



# **52° congrès du Groupe Français de Recherches sur les Pesticides**

**Lyon, 22-24 mai 2024**

## **Recueil des résumés courts des communications**

Soutien organisationnel :



En lien avec



<http://www.gfpesticides.org/congres/623-gfp-2024.html>

## **PRESENTATIONS ORALES**

**Session « Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation, les transferts et les risques liés aux pesticides »**

## Des outils de concertation et de conception des actions agricoles au service de la préservation de la ressource en eau

Sencerin Clara <sup>(1)</sup>, Brunet Nicolas <sup>(1)</sup>, Renouf Elodie <sup>(1)</sup>, Messer-Fatoux Pauline <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Eau Publique du Grand Lyon

Résumé :

La qualité des eaux brutes fait l'objet d'un suivi dans un but de s'assurer des normes de potabilité. La régie publique du Grand Lyon met en place une politique agricole dans un but de préservation et de pérennisation de la bonne qualité de la ressource en eau potable, ainsi que la sécurisation de son approvisionnement en eau dans un contexte de changement climatique. La régie publique du Grand Lyon dispose de 11 captages d'eau potable dont une grande partie des Aires d'Alimentation de Captage (AAC) porte sur l'Est Lyonnais et sa nappe fluvioglacière. Le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de l'Est Lyonnais, approuvé en 2009, et en cours de révision, détecte, via son réseau de suivi et depuis de nombreuses années, des polluants d'origine agricole. Il a ainsi pour ambition la **réduction des pollutions diffuses en nitrates et phytosanitaires dans les eaux souterraines**. Pour y répondre, des analyses trimestrielles sont effectuées sur le réseau de suivi qualité permettant d'étudier l'évolution de la qualité des eaux souterraines au cours de ces dernières années. Ces analyses sont complétées par l'autosurveillance de la régie au droit des captages et plus en amont. Dans le cadre de ses bilans, la régie a ainsi observé que des dépassements de la norme de qualité au regard des pesticides ont été observés sur 5 des 6 AAC à enjeux pour la Métropole de Lyon. Les substances qui provoquent les dépassements, en 2023, sont :

- Les métabolites du *métolachlore*
- Les métabolites du *chlorothalonil*
- Le *piclorame*

Dans le cadre des « programmes Captages prioritaires » et au titre de ses missions de préservation de la ressource en eau potable, la régie porte la mise en place d'un nouveau plan d'actions sur les AAC concernées de l'Est Lyonnais. Ce plan d'actions est composé des étapes suivantes.

	Etat des lieux des pressions	Objectifs de diminution de pression	Construction des scénarios	Mise en place et suivi
Co'Click 'Eau	Elaboration du contexte initial du territoire	Elaboration du contexte final de diminution des pressions	Construction des scénarios pour atteindre l'objectif final fixé de diminution des pressions	
STICS			Evaluation des actions envisageables pour sélectionner le scénario favorable <b>Problème : Implémentation STICS-Pest</b>	
Indicateur de suivi				Définition et mobilisation des indicateurs de suivi <b>Problème : Méthodologie indicateur des stocks de pesticides</b>

Un **état des lieux des pressions exercées sur la ressource en eau** est entrepris. La connaissance de la pression est abordée en utilisant les référentiels nationaux et locaux relatifs aux pratiques agricoles, en particulier les Indices de Fréquence de Traitements (IFT). Une description détaillée du territoire et des différentes typologies d'agriculture présentes est réalisée grâce à l'expertise des acteurs locaux, validées par les données disponibles issues d'enquêtes de terrain ainsi que la banque nationale des ventes des distributeurs de produits phytopharmaceutiques (BNVD) sous l'expertise de l'INRAE. Cette étape préliminaire permet d'adapter les référentiels à la réalité locale, grâce à l'expertise des partenaires, et de produire un diagnostic précis des pressions exercées sur la ressource en eau.

Sur la base de ce diagnostic, des **objectifs de diminution des pressions** seront fixés. Ces objectifs reposeront sur une analyse des dépassements constatés sur les eaux brutes, en relation avec les diagnostics des pressions identifiées précédemment. Ces objectifs seront déterminés à l'aide de l'outil Co'Click'Eau. Les partenaires seront impliqués dans la conception d'un plan de préservation de la ressource en eau.

Des **scénarios de diminution des pressions** définis précédemment seront élaborés en mobilisant l'outil Co'Click'eau et l'expertise de l'Inrae. Ces simulations prendront en compte divers facteurs tels que les pressions exercées, les résultats économiques ou les contraintes temporelles. Trois leviers d'actions seront simulés : les *cultures intermédiaires*, le *désherbage mécanique* et les *cultures/filières d'intérêt compatibles* avec les objectifs environnementaux.

Parallèlement, le modèle agronomique STICS sera mobilisé pour **évaluer les solutions techniques envisageables pour atteindre ces objectifs**. Ce modèle prendra en compte à la fois des aspects techniques agronomiques, tels que la faisabilité et le rendement des différentes pratiques agricoles envisagées, et des considérations environnementales en lien avec la réduction de l'infiltration des pesticides dans les eaux souterraines. En collaboration avec les partenaires, le scénario le plus favorable conciliant les objectifs environnementaux avec les impératifs de l'activité agricole sera sélectionné pour bâtir le plan d'action. Dans ce contexte, l'utilisation du module STICS-Pest est indispensable mais quelques problématiques existent à ce jour concernant la version et les molécules paramétrées.

Une fois le plan d'action validé par les services de l'État, le **suivi de la mise en œuvre du plan d'action** sera assuré, en définissant et mobilisant les indicateurs de pression définis précédemment, et des bilans périodiques pour évaluer l'efficacité des mesures mises en place dans la préservation de la ressource en eau contre les pesticides. Un indicateur intéressant serait les stocks de pesticides dans le sol mais des problématiques de méthodologies quant à sa mise en œuvre existent.

**Mots-clés** : Action, Agriculture, Pesticide, Modèle, STICS, Co'Click'Eau, Stock de pesticides, Qualité de l'eau

# Réduction de l'usage des pesticides : Et si on construisait les actions à partir des caractéristiques des acteurs qui les mettront en œuvre

BUYS Christophe <sup>(1)</sup>, PETRELLE Julie <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> SCE Aménagement et environnement – Domaine agriculture et Environnement, 4, rue René VIVIANI Nantes – [christophe.buys@sce.fr](mailto:christophe.buys@sce.fr)

<sup>(2)</sup> Seine Normandie Agglomération – Service Gestion intégrée de l'eau et inondation, 12 rue de la Mare à Jouy, 27120 Douains – [jpetrelle@sna27.fr](mailto:jpetrelle@sna27.fr)

Résumé :

La réussite de la co-construction d'un programme d'actions est primordiale pour assurer une bonne mobilisation des acteurs du territoire. Mais quels sont les clés et les outils qui permettent de réussir cette co-construction ?

Seine Normandie Agglomération et SCE vous présentent la méthode et les outils utilisés qui ont permis de créer une réelle dynamique vis-à-vis de la reconquête de la qualité de l'eau (réduction des risques de pollutions par les pesticides et les nitrates).

En effet, grâce à la mise en œuvre d'une méthodologie pragmatique (diagnostic adapté aux enjeux techniques, sociaux et économiques, prise en compte des craintes et des besoins des exploitants agricoles, implication de tous les acteurs avec des rôles et des objectifs précis (cadre de la concertation et dialogue territorial), utilisation d'une méthode de concertation multi-acteurs comme Co-Click'Eau, ...), un réel consensus sur les actions à mettre en œuvre (développement de nouvelles filières à bas niveau d'impact, couverture des sols, développement de la protection intégrée, ...) a pu être trouvé sur un territoire n'ayant jamais fait l'objet de programme environnemental.

## 1. Présentation du contexte de l'étude (présentation par SNA et SCE)

L'étude présentée ici s'est déroulée de 2021 à 2022, elle concerne quatre captages d'alimentation en eau potable de la Vallée de la Seine situés à proximité de Vernon (27). Ces captages ont été classés prioritaires, car particulièrement menacés par les risques de pollution diffuse aux nitrates **et aux pesticides**. En effet, certains de ces ouvrages sont sujets à des détections d'herbicides utilisés en grandes cultures.

L'aire d'alimentation de captage, d'une superficie de 20km<sup>2</sup> est partagée entre la forêt (1/3), les zones artificialisées (1/4) et les surfaces agricoles (environ 40%). Hormis quelques prairies situées principalement sur les côtes de la Seine, les grandes cultures représentent l'essentiel de la surface agricole. Le blé tendre d'hiver, le colza et l'orge d'hiver représentaient 70% des surfaces agricoles en 2018.

Si les agriculteurs se sont montrés très concernés par cette étude, il n'existait pas de réelle dynamique agricole sur le territoire. Le défi était donc d'inclure très en amont tous les acteurs, et de se servir de cette mission pour créer une dynamique autour de la réduction des contaminations nitrates et pesticides des eaux brutes destinées à l'alimentation en eau potable.

## 2. La méthodologie utilisée

Les grandes étapes de cette mission ont été de caractériser la vulnérabilité de l'aire de captage, de réaliser un diagnostic agricole permettant d'identifier l'origine des contaminations et de caractériser le fonctionnement de la filière agricole, de choisir un scénario de réduction des contaminations et enfin d'élaborer un programme d'actions en cohérence avec le scénario choisi.

Au-delà du diagnostic de territoire, réalisé de manière plutôt classique, l'intérêt de cette mission, et ce que nous souhaitons partager réside dans la préparation et la mise en œuvre de la concertation auprès des agriculteurs, de leurs partenaires, de la collectivité, des financeurs et des services de l'Etat pour bâtir le programme d'actions

### 2.1 Le cadrage de la concertation : mise en œuvre du dialogue territorial (présentation par SNA) 5'

Une dynamique de territoire est un travail de longue haleine, qui peut très vite être mis à mal par une erreur due à la précipitation ou l'incompréhension. Le cadrage en amont est donc primordial pour éviter toute frustration. Le cadrage doit donc comporter :

- Le cadre général de la concertation : l'objectif de la concertation / ses livrables / l'objet (ce qui sera débattu et ce qui ne le sera pas) / les règles du jeu (écoute, bienveillance, ...) / les modes de décision
- Les objectifs et attentes de chaque partie prenante
- L'organisation de la concertation : Rôle de chacun / quels acteurs / déroulement
- Les étapes de la concertation : quelle réunion pour quel but / calendrier

### 2.2 Simulation des scénarios par la Méthode Co-Click'Eau<sup>1</sup> (Présentation par SCE)

La difficulté principale de la mise en place d'une dynamique de territoire est de permettre des échanges constructifs entre des acteurs qui ont des priorités différentes. Alors que les attentes de la collectivité tournent autour des aspects environnementaux (nitrates, pesticides), territoriaux (filières locales, foncier, ...), les attentes des agriculteurs tournent autour d'éléments sociaux (temps de travail, bon échange avec les autres agriculteurs et la collectivité) et économiques (maintien voire augmentation des marges, diversification des productions, ...).

La méthode Co-Click'Eau a été utilisée. Elle a permis de simuler l'impact de changements de pratiques sur des indicateurs diversifiés (production, marge culture, temps de travail, indice de fréquence de traitement, reliquat d'azote au début de la période de drainage, ...) propres à chaque acteur et choisi par eux. Grâce à Co-Click'Eau, les agriculteurs ont accepté de diversifier leurs assolements avec des cultures à bas niveau d'impact et des cultures de printemps, et d'expérimenter les techniques de la protection intégrée. D'un autre côté, la collectivité s'est engagée à proposer de nouveaux débouchés (services environnementaux, filières), et à échelonner les objectifs de réduction initiaux sur un plus long terme afin de permettre aux agriculteurs de s'approprier ces nouvelles techniques.

### 2.3 Présentation du programme d'actions retenu (Présentation SNA)

La concertation a abouti à un programme d'actions simple (13 actions réparties en 4 axes) et partagé par tous.

## 3. Les postures, un élément primordial souvent négligé (présentation SCE)

De l'expérience de SCE sur des évaluations de contrats ou de mise en place de programme d'actions, une organisation bien cadrée est un élément essentiel de la réussite.

---

<sup>1</sup> <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Plaque%20pr%C3%A9sentation%20Coclickeau%20%284p%29.pdf>

En effet, un acteur est reconnu par les autres selon ce qu'il produit, ce qu'il apporte aux autres. Il est donc primordial que cet acteur soit pertinent dans son rôle (sauf à quelques exceptions, on ne demande pas à un agent de collectivité de conseiller un agriculteur sur ses pratiques, comme on ne demande pas à un technicien de coopérative d'expliquer les normes de potabilité).

Au-delà du rôle d'un acteur dans le programme d'actions, celui-ci peut parfois représenter la structure pour laquelle il travaille. C'est-à-dire, qu'il est parfois intéressant de ne pas s'arrêter à la seule fonction relative au programme d'actions. Le « rendre service » par le réseau peut permettre une implication future des acteurs par l'instauration d'un climat de confiance.

#### **4. Les premiers retours sur les actions en place (présentation SNA)**

Point sur les actions qui se mettent en place (observatoires pesticides et nitrates, implantation de nouvelles cultures, accompagnement en protection intégrée, ...) et l'implication (taux de participation) des agriculteurs.

#### **Conclusion**

A travers cette présentation, SCE et SNA souhaitent réellement partager leur expérience sur la mise en place d'une dynamique territoriale pour bâtir un programme d'actions. S'il est prématuré d'affirmer que cette mise en œuvre peut être classée comme une réussite (la réussite ne pourra être actée seulement lorsque le programme d'actions sera couronné de succès), les premiers signaux (mobilisation, qualité des échanges, considération, ...) sont très prometteurs.

Notre présentation abordera à la fois les outils et les méthodes qui facilitent le dialogue territorial, mais aussi les aspects sociologiques nécessaires à la mise en place d'une bonne dynamique.

**Mots-clés :** *Co-construction, Co-Click'Eau, Dynamique de territoire*

## Avenir de l'agriculture martiniquaise : avec ou sans glyphosate ?

### Exploration participative des voies de sortie

André Perrine <sup>(1)</sup>, Imache Amar <sup>(2)</sup>, Cattan Philippe <sup>(3)</sup>, Poser Christophe <sup>(4)</sup>, Pak Lai Ting <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Cirad, UPR HortSys, , F-97285, Le Lamentin, Martinique – lai-ting.pak@cirad.fr

<sup>(2)</sup> Lisode, BP 5095F-34196 Montpellier cedex 5 – amar.imache@lisode.com

<sup>(3)</sup> Cirad, UMR TETIS, F-34398, Montpellier, France – philippe.cattan@cirad.fr

<sup>(4)</sup> Cirad, UPR AIDA, F-34398, Montpellier, France – christophe.poser@cirad.fr

#### Résumé :

La Martinique en 2021, était au deuxième rang des départements français les plus consommateurs de glyphosate par hectare de surface agricole utile (BNV-D, 2021) avec une moyenne (1 kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>) trois fois supérieure à la moyenne nationale (0,3 kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>).

Le glyphosate et son métabolite, l'AMPA, ont été quantifiés dans les cours d'eau de Martinique, parfois à des niveaux dépassant les seuils de potabilité (Delarque & Pak, 2023). En détruisant les couverts végétaux, les usages intensifs de glyphosate sont susceptibles d'amplifier les phénomènes de ruissellement et d'érosion favorisant le transfert vers le milieu marin de la chlordécone encore présente dans les sols contaminés, comme le suggèrent Sabatier *et al.* (2021). De plus, les dernières études en Martinique nous enseignent que le glyphosate impacte la biodiversité de la macrofaune du sol avec des pertes allant jusqu'à 55 % de la richesse en détritivores, pourtant essentiels à l'écosystème (El Jaouhari *et al.*, 2023). À cela s'ajoute la difficulté des agriculteurs martiniquais à adopter à court terme des modes de production alternatifs. Ceci est dû à plusieurs contraintes locales (pressions des adventices, pentes, etc.) et un manque d'approche systémique de la réduction des usages de pesticides. Car en effet, les trajectoires de changements de pratiques agricoles dépendent de processus d'apprentissage continu impliquant des interactions avec le territoire et ses acteurs (Deffontaines *et al.*, 2017).

