protéger les populations environnantes. Cela signifie que des solutions alternatives à la pulvérisation doivent être développées. Pour cela, l'injection de substances actives dans le tronc des arbres semble être une méthode prometteuse. Cette injection doit permettre de délivrer la quantité nécessaire et suffisante de substance active. Le concept est de délivrer les produits directement dans le système vasculaire xylémien pour éviter la barrière cuticulaire, le flux xylémien assurant la dispersion de la molécule dans l'arbre. Cela devrait être une méthode respectueuse de l'environnement pour contrôler de nombreux parasites, bactéries, champignons, nématodes et insectes. Dans ce contexte, le projet PREAMISSE* a pour but de développer une méthode permettant l'injection de faibles volumes de solutions concentrées de substances actives, assurant un traitement efficace tout en limitant les dommages sur les arbres traités et les possibles impacts non-intentionnels sur l'homme et l'environnement. Au sein de ce projet collaboratif, l'objectif de notre travail est de comprendre comment les produits phytosanitaires sont distribués dans différentes essences (pommier, vigne, pin et châtaigner) et de déterminer, au sein du modèle pommier, les paramètres physico-chimiques, physiologiques, ou anatomiques qui contrôlent leur transfert. Pour cela, 4 axes de travail sont explorés :

(i) l'étude de la répartition des molécules dans l'arbre à partir d'une injection très localisée de colorant ou produits phytosanitaires radio-marqués en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques et de l'anatomie des différentes essences

(ii) L'évaluation de l'impact de l'injection de solutions très concentrées sur le flux de sève xylémien en fonction de la structure des systèmes vasculaires

(iii), L'évaluation de l'impact de la perforation de l'aubier nécessaire à l'injection sur la santé de l'arbre, durant les années suivantes (1 à 3 ans) par la réalisation de coupes tissulaires au niveau de la perforation et une analyse par diverses méthodes microscopiques (stéréo-microscopie de fluorescence) permettant de mesurer la résilience de la blessure.

(iv) La réalisation de dosage des résidus dans les feuilles, par HPLC/MS-MS et par radio-HPLC, permettant de suivre la distribution au niveau de la cible.

Les premiers résultats de cette étude montrent une distribution hétérogène des composés dans les arbres en fonction des espèces. De manière générale, les concentrations des molécules sont plus élevées en partie basse des arbres qu'en haut. L'injection de faible volume limite la dispersion latérale de l'injectât. De plus, les flux xylémiens sont très sectorisés et la première branche située sur le faisceau xylémien injecté intercepte pratiquement la totalité de l'injectât, limitant ainsi cette dispersion. D'autre part, les molécules plus lipophiles ont tendance à s'adsorber sur les vaisseaux du xylème, réduisant leur déplacement. L'observation des blessures d'injection montre, dans la plupart des cas, une cicatrisation rapide. Une assise subéro-ligneuse se met en place pour isoler la blessure du milieu extérieur et le cambium retrouve sa fonctionnalité après un an, avec le développement de nouveaux tissus phloémiens et xylémiens.

* : PREAMISSE : Protection des arbres par micro-injection sécurisée (18eme AAP FUI)

Partenaires : Lauragri Services (porteur), INRA (Toxalim, équipe Métabolisme des Xénobiotiques), CETEV (Centre d'Expertise en Techniques Environnementales et Végétales), CTIFL (Centre Technique interprofessionnel des Fruits et Légumes), IFV (Institut Français de la Vigne et du Vin), JADE, PREMETEC.

Mots-clés : Injection, produits phytosanitaires, pommier, flux xylémiens.

Contrôle de la vectorisation des xénobiotiques chez les plantes : une nouvelle manière d'aborder le ciblage des parasites afin de réduire les impacts environnementaux

Hanxiang Wu ⁽¹⁾, Sophie Marhadour ⁽¹⁾, Zhiwei Lei ⁽²⁾, Cécile Marivingt-Mounir ⁽¹⁾, Rémi Lemoine ⁽³⁾, Jean-Louis Bonnemain ⁽³⁾, 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, F-86073 Poitiers Cedex 9, France

(2) Guizhou Tea Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Science, Guiyang, Guizhou 550009, China.

(3) Laboratoire EBI (Écologie et Biologie des Interactions), UMR CNRS 7267, Équipe SEVE (Sucres, Échanges Végétaux, Environnement), Université de Poitiers, 3 rue Jacques Fort, TSA 51106, F-86073 Poitiers Cedex 9, France

Réduire l'utilisation des pesticides sans affecter la quantité et la qualité des productions agricoles est l'un des grands défis du XXI^e siècle. De nouveaux produits phytopharmaceutiques avec une efficacité optimale, une sécurité environnementale et dépourvus d'effets nocifs pour les utilisateurs, sont nécessaires pour une agriculture durable. La stratégie de prodrogue offre une nouvelle voie possible pour atteindre cet objectif en vectorisant les produits agrochimiques, ce qui peut conduire à un transport et à une distribution ciblés chez la plante. En utilisant le concept de prodrogue dans la conception de composés phytosanitaires, nos travaux ont pour objectif d'étudier de nouveaux profongicides potentiels qui peuvent se concentrer dans la sève phloémienne en vue de lutter contre les maladies vasculaires et racinaires. Le fenpiclonil, fongicide de contact de la famille des phénylpyrroles, a été choisi comme composé modèle. Selon une stratégie de prodrogues faisant appel à un transport actif via des protéines transmembranaires manipulant normalement les nutriments issus de la photosynthèse, des conjugués ont été synthétisés en introduisant respectivement un alpha-aminoacide ou un sucre dans sa structure.

La première partie de notre travail (Wu et al., 2017b) a consisté à sélectionner le meilleur nutriment capable de leurrer les systèmes de transport des plantes. Nous avons comparé la mobilité phloémienne, chez le ricin, de conjugués associant le fenpiclonil avec l'acide glutamique ou le glucose par le biais d'un espaceur. En utilisant le modèle Ricin comme test de systémie, nous avons montré que le conjugué fenpiclonil/L-acide glutamique est 20 fois plus concentré dans la sève phloémienne que le conjugué fenpiclonil/D-glucose. Ces résultats suggèrent donc que les acides aminés sont de meilleurs groupements vecteurs que le glucose, assurant ainsi une meilleure mobilité des conjugués dans la plante. D'autres études ont révélé que la systémie du conjugué avec l'acide L-glutamique est dépendante du pH et presque complètement inhibée par le carbonylcyanure m-chlorophénylhydrazone (CCCP). En considérant le fait que la concentration du conjugué avec l'acide L-glutamique dans la sève phloémienne est environ cinq fois plus élevée que son homologue de la série D, nous pouvons conclure que le transport phloémien du conjugué avec l'aminoacide de la série L est régi par un système de transport d'acide aminé stéréospécifique activé par la force proton motrice.

Dans la deuxième partie de notre travail (Wu et al., 2017a), nous sommes intéressés aux limites de notre stratégie de vectorisation révélées par la très faible systémie du conjugué fenpiclonil-D-glucose (D-GFC). Les expériences ont été conduites en utilisant des plantules de ricin, des disques foliaires de fève et un mutant de levure exprimant At-SUC2. Nos résultats ont montré que ce conjugué inhibe aussi fortement que le PCMBS (utilisé à la même concentration) l'absorption et le transport phloémien du saccharose-^[14C], mais qu'il n'a pas d'effet inhibiteur sur le transport du 3-O-méthyl-D-glucose-^[3H] ou de la glutamine-^[3H] chez le ricin, ni même sur l'activité de l'ATPase-H⁺ de la membrane plasmique, contrairement au PCMBS qui se lie aux groupements sulfhydryl de nombreuses protéines membranaires. Des résultats complémentaires ont montré que D-GFC inhibe aussi le transporteur de saccharose impliqué dans le chargement phloémien chez les Fabaceae et Brassicaceae. Il constitue un nouvel outil en phloémologie pour étudier les voies de transport et la compartimentation des sucres endogènes.

Enfin, la mobilité phloémienne de trois nouveaux conjugués du fenpiclonil avec des acides aminés a été évaluée pour étudier l'influence de la structure de l'espaceur sur la reconnaissance et la manipulation par un système de transport actif chez le ricin (Marhadour et al., 2017). Parmi les quatre conjugués testés, celui qui contient un cycle

1,2,3-triazole avec la chaîne la plus courte a montré la meilleure mobilité phloémienne, indiquant que la réduction de la longueur de la chaîne entre le cycle triazole et la fonction L-alpha-aminoacide a permis d'optimiser la systémie. En revanche, la suppression du cycle 1,2,3-triazole n'améliore pas la systémie, bien que les propriétés physico-chimiques du produit soient plus favorables à la diffusion au travers de la membrane plasmique. Enfin, nous avons montré que les conjugués avec les acides aminés présentent clairement une plus grande aptitude à la mobilité phloémienne que les dérivés acides de fenpiclonil dans la plage des valeurs de pH de l'apoplasme foliaire (pH de 5,0 à 6,5).

Remerciements : Les auteurs remercient FranceAgriMer, InterLoire and JAS Hennessy & Co. pour le support financier de ces travaux.

Marhadour S, Wu H, Yang W, Marivingt-Mounir C, Bonnemain JL, Chollet JF (2017) Vectorisation of agrochemicals via amino acid carriers: influence of the spacer arm structure on the phloem mobility of phenylpyrrole conjugates in the *Ricinus* system. *Pest Manage. Sci.* **73**: 1972-1982

Wu H, Marhadour S, Lei ZW, Dugaro E, Gaillard C, Porcheron B, Marivingt-Mounir C, Lemoine R, Chollet JF, Bonnemain JL (2017a) Use of D-glucose-fenpiclonil conjugate as a potent and specific inhibitor of sucrose carriers. *J. Exp. Bot.* **68**: 5599-5613

Wu H, Marhadour S, Lei ZW, Yang W, Marivingt-Mounir C, Bonnemain JL, Chollet JF (2017b) Vectorization of agrochemicals: amino acid carriers are more efficient than sugar carriers to translocate phenylpyrrole conjugates in the *Ricinus* system. *Environmental Science and Pollution Research*: Sous presse

Mots clés : Propesticide, Fongicide, Phenylpyrrole, *Ricinus communis*, *Vicia faba*, AtSUC2, Transport phloémien, Systémie, conjugué avec le D-glucose, conjugué avec un L-aminoacide

Une alternative pour la protection des cultures : les Rhamnolipides - Conception et évaluation contre différents pathosystèmes

Le Guenic Sarah (1), Calonne-Salmon Maryline (2), Robineau Mathilde (3), Chaveriat Ludovic (1), Dorey Stephan (3), Esmaeel Qassim (3), Jacquard Cédric (3), Joly Nicolas (1), Lequart Vincent (1), Sanchez Lisa (3), Barka Essaïd Aït (3), Declerck Stéphane (2), Martin Patrick (1).

(1) IUT de Béthune – Université d'Artois, Département Chimie, 1230 rue de l'Université, BP 819 62408 BETHUNE Cedex, France

(2) Université catholique de Louvain, Earth and Life Institute, Applied microbiology, Mycology, Croix du Sud 2, bte L7.05.06, B-1358, Louvain-la-Neuve, Belgique

(3) Laboratoire Résistance Induite et Bioprotection des Plantes (RIBP), EA 4707 SFR Condorcet FR CNRS 3417, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France

Les produits phytosanitaires conventionnels, utilisés de manière intensive en agriculture, ont un impact néfaste sur l'environnement (qualité de l'air et de l'eau, biodiversité, etc) ainsi que sur la santé humaine. Il y a donc une demande grandissante pour le développement de nouvelles alternatives plus respectueuses telles que le biocontrôle. **BioScreen** est un projet du portefeuille SmartBioControl (Interreg V) qui a pour ambition de rechercher et d'identifier de nouvelles molécules capables de contrôler les agents pathogènes des cultures transfrontalières grâce, notamment, au développement d'une plateforme de criblage à haut-débit.

Les **rhamnolipides** (RLs), molécules amphiphiles produites naturellement par des bactéries (*Pseudomonas aeruginosa*), font partie de ces alternatives prometteuses. En plus de leurs applications industrielles classiques (pharmaceutiques, cosmétiques, bio-remédiation, etc), les rhamnolipides possèdent également des activités antifongiques et antimicrobiennes et sont capables de stimuler les mécanismes de défenses des plantes (Vatsa et al., 2010). Cependant, leur mode de production peut être problématique. En plus d'être coûteuse, la fermentation à large échelle permet d'obtenir seulement un mélange de différents rhamnolipides (mono- et disaccharides, différentes longueurs de chaînes grasses, etc), ce qui peut être gênant en terme de répétabilité et d'homologation.

Pour résoudre ce problème, le groupe de recherche de l'IUT de Béthune (Université d'Artois) a développé la **synthèse de rhamnolipides à partir de matières premières biosourcées** (Figure). Plusieurs composés ont été synthétisés avec différentes fonctions-linkers (éther, ester, ester succinate, carbamate) et des longueurs de chaînes variables (de 4 à 18 atomes de carbone).

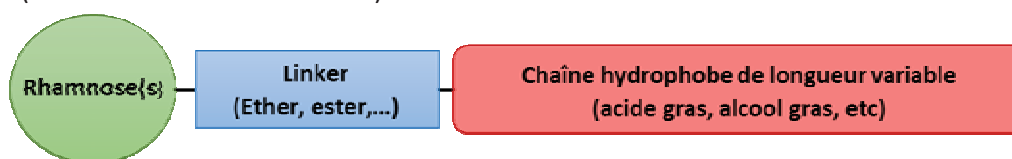


Figure : Structure des différents rhamnolipides synthétisés.

L'activité antifongique et la capacité à stimuler les mécanismes de défense des plantes de ces rhamnolipides de synthèse ont été évaluées par l'Université Catholique de Louvain et l'Université de Reims Champagne Ardennes.

Les tests d'**antagonisme direct** ont permis d'évaluer la capacité d'inhibition des rhamnolipides, à trois concentrations molaires (100, 200 et 300 μ M), sur la germination des spores/sporanges et le développement du mycélium de différents agents pathogènes en conditions contrôlées. Une forte inhibition de la croissance de *Phytophthora infestans* MUCL 54981 (agent pathogène responsable du mildiou de la pomme de terre) a été observée, tandis qu'un effet « retard » de croissance a été mesuré pour *Botrytis cinerea* BC630 (responsable de la pourriture grise chez la vigne) avec les éthers de rhamnose en C10 et C12. La différence de sensibilité observée entre *P. infestans* et *B. cinerea* pourrait être liée probablement au caractère hémibiotrophe et nécrotrophe des deux agents pathogènes.

Afin d'évaluer la capacité des différents RLs à induire des mécanismes précoces de défense chez la plante, la **production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS)** a été étudiée. Les premiers tests ont été réalisés sur plante modèle, *Arabidopsis thaliana*. Un effet dose (25, 50 et 100 μ M) des différents rhamnolipides a été testé sur disques foliaires afin de suivre la production de ROS pendant 12h. Les données obtenues montrent une reproductibilité des résultats et indiquent que les dérivés éthers en C10 et C12 ainsi que le dérivé ester en C12 induisent une production significative de ROS à 50 et 100 μ M.

En parallèle, la **capacité de protection** de ces mêmes molécules est actuellement testée sur plantes entières d'*Arabidopsis* contre les deux agents pathogènes, *Phytophthora infestans* et *Botrytis cinerea*.

Les auteurs remercient Interreg V SmartBioControl pour son financement.

P. Vatsa, L. Sanchez, C. Clement, F. Baillieul, S. Dorey, Rhamnolipid biosurfactants as new players in animal and plant defense against microbes. *Int. J. Mol. Sci.*, 2010, 11(12), 5095-108.

Prediction of the electrical energy per order used during photocatalytic degradation of thiamethoxam by using Box Behnken Design

Ngaha Emmanuel^{*(1,2)}, Sayen Stéphanie⁽²⁾, Guillon Emmanuel⁽²⁾, Duranoğlu Dilek^{*(1)}

(1) *Yıldız Technical University, Chemical Engineering Department, Davutpasa Campus 34210, Esenler, Istanbul, Turkey*

(2) *Institut de Chimie Moléculaire de Reims (ICMR), UMR CNRS 7312, Université de Reims Champagne-Ardenne, 51687 Reims Cedex 2, France*

Although they contribute greatly to the nutrition of growing world population and disease control of crops, pesticides can pollute when used in excess or not. Recently, studies reported the presence of neonicotinoid pesticides in drinking water and demonstrate their persistence during conventional water treatment. Thiamethoxam (THX) is a second generation neonicotinoid insecticide used at application rate from 10 to 200 g/ha.

In this study, expanded perlite was used as supported material for titanium dioxide (TiO₂) immobilization. The obtained TiO₂/perlite composite material was then used for THX photocatalytic degradation. Three-level, three-factor, Box Behnken Experimental Design Method was used to determine the effect of process parameters (pH, load of TiO₂/Perlite (g/L), air flow (L/h)). Electric energy per order (kWh/m³) used for photocatalytic degradation were determined, regression analysis of the experimental data made by using JMP software allow us to develop a quadratic model. It was observed a decrease of the electric energy per order with decreasing pH value and increasing air flow. A high amount of TiO₂/perlite led to a low electric energy consumption until 8.15 g/L, above it started to increase. The optimal operation conditions were determined as pH 4, 8.15 g/L TiO₂/perlite and air flow 18 L/h. An electric energy per order of 120.59 kW h/ m³ and 87% degradation were obtained at the optimal conditions for 1.46 mg/L of THX.