Face à ce constat et à cette problématique, l'action de recherche entreprise s'est donnée pour objectif de co-concevoir avec les acteurs du territoire des scénarios de sortie du glyphosate en phase avec la réalité martiniquaise.

Afin de répondre à cet objectif, notre démarche de recherche basée sur la prospective participative s'est déclinée en trois étapes. En premier lieu, un diagnostic des usages du glyphosate sur un bassin versant (45 km<sup>2</sup>) réalisé à partir de 32 entretiens avec différents profils d'agriculteurs et agricultrices. Puis, un recensement des pratiques alternatives mises en œuvre en Martinique à partir de 10 exploitations innovantes et économes en glyphosate, ayant permis d'identifier 7 catégories de pratiques alternatives. Ces deux étapes ont débouché chacune sur un atelier participatif avec différents acteurs volontaires du territoire (agriculteurs, représentants de filières agricoles, centres techniques, scientifiques, institutionnels, etc.) afin de partager leur positionnement sur le sujet. Les convergences et les éventuels points de blocage ont pu être identifiés et les résultats complétés à travers des discussions croisées. Les sorties de ce travail en amont nous ont permis de préparer une dernière étape sous forme d'un atelier de co-conception de scénarios de sortie du glyphosate adaptés à la Martinique.

L'exploration des scénarios s'est faite grâce à un exercice de co-écriture en trois sous-groupes lors d'un atelier regroupant plus d'une trentaine d'acteurs ayant majoritairement contribué aux étapes précédentes. Cet atelier s'est déroulé en deux sessions : une première pour explorer des futurs contrastés afin de familiariser les participants avec l'exercice de prospective et de balayer plus largement le champ des possibles, allant d'un avenir fortement dépendant au glyphosate à un avenir totalement dépourvu de cette substance. La deuxième session avait pour but d'élaborer collectivement trois scénarios réalistes qui prennent en compte différentes dimensions abordées dans la première session. Cette approche ludique a permis d'éviter d'éventuels blocages dans le processus de réflexion (Imache *et al.*, 2009).

L'analyse des trois scénarios réalistes révèle quatre principaux résultats. (i) **La réduction progressive de l'utilisation du glyphosate d'ici 2035.** Les scénarios convergent tous vers cet objectif sans pour autant aboutir à un arrêt complet. La principale raison évoquée est qu'un arrêt total et précoce pourrait engendrer un effet de substitution par une autre substance herbicide. Ce qui n'était pas souhaitable du point de vue des participants. (ii) **Le besoin d'accompagnement** pour acquérir les connaissances et les compétences nécessaires aux agriculteurs réduisant ou arrêtant l'usage de glyphosate. Les trois scénarios mentionnent les rôles de la recherche et des accompagnateurs agricoles respectivement comme décisifs dans la création de nouvelles connaissances et le déploiement des pratiques alternatives sur le territoire. Il faudra entre autres réintensifier les dynamiques d'accompagnement par des organismes existants (Chambre d'Agriculture, Institut Technique Tropical, etc.) ou à créer (associations, organisations de producteurs, etc.). (iii) **Une évolution de la réglementation et des systèmes de subvention.** Ce point est traité dans chacun des scénarios, mais de différentes manières. Qu'elles soient coercitives ou incitatives, les mesures tendent à trouver un équilibre pour ne pas laisser les producteurs sans issue (dérogations exceptionnelles, implication des services techniques publics) et s'harmoniser entre mesures locales, nationales et européennes. Les décaissements des subventions locales en temps et en heure ont été identifiés comme essentiels. (iv) **Une nouvelle organisation du maillage territorial.** Ce point découle de l'identification des freins actuels au développement agricole en Martinique. Notamment en matière de collaboration entre agriculteurs, mais aussi inter-instituts et inter-filières de productions. Or, les différents ateliers menés au cours de ce projet ont montré des synergies possibles entre acteurs par la mutualisation des connaissances et des ressources respectives. L'exemple du partage de matériel agricole, i.e. structure type CUMA, a souvent été abordé, mais sous conditions d'une bonne gestion du partage de matériels et de l'équité entre exploitants.

Ce travail collaboratif offre des perspectives prometteuses pour entreprendre une démarche de réduction visant à l'arrêt du glyphosate à l'échelle territoriale en milieu tropical insulaire. En valorisant les différentes formes d'expertises d'une diversité d'acteurs et misant sur leur complémentarité, ce travail a favorisé l'émergence d'idées nouvelles, enrichissant ainsi les visions individuelles et collective pour un futur commun souhaitable. Enfin, cette étude, à travers une question simple autour de l'usage d'une substance, a permis d'aborder des questions bien plus vastes qui touchent à l'évolution des pratiques agricoles et plus généralement à celle du modèle agricole de demain, faisant écho aux dernières manifestations de la profession agricole en France.

*Mots-clés : glyphosate, Martinique, agriculture, co-conception, prospective participative*

**Références bibliographiques :**

- Deffontaines, L., Mottes, C., Della Rossa, P., Lesueur-Jannoyer, M., Cattan, P., & Le Bail, M. (2020). How farmers learn to change their weed management practices: Simple changes lead to system redesign in the French West Indies. *Agricultural Systems*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102769>
- Delarque, S., & Pak, L.T. (2023). Caractérisation des évolutions des concentrations en pesticides dans les eaux de surface du bassin versant du Galion en Martinique : résultats de six campagnes de suivi (p. 79). Rapport Cirad
- El Jaouhari, M., Damour, G., Tixier, P., & Coulis, M. (2023). Glyphosate reduces the biodiversity of soil macrofauna and benefits exotic over native species in a tropical agroecosystem. *Basic and Applied Ecology*, 73, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2023.10.001>
- Imache, A., Dionnet, M., Bouarfa, S., Jamin, J.-Y., Hartani, T., Kuper, M., & Le Goulven, P. (2009). « Scénariologie participative » : une démarche d'apprentissage social pour appréhender l'avenir de l'agriculture irriguée dans la Mitidja (Algérie). *Cahiers Agricultures*, 18 (5), 417-424 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2009.0324>
- Sabatier, P., Mottes, C., Cottin, N., Evrard, O., Comte, I., Piot, C., Gay, B., Arnaud, F., Lefevre, I., Develle, A.-L., Deffontaines, L., Plet, J., Lesueur-Jannoyer, M., & Poulencard, J. (2021). Evidence of chlordecone resurrection by glyphosate in French West Indies. *Environmental Science & Technology*, 55 (4), 2296-2306. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05207>

## Évaluation de l'impact environnemental des pesticides dans l'agriculture de Biskra

Hassina Hafida BOUKHALFA<sup>(1)</sup>, Naoual GUEHILIZ<sup>(2)</sup>, Nafissa SOUDANI<sup>(2)</sup>,  
Kahramen DEGHNOUCHE<sup>(3)</sup>, Khaoula TOUMI<sup>(4)</sup>.

<sup>(1)</sup> Laboratoire promotion de l'innovation en agriculture dans les régions arides (PIARA), Département des Sciences agronomiques, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie – [h.boukhalfa@univ-biskra.dz](mailto:h.boukhalfa@univ-biskra.dz)

<sup>(2)</sup> Directorate of Agricultural Services (DSA), Biskra, Département des Sciences agronomiques, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie.

<sup>(3)</sup> Laboratoire Diversité des écosystèmes et dynamique des systèmes de production agricole dans les zones arides (DEDSPAZA), Département des Sciences agronomiques, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie.

<sup>(4)</sup> Ecole supérieure d'agriculture de Kef (ESAK), Département d'amélioration des plantes et protection des cultures, Université de Jendouba, Tunisie.

### Résumé :

En Algérie, tant la culture maraîchère que céréalière font face à d'importants défis liés aux attaques de ravageurs, à la prolifération des maladies et au développement des mauvaises herbes. Ces problématiques ont incité les agriculteurs à recourir à des mesures excessives de contrôle chimique pour lutter contre les bio-agresseurs. L'objectif de cette étude est de caractériser les pratiques phytosanitaires des producteurs de légumes et des agriculteurs céréaliers algériens, en mesurant l'intensité de l'utilisation de pesticides et en estimant la pression phytosanitaire dans la région de Biskra.

À travers des enquêtes par questionnaire menées auprès de 96 producteurs de légumes et de 259 agriculteurs céréaliers sélectionnés de manière aléatoire, il a été révélé qu'une gamme diversifiée d'ingrédients actifs est couramment appliquée sur différentes cultures. En culture maraîchère, parmi les 70 substances actives identifiées, dix-huit sont les plus fréquemment utilisées, principalement des insecticides et des fongicides. Les valeurs de l'indice de fréquence de traitement (IFT) calculé varient de 0,80 à 30,45, indiquant des degrés variables d'intensité d'utilisation de pesticides. La pression phytosanitaire est particulièrement préoccupante pour les cultures de tomates, d'aubergines et de piments, avec des valeurs d'IPP de 4,03, 4,29 et 8,25, respectivement.

De manière similaire, en culture céréalière, l'étude met en lumière une utilisation incontrôlée de pesticides, avec des ingrédients actifs identifiés tels que le Cloquintocet-Mexyl, le Clodinafop-Propargyl et le 2,4-D, présentant des risques potentiels. Quatorze ingrédients actifs ont été classés comme modérément dangereux (Classe II) selon l'OMS. Nos résultats indiquent un indice total de fréquence de traitement du terrain (TFI) plus élevé (en combinant les TFI herbicides et non herbicides) pour le blé dur et le blé tendre par rapport à l'orge. À noter qu'Ain Naga présente une pression phytosanitaire très élevée (IPP=2,60), tandis qu'El Feidh, El Outaya, Mlili, Oumeche et Ourllal font face à des pressions fortes. D'un autre côté, Doucen présente une pression modérée.

Les conséquences de ces pratiques se manifestent par des rendements réduits, une pollution environnementale, et des impacts potentiels sur la santé humaine et animale à travers la bioaccumulation et la biomagnification. La nécessité d'une formation complète, de programmes de sensibilisation, et d'une surveillance continue des agriculteurs dans les deux secteurs est soulignée pour assurer une agriculture durable et préserver le bien-être tant des écosystèmes que des communautés.

**Mots-clés :** Pratiques phytosanitaires, impact environnemental, IPP, IFT, agriculture durable.

## **Risques sanitaires associés à la réutilisation d’emballages de pesticides et autres produits chimiques en Côte d’Ivoire : une approche communicationnelle pour réduire le risque**

KONAN Kouassi Frédéric

Université Alassane Ouattara (Bouaké-Côte d’Ivoire) - [fredkonan2000@yahoo.fr](mailto:fredkonan2000@yahoo.fr)

### Résumé :

L’utilisation de substances chimiques (engrais chimiques, pesticides et autres produits phytosanitaires) s’est accrue ces dernières décennies en Afrique, du fait d’une agriculture de plus en plus intensive, de la rareté de la main d’œuvre et du besoin de modernité. Bien que ces substances chimiques visent à relever le défi de la sécurité alimentaire, elles induisent des problèmes de santé, provoquant notamment des maladies cancéreuses et endocriniennes. Selon la Banque mondiale, l’usage incontrôlé des pesticides a fait 355.000 morts dans le monde en 2008.

En Côte d’Ivoire, certes, la commercialisation et l’usage des pesticides sont répandus comme ailleurs, mais les emballages de ces produits hautement dangereux sont souvent réutilisés comme des contenants de produits destinés à la consommation directe. Cette pratique expose les populations à de graves risques de santé publique. Une telle situation suscite la réflexion sur la gestion efficace des emballages de pesticides, surtout dans un contexte où il existe encore un écart important entre la réglementation et sa mise en œuvre. Face à ce constat, une question se pose : comment la communication peut-elle contribuer à réduire les effets nocifs des emballages de pesticides sur la santé des populations du district d’Abidjan ? Cette étude vise à sensibiliser les populations du district d’Abidjan à la bonne gestion des emballages de pesticides souvent réutilisés pour des besoins domestiques.

La méthodologie de l’étude adopte une démarche qualitative dans laquelle les guides d’entretien élaborés ont été adressés aux vendeurs, réutilisateurs, personnels médicaux, et aux responsables des ministères concernés par la question de la fabrication et de la commercialisation des pesticides. L’analyse des données recueillies a permis de conclure que la communication peut aider à réduire de manière significative, les risques sanitaires liés à la réutilisation d’emballages de pesticides et autres produits chimiques dans le district d’Abidjan en Côte d’Ivoire.

***Mots-clés** : communication ; risque sanitaire ; pesticide ; emballage ; réutilisation*

## **Equilibre entre rentabilité, production de la protéine et réduction des pesticides : quels leviers d'action pour les exploitations agricoles Françaises ?**

*Jean-Philippe Boussemart* <sup>(1)</sup>, *Maé Guinet* <sup>(2)</sup>, *Salomé Kahindo* <sup>(1)</sup>, *Nicolas Munier-Jolain* <sup>(2)</sup>,  
*Raluca Parvulescu* <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> IESEG School of Management, Univ. Lille, CNRS, UMR 9221-LEM, F-59000 Lille, France – [jp.boussemart@ieseg.fr](mailto:jp.boussemart@ieseg.fr) - [s.kahindo@ieseg.fr](mailto:s.kahindo@ieseg.fr) - [r.parvulescu@ieseg.fr](mailto:r.parvulescu@ieseg.fr)

<sup>(2)</sup> Agroécologie, INRAE, Institut Agro, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France – [mae.guinet@inrae.fr](mailto:mae.guinet@inrae.fr) - [nicolas.munier-jolain@inrae.fr](mailto:nicolas.munier-jolain@inrae.fr)

Résumé :

L'évolution du secteur agricole en France a été conditionnée par une série de facteurs tant internes qu'externes. Au cours des années 1960, la priorité donnée à la sécurité alimentaire a entraîné l'adoption de méthodes de production novatrices, incluant l'industrialisation et l'utilisation intensif de pesticides et d'engrais chimiques. Bien que ces innovations aient stimulé la production agricole, elles ont également entraîné un épuisement et une dégradation significatifs des ressources naturelles telles que le sol et l'eau, compromettant la durabilité du secteur à long terme. De plus, les systèmes de production Français sont devenus moins diversifiés, avec une expansion notable de la culture céréalière au détriment d'autres cultures comme les légumineuses riches en protéine, reconnues pour leurs bénéfices environnementaux. Ce changement a conduit à un déficit de production de la protéine, augmentant ainsi la dépendance de la France vis-à-vis des importations de soja et exacerbant les problématiques environnementales. Augmenter la culture des légumineuses est donc essentiel, mais il est impératif de relever les défis tels que la dépendance aux pesticides et la variabilité des rendements afin de garantir la viabilité économique et environnementale. D'où l'intérêt de cette étude qui analyse les effets de trois stratégies agricoles : la maximisation de la rentabilité, la maximisation de la protéine et la minimisation de l'utilisation des pesticides. Notre contribution à la littérature est triple : premièrement, nous analysons en détail les trois stratégies, en mesurant leur impact sur le revenu des agriculteurs, les consommations intermédiaires et la réduction des pesticides. Deuxièmement, en considérant la stratégie de maximisation de la rentabilité comme référence, nous mesurons le coût d'opportunité associé à l'adoption d'une stratégie alternative. Troisièmement, nous utilisons une méthodologie innovante qui intègre les prix comme variable d'optimisation dans les modèles d'activité, permettant ainsi une évaluation plus complète et réaliste de l'économie agricole.

En appliquant un modèle d'activité non paramétrique à un ensemble de données de fermes de grandes cultures de 1991 à 2017, nos résultats montrent que dans la première stratégie, une augmentation de la rentabilité de 26,1 % est réalisable tout en diminuant les charges intermédiaires sans pesticides de 10,3 % et les charges des pesticides de 3 % (équivalent à une réduction des pesticides de 9,4 % par rapport au niveau observé). Dans la deuxième stratégie, une augmentation potentielle des rendements protéiques de 10,2 % est atteignable. Cette croissance est suivie d'une légère augmentation des coûts des pesticides (0,9 %, soit une augmentation de 2,8 % par rapport au niveau observé) et une diminution des autres charges intermédiaires sans pesticides de seulement 2 %. Enfin, la troisième stratégie a montré qu'aligner les pratiques agricoles actuelles sur leurs benchmarks entraînerait une diminution des charges de

pesticides de 10 % (équivalent à une réduction de 31,2 % par rapport au niveau observé) et une augmentation des charges intermédiaires sans pesticides de 2,3 %. Bien que cette stratégie réduise les rendements protéiques de 2,3 %, elle entraîne une hausse de leurs prix de 5 %. La prévalence de l'effet prix sur l'effet quantité conduit à une augmentation de la profitabilité de 11,2 %.

Considérant la maximisation de la profitabilité comme référence, l'analyse du coût d'opportunité révèle des arbitrages : privilégier l'offre de la protéine ou la réduction des pesticides au détriment de la profitabilité diminuerait la marge brute respectivement de 55 €/ha (soit 9,5 %) et de 92 €/ha (soit 15,8 %). En termes de réduction des pesticides, cela implique qu'une subvention de 92 €/ha par exploitation serait nécessaire pour inciter les agriculteurs à adopter une logique de durabilité environnementale à la place de celle centrée sur la profitabilité.

Ces résultats suggèrent qu'un équilibre entre les trois stratégies nécessiterait une amélioration de la gestion des pratiques culturales, les ajustements de prix jouant un rôle secondaire. L'analyse du coût d'opportunité appelle à un changement de paradigme vers des systèmes agricoles conciliant performances économiques, gestion environnementale et qualité nutritionnelle, notamment en intégrant des cultures riches en protéines dans des rotations plus longues. Cette évolution est cruciale pour la durabilité de l'agriculture et le bien-être des futures générations, marquant une avancée majeure vers un monde plus résilient et sûr sur le plan alimentaire.

**Mots-clés:** Exploitations agricoles ; Maximisation de la profitabilité ; offre de la protéine ; Réduction des pesticides ; Analyse d'activité.

## Réduction des pesticides : De l'approche technique à la parcelle à la réflexion de l'organisation du travail sur l'exploitation

### Etudes de cas : maraichage plein champ en Nord-Ouest de la France

Marc Gallien<sup>1</sup>, Philippe Delval<sup>2</sup>, Sonia Grimbuhler<sup>3</sup>

(1) DREETS de Normandie, 14 avenue Aristide Briand 76108 Rouen Cedex 1, contact : [marc.gallien@dreets.gouv.fr](mailto:marc.gallien@dreets.gouv.fr),

(2) ACTA AGRAPOLE 26 rue Baldassini 69007 Lyon,

(3) INRAE, UMR ITAP « Technologies & méthodes pour les agricultures de demain », Institut Agro Montpellier, Univ. Montpellier, Montpellier,

#### Résumé :

La mise en œuvre de principes de prévention et de protection a pour objectif de réduire l'application des pesticides et d'en limiter les effets sur l'environnement et la santé humaine. La Protection Intégrée des Cultures (PIC) ainsi que les Principes Généraux de Prévention (PGP) de la réglementation du travail, lorsqu'ils sont mobilisés, le sont le plus souvent en silos. L'application des principes de la PIC ne prend pas assez en compte les conditions de travail des travailleurs et la recherche d'une meilleure application des PGP limite l'application de la PIC sur les exploitations. L'analyse conjointe de l'application de la PIC et des PGP permet une approche technique à la parcelle et une réflexion sur l'organisation du travail sur l'exploitation. Cette analyse peut être conduite pour l'ensemble des filières de productions. Pour cette communication, la production maraîchère de plein air a été choisie en raison de la diversité des principes de la PIC applicables, de l'importance de l'organisation du travail et de la main d'œuvre.

La protection chimique des légumes se caractérise de plus en plus par des pertes d'efficacité et des usages orphelins. Les producteurs se tournent donc vers des méthodes de protection alternatives, telles que les variétés résistantes, les paillages et mulch, l'utilisation du greffage, la désinfection du sol par solarisation ou par biofumigation, les produits et agents de biocontrôle, pour gérer un certain nombre de bioagresseurs (Agreste, 2023).

La méthodologie s'articule en 3 actions :

1. L'analyse environnementale, agronomique, économique et sociale de la mise en place des principes de la PIC

La base « leviers PIC », contenant 160 leviers, élaborée par l'ACTA à partir de 2012 (ECOPHYTOPIC) décrit les pratiques ou un ensemble de pratiques alternatives permettant d'éviter ou de réduire l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. Ils sont classés en 5 grandes thématiques : Piloter, Prévenir, Protéger, Concevoir son système, Exposition et impacts (Naranjo, Ellsworth, 2009). Dans notre étude, les leviers « prévenir » et « protéger », comprenant les méthodes physiques et le biocontrôle, sont privilégiés. Chaque technique est qualifiée par des critères agronomiques, environnementaux, économiques et sociaux et des regroupements par période (interculture, implantation, végétation, récolte) sont proposés.

## 2. L'analyse au regard des principes généraux de prévention

Les 3 premiers principes généraux de prévention des risques professionnels (code du travail, article L. 4121-1): 1. Eviter les risques, 2. Evaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ; 3. Combattre les risques à la source, représentant la prévention primaire ont été étudiés.

## 3. Le croisement des résultats obtenus

Les résultats obtenus au regard des principes généraux de prévention sont comparés aux leviers de la PIC pour vérifier leur cohérence. Les changements de la situation de travail découlent de l'application de chaque levier de la PIC selon la grille d'analyse ITAMAMI qui s'intéresse à l'Individu, à la Tâche, au Matériel et au Milieu.

L'étude quantitative permet de distinguer des éléments de tendances dans les quatre volets analysés :

- Volet environnemental : Les méthodes alternatives présentent la plupart du temps un caractère positif sur ce volet, diminuant l'impact de la chimie et présentant des caractères positifs par rapport à la qualité du milieu ambiant. Néanmoins l'utilisation de matériel faisant appel à de l'énergie fossile ou à l'émission de gaz à effets de serre peuvent être un facteur limitant.
- Volet agronomique : Les avantages des méthodes alternatives sont plus partagés entre un effet favorable et neutre. Certaines méthodes peuvent faciliter le développement de bioagresseurs secondaires ou poser des difficultés aux cultures.
- Volet économique : Nombreuses méthodes impliquent une augmentation des charges opérationnelles et parfois de mécanisation ce qui peut influencer sur la marge si le gain économique n'est pas contrebalancé par une diminution importante des charges d'intrants.
- Volet social : Les moyens humains doivent être revus en termes de temps de travail et de compétences. L'organisation du travail est modifiée et l'ordre des tâches peut être changé. Le choix de moyens matériels nouveaux questionne la sécurité des personnes et leur santé au travail. Enfin, le partage avec ses pairs de la mise en œuvre de techniques et de leurs résultats est un levier important du développement de la PIC.

Pour les aspects santé, sécurité au travail :

- La modification des dates de semis impacte peu les conditions du travail. Ces choix s'intègrent dans des itinéraires techniques déjà maîtrisés. Par contre le choix de nouvelles espèces cultivées pour lesquelles il est nécessaire de trouver des débouchés augmente la charge de travail.
- La mise en œuvre des leviers agronomiques tels que des intercultures, des plantes pièges bioagresseurs, génère une charge de travail plus importante, des besoins en montée en compétence ou de formation ainsi que des moyens matériels. Le choix de leviers qui mobilisent d'autres moyens tels que bâchage, pose de filets de protection, plantation de haies, les situations de travail changent. La main d'œuvre est plus importante et doit gagner en compétence, des investissements dans des infrastructures, matériaux et matériels augmentent systématiquement selon les leviers mobilisés.

La méthodologie employée a conduit à la réalisation d'un tableau excel qui permet de prendre en compte à la fois les principes de la PIC et l'analyse des situations de travail qui découlent de leurs applications. L'agronomie, l'environnement et le volet économique et social sont questionnés pour chaque principe de la PIC (en prévention primaire). Cet outil peut être utilisé avec les agriculteurs, les conseillers en agronomie, en environnement et en Santé, Sécurité au Travail. Pour des travaux futurs, toutes les productions peuvent ainsi être étudiées.

**Mots-clés :** pesticides, principes généraux de prévention, protection intégrée des cultures, analyse croisée

**Références bibliographiques :**

Code du travail, article L. 4121-1,

[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000006160774/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000006160774/)

EcophytoPIC base leviers <https://ecophytopic.fr/leviers/pour-aller-plus-loin/les-leviers-pic>

Pratiques phytosanitaires en production légumière en 2018 (Juin 2023) [https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/public/Chd2309/cd2023-9\\_PratiquesPhytoProdL%C3%A9gumi%C3%A8re2018.pdf](https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/public/Chd2309/cd2023-9_PratiquesPhytoProdL%C3%A9gumi%C3%A8re2018.pdf)

Steven E Naranjo, Peter C Ellsworth, Fifty years of the integrated control concept: moving the model and implementation forward in Arizona, *Pest Manag Sci.* 2009;65(12) : 1267-86. doi: 10.1002/ps.1861.

## Interactions pertinentes entre les participants d'une formation à la réduction des produits phytopharmaceutiques

Werlen Théo, Sonia Grimbuhler <sup>(1)</sup>

(1) INRAE, UMR ITAP, 361 Rue Jean François Breton 34196 Montpellier cedex 5 – contact : [sonia.grimbuhler@inrae.fr](mailto:sonia.grimbuhler@inrae.fr)

### Résumé :

Le plan Ecophyto peine à atteindre son objectif de réduction des produits phytopharmaceutiques de -50%. La formation Certiphyto, action du plan Ecophyto, permet l'accès et l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. Le monde agricole est un secteur d'activité classé parmi les plus à risque (ILO, 2015). Les expositions aux produits phytopharmaceutiques font partie des risques fréquents en agriculture (Boedeker *et al.*, 2020). La formation est un moyen avéré pour limiter l'impact des risques sur la santé et l'environnement (Fabiano *et al.*, 2022). Néanmoins son efficacité sur les travailleurs agricoles est ternie par l'absence de réitération des connaissances apprises (Vaher & Merisalu, 2023). L'appartenance au métier est cruciale pour être considéré comme une source valide (Thomas *et al.*, 2020 ; Meunier *et al.*, 2024), car les agriculteurs sont sensibles au principe « d'exemplarité » (Cardona, 2014). D'après l'étude Ramalho *et al.* (2023) sur les parties prenantes du monde agricole en Europe, 35% des répondants ont considéré les *soft skills* comme une compétence professionnelle requise à l'avenir. Le savoir-être ou les *soft skills* sont définis par Boudreault (2017) comme « la connaissance qui permet à une personne de se représenter les comportements professionnels qu'elle doit manifester, lors de la réalisation de ses tâches, dans des situations particulières ». Vu que la majorité des exploitants français sont concernés par cette formation, la recherche du savoir-être chez les apprenants et les formateurs pourrait ouvrir des pistes sur la préhension des méthodes alternatives et la prévention. Cela à travers les échanges, les attitudes et les réactions.

L'objectif de cette présentation est de répertorier l'attitude des apprenants et des formateurs sur la thématique de réduction des produits phytopharmaceutiques, en démarquant les attentes, les priorités et les capacités qui influent sur la nature des échanges.

Cette étude reprend les échanges en formation Certiphyto pour repérer les discours qui impactent le savoir-être. Les échanges de 40 formations dans des sessions Certiphyto primo-accédant et renouvellement pour DENSA<sup>2</sup> et Opérateurs ont été enregistrés pendant toute la durée de la formation. Retranscrite depuis *Whisper*, l'analyse sémantique des verbatims est réalisée avec *Tropes*. La méthodologie d'étude est fondée sur l'Analyse Propositionnelle du Discours (APD) (Wolff & Visser, 2005 ; Wolff, 2020). Il est question de vérifier les « propositions remarquables ». La cohérence du discours commence par la proposition dite « topique ». Le cycle des arguments s'organise selon la suite des propositions, qui sont classées selon des paramètres multiples (position, fonction, apparition) (Wolff, 2020). Les échanges sont hiérarchisés selon l'ordre des propositions. Les échanges sont classifiés selon les styles généraux diagnostiqués par *Tropes* : narratif, descriptif, énonciatif, argumentatif.

---

<sup>2</sup> DENSA : Décideurs non soumis à agrément

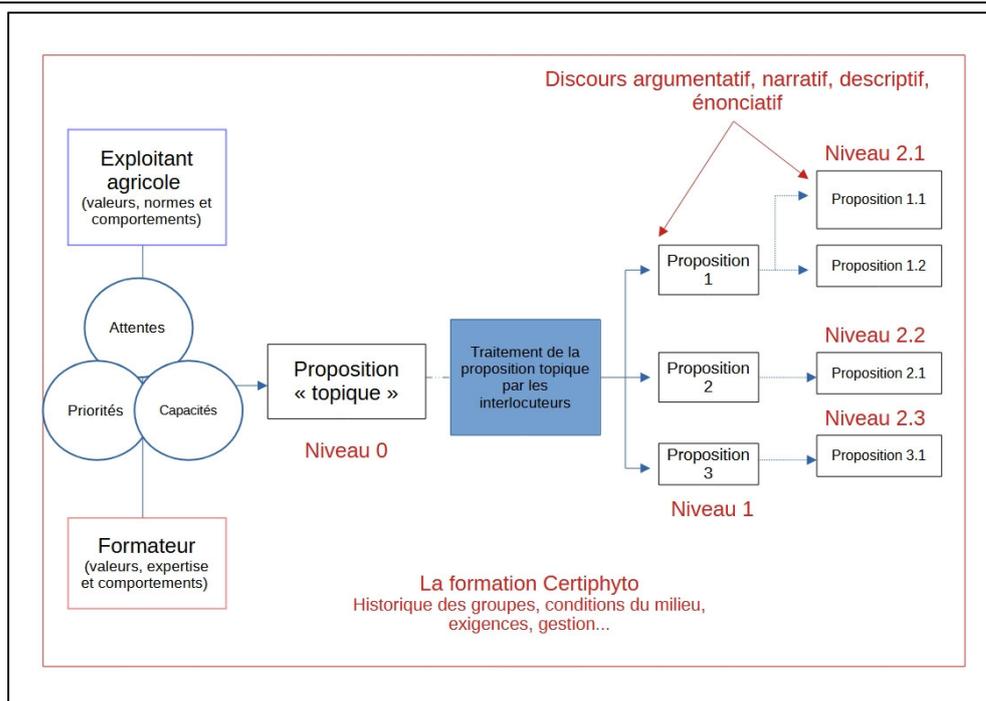


Figure 1 – Modèle qui décrit la nature des échanges en formation Certiphyto

La figure 1 illustre l'organisation des échanges en formation à partir de l'APD. Concernant les styles du discours, le choix du formateur de privilégier la communication va favoriser des échanges plus argumentatifs et énonciatifs entre formateur et apprenants, tandis qu'une formation réglée, où le formateur monopolise la parole, va s'appuyer sur des discours narratifs et descriptifs. En formation entre agriculteurs sans qualifications pré-requises, mise à part l'utilisation de produits, les agriculteurs manifestent la représentation qu'ils jugent propice face au formateur et leurs pairs (Boudreault, 2017). L'agriculteur en formation n'est pas un seul individu au sein d'un groupe qui vient obtenir sa certification, les variables externes de la formation vont influencer la nature du groupe d'apprenants. Cela conforte l'idée que la formation ne doit pas reposer sur seulement le savoir-faire, mais aussi l'intelligence émotionnelle du groupe. Les formateurs Certiphyto pourraient bénéficier de formation au savoir-être pour les aider à animer leur formation. Il serait pertinent de valoriser cet atout persuasif pour faire mémoriser les messages-clés de la formation.

**Mots-clés :** pesticides, formation, savoir-être, prévention, agriculture

### Références bibliographiques :

- Boedeker, W., Watts, M., Clausing, P. *et al.* The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review. *BMC Public Health* **20**, 1875 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09939-0>
- Botke, J. A., Jansen, P. G., Khapova, S. N., & Tims, M. (2018). Work factors influencing the transfer stages of soft skills training: A literature review. *Educational Research Review*, *24*, 130-147.

Boudreault, H., (2017). Interpréter et représenter les savoir-être professionnels pour pouvoir concevoir des environnements didactiques pour les faire développer, *Didactique Professionnelle – Quatrième Colloque International Organisé par l’Association RPDP en partenariat avec le laboratoire CIREL (EA 4354)*, Les 6, 7 et 8 juin 2017 - Université de Lille - Sciences et Technologies, France.