Exposition aux pesticides d'enfants vivant en Wallonie

Charlier Corinne (1), Arnaud Giusti (2), Suzanne Remy (2), Catherine Pirard (1)

(1) Service de Toxicologie, CHU de Liège, avenue de l'Hôpital 1, 4000 LIEGE (Belgique)

(2) Institut Scientifique de Service Public, rue du Chéra 200, 4000 LIEGE (Belgique)

Le projet EXPOPESTEN (Exposition de la population wallonne aux pesticides environnementaux) avait pour objet de fournir une évaluation de l'exposition environnementale aux pesticides en Wallonie. Cette étude s'est déroulée en trois étapes dont les deux premières (sélection des pesticides à rechercher et analyses atmosphériques) ont fait l'objet d'une présentation orale au cours du congrès GFP 2017 à Nancy. La troisième phase consistait à évaluer la contamination de populations d'enfants situées dans des zones d'exposition contrastées (contaminations atmosphériques faible, moyenne, élevée). Les techniques analytiques utilisées ont également été présentées avec leurs paramètres de validation, à GFP 2017.

258 enfants, âgés de 9 à 12 ans, répartis en 5 zones géographiques (1 zone de référence, 2 zones agricoles, 2 zones urbaines) ont participé à l'étude. Des échantillons urinaires ont été récoltés chez ces enfants à qui un questionnaire relatif à leurs habitudes de vie a été soumis.

Les pesticides suivants ont été recherchés et quantifiés :

31 produits parents : aclonifen, benfluraline, captane, chlorpyrifos ethyl, cyhalothrine, cypraconazole, cyprodinil, dimethenamide, dimethoate, epoxiconazole, ethofumesate, fenoxycarbe, fenpropidine, metribuzin, oxadiazon, penconazole, pendimethaline, propiconazole, propyzamide, prosulfocarb, spiroxamine, tebuconazole, terbuthylazine, tetraconazole, triallate ;

12 métabolites dont

5 métabolites non spécifiques des organophosphorés : 2 DMP (diméthylthiophosphate et diméthylthiophosphate) et 3 DEP (diéthylphosphate, diéthylthiophosphate et diéthylthiophosphate) ;

4 métabolites non spécifiques des pyréthriinoïdes : 3-PBA (acide 3-phénoxybenzoïque), 4-F-3-PBA (acide 4-fluoro-3-phénoxybenzoïque) et cis- et trans-DCCA (acide cis- et trans-3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylique) ;

3 métabolites spécifiques : déséthylterbutylazine (terbuthylazine), TCPy : 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (chlorpyrifos), THPI : tetrahydrophthalimide (captan).

Sur les 43 produits recherchés, 28 se sont toujours révélés négatifs.

Les résultats correspondant aux 6 produits parents pour lesquels nous avons obtenu des résultats positifs sont indiqués au tableau ci-dessous.

	Fréquence (%)	Valeurs extrêmes (µg/L)	Moyenne ± ET (µg/L)
2,4-DB	1,60	0,01-1,21	0,44±0,55
Métribuzine	10,50	0,11-2,27	0,40±0,43
Linuron	1,60	0,03-0,08	0,05±0,02
Cypraconazole	0,40	0,08-0,08	0,08
Propyzamide	2,30	0,04-0,06	0,05±0,01
Tébuconazole	0,40	0,76-0,76	0,76

Les résultats correspondant aux métabolites pour lesquels nous avons obtenu des résultats positifs sont indiqués au tableau ci-dessous:

	Fréquence (%)	Valeurs extrêmes (µg/L)	Moyenne ± ET (µg/L)	Produit parent
TCPy	100,00	0,70-25,64	4,22±2,96	Chlorpyrifos
THPi	22,10	0,01-2,76	0,54±0,67	Captan
Déséthylterbutylazine	3,50	0,06-0,54	0,17±0,15	Terbutylazine
DEP	73,30	0,54-661,83	17,49±69,45	
DETP	49,80	0,50-24,64	2,16±3,44	
DEDTP	6,70	0,51-8,17	1,53±1,75	Organophosphorés
DMTP	65,80	0,62-231,32	9,43±24,9	
DMDTP	27,80	0,51-9,91	1,51±1,50	
Cis-DCCA	36,60	0,50-55,60	2,37±6,53	
Trans-DCCA	89,30	0,15-501,30	5,2±36,68	Pyréthrynoïdes
3-PBA	99,60	0,15-311,10	3,67±21,36	
4-F-3-PBA	2,50	0,02-1,74	0,48±0,67	

Les résultats ont été comparés à ceux obtenus dans d'autres études et interprétés en fonction des indications fournies par les réponses aux questionnaires. Peu d'études ont tenté de mesurer et réussi à mettre en évidence des pesticides parents dans l'urine d'enfants (Cazorla-reyes et al. 2011). Si le taux de détection des pesticides parents dans notre population est pour la plupart d'entre eux anecdotique, le metribuzine a lui été mis en évidence dans plus de 10% des urines, ce qui à notre connaissance est une première. Néanmoins, le croisement des résultats atmosphériques et urinaires tend à démontrer que les pesticides en grande majorité ne sont que peu éliminés tels quels ou sous formes conjuguées dans l'urine, mais probablement plutôt sous forme de métabolites urinaires plus polaires.

Les niveaux de biomarqueurs des pesticides organophosphorés (DAP et TCPy) mesurés dans notre population sont comparables à ceux récemment rapportés dans la littérature pour des enfants espagnols (Roca et al. 2014), norvégiens (Céquier et al. 2017), allemands (Becker et al., 2006) australiens (Heffernan et al. 2016) ou japonais (Osaka et al. 2016), mais légèrement plus élevés que ceux mesurés lors de l'étude NHANES aux Etats-Unis en 2007-2008 (CDC, 2017). D'autre part, les concentrations urinaires des métabolites des pyréthrynoïdes varient beaucoup plus selon le pays ou l'étude considérée. Si les enfants français de la cohorte PELAGIE paraissent plus exposés que notre population (Glorennec et al., 2017), les niveaux de métabolites observés en Espagne (Roca et al. 2014), au Royaume Unis (Galea et al., 2015), en Allemagne (Becker et al., 2006) ou aux Etats-Unis (CDC, 2017) sont sensiblement plus faibles.

Cette étude constitue la première étude effectuée en Wallonie pour rechercher l'exposition aux pesticides des enfants. Sans surprise, peu de produits parents (6 sur 31) sont détectés dans les échantillons urinaires. En ce qui concerne les métabolites, les fréquences de positivité sont élevées et similaires à celles rencontrées dans d'autres populations d'enfants européens.

Références : Cazorla-reyes et al., 2011, *Talanta* 85: 183–196 ; Roca et al., 2014, *Environ. Res.* 131: 77-85 ; Céquier et al., 2017, *Sci. Tot. Environ.* 591-591: 655-662 ; Becker et al., 2006, *Int. J. Hyg. Environ.-Health* 209: 221–233 ; Heffernan et al., 2016, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 23436-23448 ; Osaka et al., 2016, *Environ. Res.* 147: 89-96 ; CDC, 2017, 4th National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables, January 2017 ; Glorennec et al., 2017, *Environ. Int.* 104: 76-82 ; Galea et al., 2015, *J. Expos. Sci. Environ. Epidemiol.* 25 : 623-631.

Mots-clés : pesticides, enfants, organophosphorés, pyréthrynoïdes.

Estimation de l'exposition aux pesticides des personnes travaillant dans les vergers de pommes (Etude CANEPA)

Bureau Mathilde (1), Béziat Béatrix (1), Duporté Geoffroy (2), Lecluse Yannick (3), Schwall Xavier (1), Bouchart Valérie (3 et 4), Riou Gaëlle (4), Barron Emmanuelle (2), Dévier Marie-Hélène (2), Garrigou Alain (1), Lebailly Pierre (3), Budzinski Hélène (2) et Baldi Isabelle (1)

- (1) Equipe EPICENE, Bordeaux Population Health Center - Inserm U1219, Université de Bordeaux - ISPED Case 11, 146 rue Léo Saignat, 33076 BORDEAUX Cedex
 (2) Equipe LPTC, EPOC UMR 5805, Université de Bordeaux - CNRS, 351 cours de la libération, 33405 TALENCE Cedex
 (3) Equipe Anticipa, UMR 1086, Université de Caen-Normandie - Inserm, Centre François Baclesse, 3 avenue du Général Harris, 14076 CAEN Cedex
 5
 (4) Laboratoire LABÉO Frank Duncombe, 1 route de Rosel - Saint-Contest, 14053 CAEN Cedex 4

La question des effets des pesticides sur la santé est un sujet de préoccupation croissante pour les professionnels et pour la population générale. Pourtant, les connaissances sur ces expositions (niveaux, déterminants) sont très limitées. Dans le secteur agricole français, le nombre de professionnels exposés aux pesticides est très élevé (environ un million). Il est donc essentiel de mieux comprendre les circonstances des expositions de manière à pouvoir les diminuer et à en étudier les effets sur la santé. L'étude CANEPA s'inscrit dans la poursuite du programme PESTEXPO, mis en place en Aquitaine et en Basse-Normandie en 2000, dans lequel des études d'observation en champ dans les conditions habituelles de travail ont été réalisées. Au cours des années passées, les études ainsi menées ont porté sur les traitements fongicides et herbicides sur vigne, blé, maïs et cultures maraîchères sous serres et en plein champ.

L'étude CANEPA, menée de 2016 à mi-2018 a pour objectif de documenter les expositions aux pesticides des personnes travaillant dans les vergers de pommes en France. Les observations ont porté sur deux molécules représentatives des traitements fongicides, le dithianon et le captane, toutes deux utilisées contre la tavelure du pommier, principale maladie des pommes. L'étude comportait trois volets dont l'un portant sur l'exposition professionnelle. Il consistait à analyser les situations de travail et à mesurer la contamination externe du travailleur lors de journées de traitement, de réentrée et de récolte dans 3 régions de production de pommes (Normandie, Rhône-Alpes et Sud-Ouest). Pour cela, des patches (compresses en coton) ont été disposés sur 11 zones du corps de la personne observée, et des gants en coton ont été fournis pour les mains. L'ensemble était changé à chaque phase du travail (préparation, application, nettoyage) ou par demi-journée (réentrées, récoltes). Les quantités de captane et de dithianon retrouvées sont en cours de détermination par des dosages en chromatographie liquide couplé avec un détecteur UV-DAD pour les patches et en chromatographie liquide ou gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem pour les gants. Cette analyse est couplée à une approche ergonomique qui permet d'enrichir les observations en caractérisant finement certains déterminants de l'exposition (matériels et outils utilisés, types de postures et de contacts de zones du corps avec des surfaces potentiellement contaminées, équipements de protection individuels portés, survenue d'incidents, etc.).

Ce volet a été déployé sur 3 régions de production de pommes à savoir la Normandie, le Rhône-Alpes et le Sud-Ouest. Au total, 24 exploitations ont participé au cours des deux années d'observations, dont 15 dans le Sud-Ouest. Au cours des années 2016 et 2017, 158 journées d'observation ont été menées : 31 lors de traitements, 69 lors de travaux de réentrée et 58 lors de récoltes. Au total, plus de 3800 échantillons ont été recueillis et sont en cours de caractérisation des niveaux de captane, THPI (métabolite du captane) et dithianon. Sur 4 exploitations, un volet environnemental a été déployé. Ainsi, les résidus de pesticides à la surface des pommes et des feuilles (résidus délogeables) ont été déterminés au cours de journées communes d'observation sur le terrain. Des prélèvements à l'aide de lingettes ont également été effectués pour échantillonner le matériel manipulé par les travailleurs. L'analyse de ces échantillons par chromatographie liquide ou gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem a permis de mettre en évidence des sources d'exposition importantes au cours de ce projet.

Une méthodologie pour analyser les tâches réalisées par les travailleurs est en cours de développement via l'utilisation du logiciel Captiv[®]. Dans un second temps, il est prévu de croiser les données recueillies sur le terrain (température, typologie de l'exploitation, caractéristiques du verger) avec les niveaux d'exposition de chaque travailleur et de son environnement, puis de les coupler à l'analyse ergonomique afin de comprendre les déterminants des expositions observées. Les résultats de cette étude permettront d'une part de construire des algorithmes estimant l'exposition aux pesticides des arboriculteurs dans les études épidémiologiques en cours (AGRICAN,...), et d'autre part d'orienter des mesures de prévention visant à diminuer l'exposition des travailleurs agricoles. Elles seront également mises en relation avec les mesures de pesticides réalisées dans le volet environnemental.

Mots-clés : exposition professionnelle, pesticides, arboriculture, dithianon, captane

Impact, *in vitro*, de produits phytoprotecteurs utilisés dans les pommeraies sur les cellules immuno-inflammatoire cutanées

Parny Mélissa (1, 2, 3), Bernad José (2), Coste Agnès (2), Pipy Bernard (2), Treilhou Michel (1)

(1) Équipe EA 7417, BTSB, Université de Toulouse, CUFR Champollion, Place de Verdun, 81012 Albi, France

(2) UMR 152-Pharma-Dev, Université de Toulouse, CHU Rangueil, 1 Avenue Jean Poulhès, 31432 Toulouse, France

Contexte et objectifs

L'utilisation intensive des produits phytosanitaires (fongicides, insecticides) en arboriculture fruitière représente un facteur de risque pour la santé humaine plus particulièrement des professionnels de l'arboriculture fruitière⁵. Cette exposition, lors ou après traitement des parcelles, peut se produire par inhalation ou par contact cutané. L'objectif de nos recherches est d'évaluer *in vitro* et *in vivo* l'impact sur le système immuno-inflammatoire cutané des fongicides (boscalide, captane, dithianon, thiophanate, ziram) et insecticides (chlorpyrifos, thiaclopride) utilisés en pratique courante dans les pommeraies du Tarn-et-Garonne. La peau constitue une barrière mécanique et immunologique efficace contre les agressions extérieures (xénobiotiques, polluants, allergènes). Les kératinocytes qui sont les cellules clé de la barrière cutanée jouent un rôle central dans l'immunité innée de ce tissu. En effet, ces cellules qui sont la principale cible des agressions et source de médiateurs lipidiques, cytokines et chimiokines de la peau orchestrent la réponse inflammatoire cutanée en assurant le recrutement des neutrophiles et des monocytes, la différenciation et l'activation des monocytes en macrophages.

Méthodologie

Notre travail a porté sur l'effet des fongicides et insecticides sur les monocytes humains de donneurs sains, sur des kératinocytes et sur des co-cultures kératinocytes monocytes. Le modèle de co-culture kératinocytes monocytes de part et d'autre d'une membrane perméable nous a permis d'évaluer si des kératinocytes exposés à des UVA et à des pesticides pouvaient déclencher un signal de différenciation et d'activation des monocytes de sang circulant. Afin de mimer au mieux l'exposition potentielle des professionnels de l'arboriculture fruitière aux pesticides dans une zone traitée, nous avons exposé les cellules en culture à des doses représentatives d'une exposition aiguë aux pesticides sélectionnés. Pour cela, nous avons choisi de faibles concentrations de pesticides proches de celles que l'on peut retrouver dans les liquides biologiques des professionnels (sang, urines). Les paramètres étudiés sur les monocytes et sur les kératinocytes ont été la mortalité cellulaire (évaluation du taux de lactate déshydrogénase, LDH, dans les milieux de culture). Sur les monocytes/macrophages, nous avons évalué l'impact des pesticides l'hyperactivité oxydative (capacité de ces cellules à produire des radicaux libres oxygénés microbicides et pro-inflammatoires), la fonction phagocytaire et la production des cytokines (pro- et anti-inflammatoires). Sur les kératinocytes, nous avons déterminé le stress oxydant et la production des cytokines. Pour évaluer au mieux la réalité de terrain, lors de certaines expériences, nous avons exposé les kératinocytes à des UVA.

Résultats et discussion

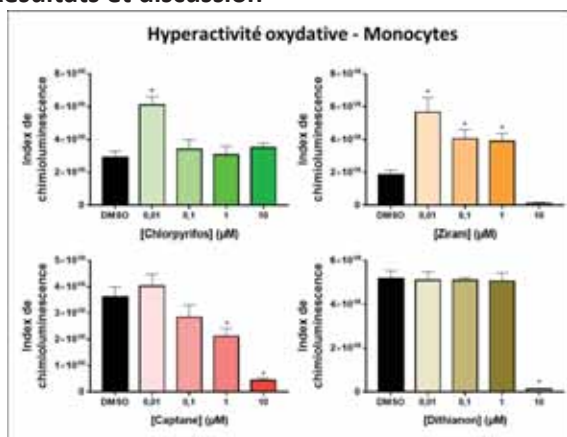


Fig 1. Effets d'une exposition aux pesticides sur l'hyper-activité oxydative des monocytes humains. Les données correspondent à la moyenne \pm SEM, n=18.

⁵ Pesticides – Effets sur la santé, éditions INSERM, juillet 2013, 1014 pages, Collection Expertise collective, ISBN 978-2-85598-905-1

Sur les macrophages et kératinocytes, nous avons montré que parmi les 7 pesticides testés, seuls le captane, le dithianon et le zirame induisaient une faible toxicité cellulaire à 10 µM. Sur les macrophages, nous avons montré que le chlorpyrifos augmente l'hyperactivité oxydative à faible dose. Le zirame augmente puis diminue cette hyperactivité oxydative à forte dose. Le captane et le dithianon présentent, quant à eux, des effets inhibiteurs à fortes doses (Fig. 1). Parallèlement, nous montrons que le zirame à 0,1 µM augmente la phagocytose de la paroi de levure (*S. cerevisiae*) par les macrophages alors qu'il l'inhibe à 10 µM. En ce qui concerne les cytokines, le chlorpyrifos n'affecte pas la production des cytokines tandis que le zirame à 1 et 10 µM diminue la production d'IL-1β et de TNFα par les macrophages stimulés par des agonistes inflammatoires (TPA ou LPS). Cela est en adéquation avec les résultats de Corsini qui montrent que le zirame diminue la sécrétion de TNFα par des cellules monocytaires THP-1 stimulées au LPS⁶. L'étude de l'expression de gènes, marqueurs de la différenciation/activation des macrophages par RT-PCR, nous a permis de voir que seul le gène de l'*Arg1* était induit par le zirame à 10 µM. ce qui suggère que ce pesticide favoriserait la différenciation des monocytes en macrophages à potentialité anti-inflammatoire et immunotolérante.