Cardona, A. (2014). Le développement de l'agriculture biologique : effets directs et indirects dans le monde agricole et non agricole: Une enquête en Île-de-France. *Économie rurale*, 339-340, 183-194. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4292>

Fabiano, B., Pettinato, M., Currò, F., Reverberi, A. P., (2022). A field study on human factor and safety performances in a downstream oil industry, *Safety Science*, Volume 153, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105795>.

ILO. (2015). Agriculture: A hazardous work, [https://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/lang--en/index.htm](https://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/lang-en/index.htm), consulté le 27 février 2024

Ramalho Ribeiro, A.; Goodburn, B.; Mayor, L.; Lindner, L.F.; Knöbl, C.F.; Trienekens, J.; Rossi, D.; Sanna, F.; Berruto, R.; Busato, P. (2023) Skill Needs for Sustainable Agri-Food and Forestry Sectors (II): Insights of a European Survey. *Sustainability*, 15, 4115. <https://doi.org/10.3390/su15054115>

Meunier, E., Smith, P., Griessinger, T., Robert, C., (2024). Understanding changes in reducing pesticide use by farmers: Contribution of the behavioural sciences, *Agricultural Systems*, 214, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103818>.

Thomas, E., Riley, M., Spees, J. (2020) Knowledge flows: Farmers’ social relations and knowledge sharing practices in ‘Catchment Sensitive Farming’. *Land Use Policy*, 90. p. 104254.

Vaher, R., Merisalu, E., (2023). The impact of training on safety performance in agriculture: A scoping review, *Agronomy Research* 21(3), 1388–1397, <https://doi.org/10.15159/AR.23.068>.

Wolff, M., Visser, W. (2005). « Méthodes et outils pour l’analyse des verbalisations : une contribution à l’analyse du modèle de l’interlocuteur dans la description d’itinéraires », *Activités*, DOI : <https://doi.org/10.4000/activites.1612>

Wolff, M. (2020). Compréhension de l’activité et des besoins : l’incontournable recours aux entretiens, aux questionnaires et à leur analyse (p. 25-57), « *Pratiques de l’ergonomie : de la méthode aux applications* » de Wolff, M., Mollard, R.

## De la production de connaissances sur les pesticides à leur transfert. Retour d'expérience du projet SIGEXPOMETRO-INFO

Girard Émeline <sup>(1)</sup>, Coste Astrid <sup>(1)</sup>, Biaudet Julien <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Centre Léon Bérard, 28 rue Laennec, 69373 Lyon cedex 8 – [emeline.girard@lyon.unicancer.fr](mailto:emeline.girard@lyon.unicancer.fr) ; [astrid.coste@lyon.unicancer.fr](mailto:astrid.coste@lyon.unicancer.fr) ; [julien.biaudet@lyon.unicancer.fr](mailto:julien.biaudet@lyon.unicancer.fr)

Résumé :

**Contexte global : les pesticides, une « question socialement vive » suscitant l'inquiétude et la défiance des français.**

L'usage des pesticides, et les effets sur la santé de l'exposition aux pesticides, répondent à la définition d'une « question socialement vive » (QVT) [1]. Premièrement, une QVT est vive *dans la société*, c'est-à-dire qu'elle « est considérée comme un enjeu par la société [...] et suscite des débats (des "disputes" aux "conflits") ». Deuxièmement, elle est vive *dans les savoirs de référence* : « il existe des débats (des "controverses") entre spécialistes des champs disciplinaires ou entre les experts des champs professionnels ». Troisièmement, elle est potentiellement vive dans *les savoirs scolaires*, où se reflètent la vivacité des deux précédents niveaux de savoirs. (*ibid.*)

Le baromètre de l'IRSN 2023 illustre cette situation, non seulement parce que les pesticides se classent comme le 5<sup>e</sup> risque perçu par les français (sur 32 risques proposés), derrière le cancer, les incendies de forêts, la pollution de l'air et la drogue mais devant, par exemple, les canicules, le terrorisme ou encore les accidents de la route [2], mais aussi parce qu'ils sont le domaine dans lequel les français ont le moins confiance dans les autorités françaises pour leurs actions de protection des personnes (53% d'entre eux n'ont « plutôt pas » ou « pas du tout » confiance) [2, 3]. Ces résultats sont cohérents avec d'autres enquêtes d'opinion menées sur le sujet, comme celle d'Ipsos pour la Pesticide Action Network (PAN) Europe, qui pointe que 48,7% des français n'ont pas confiance dans leur gouvernement pour prendre des mesures protectrices pour la santé [4].

**Contexte local : une question « vive » à l'échelle de la Métropole de Lyon.**

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017, la loi (dit « zéro phyto ») interdit aux communes françaises l'usage des pesticides dans les espaces accessibles ou ouverts au public. Sur le territoire de la Métropole de Lyon, certaines communes avaient anticipé cette interdiction. La ville de Lyon a ainsi abandonné l'utilisation de produits phytosanitaires depuis 2008.

Pourtant, une série de projets pilotés par notre équipe ont pu montrer la persistance de l'exposition aux pesticides, *via* différentes voies. Ainsi, dans le cadre du projet SIGEXPOMETRO portant sur l'utilisation des pesticides agricoles, l'usage des systèmes d'information géographique (SIG) a permis de documenter le fait que 63% de la population de la métropole de Lyon vit à 200 mètres ou moins de cultures agricoles. Ajoutées aux usages domestiques de pesticides et à l'exposition *via* l'alimentation, ces données confirment la nécessité de renforcer l'information des publics au sujet des pesticides, comme l'avait déjà noté l'étude Pesti'home de l'ANSES [5].

**Objectif : présenter le processus de co-construction d'une stratégie de transfert de connaissances, aboutissant à la construction et au déploiement d'une campagne de prévention sur les pesticides.**

C'est précisément à l'enjeu de l'information des publics que répond notre projet SIGEXPOMETRO-INFO. Ce projet vise en effet à améliorer l'information des publics par la co-construction d'une stratégie de transfert de connaissances sur l'exposition aux pesticides en se focalisant sur des publics prioritaires, et à mettre en œuvre une stratégie de transfert de connaissances co-construite avec les différentes parties prenantes.

L'objectif de notre présentation orale est ainsi de décrire le cheminement allant de la production de connaissances portant sur les facteurs de risque (projet SIGEXPOMETRO), au partage de ces connaissances auprès d'une pluralité d'acteurs et, *in fine*, à la co-construction d'une campagne de prévention visant à donner les clefs pour limiter son risque individuel d'exposition aux pesticides.

Notre propos s'attardera donc sur le *processus* de transfert de connaissances, et non pas directement sur les résultats de la campagne, qui en est un des aboutissements (campagne en cours de construction au moment où nous rédigeons ces lignes).

**Résultats : expliciter l'écart entre la démarche théorique du TC et sa mise en œuvre réelle.**

La description de ce processus débutera par une rapide présentation de ce champ de recherche et d'intervention qu'est le transfert de connaissances (TC) [6] que l'on peut désigner comme « l'ensemble des activités et des mécanismes d'interaction favorisant la diffusion, l'adoption et l'appropriation des connaissances les plus à jour possible en vue de leur utilisation dans la pratique professionnelle et dans l'exercice de la gestion en matière de santé » (*ibid.*, p. 7).

Ce cadre étant posé, nous aborderons trois dimensions de notre démarche. Première dimension : le choix des trois publics cibles du TC dans le cadre du projet – les collégiens et la communauté éducative ; les femmes enceintes et les jeunes parents ; et les citoyens soucieux de leur santé. Deuxième dimension : le travail effectif de co-construction réalisé avec les parties prenantes, en particulier avec nos interlocuteurs de la Métropole de Lyon, financeur du projet. Nous présenterons concrètement les données mobilisées et les contenus conçus avec ces parties prenantes. Troisième dimension, qui fera office d'ouverture conclusive, nous ouvrirons la « boîte noire » d'une telle démarche en proposant un retour d'expérience critique de celle-ci, c'est-à-dire en identifiant les freins auxquels nous avons été confrontés et les leviers que nous avons pu mobiliser.

*Mots-clés : transfert de connaissances, information des publics, questions socialement vives*

**Références bibliographiques :**

- [1] Alain Legardez, Jean Simonneaux et Laurence Simonneaux, « Compétences et enseignement des Questions Socialement Vives », *Éducation et socialisation*, 24 | 2008, 101-114.
- [2] Lutun Hugo et Thierry Bourgois, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, *Baromètre 2023. La perception des risques et de la sécurité par les français. Les graphiques*, 2023.
- [3] Lutun Hugo et Thierry Bourgois, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, *Baromètre 2023. La perception des risques et de la sécurité par les français. L'analyse*, 2023.
- [4] Pesticide Action Network Europe, *Pesticides: play it safe!*, 2023.
- [5] ANSES, *Étude Pesti'home. Enquête nationale sur les utilisations domestiques de pesticides*, 2019.
- [6] Institut National de Santé Publique du Québec, *Animer un processus de transfert des connaissances Bilan des connaissances et outil d'animation*, 2009

## **Retombées de l'expertise scientifique collective sur les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques : Bilan après 2 ans**

Pesce Stéphane <sup>(1)</sup>, Mamy Laure <sup>(2)</sup>, Sanchez Wilfried <sup>(3)</sup>, Leenhardt Sophie <sup>(4)</sup>

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

<sup>(2)</sup> Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, 91120 Palaiseau – [laure.mamy@inrae.fr](mailto:laure.mamy@inrae.fr)

<sup>(3)</sup> Ifremer, Direction Scientifique, 34200 Sète – [Wilfried.Sanchez@ifremer.fr](mailto:Wilfried.Sanchez@ifremer.fr)

<sup>(4)</sup> INRAE, Direction de l'expertise scientifique collective, de la prospective et des études (DEPE), 75338 Paris – [sophie.leenhardt@inrae.fr](mailto:sophie.leenhardt@inrae.fr)

### Résumé :

Réalisée dans le cadre du plan Ecophyto 2+ à la demande des trois ministères français respectivement en charge de l'environnement, de l'agriculture et de la recherche, et portée par INRAE et l'Ifremer, l'expertise scientifique collective (ESCo) sur les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques a mobilisé, pendant deux ans, 46 experts scientifiques [1] issus de la recherche publique. Les conclusions de cette ESCo, dont certaines ont été présentées à l'occasion des congrès du GFP organisés en 2022 et 2023, ont été rendues publiques le 5 mai 2022, lors d'un colloque de restitution dédié, ainsi que sous la forme de livrables, librement accessible en trois formats : un résumé de 12 pages, une synthèse de 120 pages, et un rapport complet d'environ 1400 pages [2] dans lequel plus de 4500 références sont citées.

Les ESCo représentent des travaux pluridisciplinaires visant à produire une synthèse des connaissances scientifiques validées, en réponse à une question complexe, avec l'objectif premier d'éclairer la décision publique. Elles permettent également d'alimenter le débat public sur la base de conclusions factuelles. En effet, une des particularités des ESCo est de distinguer les acquis de la recherche, les questions en suspens, les incertitudes faisant toujours l'objet de travaux et les controverses scientifiques non encore résolues. Si elles permettent d'établir un état des lieux des acquis scientifiquement établis et d'identifier les besoins de recherche à mener, elles n'ont cependant pas vocation à formuler des recommandations à l'attention des décideurs.

L'ESCo sur les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques a permis de montrer l'ampleur de la contamination environnementale par ces substances et ses conséquences qui contribuent à l'érosion de la biodiversité en zone agricole (déclin des invertébrés terrestres et aquatiques, des oiseaux, etc.) et au dysfonctionnement de fonctions et services écosystémiques, dont certains sont essentiels à l'agriculture (pollinisation et régulation des ravageurs). Elle fait également état des leviers d'action en lien avec les modalités d'application des produits pour limiter leur dispersion au sein des différents compartiments environnementaux agricoles, et en lien avec la réglementation pour améliorer l'évaluation des risques et réduire les impacts écotoxicologiques. Enfin, elle identifie les besoins de recherche persistant pour combler certaines lacunes de connaissance (impact des produits de biocontrôle, conséquence des effets cocktails et multistress, spécificités des territoires d'outre-mer, etc.).

L'ampleur de l'investissement collectif et le fait que ce type d'expertise soit réalisé en réponse à une demande explicite des pouvoirs publics appellent nécessairement à questionner les retombées de ces travaux. A l'occasion de ce congrès du GFP, nous proposons donc de présenter un premier bilan, établi deux ans après la restitution des conclusions de l'ESCO. Celui-ci illustre la grande visibilité médiatique dont a bénéficié cette expertise (plus de 300 articles et reportages ont été diffusés dans différents médias écrits et audiovisuels et plus de 2400 retombées médiatiques ont été recensées) et sa capacité à contribuer aux liens entre Science et Société. Il met également en lumière les nombreux échanges qu'elle a suscité avec divers acteurs scientifiques et partenaires socio-économiques (privés et publics) à l'échelle nationale et internationale. Il montre enfin comment les résultats ont été mobilisés dans le cadre de l'élaboration des politiques publiques (Ecophyto 2030, phytopharmacovigilance, plan national pour la santé et l'environnement, plan chlordécone) et de leur évaluation (ex. Commission d'enquête parlementaire sur les causes de l'incapacité de la France à atteindre les objectifs des plans successifs de maîtrise des impacts des produits phytosanitaires sur la santé humaine et environnementale, Mission d'information parlementaire sur les dynamiques de la biodiversité dans les paysages agricoles). Par ailleurs, à ce jour, l'ESCO a été valorisée par plus d'une dizaine de publications dans des revues internationales (et autant dans des revues nationales) ainsi que par plus d'une quinzaine de communications dans des congrès nationaux et internationaux, illustrant ainsi la possibilité de combiner travail d'expertise et valorisation académique.

En écho à l'annonce du gouvernement de mettre en pause le plan Ecophyto pour répondre à la contestation d'une partie du monde agricole, une large majorité des experts mobilisés pour cette ESCo ont tenu à rappeler les conclusions de ce travail et le besoin d'une politique publique ambitieuse et basée sur la science dans une tribune publiée dans le journal Le Monde. Dans ce contexte, cette présentation sera l'occasion d'échanger sur le rôle de l'expertise scientifique et la place des chercheurs dans le débat public.