Les effets des pesticides sur les kératinocytes ont été évalués seuls ou associés à une irradiation par des UVA. Dans cette étude, nous avons choisi une irradiation de 10 min qui n'impacte pas la production des radicaux libres oxygénés (RLO) par les kératinocytes. Parmi les 7 pesticides étudiés, seuls le boscalide et le captane ont des effets propres sur la production des RLO par les kératinocytes à 10 µM (Fig. 2A) tandis que les autres pesticides n'ont pas d'effet (Fig. 2B, 2C). De manière intéressante, nous montrons que les pesticides, qui n'avaient pas d'effet direct, déclenchent, cette fois, la production de RLO par les kératinocytes sensibilisés par les UVA (Fig. 2B, 2C). Les UVs étant connus pour être impliqués dans le développement de cancers de la peau, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'une exposition aux pesticides associée à une exposition, même de courte durée, au soleil pourrait accroître le risque immunotoxique. Des études sont en cours pour définir l'effet de l'interaction des kératinocytes irradiés, en présence ou non des pesticides, sur la différenciation des monocytes en macrophages *in vitro* et *in vivo*.

Remerciements : ce projet a bénéficié d'un soutien financier de la région Occitanie et du FEDER dans le cadre du projet NewPOM.

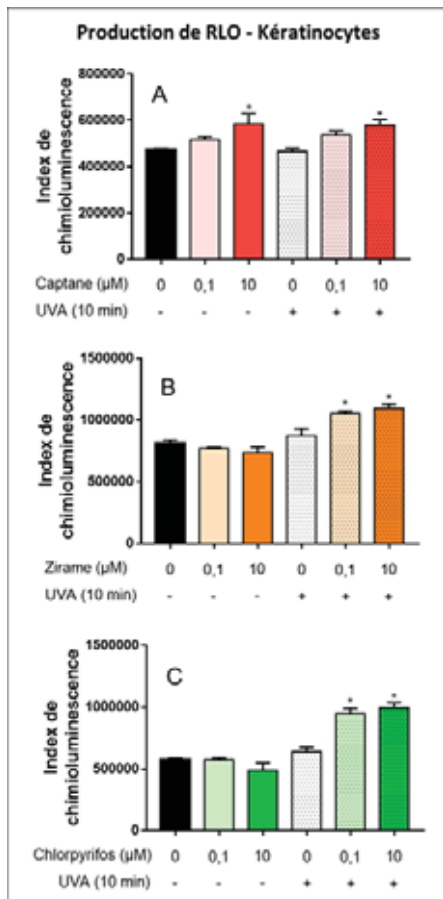


Fig 2. Effets d'une exposition aux pesticides sur la production de RLO par les kératinocytes après irradiations. Les données correspondent à la moyenne ± SEM, n=4. (*p<0.05)

Mots-clés : pesticides, exposition cutanée, monocytes, kératinocytes, UV

⁶ Corsini, E. et al. (2006). Molecular mechanisms underlying mancozeb-induced inhibition of TNF-alpha production. *Toxicology* 212, 89-98

La pomme du Limousin : mesure de la perception du fruit et de son label, évaluation du risque sanitaire

Cécile McLaughlin (1), Marie-Pierre Pinto (2)

(1) CeReS, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Limoges

(2) CeReS, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Limoges

D'après plusieurs enquêtes nationales, l'utilisation de produits phytosanitaires inquiète de plus en plus les Français et modifie leurs habitudes alimentaires. 20% des Français disent qu'ils ont moins confiance dans les fruits et légumes frais qu'ils consomment. Les raisons invoquées par 57% d'entre eux sont les traitements chimiques et parmi eux, en tête, les pesticides (pour 24%).

Dans ce contexte national, et suite au scandale médiatique des producteurs de pommes de Corrèze, l'objectif de notre recherche est d'évaluer sur le territoire la perception de la pomme du Limousin et de son label, la sensibilité des consommateurs aux risques sanitaires liés à l'utilisation des pesticides, ainsi que leurs comportements d'achat de pommes.

Les émissions télévisées, les reportages et articles de presse sur le « triangle de la mort » ont souligné la nocivité de certains produits phytosanitaires utilisés par les producteurs de pommes. Et pourtant, La pomme est le fruit le plus consommé par les Français.

Une enquête a été réalisée auprès d'un échantillon de 750 personnes de la Haute-Vienne et de la Corrèze, Les énoncés présentés par les enquêteurs ont pour objectifs :

- d'appréhender la connaissance des variétés de pommes existantes par les consommateurs du territoire Limousin et des labels ;

- les comportements de consommation ;

- la sensibilité aux risques sanitaires liés à l'utilisation de pesticides.

L'interviewé donne son niveau d'accord ou de désaccord sur une échelle à 4 modalités, inspirée des échelles de Likert. D'autres questions, notamment sur la question des pesticides utilisent des échelles bipolaires sémantiques pour mesurer la sensibilité (tout à fait sensible/pas du tout sensible) ou des échelles de fréquence. La dernière partie du questionnaire est relative à l'identification des personnes interrogées, notamment leur profil socio-démographique.

Les principaux résultats de cette enquête seront présentés dans cette communication.

Mots-clés : enquête, usagers, perception, comportements, pommes

Exposition professionnelle des viticulteurs aux pesticides arsenicaux : prévalences d'exposition entre 1979 et 2000

Laura Chaperon^{1,2} Johan Spinosi^{1,2}, Delphine Jezewski-Serra¹, Mounia El Yamani¹

(1) *Santé publique France, Saint-Maurice, France*

(2) *Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance en transport, travail et environnement (Umrestte), Université de Lyon, Lyon, France*

OBJECTIFS

Les pesticides arsenicaux sont un ensemble de substances actives phytopharmaceutiques classé cancérigène certain par le Circ depuis 1980. Ils ont été utilisés en agriculture dès la fin du XIX^{ème} siècle pour lutter contre plusieurs ravageurs des cultures en tant qu'insecticides ou fongicides. Leur usage a été interdit en France en 1973, excepté en viticulture où l'arsénite de sodium a été autorisé jusqu'en 2001 pour lutter contre une maladie fongique du bois : l'esca. L'exposition professionnelle aux pesticides arsenicaux fait l'objet depuis le 17 juin 1955 d'un tableau de maladie professionnelle pour le régime agricole dont le délai de prise en charge est de 40 ans. Cela signifie qu'un délai de plusieurs dizaines d'années peut s'écouler entre la dernière exposition à ces nuisances et la survenue de la maladie. L'étude de l'usage des pesticides arsenicaux a fait l'objet d'une matrice culture exposition dans la cadre du projet Matphyto de Santé publique France. La description complète de la population exposée (effectifs, âges, genre, etc.) n'a cependant pas encore été réalisée. L'objectif de cette étude est d'évaluer, à notre connaissance pour la première fois en France, de manière rétrospective et exhaustive les expositions aux pesticides arsenicaux avec un calcul des prévalences d'exposition chez les viticulteurs en France.

METHODES

Les travailleurs agricoles sont identifiés grâce aux recensements agricoles (1979/1988/2000). Sont distingués au sein des recensements, les travailleurs des exploitations viticoles professionnelles (seules utilisatrices d'arsenic), de celles cultivant la vigne de manière récréative. Les expositions aux pesticides arsenicaux sont évaluées en utilisant une matrice cultures-exposition spécifique (Matphyto-As). Les indicateurs d'exposition (probabilité, fréquence et intensité) sont calculés en accord avec les années des recensements agricoles. Les effectifs des travailleurs exposés sont calculés en utilisant les probabilités d'usage de Matphyto-As et les effectifs de la main d'œuvre présente au sein des exploitations viticoles professionnelles. Les prévalences d'exposition sont calculées en comparant ces effectifs exposés avec les effectifs des autres travailleurs agricoles.

RESULTATS

Entre 1979 et 2000, la prévalence d'exposition parmi l'ensemble des travailleurs de l'agriculture est stable (3,6% à 4,2%). Elle augmente chez les travailleurs d'exploitations cultivant de la vigne (10,5% à 19,6%) et chez celles cultivant professionnellement de la vigne (20% à 25%). Quant aux effectifs exposés, ils diminuent de près de 40% (101 359 à 61 376) entre 1979 et 2000.

CONCLUSION

Cette étude est la première à documenter la prévalence d'exposition et les effectifs de viticulteurs exposés aux dérivés arsenicaux. Bien qu'interdits depuis 2001, du fait de leurs effets cancérigènes avérés, de leur latence et des effectifs conséquents calculés, il semble important de sensibiliser les médecins (du travail et généralistes) ainsi que les travailleurs pour un meilleur suivi post professionnel et, le cas échéant, une reconnaissance en maladie professionnelle.

Mots-clés : pesticides / exposition / arsenic / prévalence / viticulture

Impact des pratiques d'utilisation des pesticides dans la zone des *Niayes* de Dakar au Sénégal

Diop Amadou (1,2), Cazier Fabrice (3), Diop Yérém Mbagnick (1), Delattre François (2)

(1) UCAD, Laboratoire de Chimie Analytique et Bromatologie, BP 5005 Dakar, Sénégal

(2) ULCO, UCEIV, F-59140 Dunkerque, France

(3) ULCO, CCM, F-59140 Dunkerque, France

L'agriculture urbaine dans la zone des Niayes de Dakar fournit 60% des besoins en légumes de cette région à fort taux d'urbanisation. De fait, les maraîchers de cette zone font de plus en plus recours aux pesticides pour lutter contre les ravageurs et maladies des cultures ce qui soulève un certain nombre de questionnements en matière sur les pratiques, les niveaux de contamination et la santé des utilisateurs et consommateurs.

Ainsi, une enquête de terrain a pu montrer que les pesticides appliqués ne sont pas généralement homologués et certains d'entre eux sont des polluants organiques persistants et donc interdits d'utilisation au Sénégal. Les pratiques d'utilisation (fréquences, quantités appliquées, conditions de stockage, méthodes d'élimination des emballages) ne respectent pas les règles prescrites par les bonnes pratiques agricoles.

Les analyses physico-chimiques ont porté sur 80 échantillons d'eaux souterraines, 119 de sols et 175 de légumes, qui ont été collectés au niveau des sites de Niaga, de Thiaroye, de Cambérène et de Malika sur quatre campagnes. Les résultats montrent des niveaux de contamination environnementale élevés de la zone des Niayes dont près de 56% des points d'eau ont présenté au moins une substance dont la concentration moyenne est supérieure à la norme de qualité correspondante et 38% ne respectaient pas la norme de concentration totale. Pour les légumes, des pourcentages de non-conformité variant entre 58 et 76% selon les sites ont été obtenus. Les apports journaliers estimés ont montré que près de 80% des quantités de résidus de pesticide ingérables correspondent aux résidus des trois premières classes de pesticides (extrêmement dangereux, hautement dangereux et modérément dangereux) selon l'OMS. Cette observation montre que le risque lié à l'exposition des populations aux aliments et à l'eau contaminée est réel.

Impact de la Chlordécone sur le développement du cancer de la prostate chez un modèle animal, le rat TRAP (ANR Chlorprost).

F. Laurent^{1,2}, C. Canlet², M Tremblay-Franco², B Roques², A Bousquet-Melou², M Lagarrigue³, C Pineau³, P Verrando², R Rahmani², P Balaguer⁴, V Cavailles⁴.

(1) Ecolab UMR 5245, UPS-CNRS-ENPT

(2) Toxalim, UMR 1331 INRA-UPS-ENVIT-INPT

(3) IRSET (PCFB) U1085, INSERM

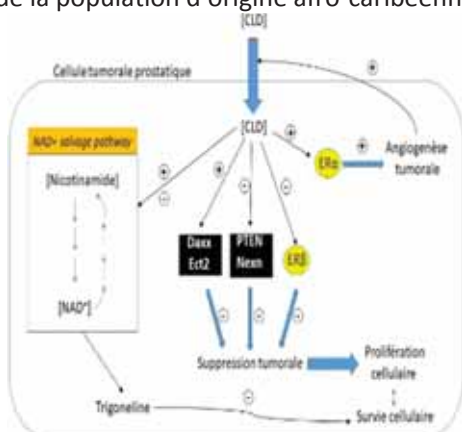
(4) IRCM (HSC), U896, INSERM.

L'utilisation de la chlordécone (CLD), un insecticide organochloré persistant utilisé de 1973 à 1993 dans les bananeraies des Antilles françaises a entraîné la contamination des sols et de l'environnement. Cette pollution entraîne l'exposition de la population par voies alimentaires (contamination des denrées végétales, de la viande, de la pêche) et constitue pour ces îles un enjeu majeur de santé publique. Elle engendre une grande défiance vis-à-vis du secteur agricole et de la pêche et un risque sanitaire pour la population. Des études épidémiologiques lient cette pollution à la Chlordécone à un risque accru, en outre, de cancer de la prostate chez les hommes d'origine afro-caribéenne.

L'objectif de cette étude était de confirmer le lien entre une exposition alimentaire à la chlordécone et le développement d'un cancer prostatique. Il s'agissait d'étudier chez le rat la pharmacocinétique de la CLD et l'exposition tissulaire, puis chez un animal modèle de développement du cancer de la prostate, le rat SD TRAP, de déterminer l'impact d'une exposition longue sur le transcriptome et le métabolome de la prostate, en précisant le rôle perturbateur endocrinien de cette molécule. Tout d'abord, des rats Sprague-Dawley (SD) sains ont reçu par voie orale 5 mg/kg de CLD radiomarquée au carbone 14 pour suivre au cours du temps (35 j) le devenir de la molécule dans l'organisme (absorption, distribution, métabolisme et excrétion) avec une attention particulière pour la distribution de la CLD dans la sphère uro-génitale. D'autre part, des rats SD porteurs d'un cancer de la prostate (rat SD TRAP) auxquels est administré durant 14 semaines par voie orale une dose hebdomadaire de 5 mg/kg de CLD. Le gavage à la CLD a débuté à la 6^{ème} semaine, soit après l'induction du carcinome prostatique. Les prostates de ces derniers ont ensuite été analysées (i) par imagerie MALDI (désorption/ionisation par laser assistée par la matrice) pour doser la CLD et déterminer sa répartition dans le tissu sain et tumoral ; (ii) en transcriptomique pour déterminer quels sont les gènes dont l'expression est modifiée par la CLD et (iii) en métabolomique par RMN (résonance magnétique nucléaire) pour déterminer la modification du métabolisme de base du tissu prostatique. Enfin, des études sur des modèles cellulaires ont permis de mieux caractériser la perturbation endocrinienne exercée par la CLD.

Une accumulation de la CLD a été mise en évidence, d'une part dans le tissu prostatique sain avec une demi-vie de la molécule plus longue que dans les autres tissus (foie excepté) et d'autre part, plus spécifiquement dans les nodules tumoraux avec une concentration en CLD 4 à 5 fois supérieures à celle du tissu sain environnant. Ces travaux ont, de plus, confirmé l'effet agoniste de la CLD sur le récepteur aux œstrogènes ER α et antagoniste partiel sur ER β , favorisant ainsi l'angiogenèse tumorale, angiogenèse qui favoriserait ensuite plus spécifiquement l'accumulation de la CLD dans les nodules tumoraux.

Toutefois, cette accumulation n'a que peu d'impact sur l'expression des gènes impliqués dans la cancérogénèse prostatique, allant cependant dans le sens d'une promotion de la cancérogénèse. Par contre, la CLD perturberait la voie de biosynthèse de la nicotinamide, vitamine B3, co-enzyme essentiel à la survie cellulaire. Cet effet paradoxal devra être explicité par des études ultérieures prenant en considération le polymorphisme spécifique des gènes prostatiques de la population d'origine afro-caribéennes.



Références :

L Multigner L, Ndong JR, Guisti A, Romana M, Dealcroix-Maillard H, Cordier S, Jegou B, Thome J-P and Banchat P (2010). J Clin Oncol, 28, 3457-3462.

N Clere, E Lauret, Y Malthiery, R Andriantsitohaina, S Faure (2010). Angiogenesis, 15, 745-760.

Ce projet a été soutenu par l'ANR CESA 2013-2016.

Figure 1 : Mode d'action putatif de la Chlordécone dans le tissu prostatique

A new tool to assess the ecotoxicological impact of β -triketone herbicides on soil microbial communities.

Thiour-Mauprivez Clémence (1,2), Calvayrac Christophe (1), Barthelmebs Lise (1), Martin-Laurent Fabrice (2)

(1) BAE-LBBM, USR3579 University Perpignan Via Domitia, F-66860, Perpignan, France

(2) AgroSup Dijon, INRA, Université de Bourgogne, Agroécologie, BP 86510, 21065 Dijon, France

The β -triketone herbicides are post-emergence maize selective herbicides that have been introduced on the market, in replacement of atrazine, banned in Europe in 2004. Qualified as “eco-friendly”, since they are based on natural phytotoxin properties, these herbicides target an enzyme involved in carotenoid biosynthesis called 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD) encoded by the *hppd* gene. The inhibition of this enzyme provokes bleaching symptoms, necrosis and death of weeds.

The *hppd* gene is not only found in eukaryotes such as plants, animals and humans but also in prokaryotes such as fungi, yeasts and bacteria. In recent studies, we showed that, within the soil bacterial community, many of them possess a functional HPPD enzyme involved in tyrosine metabolism¹⁻³. However, although soil microorganisms are classified as “non-target organisms” according to EU regulation for authorization of pesticides, they may harbor the target of the β -triketone herbicides and consequently might be affected in response to its exposure. From this point of view, the bacterial community harboring the *hppd* gene might be a relevant bioindicator to assess, *a priori*, the possible risks incurred by the soil ecosystem in response to an exposition to β -triketone herbicides. This bioindicator could also be helpful to assess, *a posteriori*, the ecotoxicological impact of β -triketone herbicides on soil bacterial diversity and abundance.

Within this context, the aim of our work is to check for the interest of *hppd* bacterial community as a bioindicator of exposition and/or of impact sensitive to β -triketone herbicides. This will require the development of a molecular toolbox to assess the abundance, and diversity of the *hppd* bacterial community in various arable soils exposed to β -triketone herbicides. The abundance of the *hppd* bacterial community will be monitored from the nucleic acids extracted directly from soils. Moreover, the diversity of the *hppd* community will be evaluated thanks to high-throughput sequencing of *hppd* amplicons obtained from the DNA and RNA extracted from the soils. Our results will lead to the selection of a set of characteristic *hppd* sequences, allowing the development of *hppd* DNA chips to assess the ecotoxicological impact of β -triketone herbicides on soil bacterial diversity.

1. Romdhane, S. *et al.* Evidence for photolytic and microbial degradation processes in the dissipation of leptospermone, a natural β -triketone herbicide. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 1–12 (2017). doi:10.1007/s11356-017-9728-4
2. Romdhane, S. *et al.* Isolation and characterization of Bradyrhizobium sp. SR1 degrading two β -triketone herbicides. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **23**, 4138–4148 (2016).
3. Calvayrac, C. *et al.* Isolation and characterisation of a bacterial strain degrading the herbicide sulcotrione from an agricultural soil. *Pest Manag. Sci.* **68**, 340–347 (2012).

Mots-clés : β -triketone herbicides, HPPD, non-target microorganisms, soil microbial communities, biomarker.

Devenir de la chlordécone dans les milieux côtiers : bilan des dernières études menées en Guadeloupe et en Martinique

Charlotte R. DROMARD (1), Damien DEVAULT (2), Yolande BOUCHON-NAVARO (1), Jean-Pierre ALLENOU (3), Hélène BUDZINSKI (2), Sébastien CORDONNIER (1), Nathalie TAPIE (2), Lionel REYNAL (3), Soazig LEMOINE (1), Emmanuel THOUARD (3), Dominique MONTI (1), Claude BOUCHON (1)

(1) UMR BOREA, CNRS 7208 – MNHN – Sorbonne Université – UCN – IRD 207 – UA, Laboratoire d'Excellence « CORAIL », Université des Antilles, Campus de Fouillole, 97157 Pointe-à-Pitre, Guadeloupe

(2) UMR CNRS 5805 EPOC – OASU, Équipe LPTC, Université de Bordeaux, 351 Cours de la libération, 33405 Talence Cedex

(3) IFREMER, Unité Biodiversité et Environnement de la Martinique, 79 route de Pointe Fort, 97231 Le Robert

Trois études ont été conduites afin de comprendre les mécanismes de transfert de la chlordécone depuis le milieu terrestre et les rivières vers les organismes marins côtiers.

La modification de la sorption de la chlordécone sur les particules terrigènes en suspension dans l'eau a été testée. L'objectif était de comprendre pourquoi la chlordécone ne semble pas être piégée massivement dans les sédiments des baies, pourtant riches en argiles et en matière organique. Une expérience a porté sur des allophanes contaminés, qui sont des éléments constitutifs des matières en suspension dans l'eau (MES). Ces allophanes ont été remis en suspension dans des eaux de salinité croissante de 0 à 35 ‰. L'expérience a démontré l'absence de désorption de l'insecticide, mais au contraire, un piégeage accru de la chlordécone par ces particules.

Cette expérience pourrait également expliquer la forte contamination du compartiment planctonique (>500 µm), intimement lié aux MES. Le facteur de bioconcentration, mesuré aux embouchures des rivières, s'échelonne entre 440 et 27200 fois la teneur de chlordécone dans l'eau et confirme la grande réceptivité du plancton vis à vis de ce polluant.

Dans les chaînes alimentaires des écosystèmes côtiers (mangroves, herbiers de Phanérogames marines, récifs coralliens), la concentration en chlordécone augmente avec le niveau trophique des organismes dans les herbiers et les récifs. Cela atteste de la prépondérance d'un phénomène de bioamplification (contamination par voie trophique) dans ces habitats. La bioamplification n'a pas été démontrée en mangrove, ce qui suggère que la bioconcentration (ou contamination par « bain ») prévaut sur la bioamplification dans ce dernier habitat.

Compte tenu de ces résultats, il apparaît nécessaire de développer des travaux sur la dynamique de transfert de la chlordécone, mais aussi des autres micropolluants organiques, entre l'eau, les MES, les sédiments et les organismes.

Caractérisation de la pression phytosanitaire dans les vignobles tunisiens

Bouagga Ala, Chaabane Hanène, Chtioui Wiém, Mougou Hamdane Amira, Naraoui Bouzid

Institut National Agronomique de Tunisie, INAT, 43 Avenue Charles Nicolle 1082 Tunis

La viticulture compte parmi les secteurs les plus consommables en pesticides en Tunisie. Les agriculteurs interviennent principalement par voie chimique pour minimiser les pertes de rendements à la récolte. Cette utilisation excessive et non raisonnée de pesticides peut être accompagnée, dans certains cas, d'un non respect des Bonnes Pratiques Phytosanitaires.

Dans le cadre de ce travail, un diagnostic de l'état phytosanitaire est nécessaire afin de s'orienter vers une utilisation plus raisonnable des pesticides dans l'intérêt commun de l'agriculteur et du consommateur.

L'enquête a été menée dans les différentes régions en Tunisie. Au total, 27 viticulteurs ont été visités entre les années 2015 et 2017. Les questions posées ont porté essentiellement sur les traitements appliqués (produit, dose d'application, date de traitement, bioagresseur ciblé). Pour mesurer l'intensité des produits phytosanitaires dans les parcelles, nous avons calculé l'indice de fréquence de traitement (IFT), pour les agriculteurs qui ont présenté un historique de traitements.

Dans l'ensemble des vignobles, les traitements chimiques ont été effectués dès le mois de février (traitement d'hiver) jusqu'au mois de septembre, avec une fréquence d'application tous les 10-15 jours. Les fongicides sont les plus utilisés par les viticulteurs, par rapport aux insecticides. Dans certains cas, l'utilisation des produits chimiques est accompagnée par le non respect des Bonnes Pratiques Phytosanitaires (traitement avec des produits non autorisés sur le marché et non respect de la dose homologuée).

La détermination des indices ont montré que les valeurs de l'IFT varient entre 28,1 et 64,8. Etant donné que pour la première fois que ce type d'indice est calculé en Tunisie et que nous ne disposons pas d'IFT de référence, nous avons choisi de comparer nos valeurs à ceux calculés en France. De ce fait, le calcul de l'IFT pour les produits hors herbicides varie entre 7,97 et 22,05, dans les principales régions viticoles en France. Par conséquent, nos indices paraissent élevés par rapport aux valeurs françaises.

Il est important donc de mettre en place un programme de sensibilisation et de surveillance à l'échelle nationale, pour pouvoir minimiser l'utilisation des pesticides dans le domaine viticole, afin de protéger la santé environnementale et humaine.

Quand les intrants agricoles favorisent la pullulation des moustiques

Frédéric Darriet

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), MIVEGEC (IRD, CNRS, Universités de Montpellier, Maladies Infectieuses et Vecteurs, Ecologie, Génétique, Evolution et Contrôle), 911 Avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5

Nombre d'étendues favorables à la pullulation des moustiques sont représentées par des terrains agricoles, les plus prolifiques étant les surfaces en eau que constituent les cultures irriguées. Ces dernières, principalement représentées par les rizières et les maraîchers, « produisent en masse » des moustiques vecteurs de pathogènes affectant la santé des hommes (paludisme, encéphalite japonaise, filarioses lymphatiques, West Nile virus...). De tous les pathogènes transmis à l'homme par les moustiques, le paludisme est incontestablement la plus meurtrière. Au niveau mondial, le nombre de cas de paludisme a été estimé à 212 millions en 2015 avec un nombre de décès de 429 000 personnes, dont 70% étaient des enfants de moins de cinq ans [1].

Les engrais de type NPK (N = azote, P = phosphore et K = potassium) se sont révélés attirer les femelles de moustiques à la recherche d'un lieu de ponte [2,3]. La fertilisation du riz se fait habituellement au moment du repiquage, lorsque les eaux de la rizière sont chaudes et ensoleillées et donc déjà favorables au développement des moustiques. Dans les régions de monoculture intensive rencontrées en Chine, en Inde, dans les pays du Sud-est asiatique et de l'Indonésie, les ravageurs représentent une menace réelle pour la plante, d'où l'utilisation des insecticides. L'application répétée de ces derniers favorise l'apparition de résistances chez les ravageurs des cultures et les moustiques tout en entraînant la raréfaction de la faune prédatrice [4].

Attirés par les engrais, les moustiques viennent pondre en masse dans les cultures irriguées, et donc, inévitablement, des quantités très importantes de larves subissent l'action toxique des insecticides. La pression de sélection est souvent élevée et les mécanismes de résistance présents chez les moustiques se retrouvent sélectionnés d'autant plus rapidement que la fréquence des fumures minérales et des traitements insecticides est soutenue. L'azote, le phosphore et le potassium apportés par l'engrais ne sont pas directement assimilés par les larves de moustiques mais ces trois minéraux favorisent le développement des bactéries et des algues présentes dans les milieux. Les larves de moustiques exploitent cette biomasse additionnelle pour croître et proliférer. Ainsi, dans les gîtes larvaires qui contiennent des engrais, les taux de survie des moustiques sont 2 à 3 fois supérieurs que dans les collections d'eau qui n'en contiennent pas. De même, dans les eaux polluées par ces intrants, la vitesse de croissance des larves s'est montrée 2 à 4 fois supérieure à celle enregistrée dans les eaux claires [5-6].

Pour faire face à cette situation, la lutte intégrée préconise la diminution du nombre des traitements insecticides. Il en résulte, c'est vrai, des pressions de sélection moins grandes sur les ravageurs des cultures et les moustiques ; néanmoins, si l'agriculteur diminue sa consommation en insecticides, il lui faudrait dans le même temps, abaisser sa consommation en engrais pour ne pas voir ses cultures irriguées produire plus de moustiques encore. Le seul moyen pour que ces étendues agricoles produisent à la fois moins de ravageurs nuisibles aux plantes et moins de moustiques, consisterait à incorporer à l'engrais, un insecticide chimique ou biologique.

Cette stratégie de lutte mixte santé publique/agriculture ne doit toutefois pas outrepasser les principes fondateurs de la lutte intégrée. Le mélange de plusieurs intrants génère en effet un panel d'actions dont chacune vise une cible différente : la plante (engrais), le ravageur et/ou le moustique (insecticide) [7]. Dans la mesure où l'interface agriculture/santé ne relève ni des compétences de l'agriculteur, ni de celles des services de la lutte antivectorielle, il apparaît à ce niveau un champ de recherche aujourd'hui encore, inexploré. Un tel partenariat entre les agronomes, les agriculteurs et les services de démoustication créerait une synergie à même d'initier des programmes de recherches pluridisciplinaires, dont la finalité serait de protéger les cultures tout en visant à réduire au mieux les densités de moustiques. La réduction des densités de moustiques à l'intérieur des périmètres irrigués permettrait d'ailleurs aussi de réduire les pertes économiques générées par les maladies à transmission vectorielle. Un homme ou une femme malade ne peut en effet plus se rendre à son lieu de travail ou tout simplement plus cultiver son champ. Ces effets ont des répercussions importantes sur le revenu familial, qui lui-même conditionne la ration alimentaire et l'hygiène de tous les jours.

Références

- [1] OMS., 2016 – *World malaria report 2016*. Genève, Suisse.
- [2] Darriet F., Corbel V., 2008 – Influence des engrais de type NPK sur l'oviposition d'*Aedes aegypti*. *Parasite*, 15: 89-92.
- [3] Darriet F., Zumbo B., Corbel V., Chandre F., 2010 – Influence des matières végétales et des engrais NPK sur la biologie de *Aedes aegypti* (Diptera : Culicidae). *Parasite*, 17: 149-154.
- [4] FAO., 2004 – *Aquatic biodiversity in rice field. International year of rice*.
<http://www.fao.org/rice2004/en/f-sheet/factsheet7.pdf>
- [5] Darriet F., Rossignol M., Chandre F., 2012 – The combination of NPK fertilizer and deltamethrin insecticide favors the proliferation of pyrethroid-resistant *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae). *Parasite*, 19: 159-164.
- [6] Darriet F., 2017 – Synergistic effect of fertilizer and plant material combinations on the development of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) and *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, doi: 10.1093/jme/tjx231.
- [7] Darriet F., 2015 – An anti mosquito mixture for domestic use, combining a fertiliser and a chemical or biological larvicide. *Pest Science Management*, 72: 1340-1345.

Contamination des têtes de bassins versants : évaluation de l'état des masses d'eau grâce au couplage échantillonnage passif - échantillonnage ponctuel

Lissalde Sophie (1), Guibal Robin (1), Buzier Rémy (1), Charriau Adeline (1),
Mazzella Nicolas (2), Guibaud Gilles (1)

(1) PEIRENE-GRESE, Université de Limoges, 123 Avenue Albert Thomas 87060 LIMOGES, sophie.lissalde@unilim.fr

(2) Irstea Bordeaux, 50 Avenue de Verdun 33610 CESTAS-Gazinet

Les eaux des têtes de bassins versants sont des lieux réputés peu impactés par les activités humaines d'autant plus quand elles sont situées dans les zones à faibles densités de populations. Aujourd'hui, la qualité des eaux supposée permet de mettre en avant leur rôle capital dans la biodiversité et la préservation d'espèces patrimoniales parfois en danger. Néanmoins, peu d'études scientifiques vis-à-vis des micropolluants permettent de supporter le classement de la qualité des eaux vis-à-vis de ces paramètres et les réseaux institutionnels (e.g. DCE) manquent encore de données pour conclure de manière robuste. Les têtes de bassin de la frange ouest du Massif central alimentent en eau les principaux grands bassins versants du Nord de la Région Nouvelle Aquitaine. Le réseau hydrographique est très dense et la surface des zones humides y est importante. La densité de population est faible (13 ha/km²) et les activités économiques sont basées sur l'agriculture extensive - élevage avec parfois une diversification vers la pomiculture ou les petits fruits-rouges, l'exploitation de la forêt, l'hydroélectricité et le tourisme rural.

Depuis près de 10 ans le laboratoire GRESE mène des suivis en semi continu de plusieurs années sur 2 bassins versants de têtes de bassin : l'Auvezère amont en Corrèze et l'Aixette en Haute-Vienne. Pour obtenir des données robustes, l'échantillonnage des eaux fait appel aux techniques classiques d'échantillonnage ponctuel, mais aussi à l'échantillonnage passif à l'aide de POCIS-HLB ou POCIS-MAX. Les techniques modernes d'analyse par séparation chromatographique couplées à différents types de détecteurs de spectrométrie de masse, permettent une quantification des molécules recherchées, mais aussi, par retraitement des données, l'obtention d'indications sur les autres molécules potentiellement présentes.

Les résultats acquis avec le concours financier des agences de l'eau Loire-Bretagne et Adour-Garonne, de la région Limousin et Nouvelle Aquitaine et l'apport technique des gestionnaires, montrent que les têtes de bassin versant sont contaminées par des pesticides. On détermine un bruit de fond de pesticides neutres de quelques 10 ng/L qui augmente au printemps avec le traitement des surfaces. Un deuxième pic moins intense est présent à l'automne. Les molécules de pesticides neutres retrouvées sont variables d'une année à l'autre et on retrouve en grande majorité des herbicides. La pluviométrie joue un rôle important dans la remobilisation des pesticides neutres ou de leurs métabolites bloqués au niveau des sols. Les petits cours d'eaux, à faible capacité de dilution, présentent parfois des pics importants dépassant le microgramme par litres de pesticides neutres, issus d'utilisations trop proches des réseaux hydrographiques ou de zones humides. On arrive aussi à retrouver des molécules interdites comme l'atrazine en quantité importante (> 1µg/L) posant question sur son utilisation récente. La recherche récente de pesticides ioniques montre que ces molécules et leurs métabolites sont présents à forte concentration dans les eaux, quelques centaines de ng/L. Ceci est consistant avec leur plus grande affinité pour l'eau que pour le sol et leur forte sensibilité à la pluviométrie. Enfin, l'analyse rétrospectives des spectres de masses issus des analyses en spectrométrie de masse haute résolution montrent la présence potentielle de nombreuses autres molécules organiques, pesticides ou encore substances pharmaceutiques.

Il convient d'intégrer aujourd'hui que les micropolluants issus des activités de l'Homme contaminent bien les têtes de bassins versants et de prendre les actions correctives nécessaires pour limiter les impacts sur les aptitudes à la biologie des eaux mais aussi sur les usages humains (alimentation en eau potable, abreuvements des troupeaux, ...).