**Mots-clés :** Aide à la décision ; Débat public ; Liens Science-Société ; Pesticides ; Politiques publiques

[1] Liste des 46 experts (par ordre alphabétique) : Marcel Amichot, Joan Artigas, Stéphanie Aviron, Carole Barthélémy, Rémy Beaudouin, Carole Bedos, Annette Bérard, Philippe Berny, Cédric Bertrand, Colette Bertrand, Stéphane Betouille, Eve Bureau-Point, Sandrine Charles, Arnaud Chaumot, Bruno Chauvel, Michael Coeurdassier, Marie-France Corio-Costet, Marie-Agnès Coutellec, Olivier Crouzet, Isabelle Doussan, Juliette Faburé, Clémentine Fritsch, Nicola Gallai, Patrice Gonzalez, Véronique Gouy, Mickael Hedde, Alexandra Langlais, Fabrice Le Bellec, Christophe Leboulanger, Laure Mamy (pilote scientifique), Christelle Margoum, Fabrice Martin-Laurent, Rémi Mongruel, Soizic Morin, Christian Mougin, Dominique Munaron, Sylvie Néliou, Céline Pelosi, Stéphane Pesce (pilote scientifique), Magali Rault, Sergi Sabater, Sabine Stachowski-Haberkorn, Elliott Sucré, Marielle Thomas, Julien Tournebize, Wilfried Sanchez (pilote scientifique) ; avec la participation ponctuelle de : Jean-Paul Douzals et Nicolas Ris

[2] Mamy L, Pesce S, Sanchez W, et al. (2022). Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Rapport de l'expertise scientifique collective. [Rapport de recherche] INRAE; IFREMER. p 1408. <https://doi.org/10.17180/0gp2-cd65>

[3] Journal Le Monde, édition du 7 février 2024. Pesticides : « Nous, chercheurs et chercheuses, dénonçons une mise au placard des connaissances scientifiques » [Tribune]

## **Ripp-Viti: un projet ECOPHYTO pour réfléchir à la réduction d'usage et d'impact des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale**

M Voltz<sup>1</sup>, C. Dagès<sup>1</sup>, L. Hossard<sup>2</sup>, A. Metay<sup>3</sup>, C. Bedos<sup>4</sup>, D. Crevoisier<sup>1</sup>, X. Delpuech<sup>5</sup>, J.-P. Douzals<sup>6</sup>, R. Métral<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France

<sup>2</sup> UMR Innovation, Univ. Montpellier, INRAE, CIRAD, Institut Agro, , Montpellier, France

<sup>3</sup> UMR AbSys, Uni. Montpellier, INRAE, CIRAD, Institut Agro, Montpellier, France

<sup>4</sup> UMR ECOSYS, Uni. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, Palaiseau France

<sup>5</sup> IFV, Domaine de l'Espiguette, 30240 Le Grau-du-Roi, France

<sup>6</sup> UMR ITAP, Univ. Montpellier, INRAE, Institut Agro, F-34060, Montpellier, France

### Résumé :

Le plan Ecophyto, établi par le gouvernement en 2008 à la suite du Grenelle de l'Environnement en 2007, ambitionne une baisse de 50% de l'utilisation des produits phytosanitaires (PP) en France. Le secteur viticole est concerné, car malgré les différentes incitations à réduire l'usage des PP, il reste très consommateur en PP, avec un IFT moyen de 15,3 en 2016 et de 12,4 en 2019 à l'échelle nationale (Agreste 2019, 2021). La possibilité opérationnelle de stratégies de réduction des usages a été montrée par le réseau des fermes Dephy. La synthèse récente des données de ce réseau pour les fermes viticoles (C.A.N. Dephy, 2023) montre en effet qu'entre l'état initial des fermes et la moyenne des campagnes 2018 à 2020, une baisse moyenne de 24% de l'IFT hors biocontrôle est observée sans qu'il y ait d'impact négatif sur la maîtrise des bioagresseurs. Ces résultats encourageants sont toutefois obtenus à l'échelle d'un réseau d'exploitations volontaires. Ils ne peuvent donc pas directement présager d'évolutions potentielles pour l'ensemble des exploitations d'un territoire, dont la diversité des modes de production viticole peut différer de celles des exploitations DEPHY. De surcroît, les résultats des fermes DEPHY concernent essentiellement la réduction d'usage des PP sans établir de lien avec une réduction des impacts environnementaux et sanitaires des usages. Les enjeux scientifiques sont donc de développer i) des approches d'élaboration de stratégies soutenables de réduction des impacts qui concernent l'ensemble d'un territoire et ii) des méthodes d'objectivation du lien entre réduction d'usage et réduction d'impacts environnementaux et sanitaires à cette échelle.

Dans ce contexte, le projet RIPP-Viti a visé l'élaboration de stratégies de réduction des usages des PP mais aussi l'évaluation des impacts des usages à l'échelle d'un territoire viticole méditerranéen. L'hypothèse majeure du projet est qu'il est possible d'atteindre des objectifs significatifs de réduction d'impact des PP à l'échelle de tout un territoire en élaborant des stratégies de réduction adaptées aux différentes contraintes parcellaires, d'exploitations et de filières présentes sur le territoire.

Au plan méthodologique le projet a développé :

- une approche participative par jeu sérieux pour réfléchir à des stratégies de changements d'usage des PP pour une diversité de types d'exploitations viticoles
- une modélisation numérique pour évaluer les impacts environnementaux de l'usage des PP à l'échelle d'un territoire viticole
- une analyse de la durabilité des exploitations viticoles

La démarche suivie a consisté en 3 étapes: i) le diagnostic initial des exploitations viticoles existantes sur un site d'étude représentatif d'une large gamme des situations de production viticole présentes en zone languedocienne ; ii) l'élaboration par jeu sérieux de stratégies de réduction des usages et impacts des PP adaptées aux différents types d'exploitation viticoles en fonction de leurs contraintes spécifiques ; iii) l'évaluation détaillée des stratégies co-conçues aux plans de la durabilité des exploitations et des impacts environnementaux. Le site d'étude du projet RIPP-Viti a été le bassin du Rieutort qui s'étend sur 45 km<sup>2</sup> au nord-ouest de Béziers, dont 15,4 km<sup>2</sup> sont consacrés à la vigne. Il présente une grande diversité de terroirs viticoles (AOP Languedoc, Saint-Chinian et Faugères) et de modes de production (IGP, AOP en caves coopératives ou particulières). Il représente une zone à enjeu au plan de l'impact des usages de PP car il fait partie du bassin d'alimentation d'un captage classé dans la liste des captages Grenelle menacés par les pollutions diffuses. L'approche participative a été menée avec les acteurs viticoles du bassin et des experts viticoles. Pour concevoir les stratégies, les joueurs du jeu sérieux pouvaient i) combiner et moduler des leviers de réduction d'usage à l'échelle parcellaire, ii) implanter des zones tampons, iii) proposer des leviers collectifs. Les évaluations environnementales ont analysé les changements de contaminations des ressources en air, sol et eau et de l'exposition consécutive d'organismes terrestres, aquatiques et de passants, permises par les différentes stratégies co-conçues de réduction d'usage des PP à l'échelle du bassin du Rieutort. A cet effet, une nouvelle version du modèle MIPP, simulant le devenir des pesticides à l'échelle paysagère, a été développée pour prendre en compte les spécificités du contexte viticole et a été appliquée à la simulation des contaminations et de l'exposition.

La communication proposée présentera les méthodologies mises en place, jeu sérieux et modélisations du devenir des pesticides en paysage viticole, puis analysera les principaux leviers de réduction d'usage des PP adoptés dans les stratégies viticoles co-conçues. La durabilité des stratégies et l'importance et la suffisance des réductions de contaminations, qui peuvent être escomptées à l'échelle territoriale dans les différents compartiments environnementaux, seront ensuite discutées.

**Mots-clés :** *Territoire, pesticides, impacts environnementaux, exposition, viticulture*

**Remerciements :** Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet Ripp-Viti qui est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Écophyto II+. Le projet RIPP-Viti a bénéficié de nombreuses contributions permanentes ou plus ponctuelles. Nous remercions donc l'ensemble des personnes concernées, présentées ici par ordre alphabétique : A. Benmimou, N. Beudez, C. Charlet, G. Coulouma, D. Crevoisier, C. Decuq, R. De Lange, X. Devos, M. Djourhi, J. Dollinger, C. Doré, B. Durand, J.-C. Fabre, M. Faucher, H. Fernandez-Mena, L. Garcia, A. Garsia, C. Jean-Louis, S. Grimbuhler, O. Huttel, F. Lafolie, P. Lagacherie, B. Loubet, S. Negro, E. Personne, A. Samouëlian, C. Schneider, A. Sicard, A. Thoni, S. Troaino, N. Van Hanja, F. Vinatier.

## **Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles en contexte Méridional**

C. Dagès<sup>1</sup>, M. Voltz<sup>1</sup>, D. Crevoisier<sup>1</sup>, C. Bedos<sup>2</sup>, N. Beudez<sup>3</sup>, F. Lafolie<sup>3</sup>, E. Personne<sup>2</sup>, G. Coulouma<sup>1</sup>, M. Djourhi<sup>1</sup>, J.-P. Douzals<sup>4</sup>, J.-C. Fabre<sup>1</sup>, M. Faucher<sup>1</sup>, C. Jean-Louis<sup>1</sup>, B. Loubet<sup>2</sup>, P. Lagacherie<sup>1</sup>, L. Prévot<sup>1</sup>, A. Thoni<sup>1</sup>, F. Vinatier<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 34060 Montpellier, France

<sup>(2)</sup> ECOSYS, Uni. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon France

<sup>(3)</sup> EMMAH, Avignon Université, INRAE, 84914 Avignon Cedex 9, France

<sup>(4)</sup> ITAP, Uni. Montpellier, INRAE, Institut Agro, F-34060, Montpellier, France

### Résumé :

La réduction des usages des produits phytosanitaires (PP) de synthèse est un objectif actuel des politiques publiques nationales et européennes en raison d'impacts sanitaires et environnementaux avérés. Ainsi, des réductions de l'ordre de 50 % d'ici 2025 sont visées en France (plan EcoPhyto). Les impacts ne dépendent cependant pas uniquement de la dose appliquée ou du nombre de traitements, mais aussi des propriétés intrinsèques des substances actives épandues (mobilité et dégradabilité dans l'environnement, toxicité vis à vis des organismes non cibles), et des conditions de milieu de l'épandage. Ainsi, il est actuellement difficile de quantifier l'effet de réduction d'usage sans analyser de manière approfondie les influences spécifiques des propriétés des substances actives utilisées et des conditions locales du territoire concerné. A cet effet, nous développons depuis plusieurs années une modélisation, nommée MIPP, qui décrit mathématiquement les processus majeurs de dispersion et de rémanence des substances phytosanitaires depuis leur lieu d'épandage vers l'écosystème avoisinant. MIPP permet ainsi de représenter l'évolution temporelle et spatiale des concentrations en pesticides dans le sol, les eaux superficielles et l'air à l'échelle d'un territoire hétérogène au plan des caractéristiques de milieu (sols, parcellaire, réseau hydrographique, relief) et de gestion agricole (gestion des sols, traitements phytosanitaires). Dans le cadre du projet EcoPhyto RIPP-Viti, nous avons appliqué cette modélisation à l'évaluation des impacts environnementaux de stratégies de protection phytosanitaire et de gestion des sols visant la réduction de l'usage des PP en viticulture méridionale définies lors d'une approche participative (Hossard et al., 2023).

L'impact a été approché à partir du risque d'exposition des organismes du sol, des organismes aquatiques et des risques sur la potabilité de l'eau, par comparaison des teneurs simulées aux teneurs sans effet biologique, généralement définies au laboratoire par molécule et par type d'organisme.

L'évaluation a été conduite sur le bassin versant du Rieutort (Hérault) et pour 20 années représentatives du climat Méditerranéen. Deux types de stratégies de conduite de la vigne ont été considérées : celles initiales enquêtées sur le bassin pour deux saisons culturales et celles co-conçues par approche participative. Pour chaque type d'exploitation identifié sur le bassin, plusieurs stratégies de réduction d'usage ont été co-conçues. Elles se différencient notamment selon leur mode de protection fongique, de protection contre les insectes et de gestion des sols. Pour les évaluations d'impact à l'échelle du bassin du Rieutort, nous avons considéré que toutes les stratégies co-conçues étaient plausibles et avons donc supposé que leur implémentation sur les territoires occupés par chaque type d'exploitation était

équi probable. L'évaluation de l'impact environnemental a été conduite en considérant l'ensemble des substances actives organiques de synthèse mobilisées dans les stratégies.

La communication proposée présentera les principes de l'évaluation du risque d'exposition mise en oeuvre ainsi que l'approche de modélisation MIPP sur laquelle elle se base. Elle décrira et discutera ensuite les résultats majeurs en termes d'évolution, induite par les réductions d'usage, des risques d'exposition des organismes du sol, des organismes aquatiques et de risques sur la potabilité de l'eau.

*Mots-clés : évaluation environnementale, modélisation, multi-cible, pluri-annuelle, territoire*

### **Remerciements**

Le projet RIPP-Viti est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto II+. Les auteurs remercient Colette Bertrand (INRAE – ECOSYS) et Clémentine Fritsch (CNRS – Chronoenvironnement) pour leurs conseils sur la démarche d'évaluation du risque pour les organismes du sol.

## **Retour sur le projet SPIRIT-DIALECTIC : des outils pour questionner et encourager l'action collective au sein des bassins versants en vue de concilier agriculture et qualité de l'eau**

V. Gouy Boussada<sup>1</sup>, E. Adoir<sup>2</sup>, O. Barreteau<sup>3</sup>, G. Armani<sup>1</sup>, L. Seguin<sup>3</sup>, N. Carluer<sup>1</sup>, M. Rabotin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRAE, UR RiverLy, 5 rue de la Doua, F-69100 Villeurbanne – [veronique.gouy@inrae.fr](mailto:veronique.gouy@inrae.fr),

<sup>2</sup> IFV Pôle Bourgogne Beaujolais Jura Savoie - SICAREX Beaujolais, 210 Bd Vermorel, F-69661 Villefranche s/Saône – [emilie.adoir@vignevin.com](mailto:emilie.adoir@vignevin.com)

<sup>3</sup>UMR G-EAU 361, rue Jean-François Breton BP5095, F-34196 Montpellier – [olivier.barreteau@inrae.fr](mailto:olivier.barreteau@inrae.fr)

### Résumé :

Le projet SPIRIT, conduit en complémentarité avec le projet DIALECTIC, s'inscrit dans la problématique « agriculture et qualité de l'eau ». La contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires (PPP) est une menace pour les écosystèmes aquatiques et la ressource en eau. Pour faire face à ces enjeux, les réglementations et les plans d'action en cours aux niveaux européen et national sont à l'origine de l'interdiction ou de la réduction d'usage des substances les plus à risque (classées CMR notamment) dont on observe effectivement la disparition progressive dans les eaux de surface. Cependant la présence chronique d'autres molécules et de leurs produits de dégradation dans les rivières et les nappes souterraines exige une diminution massive de l'usage de ces produits qui implique le plus souvent une transformation radicale des systèmes de culture, avec des incertitudes fortes quant aux conséquences sur la production et une faible visibilité pour les agriculteurs des effets positifs sur le milieu. Dans ce contexte, on constate qu'en dépit de l'existence de solutions techniques et de programmes incitatifs, la massification du changement de pratiques nécessaire pour obtenir des résultats tangibles en termes de qualité de l'eau ne s'est que faiblement opérée y compris au sein d'aires d'alimentation de captage pourtant objets d'animations spécifiques. Les projets SPIRIT et DIALECTIC partent de l'hypothèse qu'une approche participative organisée autour de la représentation partagée d'un bassin versant (i.e. ses acteurs, son fonctionnement, ses ressources) peut conduire à une meilleure concertation et mobilisation des acteurs d'un territoire, permettant l'émergence d'actions collectives plus pertinentes pour concilier agriculture et qualité de l'eau. On suppose en particulier que des actions collectives permettent de minimiser les investissements individuels et/ou d'augmenter l'efficacité globale des actions et de tendre vers des paysages globalement plus résilients. Une démarche interdisciplinaire – associant hydrologues, agronomes, chercheurs en sciences participatives et socio-anthropologues – et transdisciplinaire – associant notamment institut technique, chambre d'agriculture, syndicats de rivières, lycées agricoles – a été mise en œuvre. Elle s'est appuyée sur des entretiens individuels, des ateliers participatifs et le développement d'un outil informatique de modélisation spatialisée simplifiée d'un bassin versant permettant de visualiser l'effet de changement de systèmes de culture et de localisation d'éléments paysagers sur la contamination des eaux de surface par les PPP. Ce travail a débouché sur la co-construction, par les chercheurs et les acteurs du territoire, du jeu sérieux CAUSERIE et de l'outil SIG GEOMELBA-SPIRIT (Barreteau et al., 2022 ; Grillot et al., 2022) sur un site viticole (Beaujolais) et un site en polyculture-élevage (Monts du Lyonnais). En s'appuyant sur ces expérimentations collectives, complétées d'entretiens spécifiques avec la profession agricole, a été

réalisée une analyse prospective de quelques scénarios différenciés d'évolution à 15 ou 20 ans des systèmes de culture et de la mise en œuvre d'éléments paysagers. Pour cela, trois grands types de systèmes de culture ont été considérés (conventionnel, agroécologie avancée, sans chimie de synthèse) avec des parts (en % de la surface agricole utile) et des répartitions spatiales différentes dans le bassin versant archétype testé. De même on a testé l'influence de différentes configurations spatiales d'éléments paysagers (notamment haies et zones tampons humides artificielles) et types de couverture du sol (enherbement en viticulture et rotations courtes ou longues en polyculture-élevage). Pour chacune des évolutions explorées, des indicateurs simples ont été élaborés à l'échelle du bassin versant afin de permettre leur comparaison.