Mots clés : têtes de bassin versants, pesticides ioniques, pesticides neutres, échantillonnage passif, screening

Optimisation de la représentativité d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines intégrant les informations existantes sur les concentrations en micropolluants et les temps de transit

Farlin Julien (1), Gallé Tom (1), Pittois Denis (1), Bayerle Michael (1), Schaul Tom (2)

(1) *Luxembourg Institute of Science and Technology 41, rue du Brill L-4422 Belvaux, Luxembourg*

(2) *Ministère du Développement durable et des Infrastructures, Administration de la gestion de l'eau, 1 avenue du Rock'n'Roll, L-4361 Esch-sur-Alzette*

Un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines est conçu pour donner une vue d'ensemble la plus précise possible de l'état et de l'évolution d'un aquifère à partir d'un nombre limité de stations de mesures. Idéalement, la concentration moyenne des polluants pertinents calculée à partir de ces stations est égale à la moyenne inconnue de l'aquifère dans son ensemble. Le réseau de mesure doit également permettre de détecter à temps tout changement de qualité, améliorations comme détérioration. Nous présenterons une méthode permettant d'évaluer la représentativité d'un réseau de surveillance en utilisant les données régionales existantes, augmentée d'un échantillonnage ciblé, et intégrant les estimations de temps de transit des eaux souterraines. Dans un premier temps, la distribution empirique d'un ou plusieurs polluants pertinents est calculée à partir d'un jeu de données constitué d'un grand nombre de stations de mesures, puis cette distribution est comparée à celle obtenue en utilisant uniquement les stations du réseau de surveillance. La méthode est conçue spécifiquement pour optimiser la sélection des stations de mesure au sein d'un choix plus large de possibilités existantes (puits, forages ou sources) en prenant en compte la concentration en micropolluants et les temps de transit moyens. Son utilisation sera illustrée par un cas d'étude présentant son application à l'aquifère luxembourgeois le plus important pour l'approvisionnement en eau potable du pays. Nous montrerons que la capacité du réseau actuel à donner une estimation de la concentration moyenne d'un seul polluant peut être améliorée de manière significative en remplaçant deux stations, mais qu'il n'est pas possible d'optimiser simultanément le réseau pour plusieurs polluants différents.

Les produits phytosanitaires dans les eaux de surface du bassin Adour-Garonne, une empreinte bien marquée

Benoît Fribourg-blanc, Simon Barreau & Nicolas Dhuygelaere

Office International de l'Eau 15, rue Edouard Chamberland 87065 LIMOGES Cedex

Le bassin Adour Garonne est soumis à une forte pression phytosanitaire comme le montre les données de vente de produits phytosanitaires issues de la BNV-D⁷ avec la déclaration de plus de 9 000 tonnes de substances vendues en 2015 sur le bassin. Les utilisateurs principaux sont les agriculteurs, les administrations publiques et les particuliers⁸. Selon Corine Land Cover 2012, 55 % des surfaces du bassin Adour Garonne sont utilisées par l'agriculture dont près de 50% en grandes cultures (céréales, oléagineux, protéagineux, légumes, fruits, vignes ...), 40% des surfaces sont forestières et le reste du territoire est occupé par de très nombreuses voies de circulation et zones urbaines. Ces substances et leurs produits de dégradation présentent des risques pour la qualité et l'utilisation des eaux. L'Agence de l'Eau Adour-Garonne a donc mis en place un suivi des substances actives phytosanitaires dans les eaux du bassin depuis la fin des années 90. Ce dernier s'est depuis largement étoffé, tant en termes de nombre de molécules recherchées que de couverture spatiale (de 500 à 1500 stations de mesure en 10 ans).

En 2016, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne a souhaité dresser un bilan du suivi des phytosanitaires dans les eaux effectué sur les 10 dernières années (2005-2015) afin de :

- Définir l'état actuel de la connaissance de la pression phytosanitaire et son évolution ;
- Evaluer l'évolution de la pression en fonction des politiques mises en place sur le territoire;
- Evaluer la pertinence du suivi effectué et proposer des pistes d'amélioration.

L'étude s'est appuyée sur les données produites dans le cadre du suivi de l'Agence à savoir 3,8 millions d'analyses sur 1500 points de mesure et couvrant 266 substances recherchées. Au vu de ce nombre important d'analyse il a fallu élaborer des outils et une méthodologie pour interpréter, comprendre et utiliser ces résultats pour élaborer des recommandations.

De manière spécifique le travail réalisé par l'OIEau et l'Ineris s'est décomposé en 3 tâches :

1) Collecte, organisation, intégration et qualification des données et référentiels nécessaires, et traitements des données sur une plateforme de visualisation pour :

- a) l'identification de la zone contributive pour les stations de mesures de qualité des eaux de surface (reconstitution du « bassin hydrographique » en amont de la station), et
- b) la caractérisation du territoire avec l'utilisation de données « open source » (croisement avec le Registre Parcellaire Graphique et Corine Land Cover),
- c) la sélection des substances les plus prioritaires, en utilisant la méthode nationale adaptée au contexte

2) Analyse et interprétation des résultats :

- a) définition et calcul d'indicateurs d'évolution de la pression et d'indicateurs de risque en lien avec l'écotoxicité,
- b) analyse croisée entre les données issues des analyses d'eau et la description du territoire, recherche de corrélation potentielles entre cultures, pesticides utilisées et pollutions observées et expertise agronomique avec un regard sur la réglementation (substances interdites ou non...),
- c) recommandation pour l'amélioration des pratiques agricoles. En fonction des cultures et des phytosanitaires utilisées quelques leviers d'actions sont possibles pour réduire les pressions en pesticides

⁷ Banque Nationale des Ventes de produits phytosanitaires par les Distributeurs agréés

⁸ Vente interdite au 1er janvier 2019

d) propositions d'optimisation du suivi des pesticides : au niveau spatial et au niveau temporel des propositions sont faites pour augmenter l'efficacité de programme de suivi des phytosanitaires sur le bassin Adour Garonne. En s'appuyant sur les 10 ans de données, des évolutions du dispositif de suivi sont nécessaire pour mieux cibler la recherche des contaminations et ainsi mettre en œuvre des actions de protections dans les secteurs les plus à risque.

3) Communication à destination de plusieurs publics :

- a) synthèse technique couvrant l'ensemble des travaux menés,
- b) production de 47 fiches substance synthétiques à destination des thématiciens,
- c) plaquette de communication grand public.

Globalement, les résultats d'analyse montrent une présence généralisée des substances actives phytosanitaires dans les eaux souterraines et de surface sur la période, avec :

- 13 substances détectées⁹ par station de mesure en moyenne,
- 70% des 266 substances actives recherchées détectées au moins une fois,
- 88% des stations avec au moins une substance détectée sur la période.

En conclusion, ce projet a nécessité une approche innovante pour faire face à la complexité du sujet et appréhender la très grande richesse et diversité de données sur une longue période et préparer les années à venir. La disponibilité de données open source a été un facteur d'enrichissement des analyses qui a permis de mieux caractériser le milieu et le contexte réglementaire. Pour mener à bien ce projet, il a fallu adopter une approche pluridisciplinaire combinant des expertises en toxicologie, écotoxicologie, agronomie, hydrologie, systèmes d'informations et géomatique. L'utilisation d'une plateforme de travail et de visualisation a favorisé ce travail collaboratif et permis d'établir les bases d'un système d'information qui sera pérennisé. A partir de cette base, une plateforme de diffusion publique sera rapidement mise en place.

Mots-clés : Phytosanitaires, bilan, système d'information, agronomie, qualité de l'eau

⁹ Nb : détection ne veut pas dire systématiquement danger

Politique d'Eau de Paris sur la problématique « pesticide » : Protection de la ressource et Traitement de l'eau destinée à la consommation humaine

Darracq, G., Baron J.

Eau de Paris, Direction de la Recherche, du Développement et de la Qualité de l'Eau 33, rue Jean Jaurès 94200 IVRY-SUR-SEINE

L'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine, réglemente ainsi le paramètre « Pesticides »,

1. dans les eaux brutes, la concentration maximale est fixée à 2,0 µg/L par substances individuelles et à 5 µg/L pour la somme des substances ;
2. dans les eaux produites (mise en distribution), la limite de qualité par substance individuelle est de 0,1 µg/L et de 0,5 µg/L pour la concentration totale.

Dans ce cadre et afin de fournir aux consommateurs une eau de bonne qualité et conforme à la réglementation, Eau de Paris a depuis des années mis en place des actions pour maintenir des concentrations en micropolluants organiques:

1. Politique sur la protection de la ressource
2. Suivi analytique régulier et renforcé, par des méthodes performantes afin d'anticiper les évolutions réglementaires ;
3. Sélection des ressources les moins impactées ;
4. Modernisation des filières de traitements.

Dans le domaine de la protection de la ressource, Eau de Paris travaille avec les acteurs régionaux (professionnels ou collectivités locales) pour préserver les eaux souterraines et les eaux de surface, par la mise en place de partenariat sous une démarche « gagnant/gagnant ».

La politique d'Eau de Paris est de miser sur la prévention des pollutions en amont pour limiter les traitements. A l'échelle du bassin d'alimentation en eau de la ville de Paris, 68 % des masses d'eau sont concernées par une problématique « pesticides ». Les résultats des actions menées pour protéger les ressources en eau, sont évalués par des mesures régulières des concentrations en pesticides, grâce à un renforcement d'une part des programmes d'auto-surveillance sur les eaux brutes et d'autre part à l'aide de programme de recherche et de développements sur de nouvelles méthodes analytiques, comme l'utilisation d'un LC-QToF. Ce nouveau moyen analytique permet aussi à Eau de Paris de se doter de connaissances sur les ressources pour se préparer aux potentielles évolutions réglementaires.

L'état des ressources connues, Eau Paris, avec ses 5 vecteurs d'alimentations et sa capacité de production journalière d'environ 1,0 Mm³ peut sélectionner les ressources les moins impactées par les pollutions aux pesticides pour produire, en moyenne, 500 000 m³ d'eau par jour. Cependant, l'accroissement des activités humaines (industrielles et agricoles) sur les bassins d'alimentation de la Seine, de la Marne, et sur les territoires des ressources souterraines impacte la qualité des eaux brutes avec une augmentation de la fréquence de détection des molécules réglementées, nécessitent d'adapter et de moderniser les installations de traitement. Ainsi, toutes les eaux souterraines (3 vecteurs) sont maintenant traitées par du charbon actif et des modernisations sont en cours pour les usines d'eau de surface en particulier à Orly.

Mots-clés : Eau potable / Pesticides / Protection de la ressource / Traitements et analyses

Le CARBAZUR-UP : un procédé à flux ascendant d'adsorption sur charbon actif en grain pour maîtriser les pollutions organiques en production d'eau potable

Reungoat Julien (1), Guey Laurent (1), Baudin Isabelle (2), Danel Olivier (2) et Bréhant Anne (2).

(1) SUEZ Treatment Infrastructures, 183 Avenue du 18 juin 40. 92500 Rueil Malmaison

(2) SUEZ CIRSEE, 38 Rue du Président Wilson 78230 Le Pecq-France

I. INTRODUCTION

Le marché de la production d'eau potable en France et à l'international pour les industriels de l'eau, concerne principalement, depuis 2010, la réhabilitation de filières de production d'eau potable existantes. Ce marché est associé au vieillissement des usines, spécialement en France, Europe et Chine, avec nécessité de renouvellement des ouvrages. Une extension de la capacité de production est souvent associée à la nécessité de rénovation des filières ; en effet, les filières de traitement d'eau de surface doivent faire face à une dégradation de la qualité de la ressource, avec notamment des teneurs croissantes en pollutions organiques, imposant un renforcement des performances des traitements d'adsorption (élimination des matières organiques, de pesticides et métabolites, de métabolites algaux, de micropolluants émergents...).

Une des stratégies envisagées par le groupe SUEZ pour renforcer l'affinage aux moindres coûts d'investissement et avec une maîtrise des coûts d'exploitation associés (consommation énergie, réactifs) est de promouvoir en amont d'une filtration sur sable, une étape d'adsorption sur charbon actif en grain (CAG) en flux ascendant avec renouvellement du media adaptée aux objectifs de qualité d'eau traitées visés. Cette approche de réhabilitation d'ouvrage est également proposée pour la conception de nouvelles filières.

Le procédé d'adsorption, sur media CAG à flux ascendant (Carbazur-UP, dépôt brevet- 20131352641) est bien adaptée au traitement d'eau de surface. L'intérêt majeur de ce procédé est de parfaire, en aval d'une étape de décantation ou flottation, l'élimination pollutions organiques dissoutes (matières organique naturelles MON et micropolluants) par adsorption, à coûts maîtrisés.

II. OBJECTIF

L'objectif de la présentation est de mettre en commun et d'illustrer au travers de retour d'expériences, les éléments clé relatifs au procédé et en particulier :

La description du procédé (*éléments de design et de fonctionnement*)

Les performances du procédé en termes d'abattement des MON et des micropolluants (*à partir de retour d'expériences d'essais de qualification menés à échelle pilote sur plusieurs sites*)

Les applications potentielles du procédé et recommandations associées de fonctionnement maîtrisé en termes de qualité d'eau produite et optimisé en termes de coûts de production.

III. ELEMENTS CLE

Des essais de qualification du procédé ont été menés à échelle pilote sur 3 sites en France (Plouenan, Suresnes, Le Pecq), sur la période 2012-2107 en traitement d'eau de surface décantées. Ces essais ont permis de : tester/comparer différents media CAG, de quantifier/optimiser les performances d'abattement des MON et micropolluants, de comparer différentes conditions de remplissage /renouvellement du CAG, de suivre/maitriser la perte de charge dans le media pour différents modes et fréquences de lavage du media.

Les principaux résultats, transposables pour des applications à échelle industrielle sont les suivants :

- Le media CAG recommandé pour l'adsorption rapide en flux ascendant avec faible expansion (<20 %) à vitesse de passage de 10-15 m/h est un CAG base houille, aggloméré, de granulométrie 12x40 mesh (*tel que Chemviron F400, Norit Row 0.8 Supra, Norit 1240, Jacobi Aquasorb 6300...*).

- Des lavages avec air puis eau (expansion proche de 20%), permettent de maîtriser le colmatage du média et la perte de charge au sein du lit de CAG. Le flux ascendant en media CAG entraîne une perte de charge moindre que celle observée en flux descendant.
- Un renouvellement semi continu du media, défini selon les objectifs de traitement visé, permet de maintenir des performances d'abattement des MON et de garantir l'élimination de micropolluants ciblés. -Par exemple, un filtre de 1 m de CAG alimenté à 15 m/h traite de l'eau de Seine décantée (COT=2.5 mg/l) produit une eau traitée de COT < 2mg/l, avec un renouvellement de 10% du media tous les 15 jours. Cette condition de renouvellement de media permet également de gérer des pollutions à 1 µg/l de divers micropolluants, pesticides et métabolites en particulier dont certains peu adsorbables (*Desethylhydroxyatrazine, Déséthylatrazine, Désisopropylatrazine, Metolachlore, Metazachlore...*) en garantissant une eau conforme et sécurisée pour le consommateur.
- L'adsorption des MON et micropolluants sur le CAG pour une qualité d'eau donnée, avec une configuration d'exploitation du procédé (renouvellement de X% du media tous les Y jours) est simulée par modélisation HSDM. Cette approche permet de prédire le comportement du réacteur face à une pollution occasionnelle de micropolluants réglementés ou proche de l'être et/ou d'adapter son fonctionnement (renouvellement du média) pour sécuriser la qualité de l'eau produite.

IV CONCLUSION

Le procédé CARBAZUR-UP qualifié, à échelle pilote pendant plusieurs années, comme performant et économique face aux solutions existantes est actuellement déployé comme procédé d'affinage à échelle industrielle, pour la réhabilitation et la conception de nouvelles filières de production d'eau potable. Le renouvellement continu du CAG permet une souplesse d'adaptation de la consommation du media aux besoins de qualité d'eau et objectifs d'exploitation.

Utilisation du Charbon Actif en Poudre pour éliminer le métaldéhyde par clarification Actiflo® Carb

Philippe Sauvignet (1), Pascal Marlin (2)

(1) Veolia, 30 rue Madeleine Vionnet 93300 Aubervilliers

(2) Veolia, Aquahouse Birmingham B377YE, UK

Introduction

Le métaldéhyde est actuellement un des plus gros enjeux de la qualité de l'eau au sein de l'industrie de l'eau Anglaise. Il s'agit d'un ingrédient actif dans les granulés anti-limace & escargots, il est trouvé dans l'environnement à des concentrations en excès par rapport au niveau de conformité de la Directive Européenne de l'Eau Potable, qui indique une concentration maximale de 0,1 µg/L pour un pesticide dans l'eau potable distribuée. Bien que cela ne cause pas de problèmes de santé à ces concentrations, sa présence dans l'eau peut indiquer une voie pour des contaminants similaires. La structure de la molécule de métaldéhyde (voir Figure 1) implique qu'il n'est pas facilement éliminé par les technologies conventionnelles de traitement des pesticides, telles que l'ozone ou GAC.

Affinity Water, qui fournit 3,2 millions de clients dans le Sud Est de l'Angleterre, a un site qui est particulièrement vulnérable à la contamination de métaldéhyde. Ce site, au Sud de Hatfield, prend l'eau de quatre forages, ceux-ci sont tous fortement influencés par les eaux de surface. Précisément, tous les sites sont jugés à risque pour le *Cryptosporidium*, autant que la turbidité élevée et les pesticides. Malgré la présence de traitement GAC sur le site, la stratégie de management du risque de pesticides indique que le site doit réduire les rendements pour une grande partie de l'année, ce traitement ne peut pas assurer les larges pics qui apparaissent dans l'eau brute. L'impact supplémentaire du métaldéhyde signifie que le rendement du site est fortement réduit malgré les besoins en eau de la région.

Il a été proposé que la clarification Actiflo® avec du Charbon Actif en Poudre résoudrait les problèmes de turbidité élevée et de pesticides en excès sur l'usine. Avec la découverte supplémentaire du métaldéhyde dans l'eau brute, les tests de traitement ont été mis en place afin de déterminer l'efficacité du traitement PAC sur les contaminants, avec l'objectif d'une installation de traitement à grande échelle sur le site.

Matériels et Méthode

Les Jar Tests ont été réalisés sur deux types d'eau de l'usine. Le premier était la matrice d'eau typique, prélevé pendant les conditions normales temps sec. Le deuxième était prélevé pendant un pic d'évènement, avec une turbidité et des concentrations en pesticides (y compris le métaldéhyde) élevées. Le coagulant et le polyélectrolyte utilisés correspondent à ceux actuellement utilisés sur le site : PAX18 Kemira, Magnafloc LT25 (résidu acrylamide libre < 0.02%) de BASF. Il a été démontré pendant les Jar Tests que le charbon Norit Sae Super 8029-1 était le plus performant, et a ensuite été utilisé dans l'essai pilote.