On se focalise dans cette présentation sur le cas du site viticole qui a bénéficié d'un travail plus approfondi de calcul d'indicateurs. Un premier indicateur simplifié, issu de la mise en œuvre de GEOMEBASPIRIT et reposant sur un calcul intégrant les sources (parcelles traitées) et les facteurs d'atténuation des transferts de PPP au sein des éléments paysagers pouvant jouer un rôle tampon (haies, prairies, ripisylves), permet de comparer l'impact de chaque scénario sur la contamination en PPP à l'exutoire du bassin versant. Un second indicateur basé sur l'approche cycle de vie permet de comparer les scénarios sous l'angle de leur empreinte carbone nette (émission de gaz à effet de serre et de séquestration du carbone dans les sols et la biomasse des haies) à l'échelle globale du paysage. Un focus économique a également été fait sur les coûts de production pour les trois grands types de systèmes de culture considérés. Ces scénarios ont fait l'objet d'une réunion de présentation suivie d'une session d'échanges en Beaujolais qui a réuni une cinquantaine d'acteurs du territoire (viticulteurs, Chambre d'Agriculture, instituts techniques, Organisme de Défense et de Gestion, Agribio Rhône & Loire, ...). Malgré leur caractère réducteur face à la complexité des situations d'exploitations réelles, ils permettent de mieux comprendre l'incidence de chaque type d'action sur les résultats des indicateurs et d'initier une discussion plus globale sur les freins et leviers pour favoriser les pratiques les plus vertueuses vis-à-vis des indicateurs présentés. Les discussions ont aussi mis en avant d'autres critères de concernement des viticulteurs, susceptibles de les mobiliser collectivement pour faire évoluer leurs pratiques (comme la restauration de la fertilité des sols, la résilience de la vigne face aux besoins en eau, ...).

**Mots-clés :** eau, paysage, systèmes viticoles, infrastructures agroécologiques, scénarios types, indicateurs

#### **Références bibliographiques :**

- Barreteau O., Abrami G., Adoir E., Armani G., Grillot J., Leteurtre E., Luzi H., Malingrey S., Rabotin M., Seguin L., Carluer C., Lauvernet L and Gouy Boussada V., 2023. CAUSERIE: a GIS-supported serious game to collective grounded solutions for crop and water protection in head catchments. In Nicolas Becu. Simulation and Gaming for Social and Environmental Transitions. Proceedings of the 54th Conference of the International Simulation and Gaming Association. 2023, 979-10-415-2760-1. halshs-04209935, pp. 215-225.
- Grillot J., Rabotin M., Gouy Boussada V., Carluer N., Lauvernet C., GEOMELBA-SPIRIT - outil pédagogique pour la visualisation des transferts de produits phytosanitaires à la surface d'un bassin versant. Actes du 50<sup>e</sup> congrès du Groupe Français de Recherches sur les Pesticides, May 2022, Namur, Belgique. 3 p. hal-03807319

#### **Remerciements :**

Ces recherches, menées avec l'appui de LISODE, ont aussi largement bénéficié de la contribution des partenaires opérationnels des sites cités (IFV, Lycée de Bel Air, Loire Forez Agglo) ou en lien (chambres d'agriculture du Rhône et de la Loire, syndicats de rivières, DDT) et de tous les participants aux ateliers. Les auteurs remercient les Ministères de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA), de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES), des Solidarités et de la Santé (MSS) et de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI), et l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dont a bénéficié le projet SPIRIT, dans le cadre de l'APR « Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Écophyto II+, et la Région AURA pour son soutien financier au projet DIALECTIC dans le cadre de l'Ambition Recherche 2019.

## **Apports du projet PULSE sur le transfert particulaire des pesticides : intégration de l'érosion dans l'outil de modélisation spatialisée simplifiée GeoMelba**

N. Carluer<sup>1</sup>, C. Courapied<sup>1</sup>, J. Pic<sup>3</sup>, M. Rabotin<sup>1</sup>, C. Lauvernet<sup>1</sup>, C. Margoum<sup>1</sup>, M. Masson<sup>1</sup>, M. Fressard<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> INRAE, UR RiverLy, 5 rue de la Doua, F-69100 Villeurbanne – [nadia.carluer@inrae.fr](mailto:nadia.carluer@inrae.fr),

<sup>2</sup> CNRS, UMR 5600 Environnement Ville Société, Lyon, France

<sup>3</sup> Université Jean Moulin Lyon 3, UMR 5600 Environnement Ville Société, Lyon, France

<sup>4</sup> CNRS, UMR 6266 IDEES, Normandie Université, Caen, France

### Résumé :

Les têtes de bassin versants agricoles contribuent de manière significative à la production et au transfert de particules vers les cours d'eau, ainsi qu'au transfert des contaminants qui y sont associés. Les enjeux correspondants sont très divers et s'expriment à différentes échelles spatiales, du ruissellement érosif et de la mobilisation des contaminants associés à l'échelle de la parcelle agricole, jusqu'aux transferts vers les grandes masses d'eau à l'aval des bassins versants. Dans ce contexte, l'organisation spatiale des paysages agricoles (réseau de haies, bandes enherbées, fossés etc.) apparaît comme un levier d'action potentiel pour maîtriser les transferts de sédiments et de polluants vers l'aval, en augmentant la rugosité de l'espace pour influencer sur la connectivité hydrosédimentaire et favoriser la dissipation des contaminants transférés hors de la parcelle, que ce soit en phase soluble ou en phase particulaire (Catalogne and Le Hénaff 2017)(Fressard and Cossart, 2019)

Le Beaujolais viticole constitue un territoire particulièrement sensible à l'érosion, ainsi qu'aux transferts de pesticides. En effet, les sols sableux développés sur granite ou gneiss et les pentes fortes favorisent l'érosion, tandis que les pratiques agricoles privilégient encore beaucoup le recours au désherbage chimique ; l'enherbement inter-rang y est peu répandu, notamment dans la partie nord de la zone, où sont produits les crus du Beaujolais. Par ailleurs, les aménagements anthropiques développés pour gérer les flux produits favorisent pour partie les transferts rapides des particules érodées et des contaminants associés vers le réseau hydrographique. De plus, dans la partie Nord du Beaujolais, les zones tampons (bandes enherbées, haies etc.) sont encore peu développées. Dans le Beaujolais, l'étude de la chaîne causale pression – exposition – impact, visant à identifier les freins et leviers à l'amélioration de la qualité de l'eau vis-à-vis des pesticides avaient surtout porté jusqu'à présent sur les transferts en phase soluble, supposés majoritaires (Gouy et al. 2008; Gouy 2012). Toutefois, le contexte érosif dans le Beaujolais et l'évolution du profil des substances actives homologuées, allant vers une mobilité moindre dans l'environnement (favorisant une demie vie limitée et une bonne capacité d'adsorption sur la matrice du sol) incitent à réévaluer cette hypothèse. Dans ce contexte, le projet Pulse avait pour objectifs de progresser dans la compréhension de la dynamique des transferts hydrosédimentaires et des contaminants associés dans le Beaujolais de Coteaux, et d'évaluer l'influence de scénarios contrastés d'évolution du paysage du Beaujolais, tant du point de vue de l'occupation du sol que de la gestion de

l'enherbement ou des infrastructures paysagères (Fressard et al., 2023). La démarche alliait expérimentation pour acquérir de premiers ordres de grandeur sur les taux d'érosion spécifique dans les vignobles du Beaujolais et sur la part du transfert particulaire de pesticides dans ce contexte agropédoclimatique, et modélisation pour rendre compte du rôle de la structure paysagère dans le transfert de sédiments et de polluants dans le bassin versant. Les travaux se sont appuyés sur le Site Atelier Ardières Morcille (Gouy et al., 2021) et ont porté sur trois échelles emboîtées, allant de la parcelle viticole au bassin versant de 150 km<sup>2</sup> avec un point intermédiaire au niveau d'un petit bassin versant de 3.5 km<sup>2</sup>.

Dans un premier temps, la présentation abordera le dispositif expérimental, et les résultats obtenus en terme de transferts de pesticides en phase particulaire. Ceux-ci, qui restent à consolider par des suivis complémentaires, montrent que pour certaines substances actives facilement adsorbées, le taux de transfert peut être significatif, de quelques dizaines de pourcents des quantités appliquées. Ils mettent également en évidence la remobilisation dans l'écoulement de substances interdites depuis plusieurs années, y compris à l'échelle de la parcelle élémentaire. L'étude de la cascade sédimentaire montre également la dynamique événementielle et saisonnière des transferts hydrosédimentaires, avec un découplage de la période de production des particules sur les versants et de transfert au sein du réseau hydrographique, qui incite à étudier plus avant la dynamique associée de transfert de pesticides en phase particulaire.

Dans un deuxième temps, on présentera l'intégration de l'érosion au sein de l'outil SIG de modélisation spatialisée simplifiée GeoMelba (Grillot et al. 2022), pour le contexte du Beaujolais de Coteaux. Ce logiciel, initialement développé pour les transferts rapides de pesticides en phase soluble, a pour objectif de représenter l'influence de l'évolution de l'occupation du sol, de systèmes culturels, et d'aménagements d'infrastructures agroécologiques sur les transferts à l'échelle du petit bassin versant. Il a ici été adapté pour représenter également les processus d'érosion à l'échelle de la parcelle, en appliquant la MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation, Williams, 1975) sur une large gamme de scénarios, couvrant la variété des situations rencontrés sur le bassin de la Morcille ou susceptibles de l'être suite à des évolutions de pratiques ou d'aménagement sur le bassin. Cette version de GeoMelba a ensuite été appliquée pour évaluer les conséquences sur les transferts hydrosédimentaires de quelques scénarios contrastés d'évolution. Les résultats illustrent le levier que constitue l'aménagement du bassin versant, en complément de l'évolution des pratiques au sein des parcelles viticoles.

**Mots-clés :** *eau, paysage viticole, infrastructures agroécologiques, scénarios types d'évolution, érosion, pesticides, modélisation.*

### **Remerciements :**

Le projet PULSE a été financé par l'accord cadre AERMC/ZABR de 2020 à 2023 (action n° 74 du programme 2020). Les auteurs remercient Loïc Richard et Céline Guillemain pour les analyses réalisées au Laboratoire de chimie des milieux aquatiques (LAMA). Ils remercient également Léa Ruggieri, Lucas Moreau et Romain Marie pour leurs stages portant respectivement sur la mise en place du suivi expérimental en rivière, la conception et la mise en œuvre du piège à sédiments en sortie de parcelle, et le développement de la méthode analytique pour les pesticides en phase particulaire.

### Références bibliographiques :

- Catalogne, C., and G. Le Hénaff. 2017. "Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole. Elaboré dans le cadre du groupe technique "Intégration des zones tampons dans la gestion des bassins versants"." In, 68. Irstea-ONEMA.
- Gouy, Véronique. 2012. "Transferts hydriques superficiels des substances phytosanitaires utilisées en agriculture : dynamique de mobilisation, atténuation possible et impact sur les cours d'eau." In, 153 pp. Irstea. Université Claude Bernard Lyon 1
- Gouy, Véronique, Jean Joël Gril, Jean Guillaume Lacas, Arnaud Boivin, and Nadia Carluer. 2008. 'Contamination des eaux de surface par les pesticides et rôles des zones tampons pour en limiter le transfert : état des connaissances et conséquences pour l'action', *Ingénieries - EAT*.
- Grillot, Jules, Michaël Rabotin, Véronique Gouy Boussada, Nadia Carluer, and Claire Lauvernet. 2022. "GeoMelba - outil pédagogique pour la visualisation des transferts de produits phytosanitaires à la surface d'un bassin versant." In *50 e congrès du Groupe Français des Pesticides*. Namur, Belgium.
- Williams, J. Sediment-yield prediction with the universal equation using runoff energy factor. Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, 1975, USDA Agricultural Research Service, ARS-S-40, 244-252

## **Analyse des déterminants à la massification de pratiques alternatives aux produits phytopharmaceutiques**

Eugénie Roy<sup>1</sup>, avec l'appui des membres du Comité Scientifique et Technique du plan Ecophyto<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> étudiante Institut Agro Montpellier

<sup>(2)</sup> jean-noel.aubertot@inrae.fr

Résumé :

Depuis la mise en place du plan Ecophyto en 2008, les objectifs initiaux de diminution de 50 % de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (PPP) en 2018 n'ont pas été atteints. Sur la première décennie du plan, le NODU a même augmenté. Il existe pourtant un certain nombre d'innovations qui permettent de réduire l'utilisation de PPP dans les filières. Ce poster présente une étude réalisée par une étudiante encadrée par le Comité Scientifique et Technique (CST) du plan Ecophyto, afin d'identifier les leviers et les freins à la mise en œuvre et à la massification de pratiques permettant de limiter le recours aux PPP. L'étude s'est appuyée sur une enquête qualitative (45 entretiens) menée auprès d'acteurs des filières (grandes cultures et arboriculture), portant sur cinq innovations : Outil d'Aide à la Décision (OAD) Mileos pour l'optimisation des traitements fongicides contre le mildiou de la pomme de terre ; les filets Alt'Carpo pour limiter les attaques de carpocapses sur pommiers ; le désherbage mécanique en grande culture ; la confusion sexuelle dans les vergers ; et les associations colza-légumineuses pour limiter différents stress biotiques). Ces innovations couvrent les trois niveaux du concept ESR : Efficience, Substitution et Reconception (Hill & MacRae, 1995) ; et sont toutes éligibles au dispositif de Contrat d'Économie de Produits Phytopharmaceutiques (CEPP).

Les résultats montrent un niveau de massification inégal des innovations considérées, avec des taux d'adoption (pourcentage de la surface cultivée où l'innovation est potentiellement mobilisable), variant de 3 % pour le filet Alt'Carpo à 85 % pour la confusion sexuelle. L'analyse a permis de caractériser plusieurs freins et leviers à la massification de ces cinq innovations.

D'une part, l'étude montre que les caractéristiques intrinsèques de l'innovation (principalement le coût, la simplicité d'utilisation et l'efficacité) sont déterminantes dans la diffusion et l'appropriation par les agriculteurs. Par exemple, l'OAD Mileos, largement adopté, est apprécié pour sa simplicité d'utilisation et son coût acceptable, tandis que le Filet Alt'Carpo est moins adopté en raison de son coût élevé et de son installation plus contraignante.

D'autre part, les politiques publiques semblent jouer un rôle crucial dans la massification de nouvelles pratiques. Elles sont parfois considérées comme des leviers essentiels, favorisant la transition agroécologique de l'agriculture française. Cependant, dans certains cas, elles peuvent apparaître comme des freins à la massification. Par exemple, il a souvent été évoqué que les dossiers de demande de subvention, *e.g.* pour l'achat de matériel agricole, sont complexes et chronophages à constituer.

Enfin, le dernier déterminant identifié est le fonctionnement et l'organisation des systèmes de productions, des filières ainsi que les dynamiques individuelles et collectives. En effet, ces dynamiques jouent un rôle primordial dans la massification des innovations, avec par exemple une implication des filières essentielle. Par ailleurs, il existe des freins psychosociologiques chez les agriculteurs (peur du risque, réticence aux changements vis-à-vis du regard des autres) mais aussi chez les conseillers.

Plus généralement, l'analyse met en évidence l'existence d'importants verrouillages sociotechniques qui touchent l'ensemble du monde agricole et ses acteurs. C'est pourquoi les solutions apportées doivent être systémiques et portées par l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur agroalimentaire, de l'amont (distributeurs d'intrants, machinisme agricole, conseil) jusqu'à l'aval (filiales, consommateurs). De plus, la poursuite des efforts de recherche, le renforcement du transfert des connaissances vers le terrain et la réforme des métiers de l'accompagnement agricole sont recommandés. L'implication des filiales aval est jugée cruciale, tout comme le développement de nouveaux marchés valorisant des pratiques agricoles moins dépendantes des PPP. Pour encourager la massification des innovations, une dynamique collective territoriale est nécessaire, impliquant la coopération de tous les acteurs autour d'un objectif commun de réduction des PPP, avec un soutien des pouvoirs publics.