Les essais pilote ont été réalisés en utilisant deux types de clarification à haut débit : une unité DAF à haut débit fournie par Nijhuis, et une unité pilote Actiflo® Carb fournie par Veolia. Les doses appliquées de Norit SAE Super 8029-1 varient de 5 à 22 mg/L avec une concentration en PAC dans le pilote entre 1,5 et 2 g/L.

Résultats et discussion :

Les essais Jar-tests ont montré que le charbon actif en poudre était capable d'éliminer les métaldéhydes présentes initialement dans l'eau. Selon les essais Jar-tests, une dose de 30 mg/L a été nécessaire pour obtenir un abattement optimal du métaldéhyde. Cela devait être l'équivalent d'une dose de 15 mg/L dans le pilote usine Actiflo® Carb en raison de l'impact de la recirculation du CAP.

Les deux pilotes d'usine ont été prouvés capables d'éliminer le métaldéhyde en dessous de sa limite de détection. Cependant, une meilleure et plus cohérente élimination de la turbidité a été obtenue en utilisant l'Actiflo qu'en utilisant le procédé DAF à haut débit. L'eau est extraite du forage avec une fraction de matière organique relativement faible, par conséquent, une étape de clarification conventionnelle est privilégiée par rapport à une étape de flottation.

Pour l'unité de l'Actiflo® Carb, la turbidité d'eau clarifiée n'a pas été affectée par la variation de la turbidité de l'eau brute (5 à 16 NTU) et a affiché une valeur moyenne de 0,6 NTU tout en variant entre 0,4 et 0,9 NTU (cf. Figure 2). La dose du coagulant PAX18 est restée constante à 2 mg/L en Al avec le polymère LT25 dosé à moins de 0,5 mg/L pour conserver la conformité avec le résidu d'acrylamide. Le résidu total d'aluminium est resté à 0,1 mg/L avec de l'aluminium résiduel soluble de 0,045 mg/L.

L'efficacité de l'élimination des métaldéhydes (cf. Figure 3) était en fonction de la concentration à l'entrée, la concentration de sortie étant régulièrement inférieure à la limite de détection (0,012 µg/L). Les chiffres donnés dans ce rapport correspondent alors à l'efficacité d'élimination minimale, cependant en réalité ils peuvent être plus élevés. Le temps de rétention dans le réservoir du charbon actif était de 11 minutes.

Pour des doses du CAP comprises entre 12 et 20 mg/L, le rendement d'élimination du métaldéhyde a varié de 70% à 83% avec une valeur maximale enregistrée de 97% au moment de l'entrée des métaldéhydes. Une élimination globale de 75% a été obtenue avec une dose du CAP de 15 mg/L et avec une concentration résiduelle inférieure à 0,02 µg/L dans l'eau clarifiée. La concentration moyenne à l'entrée était de 0,1 µg/L avec une valeur maximale enregistrée de 0,32 µg/L. L'efficacité de l'élimination a commencé à descendre en dessous de 60% lorsque la dose de PAC a baissé en dessous de 8 mg/L.

Conclusion

Le métaldéhyde peut être éliminé efficacement en dosant le Charbon Actif en Poudre à des taux élevés dans le procédé de clarification. Plus de 90% de l'élimination était réalisée sans l'Actiflo® Carb, Les principaux facteurs d'efficacité de l'élimination sont la concentration d'entrée du métaldéhyde et le débit de dose du PAC.

Le traitement des eaux souterraines karstiques par CarboPlus® µG pour la production d'eau potable : Retour d'expérience sur une installation industrielle

Perot Jean, Piel Stéphanie

SAUR, 2 rue de la Bresle, 78310 MAUREPAS

La présence de micropolluants dans nos ressources en eau, superficielles mais également souterraines, est une problématique en constante évolution. En effet, de nouvelles molécules, notamment les pesticides et leurs métabolites, sont sans cesse identifiées et quantifiées grâce aux méthodes analytiques de plus en plus performantes. A titre d'exemple, le métaldéhyde (molluscicide) et les métabolites de chloroacétamides (herbicides : métolachlore, métazachlore...) présents sous les formes ESA et OXA.

Outre la contamination des ressources en eau ponctuelle (métaldéhyde) ou chronique (métabolites ESA et OXA) à des concentrations élevées, la seconde problématique est l'élimination de ces nouvelles molécules sur nos usines de production d'eau potable. En effet, les caractéristiques physicochimiques de ces différentes molécules rendent leur élimination difficile sur nos filières de traitement classiques, notamment la filtration sur charbon actif en grain. Avec ces molécules réfractaires, la saturation des filtres est atteinte rapidement et les renouvellements du charbon actif en grain sont donc plus fréquents quel que soit le type de charbon employé.

SAUR a développé le procédé CarboPlus® µG afin de résoudre cette problématique, particulièrement pour les eaux souterraines, et répondre à tout moment à la réglementation. Grâce au renouvellement en continu et à l'optimisation des doses de renouvellement selon les périodes de l'année, le phénomène de saturation est évité et le traitement s'adapte aux niveaux de pollution et aux différents type de micropolluants présents dans nos ressources en eau.

La ressource en eau du site des Ormes dans l'Yonne est une ressource souterraine issue de karts. En période sèche, cette eau est généralement de bonne qualité. A l'inverse, les épisodes pluvieux peuvent entraîner des dégradations en termes de turbidité. Ces épisodes de pointe de turbidité peuvent alors s'accompagner de pollutions microbiologique et/ou chimique liée à la présence de micropolluants organiques. Dans ce contexte, la R&D SAUR a conduit dans un premier temps une étude pilote depuis 2010 sur le procédé CarboPlus® µG, réacteur à lit fluidisé de charbon actif micrograin à renouvellement continu, sur le site des Ormes dans l'Yonne (89). La première phase de cette étude ayant permis d'aboutir à la construction d'une usine sur ce même site en 2013, un suivi renforcé de l'installation industrielle a pu être réalisé. Les objectifs principaux de ce suivi sont :

- d'étudier la saisonnalité de la dégradation de l'eau en termes de turbidité et de micropollution ;
- de déterminer les performances du CarboPlus®G vis-à-vis des micropolluants, essentiellement des pesticides et leurs métabolites,
- d'adapter la dose de renouvellement en charbon actif micrograin mise en œuvre ainsi que le type de charbon employé.

L'objectif final étant d'aboutir à une approche prédictive de la pollution selon les saisons et les conditions météorologiques afin d'adapter au plus juste la dose de renouvellement en charbon.

La turbidité de l'eau brute peut dépasser 200 NTU en périodes de forte pluviométrie et les concentrations en pesticides peuvent atteindre 1 à plusieurs µg/L et pour la somme jusqu'à plusieurs voire une dizaine de µg/L. L'ensemble des résultats montre des performances très satisfaisantes du procédé CarboPlus® µG sur l'abattement des micropolluants même pour les molécules les plus réfractaires, notamment le métaldéhyde, l'imidaclopride, les métabolites du métolachlore et du métazachlore, nommés ESA et OXA. La communication détaille les abattements obtenus et la démarche employée pour l'adaptation de la dose de renouvellement.

Mots-clés : pesticides, sous produits, CarboPlus, charbon actif

Le plan Ecophyto 2

BELIS Sébastien (1), VACHON Céline (2)

(1) **DRAAF / SRAL Nouvelle-Aquitaine**, Immeuble Le Pastel, 22 rue des Pénitents Blancs, CS 13916, 87039 LIMOGES CEDEX 1

(2) **Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine**, Boulevard des Arcades, 87 060 LIMOGES Cedex 2

Né à la suite du Grenelle de l'environnement de 2008, le plan Ecophyto est également la déclinaison française de la directive européenne 2009/128 "utilisation durable des pesticides". Ecophyto vise à réduire et améliorer l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (« phytos ») aussi bien en agriculture qu'en zone non agricole.

Dans sa première version, le plan est piloté par le ministère de l'agriculture et se décline en 9 axes, avec pour objectif de réduire de 50 % en 10 ans le recours aux produits phytosanitaires, si possible. Outre l'enclenchement d'une dynamique de travail sur la réduction des phytos, cette première phase a donné lieu à de nombreuses actions de sensibilisation et démonstration, et a instauré plusieurs dispositifs structurants, notamment :

Les Bulletins de Santé du Végétal : documents (inter)régionaux, publics et gratuits, d'information périodique sur l'état sanitaire des cultures et espaces verts, comprenant des messages réglementaires et une analyse du risque phytosanitaire.

Le Réseau DEPHY (Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en produits PHYtosanitaires) : dispositif EXPE (réseau d'expérimentations rassemblant 41 projets testant des systèmes de culture fortement économes en pesticides) et dispositif FERME (réseau de démonstration et de production de références regroupant fin 2015 près de 1900 agriculteurs engagés dans une démarche volontaire de réduction des pesticides).

Le Certiphyto : certificat individuel réglementaire, à renouveler périodiquement, obligatoire pour tout conseiller, vendeur et applicateur professionnel de phytos.

La révision du plan à mi-parcours prévue par la directive européenne, a permis de constater la mise en place de ces dispositifs (re)connus et l'engagement des parties prenantes, mais le manque de résultats en terme d'usage a conduit à la parution du plan Ecophyto 2 le 26 octobre 2015. S'inscrivant fortement dans le cadre de l'agroécologie, Ecophyto 2, dorénavant co-piloté par les ministères de l'agriculture et de l'environnement, se compose de 6 axes de travail et vise à réduire l'usage des phytos en 2 phases (de 25 % d'ici 2020 et 50% à l'horizon 2025), mais également leurs risques et impacts. Les dispositifs structurants du plan sont renforcés : augmentation du réseau DEPHY, avec 3 060 fermes engagées début 2017 ; poursuite des publications BSV ; rénovation des Certiphytos,... D'autres axes de travail sont confortés ou instaurés, avec l'octroi d'un budget supplémentaire géré en région : renforcement du soutien à la recherche, au biocontrôle, à l'expérimentation, et aux agro-équipements ; expérimentation des CEPP (certificats d'économies de produits phytosanitaires) ; démultiplication des acteurs impliqués, avec un objectif de 30 000 agriculteurs accompagnés dans la transition vers l'agro-écologie à bas niveau de phytos. *Parallèlement la réglementation en zone non agricole se durcit, avec une limitation forte des pesticides utilisables.*

Chaque région a dû dresser sa « feuille de route Ecophyto 2 », précisant les priorités d'action en fonction des enjeux régionaux. *Pour exemple en Nouvelle-Aquitaine, une priorité est donnée aux 3 filières régionales les plus consommatrices de phytos : viticulture, arboriculture et grandes cultures. Les actions prioritaires sont d'inciter les agriculteurs à utiliser des agroéquipements performants et des OAD (Outils d'Aide à la Décision), et de développer les collectifs d'agriculteurs en transition agroécologique vers une moindre consommation de phytos.*

Ecophyto 2 va être prochainement adapté (« Ecophyto 2+ ») pour intégrer les priorités du « plan d'actions du Gouvernement pour réduire la dépendance de l'agriculture aux produits phytosanitaires », présenté fin avril 2018 par les ministres chargés de la Transition écologique, de la Santé, de l'Agriculture et de la Recherche.

Mots-clés : Ecophyto, phytos, DEPHY, BSV, Certiphyto

La phytopharmacovigilance : une surveillance intégrée des effets indésirables des produits phytopharmaceutiques

Mathilde Merlo (1), Ohri Yamada, Romain Boissonnot, Fabrizio Botta, Franck Eymery, Marion Hulin, Claire Mathiot, Alexandra Papadopoulou, Thomas Quintaine, Josselin Rety, Anita Vigouroux-Villard, Jean-Luc Volatier

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) 14, rue Pierre et Marie Curie 94 700 MAISONS-ALFORT

Dans le cadre de la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014, la mise en place d'un dispositif de phytopharmacovigilance a été confiée à l'Anses. L'objectif de ce dispositif de vigilance est de surveiller les effets indésirables des produits phytopharmaceutiques (PPP) sur la santé humaine et les écosystèmes dans leur ensemble, ainsi que les phénomènes d'apparition de résistances. La phytopharmacovigilance vient compléter les missions menées par l'Anses d'évaluation *a priori* des risques liés aux PPP et de délivrance et de retrait des décisions d'autorisations de mise sur le marché (AMM). Par ailleurs, ce dispositif s'inscrit dans l'axe 3 du plan Ecophyto 2 (Evaluer, maîtriser et réduire les risques et les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la santé humaine et sur l'environnement).

L'objectif de la phytopharmacovigilance est de détecter au plus tôt les signaux qui peuvent amener à prendre des mesures de prévention ou de limitation des risques liés aux PPP. Pour répondre à cet objectif, la phytopharmacovigilance repose sur trois modalités complémentaires de recueil de données et de production de connaissances: (1) un réseau d'organismes de surveillance ou de vigilance, (2) le recueil et l'analyse de signalements spontanés et (3) des études *ad hoc*. Cette présentation s'attachera à décrire, sur des exemples concrets, les modalités de fonctionnement et les connaissances produites dans le cadre de ces trois axes d'actions ainsi que les conséquences en matière d'AMM des PPP.

(1) La phytopharmacovigilance repose sur la collecte systématique et régulière d'informations produites par les organismes de surveillance et de vigilance déjà existants, concernant l'homme, les animaux d'élevage et sauvages (dont l'abeille domestique), les écosystèmes dans leur intégralité (biodiversité, cultures, faune, flore, air, eau, sol) mais aussi les aliments et l'apparition de phénomènes de résistance aux PPP.

Ce dispositif inclut les plans de surveillance des ministères sur l'eau, les aliments et les mortalités massives aiguës des abeilles ainsi que le recueil des effets non intentionnels dans le cadre de la Surveillance Biologique du Territoire (SBT). Participent également à ce réseau : les Centres anti-poison et de toxicovigilance (CAP-TV) coordonnés par l'Anses, le dispositif Phyt'attitude de la Mutualité sociale agricole (MSA), l'Agence nationale de santé publique France (Santé Publique France) dans le cadre de sa mission de suivi des effets sur la santé humaine et des expositions, la cohorte Agrican (Agriculture et Cancer) pilotée par le Centre François Baclesse, le réseau SAGIR pour les effets éventuels sur la faune sauvage géré par l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS), l'Institut technique scientifique de l'abeille et de la pollinisation (ITSAP), le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) ainsi que les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA).

Les organismes participant à la phytopharmacovigilance sont désignés par l'arrêté du 16 février 2017¹⁰.

L'ensemble des données collectées sont rassemblées dans des fiches de synthèse par substance mises en ligne sur le site de l'Anses¹¹ et qui seront présentées.

¹⁰ <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/2/16/AGRG1704711A/jo/texte>

¹¹ <https://www.anses.fr/fr/content/les-fiches-de-phytopharmacovigilance-pour-plus-d%E2%80%99informations-sur-les-substances>

(2) En complément des données collectées par les réseaux de surveillance et de vigilance partenaires, l'Anses reçoit des signalements des acteurs professionnels comme les titulaires d'AMM, les fabricants, les importateurs, les distributeurs ou utilisateurs professionnels de PPP, les conseillers et formateurs de ces utilisateurs. Plus largement, les professionnels de santé ainsi que toute autre personne peuvent signaler des événements sanitaires indésirables à la phytopharmacovigilance. A cette fin, l'Anses a mis en place un outil des signalements des effets indésirables sur son site¹² qui sera présenté. D'ores et déjà, certains signaux, qui seront décrits, ont conduit à des modifications des conditions d'AMM des PPP, dans le cas de signalements de phytotoxicité ou de dépassements de limite maximale résiduelle sur des denrées alimentaires.

(3) Enfin, des études *ad hoc* sont réalisées lorsque les informations disponibles *via* les réseaux ou les signalements sont peu nombreuses ou ne permettent pas de conclure quant à l'existence d'une association entre une exposition et la survenue d'effets indésirables. Ainsi, l'Anses a souhaité la mise en place d'une campagne exploratoire de surveillance des pesticides dans l'air ambiant qui permettra de disposer d'une photographie, au niveau national, de la présence des PPP dans l'air. La connaissance des expositions professionnelles ainsi que de l'impact des PPP sur la biodiversité constituent également des sujets d'études prioritaires pour la PPV.

Sur la base de l'ensemble de ces informations, la phytopharmacovigilance contribue à :

- permettre, si nécessaire, l'adaptation des conditions d'AMM des produits aujourd'hui commercialisés (par exemple par la réduction des doses, l'adaptation des conditions d'application ou le retrait d'une autorisation de mise sur le marché) ;
- définir des mesures de gestion transversale, par exemple pour la protection des personnes à proximité des zones traitées ;
- contribuer à s'assurer du respect des interdictions d'usages de produits, notamment ceux dont les substances actives ne sont plus approuvées au niveau européen.

Mots-clés : vigilance, santé humaine, santé animale, biodiversité, produits phytopharmaceutiques

¹² <https://www.anses.fr/fr/content/signalement-deffets-ind%C3%A9sirables-li%C3%A9s-%C3%A0-lutilisation-de-produits-phytopharmaceutiques>

Surveillance des métabolites non pertinents des substances actives des pesticides dans les eaux, distinguer les approches environnementales et sanitaires

Isabelle De Paepe, Ronan Vigouroux, Séverine Jeanneau, Hélène Vergonjeanne, Anne Delavergne, Raphaël Dubief, Thierry Schoonejans

Union des Industries de la Protection des Plantes, 21 Chemin De La Sauvegarde, 69134 Ecully

Depuis plus de 20 ans, les substances actives présentes dans les pesticides¹³, ainsi que leurs métabolites pertinents, font l'objet de programmes de surveillance dans l'eau potable¹⁴ et dans les masses d'eau¹⁵. Pour l'eau potable, comme pour les eaux souterraines, la limite réglementaire de conformité est fixée à 0,1 microgramme par litre par substance individuelle et à 0,5 microgramme par litre pour la somme des substances.

Concernant leur comportement dans l'environnement, les substances actives des pesticides sont des molécules qui ont vocation à se dégrader, par des processus soit physico-chimiques soit biologiques, lorsqu'elles atteignent les compartiments de l'environnement (le sol, l'eau et l'air). Une dégradation rapide est exigée par la réglementation des produits phytosanitaires en vue d'éviter la persistance des substances actives dans l'environnement. Lors de la demande d'autorisation d'un pesticide il est requis de décrire précisément les étapes de dégradation (voies de formation des métabolites, vitesses des processus).

Il est essentiel d'évaluer précisément les caractéristiques toxicologiques et écotoxicologiques de tous les produits de dégradation, communément dénommés « métabolites », afin de déterminer leur impact éventuel environnemental et/ou sanitaire. Au niveau européen, la Commission Européenne a publié en 2003 un document guide SANCO/221/2000 rev.10¹⁶ qui établit la méthode scientifique permettant de distinguer deux types de métabolites :

Les métabolites pertinents, actifs biologiquement et/ou présentant des caractéristiques toxicologiques proches de la substance active. Ils sont soumis aux mêmes règles environnementales que les substances pesticides « mère » et sont cités dans la décision d'autorisation de la substance active publiée au Journal officiel de l'Union européenne

Les métabolites non pertinents, dont l'absence de propriétés pesticides est démontrée et dont la toxicité est non significative, ou très réduite, ne sont donc pas concernés par les textes réglementaires évoqués ci-dessus.

Par ailleurs, afin de proposer une règle d'interprétation et de gestion des données de surveillance, l'association européenne de producteurs de produits phytosanitaires a publié en 2010 les résultats d'une étude d'état de l'art¹⁷. Considérant l'absence de propriétés pesticides, et vu leur faible toxicité, les métabolites non pertinents devraient être gérés comme tout autre substance organique et donc chacun faire l'objet d'une évaluation toxicologique pour déterminer pour chaque métabolite non pertinent sa valeur sanitaire limite pour l'eau potable. Si toutefois le gestionnaire de l'eau souhaite travailler avec une valeur limite générale valable pour tous les métabolites non pertinents, le document promeut l'utilisation de l'approche toxicologique TTC (Threshold of Toxicological Concern) et conclut en préconisant une valeur pour un seuil général à 4,5 µg/L. En complément, un examen détaillé des caractéristiques toxicologiques de 56 métabolites non pertinents de pesticides a permis de démontrer le haut niveau de protection de la santé du consommateur procuré par ce seuil de 4,5 µg/L. En effet, la valeur sanitaire spécifique pour chaque métabolite non pertinent passé en revue est clairement supérieure au seuil général proposé.

A des fins de communication claire vers le grand public sur ce sujet désormais porté au niveau des consommateurs, il est souhaitable que les différents acteurs impliqués, officiels et professionnels se coordonnent pour ne pas laisser coexister plusieurs règles d'interprétation des données de surveillance. Une saisine ANSES, initiée en 2016, est en cours.

¹³ Les pesticides sont des substances homologuées avec autorisation de vente pour des usages variés : agricoles (produits phytopharmaceutiques), ou biocides, ou vétérinaires, ou autres

¹⁴ Arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

¹⁵ Directive

¹⁶ Document guide disponible sur le site de la Commission Européenne

https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_ppp_app-proc_guide_fate_metabolites-groundwtr.pdf

¹⁷ Laabs, V., Leake, C., Botham, P., and Melching-Kollmuß, S. 2015. Regulation of non-relevant metabolites of plant protection products in drinking and groundwater in the EU: Current status and way forward. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 73, 276-286.

Observatoire *Pesticeros* des transferts de substances actives phytosanitaires dans les eaux de ruissellement d'un bassin versant agricole représentatif des régions limoneuses en grandes cultures.

Pak Lai Ting, Richet Jean-Baptiste, Saunier Mathieu, Bertinotti Jean, Ouvry Jean-François

AREAS, 2 avenue Foch 76460 Saint Valery en Caux, France

Dans de nombreuses zones de la ceinture lœssique du nord de l'Europe, les sols limoneux sont particulièrement sensibles au ruissellement et à l'érosion. Dans ce contexte, l'AREAS (Association de recherche sur le Ruissellement, l'Erosion et l'Aménagement du Sol) procède à l'acquisition de données et de références sur un site d'étude localisé au nord de la Seine-Maritime (76). Depuis 2007, l'observatoire *Pesticeros* mesure les transferts de substances actives (SA) phytosanitaires du bassin versant (BV) agricole de Bourville (1045 ha), des épandages en parcelle aux eaux de ruissellement. Bourville a été choisi pour sa représentativité des bassins érosifs du Pays de Caux et des régions limoneuses en grandes cultures. La qualité des eaux de ruissellement est essentielle pour ce territoire caractérisé par ses nombreuses structures karstiques visibles en surface, appelées bétoires, qui forment des points d'infiltration préférentiels des eaux de surface vers celles souterraines. Le programme se fait dans le double objectif de connaître, quantifier et caractériser la contamination des ruissellements, majoritairement d'origine agricole, et de contribuer à la recherche de voies d'action permettant de limiter leurs impacts sur les masses d'eau.

Pour cela, l'exutoire du BV est équipé d'une station de mesures où sont enregistrés en continu les hauteurs de pluie tombée et les débits de ruissellement écoulé. Sont également mis en place, deux préleveurs automatiques (l'un garni de flacons en verre et l'autre de flacons en polypropylène) fonctionnant en parallèle en vue d'échantillonner en continu les matières en suspension et plus de 200 SA exportées dans les ruissellements. Les occupations du sol, pratiques culturales et traitements agricoles sont également connus sur l'ensemble du BV, à la journée, à la parcelle, à partir d'enquêtes annuelles. Ces importants travaux de terrain ont permis de construire une base de données riche de neuf campagnes culturales complètes. Une station similaire mesurant les mêmes variables est installée à l'exutoire d'un sous-BV amont (145 ha) et a permis la collecte de données sur les cinq dernières campagnes.

Dans un premier temps, nous avons exploité les données de manière globale afin de définir des chiffres-clés de référence. Ceux-ci sont présentés ci-après en valeurs moyennes annuelles sur neuf campagnes (du 01/09/2007 au 31/08/2016). Ce sont 1832 kg de SA apportés par campagne sur le BV, correspondant à 1.93 kg apportés par campagne par hectare agricole. La pluie annuelle est de 769 mm répartie en 125 averses (3 h séparent deux averses et lame > 1 mm). Le ruissellement annuel est de 88800 m³, soit 8.5 mm ramenés à la surface du BV, réparti en 26 crues (débit de pointe > 30 l/s et volume > 200 m³). C'est 68 % du volume annuel ruisselé qui est échantillonné et analysé. Ce sont 215 g de SA exportés par campagne à l'exutoire du BV (cette valeur est à associer à la part analysée du ruissellement écoulé, qui varie significativement d'une campagne à l'autre), correspondant à 241 mg exportés par campagne par hectare agricole. Ces quantités de SA apportées et exportées sont calculées toutes SA confondues. Néanmoins, comme certaines SA apportées ne sont pas recherchées dans les ruissellements (méthode analytique non disponible) ou que certaines SA recherchées sont interdites d'utilisation, il ne convient pas d'interpréter une relation directe entre ces deux valeurs. Il est alors plus pertinent d'exploiter ces données de manière individuelle par SA et par culture, en intégrant toute SA appliquée à chaque culture.

Dans un deuxième temps, nous avons analysé les données de manière événementielle. Durant les neuf campagnes, 195 événements pluie-débit (P-Q) ont été identifiés. Une classification ascendante hiérarchique avec la méthode de Ward a permis de distinguer 6 classes d'événements P-Q. Les premiers résultats toutes SA confondues indiquent que 12 % des quantités exportées le sont par les petites et moyennes crues observées. Ce sont 27 % des exports qui transfèrent dans les grandes crues, principalement observées en automne-hiver. Enfin, les événements extrêmes (crues d'automne-hiver et celles en réponse aux orages de printemps) véhiculent 46 % des SA exportées à l'exutoire du BV. La recherche d'actions pour réduire les transferts de SA et l'évaluation quantitative de leurs impacts peuvent bénéficier de ces premiers résultats. Ainsi, ces trois catégories de crues et transferts associés constituent respectivement des crues facilement gérables par réinfiltration (par des surfaces enherbées), partiellement gérables avec un frein hydraulique favorisant la réinfiltration et difficilement gérables. Pour compléter cette analyse de données, une étude d'événements spécifiques illustratifs des différentes classes permettrait de comprendre les interactions entre les différentes variables étroitement liées.

Mots-clés : épandage agricole, substance active phytosanitaire, ruissellement, bassin versant

La Smart Agriculture au service de la gestion des risques phytosanitaires agricoles

Le Grusse Philippe (1,2), Mghirbi Oussama (1,2), Trabelsi Meriem (1), Mandart Elisabeth (1) Fabre Jacques (1), Nembrot Isabelle (3), Arredondo S. Josué (3), Bromblet Lucas (3), Abarca Fernando (3), Ramarohetra Johanna (3), Gabriac Denis (3), Louvet Samuel (3), Caubel Julie (3), Boulanger Jean Philippe (3)

(1) CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5

(2) UMR GRED, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France

(3) EcoClimaSol, Immeuble MIBI, 672 Rue du Mas Verchant, CS 37777, 34967 Montpellier Cedex 02

L'agriculture en France comme dans de nombreux pays du monde se trouve, ces dernières années, confrontée à plusieurs défis à priori antinomiques. D'un côté, l'augmentation de la population mondiale et l'accès pour une partie de cette population à de meilleurs standards de vie et de consommation qui génère une forte demande en produits alimentaires et entraîne une pression sur la production agricole. De l'autre, l'intensification de l'agriculture et notamment les pratiques monoculturales induisant des problèmes de dégradation des sols, de pollution environnementale principalement par les nitrates et les pesticides impactant les nappes phréatiques, les cours d'eau et la santé publique. La pression phytosanitaire d'origine agricole au niveau des territoires est le plus souvent le premier facteur de pollution diffuse. Contenir et réduire cette externalité négative provoquée par une agriculture productive mais intensive nécessite la mise en place d'outils d'aide à la décision. Ces outils doivent être spécifiques et intégrés où la gestion des risques de pollution diffuse devient un élément essentiel comme la gestion technique et économique avec une prise en compte des spécificités des caractéristiques du milieu naturel, des enjeux environnementaux et socio-économiques locaux.

Les différents acteurs du territoire, notamment les agriculteurs, les coopératives agricoles et l'ensemble des acteurs du secteur agricole et de l'agro-alimentaire expriment leur besoin en adéquation à la demande sociale d'outils plus performants en termes de gestion de la production agricole et de la maîtrise des risques liés notamment aux pratiques phytosanitaires. Cette demande sollicite de plus en plus les chercheurs, les scientifiques et les industriels de l'agrofourniture à mobiliser les connaissances et les technologies les plus performantes pour développer des outils d'aide à la décision interactifs et intelligents. L'optimisation des ressources, pour une production durable et à des coûts maîtrisés sont les principes de base de l'agriculture durable et l'agriculture de précision. Cette démarche d'optimisation est aujourd'hui une option scientifiquement et technologiquement réaliste et diffusable à grande échelle dans la majorité des pays de la planète et au plus grand nombre de producteurs. Atteindre ces objectifs requiert une utilisation des plus récentes technologies du web et de Big Data avec la gestion d'un grand nombre de données (météorologique, pédologique, agronomique, risque des bio-agresseurs, économiques, etc.) afin de fournir des indicateurs de risque de pollution diffuse notamment pour l'utilisation des produits phytosanitaires (IRSA¹⁸, IRTE¹⁹, en complément aux indicateurs de pression (IFT), etc. (Le Grusse *et al.* 2014a)) performants et simples d'interprétation pour une prise de décision optimale. Afin de répondre à cet objectif, le projet de recherche GesPPEIR²⁰ a été mis en œuvre pour développer une plateforme web intégrée à partir des plateformes « ClimaVista » (ClimaVista Agro, ClimaVista Wine)²¹ interactives et basées sur une gestion intégrée et spatialisée des activités agricoles. Cette plateforme propose un ensemble de services, destinés principalement aux agriculteurs et aux techniciens agricoles, modulaires et complémentaires de gestion opérationnelle et stratégique de la production agricole dans un objectif d'accompagnement d'une transition agro-écologique raisonnée. La finalisation actuelle de cette plateforme interactive et intégrée associe dans sa réalisation des acteurs de la recherche publique, privée et de la profession agricole avec l'intégration de nombreux outils classiques et novateurs notamment dans la gestion des risques de pollution diffuse. Il existe aujourd'hui beaucoup d'outils à disposition du monde agricole tant techniques, économiques et de gestion environnementale, mais jamais interconnectés. La plateforme de gestion part de la

¹⁸ IRSA : Indicateur de Risque sur la Santé de l'applicateur.

¹⁹ IRTE : Indicateur de Risque de Toxicité sur l'Environnement.

²⁰ GesPPEIR : Gestion eau, Phytosanitaires, Prévisions et Indicateurs de Risques, projet de recherche élaboré en 2016 en collaboration entre le CIHEAM-IAMM et l'entreprise R&D Ecoclimasol et financé par le FEDER et la région Occitanie.

²¹ Société EcoClimaSol : <http://www.ecoclimasol.com/fr/>

prévision climatique à la parcelle, et connecte le suivi des stades phénologiques, la gestion du stress hydrique, le suivi de pression de bio agresseurs, l'analyse des besoins de fertilisants, l'analyse et la minimisation des risques de traitement phytosanitaires avec in fine un tableau de bord de la performance agro-écologique de la production permettant de simuler des solutions d'amélioration technique, économique et de durabilité. Pour la première fois une plateforme de gestion agricole intègre des outils de gestion des risques phytosanitaires sur la santé humaine et sur l'environnement avec l'implémentation des modèles EToPhy (Le Grusse *et al.* 2014a) et OptiPhy (Mghirbi *et al.* 2017) et d'évaluation et de gestion des performances agro-écologiques des exploitations agricoles (Trabelsi *et al.* 2016). L'ensemble de ces services, centrés sur l'exploitation agricole et intégrant dans un même outil les différents niveaux de gestion de celle-ci (parcelle, ensemble de parcelles (ilots), ensemble de l'exploitation comme centre décisionnel) peut s'étendre à la gestion de démarches collectives et territorialisées (bassin versant, commune ou région agricole). Dans le cadre d'une démarche collective et participative sur un territoire, l'intégration des données issues de la plateforme, pourra permettre de mettre en œuvre des actions de gestion collective dans l'espace permettant ainsi de développer une véritable « Intelligence Territoriale » et notamment une gestion intégrée des pratiques phytosanitaires agricoles (Le Grusse *et al.* 2014b).

La plateforme web ClimaVista offre une démarche technologique innovante à la fois dans l'interconnexion des outils de gestion climatique, technique, environnementale et d'évaluation de la performance agro-écologique dans un esprit d'accompagnement maîtrisé de cette transition pour construire une agriculture durable.

Références bibliographiques

Le Grusse P, Mandart E, Bouaziz A, Le Bars M, Bord J-P, Fabre J (2014a) Gestion de la toxicité en zone Ramsar (TRam) : rapport final. 68 p. Rapport scientifique du Programme Pesticides : Programme Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides. APR Pesticide 2009. <https://www.programmepesticides.fr/Pages-projets/APR-2009/TRam>

Le Grusse, Mandart E, Ayadi H, Mghirbi O, Ellefi K, Trabelsi M, Fabre J, Bord J-P (2014b) Gestion intégrée des pesticides et intelligence territoriale. Actes du 44^{ème} congrès du Groupe Français des Pesticides, 26-29 mai 2014, Schoelcher.

Mghirbi O, Le Grusse P, Fabre J, Mandart E, Bord J-P (2017) OptiPhy, a technical-economic optimisation model for improving the management of plant protection practices in agriculture: a decision-support tool for controlling the toxicity risks related to pesticides. *Environmental Science and Pollution Research* 24, 6951-6972

Trabelsi M, Mandart E, Le Grusse P, Bord J-P (2016) How to measure the agroecological performance of farming in order to assist with the transition process. *Environmental Science and Pollution Research* 23, 139-156

La surveillance des pesticides en air ambiant sur la région Nouvelle-Aquitaine

Remi FEUILLADE

Atmo Nouvelle Aquitaine Pôle Limoges, Parc Ester Technopole - 35 rue Soyouz 87 068 Limoges Cedex

Les mesures de pesticides dans l'air s'inscrivent dans un contexte réglementaire particulier puisqu'il n'existe à ce jour aucun plan de surveillance national, ni de valeur réglementaire sur la contamination en pesticides dans les différents milieux aériens.

Ces travaux dans le compartiment aérien sont donc, de fait, moins développés que dans d'autres milieux même si depuis quelques années la demande sociétale s'accroît au profit d'un besoin de connaissances et d'information.

Des initiatives ont émergé depuis quelques années avec une importante dynamique des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) qui intègrent cette activité de surveillance des pesticides dans l'air dans leur programme régional de surveillance de la qualité de l'air.

Les mesures de pesticides dans l'air en Nouvelle-Aquitaine ont débuté dès 2001. Elles ont été initiées par Atmo Nouvelle-Aquitaine pour répondre aux exigences des Plans Régionaux de Qualité de l'Air (PRQA) de l'époque. Depuis, chaque année, les campagnes de mesures ont été renouvelées en variant les typologies de sites étudiés afin de couvrir différentes problématiques telles que la proximité de vignes, de vergers, de zones de grandes cultures ou la présence de pesticides en centre-urbain.

Atmo Nouvelle-Aquitaine compile à ce jour, en base de données, près de 75 000 données sur 38 sites de prélèvement différents depuis le début des investigations.