**Mots-clés :** *Plan Ecophyto ; Certificat d'Économie de Produits Phytopharmaceutiques (CEPP) ; Enquêtes filiales ; Innovations agricoles ; Transition agroécologique*

**Session « Solutions alternatives aux pesticides de synthèse »**

## Effacité des infusions sur les populations du Thrips inféodés au citronnier en verger biologique

Zahidi A. <sup>1\*</sup>, Sarehane M., <sup>2</sup>, Hormatallah A <sup>2</sup>, Aaouini I. <sup>1</sup>, El Finti A. <sup>1</sup>, El Krouchni T. <sup>3</sup>, Touati S. <sup>3</sup>, El Mousadik A. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> : Laboratoire de Biotechnologies et Valorisation des Ressources Naturelles ; Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc.

<sup>2</sup> : Laboratoire d'Entomologie, Département de Protection des Plantes, Institut Agronomique & Vétérinaire Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir.

<sup>3</sup> : Domaines Agricoles du Souss, Taroudant.

### Résumé

Au Maroc, le secteur agricole a un rôle socioéconomique très important et l'un des piliers de l'économie à l'échelle nationale. Pour minimiser l'impact néfaste des ravageurs sur la culture, le recours aux produits phytosanitaires est souvent la solution adoptée par la majorité des producteurs. Cette solution reste indésirable à cause de ses effets néfastes sur la santé de l'homme et/ou sur l'environnement. La recherche d'autres alternatives de lutte respectueuses de l'environnement reste une priorité. Dans ce contexte, le présent travail a été entrepris dans le domaine Ouled Abdellah à conduite biologique dans la région de Taroudant afin de tester en plein champ l'effet des infusions de quelques plantes : le romarin (*Salvia rosmarinus*), la cannelle (*Cinnamomum verum*), l'ail (*Allium sativum*) et la sauge (*Salvia* sp) sur les thrips et autres ravageurs tels que les acariens et les pucerons inféodés au citronnier (var. Meyer). Soixante-douze arbres sont traités par les différentes infusions en raison de 4,5 l/ arbre avec deux doses (50% = 12.5kg/100l ; 100% = 25 kg/100l pour le romarin et la sauge), (50% = 250kg/100l ; 100% = 500 kg/100l pour la cannelle et l'ail). Trois arbres non traités et trois autres traités par Spinosad (neurotoxique actif par ingestion et par contact) ont servi comme témoins respectifs. Le nombre moyen des thrips (adultes et larves) sur les échantillons de feuilles examinés a varié entre 3,2 et 4,3 individus trois jours avant la pulvérisation des infusions. Après 72 heures, ce nombre a été fortement réduit à seulement 0,2 individus pour la dose 100% au niveau des arbres traités par le romarin et la sauge. En plus, ces deux extraits ont un effet plus marqué sur les adultes que sur les larves. A la différence, les extraits à base d'ail, ont montré plutôt ont montré un effet répulsif sur les adultes du thrips en raison des constituants soufrés contenus dans ces extraits. Les mêmes extraits ont un effet sur les acariens tetranyque (acarien jaune et rouge) puisqu'ils provoquent un éclatement des œufs alors que l'effet sur les pucerons a été négligeable. De tels résultats sont prometteurs et nécessite d'être étudiés sur toute la campagne agricole afin de déterminer les périodes opportunes ainsi que les fréquences d'application pour une meilleure valorisation des ressources végétales locales moins nocifs à l'environnement.

**Mots clés :** *Thrips* sp, *Salvia* sp, *Salvia rosmarinus*, *Allium sativum*, *Cinnamomum verum* , biocontrôle, citronnier.

## **Enquête sur l'utilisation des pesticides dans la production de pommes de terre à Casablanca-Settat et évaluation de l'huile essentielle de *Mentha spicata* contre la teigne *Phthorimaea operculella***

Fatima Mahboub<sup>1,2</sup>, Mohamed Dakir<sup>2</sup>, Keltoum El Bouhmadi<sup>1</sup>, Elidrissi Boutaher<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire d'écologie et d'environnement, Université Hassan II, Faculté des sciences Ben M'Sik Casablanca, Maroc.*

<sup>2</sup> *Laboratoire de Chimie Organique, Université Hassan II, Faculté des Sciences Ain Chock Casablanca, Maroc.*

<sup>3</sup> *Regional analysis and research laboratory at the Office National for sanitary safety of food products Casablanca, Morocco.*

\*E-mail of corresponding author: [f.mahboub95@gmail.com](mailto:f.mahboub95@gmail.com)

### Résumé :

Une enquête en collaboration avec l'ONSSA a examiné les pratiques agricoles liées à l'utilisation de pesticides dans la production de pommes de terre de la région Casablanca-Settat. Les résultats ont souligné une utilisation répandue de fongicides, notamment la Cymoxanil, suivis d'insecticides tels que l'Indoxacarb et d'herbicides comme le Metribuzine. Onze matières actives de pesticides (Imidacloprid, Pirimicarb, Cymoxanil, Metribuzin, Pyrimethanil, Linuron, Benalaxyl, Indoxacarb, Clethodim, Chlorpyrifos, Deltamethrin) ont émergé comme les plus utilisées par les agriculteurs de la région. Cependant, en raison de l'insuffisance de frigos industriels dans la région, 73% des agriculteurs ont recours au stockage de leur production dans Al ACHHA, une pratique consistant à conserver les pommes de terre destinées à la consommation pour l'arrière-saison en tas de dimensions variables, couverts de paille et d'herbes sèches. Ce mode de stockage est toutefois menacé par les insectes, notamment la teigne ou "*Phthorimaea operculella*", obligeant les agriculteurs à utiliser une quantité importante d'insecticides. Les analyses comparatives des résidus de pesticides entre les pommes de terre stockées dans les frigos et celles stockées dans ALACHA, réalisées par chromatographie liquide à haute performance couplée à la spectrométrie de masse (LC/MS/MS), ont révélé que celles stockées dans ALACHA contiennent plus de résidus de pesticides, en particulier d'insecticides tels que Pyrimethanil, l'Indoxacarb et le Pirimicarb. Afin de réduire l'utilisation d'insecticides nuisibles, des essais ont été effectués avec l'huile essentielle de menthe verte sur *Phthorimaea operculella*. Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle testée possède une toxicité remarquable, notamment aux stades adultes et chrysalides. Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle de la menthe pourrait constituer une alternative prometteuse aux pesticides chimiques dans la protection des cultures de pommes de terre.

**Mots clés:** Pesticides, Chromatographie, *Phthorimaea operculella*, Toxicité, Huile essentielle.

## Extrait polyphénolique de Berkem Biosolutions® pour la protection des denrées stockées

Daouia Messaoudi<sup>(1)</sup>, Antoine Robert<sup>(1)</sup>, Katia Ruel<sup>(1)</sup>, Jean-Paul Joseleau<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Groupe Berkem, Laboratoires R&D, 20 rue Jean Duvert 33290 Blanquefort (France) - [daouia.messaoudi@berkem.com](mailto:daouia.messaoudi@berkem.com)

<sup>(2)</sup> Link-Conseil, 349 rue du Mont-Blanc, 38570 Le Cheylas (France)

### Résumé :

La protection post-récolte des denrées alimentaires est, à l'échelle mondiale, un enjeu majeur dans l'agriculture. Au cours du stockage, un des principaux risques est le développement de populations d'insectes de stockage. Aujourd'hui, les agriculteurs d'Europe et d'autres régions économiquement développées veulent se tourner vers des solutions durables et respectueuses de l'environnement pour remplacer les pesticides conventionnels, qui ont des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine.

L'extrait polyphénolique de Berkem Biosolutions® est un extrait végétal, riche en molécules actives, notamment en polyphénols, spécialement adapté aux besoins et aux défis de la lutte contre les ravageurs des grains stockés.

L'efficacité de cet extrait polyphénolique a été évaluée en laboratoire et sur le terrain contre les insectes des grains de blé stockés.

L'évaluation en laboratoire a été réalisée par application directe de l'extrait polyphénolique sur des grains de blé infestés par des ravageurs des céréales : le charançon du blé *Sitophilus granarius* (adulte), le ver de farine *Tribolium confusum* (adulte) et la pyrale de farine *Ephestia kuehniella* (larves). Une mortalité de 100% pour l'ensemble des insectes testés a été observée sur les dispositifs tests, un jour après exposition. Sur les dispositifs témoins non traités, une mortalité moyenne de 6% a été relevée après 15 jours avec des insectes en bonne forme.

L'évaluation sur le terrain a été menée dans une station terrain afin de comparer l'efficacité de l'extrait polyphénolique contre *Sitophilus granarius* avec celle d'une référence standard à base de cyperméthrine. La mortalité constatée est en moyenne d'environ 55-60%, avec des valeurs comprises entre 30% et 76% au cours de l'essai. L'efficacité la plus élevée a été enregistrée lorsque le ravageur a été introduit dans les grains traités 12 semaines après l'application. 16 semaines après l'application, l'efficacité était d'environ 57-60%. Jusqu'à environ 8 semaines après l'application, l'efficacité tend à augmenter avec la période d'exposition, principalement entre les 2 et 7 jours d'exposition. Le pourcentage de germination des grains traités n'a pas différé du taux de germination des grains non traités à la fin de l'essai.

Ce travail a mis en évidence le potentiel élevé de l'extrait polyphénolique de Berkem Biosolutions® en tant que produit 100% végétal de protection des grains stockés qui peut être utilisé en combinaison avec des solutions non chimiques ou d'autres alternatives.

**Mots-clés :** *extrait végétal polyphénolique, bio-insecticide, Sitophilus granarius, Tribolium confusum, Ephestia kuehniella*

## Venin de la fourmi *Tetramorium bicarinatum* : découverte d'un peptide original neuroactif chez les insectes

Michel Treilhou (Université Champollion, Albi)

### Résumé :

Les fourmis comptent parmi les prédateurs invertébrés terrestres les plus abondants sur Terre. Pour capturer leurs proies, elles utilisent plusieurs innovations comportementales, physiologiques et biochimiques remarquables, dont un venin paralysant efficace. Les venins de fourmis sont donc des cocktails de toxines finement réglés pour perturber les systèmes physiologiques des proies insectes.

Peu étudiés, ils sont pourtant très prometteurs pour la découverte de nouvelles molécules insecticides. Afin d'identifier des neurotoxines d'insectes dans les venins de fourmis, nous avons examiné l'activité paralysante sur les mouches à viande *Lucilia caesar* de neuf peptides synthétiques précédemment caractérisés dans le venin de la fourmi *Tetramorium bicarinatum*.

Nous avons sélectionné le peptide U11, un peptide de 34 acides aminés, pour des expériences insecticides, structurelles et pharmacologiques plus poussées. Les essais insecticides ont révélé que l'U11 est l'un des peptides les plus paralysants jamais rapportés à partir de venins de fourmis contre les mouches à viande et qu'il est également capable de paralyser les abeilles mellifères. Une spectroscopie RMN de l'U11 a mis en évidence une organisation moléculaire unique, présentant une structure compacte d'hélice en anneau triangulaire stabilisée par une seule liaison disulfure. Des essais pharmacologiques sur des cellules S2 de drosophile ont montré que l'U11 n'est pas cytotoxique, mais suggèrent qu'il pourrait moduler la conductance du potassium, ce que les données structurelles semblent corroborer et qui sera confirmé dans une future étude pharmacologique approfondie. Les résultats présentés, publiés en 2023, démontrent que le venin de fourmi est un réservoir prometteur pour la découverte de peptides insecticides neuroactifs.

**Mots clés :** venins de fourmis ; neurotoxines ; *Tetramorium bicarinatum* ; canal potassique ; peptide en hélice

Référence : Barassé et al. (2023) Discovery of an Insect Neuroactive Helix Ring Peptide from Ant Venom. *Toxins* 2023, 15, 600.

**Session « Evaluation, suivi et analyse des contaminations et expositions aux pesticides »**

## **Effet des couverts végétaux hivernaux sur les concentrations en pesticides dans le sol et la solution du sol en agroécosystème tempéré**

Noé Vandevoorde<sup>(1)</sup>, Igor Turine<sup>(1)</sup>, Alodie Blondel<sup>(2)</sup>, Yannick Agnan<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> *Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain (UCLouvain), 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique – [noe.vandevoorde@uclouvain.be](mailto:noe.vandevoorde@uclouvain.be)*

<sup>(2)</sup> *Centre wallon de Recherche Agronomique (CRA-W), 5030 Gembloux, Belgique*

### Résumé :

Les applications d'engrais et de pesticides dans les cultures ont majoritairement lieu au printemps et en automne. Cependant, les risques principaux de lixiviation de ces produits dans le sol et vers les eaux souterraines surviennent en automne et en hiver, lorsque l'augmentation des précipitations et la réduction de la croissance des cultures facilitent la recharge des aquifères. Bien que la réduction (massive) de l'utilisation d'agrochimiques reste la stratégie optimale pour prévenir la pollution des sols et des eaux souterraines, un certain nombre de pratiques peuvent réduire ces risques. Dans le cadre des stratégies de diversification des cultures et en compléments à leurs nombreux autres services écosystémiques, l'efficacité des cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) dans la réduction de la lixiviation des nitrates durant cette période est bien documentée dans la littérature scientifique et est largement préconisée depuis les années 1990. Cependant, leur effet sur la lixiviation des pesticides reste un domaine de recherche peu exploré.

Cette étude vise à déterminer l'extension potentielle des CIPAN à la réduction de la lixiviation des pesticides, en évaluant l'influence d'un couvert végétal hivernal vivant sur les niveaux résiduels de pesticides dans un sol agricole. À cette fin, nous quantifions les concentrations de 20 pesticides (11 herbicides, 6 fongicides, 1 insecticide, 2 phytoprotecteurs) dans des échantillons de sols et de solutions de sols et comparons leur évolution durant trois mois suivant trois modalités différentes : (i) une interculture (mélange phacélie-sarrasin-vesce-moutarde) ; (ii) une céréale d'hiver (grand épeautre) ; et (iii) un sol nu comme contrôle. Cette comparaison est réalisée en serre dans des pots de 10 litres. Les cultures de couverture ont été semées début janvier 2024. Des échantillons sont prélevés trois fois entre janvier et avril 2024 et sont analysés par (QuEChERS) LC-MS/MS pour la quantification des concentrations en pesticides. L'expérience se terminera en avril et vise à fournir des informations critiques sur le potentiel des couverts végétaux hivernaux à atténuer la lixiviation des pesticides dans les sols et vers les aquifères des agroécosystèmes.

**Mots-clés :** *pesticide, interculture, CIPAN, diversification*

## **Tendances temporelles multi-résidus de pesticides d'un bassin versant volcanique tropical humide cultivé**

Pak Lai Ting <sup>(1,2)</sup>, Molin Nino <sup>(1,2)</sup>, Mottes Charles <sup>(2,3)</sup>, Beillouin Damien <sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup> Cirad, UPR HortSys, F-97285 Le Lamentin, Martinique – lai-ting.pak@cirad.fr

<sup>(2)</sup> HortSys, Univ Montpellier, Cirad, Montpellier

<sup>(3)</sup> Cirad, UPR HortSys, F-97455 Saint-Pierre, Réunion – charles.mottes@cirad.fr

### Résumé :

Aux Antilles, le paysage agricole est construit autour des monocultures destinées à l'export (banane et canne à sucre). Ces systèmes de culture, particulièrement sous climat tropical humide, favorisent le développement d'adventices et autres ravageurs et agents pathogènes, et sont ainsi très dépendants des usages de pesticides pour sécuriser leurs rendements. Cette utilisation des pesticides se fait au prix d'impacts sur notre écosystème, dont la qualité de ses eaux de surface, qui constituent plus de 90 % de la source en eau potable localement. Or, les dynamiques des concentrations en pesticides des eaux de surface demeurent méconnues. Afin de mieux gérer et protéger cette ressource, notre objectif est d'analyser la dynamique des concentrations des eaux de surface de Martinique des pesticides majeurs pour en déceler les tendances à l'augmentation ou à la diminution à court et moyen termes, ainsi que la probabilité de dépasser les seuils de potabilité et de potabilisation.

Le bassin versant du Galion en Martinique (45 km<sup>2</sup>) présente les caractéristiques typiques d'un milieu insulaire volcanique tropical humide cultivé. Depuis 2016, les concentrations hebdomadaires en pesticides des eaux superficielles sont mesurées en trois stations de l'Observatoire des Pollutions Agricoles aux antilles (OPALE). Elles sont installées dans le réseau hydrographique du Galion et équipées de préleveurs automatiques collectant des échantillons d'eau toutes les 95 min. Chaque semaine, un mélange de ces échantillons pour chacune des stations fait l'objet d'une analyse portant sur 476 molécules pesticides.