Les mesures de pesticides dans l'air réalisées par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) alimentent aujourd'hui les réflexions menées tant au niveau national que régional dans le cadre du plan Ecophyto, des travaux de l'ANSES ou du PNSE (Plan National Santé Environnement), décliné au niveau local à travers le PRSE.

Dans le cadre de la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt n°2014-1170 du 13 octobre 2014, le nouvel article L. 253-8-1 du code rural prévoit « la mise en place d'un dispositif de surveillance des effets indésirables des produits phytopharmaceutiques », appelé dispositif de phytopharmacovigilance (PPV) en intégrant plusieurs composantes comprenant notamment la qualité de l'air ambiant.

En France, la présence de pesticides dans l'air ambiant est démontrée sur la base de mesures réalisées par les AASQA et de mesures ponctuelles réalisées par différents laboratoires de recherche. Cependant, l'hétérogénéité des méthodologies d'observation utilisées ou des campagnes de suivi, aussi bien en termes spatial que temporel, ne permet pas, malgré la richesse de toutes ces informations, d'établir une vision précise du niveau d'exposition des populations à l'échelle nationale.

C'est dans ce contexte que l'INERIS dans le cadre du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) a été chargé de définir fin 2017, un protocole harmonisé (prélèvements spatiaux et temporels, molécules, typologie de sites, ...) pour la mise en œuvre d'une campagne exploratoire nationale d'un an, à partir de juin 2018, et en vue d'une surveillance nationale pérenne des pesticides dans l'air. Le glyphosate a été retenu sur certains sites parmi de très nombreuses substances actives.

La présentation d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, lors de cette journée technique Pesticides GRESE du 1^{er} juin 2018, s'attachera donc à présenter des résultats synthétiques mais également les perspectives de ses travaux en cours dans le cadre de la campagne exploratoire nationale sur la région Nouvelle-Aquitaine.

Résumés des posters

Gestion inclusive et écologiquement rationnelle des pesticides et déchets associés : Cas du PROGEP-CI, en Côte d'Ivoire

Kouadio K. Georges^{1,2,3}, N'guessan Y. Mathieu^{1,4}, Yoboué Justin¹, Ebrottié Marie¹, Gongbéi G. Mathieu¹, Ouattara Mahamane¹, Kouassi B. Michel¹

- (1) *Projet de Gestion des Pesticides Obsolètes en Côte d'Ivoire (PROGEP-CI), II Plateaux 7^{ème} Tranche 27 BP 629 Abidjan 27*
- (2) *Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement Durable de Côte d'Ivoire*
- (3) *Ecole Normale Supérieure Abidjan, 08 BP 10 Abidjan 08*
- (4) *Université Félix Houphouët Boigny, Cocody-Abidjan, UFR STRM, 22 BP 582 Abidjan 22*

L'agriculture ivoirienne, autrefois façonnée par le labour des paysans, fait l'objet depuis quelques années de l'usage intensif et généralisé de pesticides de synthèse. La bonne gestion et le contrôle efficace de ces produits sur le territoire a été considérablement affecté par dix années (2002 à 2011) de crise socio-politique. Cela a eu pour conséquences la prolifération de pesticides frauduleux, les importations clandestines, et surtout l'absence de formation, d'encadrement et de sensibilisation des acteurs intervenants dans le cycle de vie des pesticides en Côte d'Ivoire. Face à cette situation, l'Etat de Côte d'Ivoire, avec l'appui de différents partenaires, notamment la Banque Mondiale et le Fond de l'Environnement Mondial (FEM), a initié le Projet de Gestion des Pesticides Obsolètes en Côte d'Ivoire (PROGEP-CI). Ce projet qui a débuté en 2016, pour une période de cinq ans, est placé sous la direction du Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement Durable. L'objectif principal du projet est de contribuer à l'amélioration de la gestion des pesticides obsolètes et déchets associés en Côte d'Ivoire. La stratégie adoptée pour l'atteinte de cet objectif se résume en 5 points : (1) inventorier tous les pesticides disponibles sur le territoire national; (2) Sécuriser et éliminer les stocks de pesticides obsolètes et déchets associés identifiés ; (3) renforcer le cadre institutionnel et réglementaire de la gestion des pesticides ; (4) former et sensibiliser les principaux acteurs et parties prenantes ayant un rôle clé dans la gestion des pesticides; (5) proposer des solutions alternatives aux pesticides de synthèse. La mise en œuvre de cette stratégie durant deux ans (2016 à 2017) a permis d'informer, sensibiliser et former plus de 2000 acteurs clés intervenants dans le cycle de vie des pesticides ; Des comités départementaux de lutte contre les pesticides illégaux (CDLPI) ont été installés dans les 110 départements du pays ; Une concertation entre les différents acteurs clés des pesticides en Côte d'Ivoire a eu lieu pour jeter les bases du renforcement du cadre réglementaire ; 30 tonnes de pesticides obsolètes ont été déclarées de manière volontaire par les structures publiques et privées ; 142 agents inventaires et 33 superviseurs ont été formés sur les techniques de collecte, à travers des tablettes numérisées, de données relatives à la qualité, la quantité, les types/substances et l'emplacement des pesticides en Côte d'Ivoire ; 30% des 6000 magasins et dépôts de pesticides répertoriés dans les 33 régions et districts du pays ont été visités durant la période de décembre 2017 à janvier 2018. Dans la perspective de réduire l'utilisation des pesticides de synthèse et proposer des solutions alternatives aux paysans, le projet collabore étroitement avec les Universités et Instituts de recherche à travers des programmes de recherche sur la Lutte Intégrée contre les Nuisibles (LIN) dans des champs pilotes de démonstration.

Mots-clés : Pesticides obsolètes, Lutte Intégrée, Sensibilisation, Inventaire, Champs pilotes, Alternatives

Caractérisation spatio-temporelle de la contamination en pesticides et de son impact écotoxique dans un cours d'eau agricole jurassien

Le Dréau Matthieu, François Adeline, Chaumot Arnaud, Geffard Olivier, Margoum Christelle ⁽¹⁾, Mazzella Nicolas ⁽²⁾, Gouy Véronique ⁽¹⁾

1. Irstea, UR RiverLy, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua CS 20244, 69625 Villeurbanne
2. Irstea, UR EABX, centre de Bordeaux, 50, avenue de Verdun 33612 Cestas cedex

Située sur l'Aire d'Alimentation de Captage (AAC) de Villevieux (eau potable de la ville de Lons-le-Saunier, Jura), la Madeleine est une rivière fortement exposée aux pesticides agricoles provenant de cultures diverses (céréales, maïs, colza, vigne). Le service des eaux, gestionnaire de l'AAC, a mis en place entre 2011 et 2016 un suivi de la qualité chimique des eaux des rivières du captage par prélèvements ponctuels, qui a notamment soulevé des interrogations sur la contamination des eaux dès les sections amont de ces rivières, et sur la contribution des différents affluents. Néanmoins, un diagnostic précis de la contamination en pesticides est difficile à réaliser à cause du manque de représentativité temporelle des prélèvements ponctuels réalisés, et devant l'absence de prise en compte de la toxicité potentielle associée.

C'est ainsi qu'au printemps et à l'automne 2017, périodes propices aux transferts de pesticides vers les cours d'eau, des outils de diagnostic de la qualité chimique et biologique ont été déployés pendant un mois sur 3 stations de la Madeleine de façon à intégrer les apports à la contamination de deux principaux affluents. En plus de la variabilité saisonnière, une variabilité temporelle plus fine a été évaluée par le déploiement de certains outils sous forme de séquences de plusieurs tests (séquences d'un mois constituées de 4 ou 2 tests de 7 ou 15 jours respectivement). Le diagnostic a été réalisé à l'aide :

- i) d'échantillonneurs passifs (Tige Silicone Polaire et POCIS permettant l'analyse de 70 substances actives ou métabolites de pesticides) : placés dans le cours d'eau, ils permettent un échantillonnage en continu, et améliorent ainsi la représentativité de la mesure de la qualité du milieu par l'obtention d'une concentration intégrée sur le temps d'exposition de l'outil (7 ou 14 jours).
- ii) de la biovigilance active qui permet de mesurer des effets toxiques aux échelles moléculaires et individuelles chez des organismes *Gammarus fossarum* transplantés (encagements). Les marqueurs choisis ont été la survie, l'inhibition de l'activité acétylcholinestérase, le taux d'alimentation et les marqueurs de reproduction.

Nous présenterons dans ce poster les premiers résultats de ces expérimentations complémentaires qui mettent en évidence des variabilités spatiales et temporelles (hebdomadaires et saisonnières) de la contamination en pesticides et de l'impact toxique, et permettent ainsi de compléter le diagnostic de la qualité de l'eau de la Madeleine.

Mots-clés : Echantillonnage passif, biosurveillance active, *Gammarus fossarum*, pesticides

Projet PhytoCOTE : Etat des lieux de la contamination organique et inorganique des sols viticoles

Manon Pierdet^{1,2}, Juliette Gaillard², Marie-Hélène Devier², L. Denaix¹, H. Budzinski²

1. ISPA, UMR 1391, INRA, Villenave d'Ornon, France

2. LPTC, UMR 5850, EPOC, Talence, France

La viticulture est une des cultures les plus consommatrices de pesticides en France, plus particulièrement de fongicides. Ces apports réguliers peuvent entraîner une contamination des écosystèmes à long terme et impacter la faune et la flore. Dans les sols, différents processus peuvent jouer un rôle dans la rétention ou les transferts de ces pesticides vers d'autres compartiments. Afin d'apporter une meilleure compréhension de l'évolution spatiale et temporelle de contaminants de nature chimique différente au sein de plusieurs types de sols, un état des lieux des niveaux de contamination des sols en surface et une caractérisation de la disponibilité des éléments traces ont été réalisés.

53 parcelles présentant une diversité pédologique importante ont été échantillonnées sur l'horizon 0-15 cm. Les sols ont été caractérisés (matière organique, oxyhydroxydes d'Al et Fe, CEC, granulométrie, pH) et les dosages des teneurs totales en cuivre, cadmium, plomb et zinc ainsi que de 205 molécules organiques ont été réalisés. La caractérisation de la disponibilité des éléments traces du sol a également été mesurée à l'aide d'échantillonneurs passifs (Diffusive Gradients in Thin films).

Une contamination en cuivre due à l'utilisation ancienne et actuelle de bouillie bordelaise (à base de sulfate de cuivre) a été mise en évidence sur le site d'étude (jusqu'à 343 mg/kg de sol sec).

Concernant les organiques, une grande diversité de molécules a été observée dans les sols à faible ou forte concentration selon les parcelles. L'analyse de ces résultats permettra de montrer si : (1) les niveaux de contamination en cuivre impactent la dégradation et les niveaux de contamination en organiques ; (2) les paramètres physicochimiques des sols impactent la dégradation des organiques et la rétention du cuivre et des organiques ; (3) l'usage présent et ancien des sols jouent sur les niveaux de contamination.

Mots-clés : Pesticides ; cuivre ; sols ; disponibilité

Développement d'une méthode analytique de dosage des triazoles par SPE en ligne LC-MS/MS dans le plasma d'une espèce commune de la Région Nouvelle Aquitaine ; le Merle Noir

Louise PROUTEAU (1) (2), Olivier CHASTEL (1), Frédéric ANGELIER (1), Patrick PARDON (2), François BRISCHOUX (1), Christophe BARBRAUD (1), Herve LORMEE (3), Marie-Hélène DEVIER (2), Hélène BUDZINSKI (2)

1. CEBC, UMR 7372, CNRS - Université La Rochelle, 79360 Villiers-en-Bois
2. LPTC, UMR 5805, CNRS EPOC, 33405 Talence
3. ONCFS, Unité Avifaune migratrice, 79360 Villiers-en-Bois

L'objectif du projet *MULTISTRESS*, soutenu par la Région Nouvelle Aquitaine, est de mesurer les niveaux et effets de divers contaminants sur une large gamme d'espèces animales (amphibiens, reptiles, oiseaux) et de milieux (vignoble, plaine céréalière, zone urbaines, bocage et littoral). Parmi ces contaminants, les triazoles (fongicides) sont des pesticides largement employés lors des traitements dans les exploitations agricoles de la Région Nouvelle Aquitaine. Leurs effets sur les espèces non-ciblées sont encore très mal connus. De plus, la détection de la présence de ces molécules chez les espèces animales visées par le projet reste difficile et requiert donc un développement analytique important. Nous présentons ici une méthode de dosage des triazoles par SPE en ligne LC-MS/MS dans le plasma de merles noirs (*Turdus merula*). Cette espèce, bio indicatrice du milieu, est parfaitement adaptée à ces objectifs éco-toxicologiques puisqu'elle est présente dans la plupart des milieux de la Région Nouvelle Aquitaine et est donc exposée à ces fongicides.

Dans le cadre de ce projet, 17 triazoles et 2 imidazoles dont 3 étalons internes (EI) sont concernés par ce développement analytique.

Pour une approche non-destructive, une faible quantité de sang des merles sauvages est prélevée. Pour abaisser la quantité d'interférents et privilégier la sélectivité de la méthode d'analyse, seule la partie plasma est récupérée après une simple étape de centrifugation. La prise d'essai analytique doit alors être faible tout en permettant des limites de quantification (LQ) basses (sensibilité). Une méthode automatisée est privilégiée pour permettre l'obtention de résultats fiables en un temps réduit de préparation d'échantillon et ce pour un nombre d'échantillons conséquent permettant une bonne évaluation de l'imprégnation de la population.

L'extraction sur phase solide (SPE) en ligne répond à ces besoins. Pour l'analyse de ces molécules organiques, la SPE en ligne est reliée en amont d'une chromatographie liquide (LC) couplée à un spectromètre de masse en tandem (MS/MS).

Afin d'abaisser la limite de quantification en matrice plasma, différents paramètres ont été optimisés. Au niveau de la chaîne analytique cela concerne notamment les étapes de :

- prétraitement de l'échantillon (précipitation des protéines du plasma),
- séparation chromatographique (y compris la colonne chromatographique et la cartouche de la SPE en ligne),
- détection spectrométrique.

Tous ces paramètres ont été testés et optimisés en utilisant une matrice modèle (matrice de plasma de poulet supplémentée en pesticides ciblés). Des LQ de l'ordre du dixième de ng/g plasma ont été obtenues.

Cette méthode nous a permis de rechercher et de quantifier les molécules cibles sur les échantillons de merles.

ClimaVista : une plateforme web pour une meilleure gestion intégrée des pratiques agricoles

Gabriac Denis (1), Ramarohetra Johanna (1), Nembrot Isabelle (1), Arredondo S. Josué (1), Bromblet Lucas (1), Abarca Fernando (1), Louvet Samuel (1), Caubel Julie (1), Boulanger Jean Philippe (1), Mghirbi Oussama (2,3), Trabelsi Meriem (2), Mandart Elisabeth (2) Fabre Jacques (2), Le Grusse Philippe (2,3)

(1) EcoClimaSol, Immeuble MIBI, 672 Rue du Mas Verchant, CS 37777, 34967 Montpellier Cedex 02 – j.ramarohetra@ecoclimasol.com (2) CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5 – legrusse@iamm.fr ; (3) UMR GRED, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France ;

Aujourd'hui, l'agriculture fait face à trois grands défis : nourrir la planète, diminuer son impact sur l'environnement et assurer la durabilité économique pour des exploitations agricoles. Ces pressions environnementales, sociétales et économiques que rencontrent les agriculteurs font évoluer leurs méthodes de travail. Pour aider les agriculteurs à faire face à ces défis et à effectuer une transition vers une agriculture plus agro-écologique, la société EcoClimaSol propose des services disponibles via des plateformes web interactives (ClimaVista Agro et ClimaVista Wine). Ces plateformes sont conçues comme des outils collaboratifs et s'enrichissent des données que l'utilisateur partage pour améliorer les services en continu. Différents types d'informations et d'outils sont proposés sur les plateformes ClimaVista :

- Des outils de gestion : géoréférenciation des parcelles et enregistrement des pratiques.
- Des informations météorologiques et climatiques : accès aux observations météorologiques des stations proches et/ou personnelles et à des prévisions météo personnalisées. Ces dernières sont construites par désagrégation statistique des modèles généraux en prenant en compte les spécificités de l'environnement local. Ces informations permettent de mieux prévoir le calendrier des opérations en champ de manière à optimiser chacune d'entre elle (du semis aux applications de produit et d'eau).
- Des outils de suivi des cultures par télédétection : suivi de l'évolution des cultures par observation satellite des indices de végétation (MODIS, Landsat, Sentinel) et programmation d'un vol de drone ; outil de cartographie intra-parcellaire permettant de délimiter les zones homogènes de la parcelle qui recevront des traitements différenciés (agriculture de précision).
- Des outils de prévision et de suivi des cultures : outils de prévision et de suivi des cultures utilisant des modèles de croissance de plante (stades phénologiques, suivi de l'eau et de l'azote en champ ; e.g. DSSAT) et de développement des bio-agresseurs (risque d'occurrence d'un événement infectieux et évaluation de l'incidence). Combinés aux prévisions météorologiques, ces outils permettent de mieux anticiper les risques afin d'optimiser les opérations effectuées.
- Des informations sur les produits phytosanitaires : accès à EToPhy, outil d'information sur les risques pour la santé de l'applicateur et l'environnement liés à l'utilisation de produits phytosanitaires. L'utilisateur peut comparer les risques associés à différents produits et avoir une synthèse des risques associés à sa pratique sur l'ensemble de son exploitation.

L'ensemble des outils interactifs intégrés dans ClimaVista permet à la fois une gestion durable de l'activité agricole et une anticipation des risques de pertes et donc une protection de la rentabilité des producteurs.

Mots-clés : gestion des risques, pratiques phytosanitaires, agro-écologie, plateforme web, ClimaVista