Pour chacune des années, nous avons dénombré les molécules quantifiées, puis focalisé nos analyses sur les douze molécules les plus quantifiées. Pour chaque molécule, nous avons analysé i) les variabilités intra- et inter-annuelles aux trois stations par des tests de Kruskal-Wallis sur les moyennes mensuelles ou saisonnières, et ii) les tendances sur l'ensemble de la période de mesure par des tests paramétriques de Mann-Kendall. Pour ces derniers, nous avons pris en compte l'autocorrélation temporelle via huit tests de significativité basés sur le test de Mann-Kendall. Nous considérons un résultat significatif si la majorité des tests l'indique. Enfin, iii) nous avons examiné la probabilité de dépassement des seuils de potabilité et de potabilisation afin d'obtenir des informations sur la gestion de la qualité de l'eau.

Nos résultats indiquent une réduction significative du nombre de molécules quantifiées, passant de 34 à 17 (- 50 %) de 2016 à 2023, mais la somme des concentrations toutes molécules confondues ne diminue pas dans les mêmes proportions. Les molécules les plus présentes sont diverses, et comprennent des insecticides interdits, des herbicides communs à toutes les cultures, des herbicides spécifiques à la canne à sucre, des fongicides post-récolte de la banane et un fongicide contre la cercosporiose. Certaines de

ces molécules sont systématiquement quantifiées (chaque semaine pour chacune des stations). D'autres sont présentes seulement dans 10 % des échantillons analysés. Le *glyphosate*, est quantifié dans 15 % des échantillons, mais lorsque quantifié ses concentrations sont peu variables (de l'ordre de  $10^{-1}$   $\mu\text{g.l}^{-1}$ ). Un autre herbicide, le *2,4-D* se caractérise par une présence très variable entre sites, quantifié dans moins de 5 % des échantillons à deux sites et dans 15 % au troisième site. En ce qui concerne les insecticides interdits, une pollution stable est observée tout au long de l'année. La *chlordécone*, interdite depuis 1993, est quantifiée à chaque site toutes les semaines et présente une concentration plus élevée entre novembre et mai (saison sèche), avec des maximales dépassant la dizaine de  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . Une saisonnalité importante est observée pour les concentrations mesurées, entraînant une hausse de la probabilité de dépasser le seuil de potabilité autour de mai-juin (fin de saison sèche).

De plus fortes concentrations moyennes et des tendances plus marquées sont observées au site nommé 'La Digue', qui se caractérise par des surfaces agricoles importantes. Aucune molécule ne présente une tendance similaire aux trois sites, soulignant l'importance des facteurs agricoles et environnementaux dans ces contaminations. Au site de La Digue, parmi les insecticides interdits, la *chlordécone* ne présente pas de tendance significative alors que la *chlordécone-5b-hydro* et l'*HCH- $\beta$*  diminuent et que le *chlordécol* augmente. Parmi les herbicides (*glyphosate* et son produit de dégradation *AMPA*, *2,4-D* et *métolachlore*), seul l'*AMPA* présente assez de quantifications pour faire l'objet d'un test de tendance, que se révèle être à la hausse. Parmi les fongicides, les post-récolte soit ne présentent pas de tendance (*azoxystrobine*), soit diminuent (*imazalil*, *thiabendazole*) alors que celui contre la cercosporiose augmente (*fluopyram*).

**Mots-clés :** pesticides, eaux superficielles, bassin versant, tendance

## **DeepGouramic, reconstitution historique de l'occupation du sol pour évaluer les expositions anciennes aux pesticides**

Léopold Jouffroy <sup>(1)</sup>, Astrid Coste <sup>(1)</sup>, Annabelle Sueur <sup>(1)</sup>, Béatrice Fervers <sup>(1)</sup>, Lény Grassot <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Centre Léon Bérard, Département Prévention Cancer Environnement ; INSERM UMR 1296 Radiations : Défense, Santé, Environnement ; 28 Rue Laënnec – 69008 Lyon – [Leny.GRASSOT@lyon.unicancer.fr](mailto:Leny.GRASSOT@lyon.unicancer.fr)

Résumé :

La contamination de l'air par les pesticides et l'exposition des populations tout au long de la vie est aujourd'hui suspectée d'être à l'origine de plusieurs maladies dont certains cancers. Or, aucune donnée d'usage de pesticides agricoles sur les cultures n'est disponible en France pour les périodes anciennes. Pour pallier ce fait, les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) sont de plus en plus utilisés dans les études épidémiologiques pour évaluer des interactions entre indicateurs de santé et environnement, en proposant des proxys de l'exposition aux pesticides agricoles comme la distance aux champs agricoles (terres arables, vignes etc.) ou encore la densité de cultures dans une zone tampon. Pour autant, il n'existe pas à l'heure actuelle d'indicateur spatialisé d'exposition aux pesticides agricoles sur les périodes anciennes. Dès lors, pour répondre à l'absence de telles données pour des études rétrospectives en épidémiologie, le Centre de lutte contre le cancer Léon Bérard (CLB) a cherché à développer une approche méthodologique innovante pour reconstituer l'exposition environnementale aux pesticides pour la vie entière, et tester son application dans le cadre d'une étude épidémiologique nationale multicentrique : l'étude TESTIS, conduite par le Département Prévention Cancer Environnement du CLB, porte sur les facteurs de risque des tumeurs germinales du testicule et plus particulièrement sur le rôle des expositions environnementales aux pesticides à un âge précoce ; dans cette étude, entre 2015 et 2018, 472 cas et 683 témoins âgés entre 18 et 45 ans ont été interviewés sur l'intégralité de leur histoire résidentielle depuis la période de grossesse de leur mère.

Dans le cadre de ce projet, le logiciel DeepGouramic a ainsi été développé pour traiter automatiquement les images aériennes anciennes (mises à disposition par l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière – IGN), seules données disponibles de manières longitudinales et nationales permettant de reconstituer l'occupation du sol (OCS) et donc de servir de couvert spatialisé pour évaluer le potentiel d'exposition aux produits phytosanitaires. Il permet de caractériser de manière rapide et précise différents types d'OCS (différents types de cultures, zones urbaines, etc.).

En s'appuyant sur l'OCS photo-interprétée manuellement autour de 1155 adresses dans le cadre de l'étude entre 1969 et 1999 à travers tout le territoire hexagonal, DeepGouramic permet de générer une information géographique depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle (en considérant les images disponibles via l'IGN) notamment pour envisager géographiquement l'évolutions des territoires – des pratiques agricoles – ou encore épidémiologiquement les expositions agricoles individuelles en prenant en compte les mobilités des individus. Appliqué plus largement sur d'autres populations ou territoires, l'outil et l'ensemble des données produites permettent de générer des connaissances nouvelles en fournissant notamment une base innovante pour l'étude des expositions passées et leurs effets actuels.

La présentation détaillera les bases théoriques et techniques mises en place dans le cadre de cet outil (e.g. IA, *machine* et *deep learning*, réseau de neurones), les opportunités scientifiques apportées (e.g. automatisation et couverture nationale sur plus de 70 ans) mais aussi les limites de cette approche (e.g. utilisation d'images anciennes, photo-interprétation) et les réponses apportées ou en cours de développement (e.g. contexte local sur les spécifications agricoles régionales et saisonnières) et présentera plus largement l'implémentation de cet outil dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation temporelle de l'exposition aux pesticides d'origines agricoles à n'importe quelle adresse en France depuis les années 50 en s'appuyant sur l'étude TESTIS.

**Mots-clés :** *Occupation du sol, Pesticides, IA, Épidémiologie, Cas-témoins*

## Estimation des usages de pesticides : une approche basée sur les ventes pour la surveillance de la qualité de l'air en milieu agricole

K. Guillaume\*<sup>1,2,3</sup>, O. Cesbron<sup>2</sup>, O. Le Bihan<sup>4</sup> et N. Bonvalot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ Rennes, Inserm, EHESP, IRSET (Institut de Recherche en Santé, Environnement et Travail) - UMR\_S 1085, F-35000 Rennes, France

<sup>2</sup> Air-Breizh, 3 Rue du Bosphore, Tour Alma 8<sup>e</sup> étage, 35000 Rennes, France

<sup>3</sup> ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), 20 avenue du Grésillé – BP 90406 – 49004 ANGERS cedex 01

<sup>4</sup> LB Environnement

\*Courriel de l'orateur : [killian.guillaume@edu.ehesp.fr](mailto:killian.guillaume@edu.ehesp.fr)

### Résumé :

L'usage de pesticides dans le domaine agricole a un impact sur la qualité de l'air. En effet, d'une part, lors de l'application par pulvérisation, outre le fait qu'une partie de la dose appliquée à la zone cible peut se déposer sur les zones non ciblées adjacentes (dérive de pulvérisation), une autre partie se perd dans l'atmosphère. D'autre part, on relève des émissions après application, à savoir la volatilisation à partir du sol et des plantes et l'érosion éolienne des particules de sol contenant des pesticides adsorbés, et ce pendant des jours ou semaines après l'application. Contrairement à l'eau et à l'alimentation, il n'y a pas de réglementation spécifique pour surveiller ces pesticides dans l'air. Des associations agréées (AASQA) ont commencé à surveiller les concentrations de pesticides dans l'air dès les années 2000 ; depuis 2018-2019, un protocole de surveillance national est en place. Dans le but d'améliorer le lien entre concentration dans l'air et sources, l'étude rapportée ici vise à estimer les quantités de pesticides utilisées dans une région donnée en se basant sur les ventes de distributeurs. La zone d'étude est Rennes Métropole, soit 49 communes et 29 codes postaux différents. La méthode développée utilise la Base Nationale des Ventes de Distributeurs (BNV-D) pour estimer les quantités de pesticides utilisées en fonction des codes postaux des acheteurs. Les résultats montrent que la grande majorité des ventes de pesticides concerne l'agriculture et plus précisément les herbicides. Certaines substances comme le prosulfocarbe et le S-métolachlore représentent une grande partie des ventes (>50%). Pour améliorer la méthode, il est envisagé de descendre au niveau de la parcelle (en utilisant le Registre Parcellaire Graphique), et de mener une enquête de terrain pour comparer usages théoriques et usages réels.

**Contexte :** Les pesticides sont souvent pulvérisés sur le sol et les plantes en agriculture, avec jusqu'à 90% de perte dans l'air après épandage (Bedos, Cellier, Calvet, & Barriuso, 2002; Bedos, Cellier, Calvet, Barriuso, et al., 2002). Une fois dans l'air, chaque pesticide se répartit entre la phase gazeuse et particulaire, ceci en fonction de ses propriétés physico-chimiques (Nascimento et al., 2017). Contrairement au secteur de l'eau ou de l'alimentation, il n'y a pas de réglementation spécifique pour le suivi des concentrations de pesticides dans l'air. A leur initiative les Association Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) ont mené des campagnes de surveillance dès les années 2000. Grâce à une campagne nationale exploratoire (CNEP) menée en 2018-2019, un protocole de surveillance harmonisé est désormais déployé à l'échelle du territoire national.

**Objectif :** Dans le cadre d'un projet plus large visant à comprendre les liens entre les concentrations de pesticides dans l'air et les usages agricoles, l'objectif de cette étude est d'estimer les usages théoriques de pesticides (approximés à partir des quantités utilisées) sur un territoire déterminé.

Pour ce faire, l'exploitation de la base nationale des ventes distributeur (BNV-D) a été réalisée. La méthode développée permet de documenter les utilisations en termes spatial, de nature et de quantité de produit, ainsi que de contexte d'utilisation

**Matériel et méthode :** La zone d'étude investiguée correspond au territoire de Rennes Métropole qui dispose de deux stations de surveillance. Cette zone regroupe 49 communes avec 29 codes postaux différents. Les substances actives retenues l'ont été sur la base de celles sélectionnées et recherchées lors de la CNEP. Au nombre de 72, elles appartiennent à différentes familles telles que fongicides, herbicides, insecticides. Afin de quantifier les usages sur la zone d'étude, la Base Nationale des Ventes Distributeurs ou « BNV-D registre » a été utilisée. En effet, celle-ci donne accès depuis 2013, au code postal de l'acheteur, au détail des ventes des distributeurs établis en France.

Les ventes reportées dans la BNV-D sont enregistrées au code postal acheteur ; une approximation à partir de la surface agricole utilisée (SAU) a donc été réalisée pour obtenir les quantités théoriques à l'échelle communale. Au préalable, la surface de prairies (temporaire et permanente) a été retirée de la SAU, car aucune des substances recherchées aujourd'hui dans l'air dans le cadre de la surveillance nationale n'est appliquée sur ce type de parcelles. Les données SAU sont issues du dernier recensement agricole réalisé en 2020 et disponible sur le site de la DRAAF (Direction Régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt). La méthode ainsi mise au point se rapproche du modèle simple développé par Philippe Martin et son équipe (Martin et al., 2023). Dans un premier temps, nous avons cherché à discriminer les usages en zone agricole (ZA) de ceux réalisés en zone non agricole (ZNA). La seconde partie de notre étude a consisté à quantifier les usages potentiels des substances sur notre territoire d'étude.

**Résultats et pistes d'amélioration de la méthode :** L'application de la méthode sur le territoire d'étude met en évidence que les ventes y sont dominées à 99 % par l'agriculture, les herbicides constituant l'usage majoritaire. Dix substances actives (Prosulfocarbe, S-métolachlore, Pendiméthaline, Dimethenamide-p, Diflufenicanil, Tebuconazole, Métazachlore, Cyperméthrine, Propyzamide) représentent plus de 90 % des achats réalisés. Parmi elles, le prosulfocarbe et le S-métolachlore, représentent plus de 50 % des déclarations.

Pour donner suite à ce développement méthodologique, une approche à la parcelle en utilisant le RPG (Registre Parcellaire Graphique) est envisagée, pour certaines substances qui disposent d'un usage spécifique à un type de culture. L'accès au RPG2+ (version non anonymisé du RPG) permettrait de réaliser ce travail à l'échelle de la parcelle pour l'ensemble des substances. Enfin une enquête de terrain pourrait également être envisagée afin de comparer les usages théoriques avec les usages réels et ainsi optimiser la méthode développée.

**Mots-clés :** Pesticides / Air / Usages / Bnv-d / Agriculture / Santé publique

### Références bibliographiques :

- Bedos, C., Cellier, P., Calvet, R., & Barriuso, E. (2002). Occurrence of pesticides in the atmosphere in France. *Agronomie*, 22(1), 35-49. <https://doi.org/10.1051/agro:2001004>
- Bedos, C., Cellier, P., Calvet, R., Barriuso, E., & Gabrielle, B. (2002). Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: Overview. *Agronomie*, 22(1), 21-33. <https://doi.org/10.1051/agro:2001003>
- Martin, P., Ramalanjaona, L., Truche, C., Ballot, R., Carozzi, M., & Pomeon, T. (2023). Modelling the spatialisation of pesticide sales to monitor environmental policies in France. *Journal of Cleaner Production*, 403, 136880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136880>
- Nascimento, M. M., Da Rocha, G. O., & De Andrade, J. B. (2017). Pesticides in fine airborne particles :  
From a green analysis method to atmospheric characterization and risk assessment. *Scientific Reports*, 7(1), 2267. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02518-1>

## **Couplage d'analyse ciblée et suspectée pour caractériser la contamination d'une parcelle viticole par les pesticides et leurs produits de transformation.**

Margoum Christelle, Rocco Kevin, Guillemain Céline, Gouy Véronique, Coquery Marina

<sup>(1)</sup> INRAE, UR RiverLy, 5 rue de la Doua 69100 Villeurbanne – [christelle.margoum@inrae.fr](mailto:christelle.margoum@inrae.fr)

Résumé :

En France, les vignobles représentent environ 3 % de la surface agricole utile et consomment 14 % des pesticides vendus. Ces apports réguliers sur les cultures entraînent une contamination à long terme des bassins versants des vignobles par les pesticides et leurs produits de transformation (TP), depuis les sols jusqu'aux eaux de surface et souterraines. Cependant, les connaissances sur les TP de pesticides, en termes d'identité et d'occurrence, dans l'environnement sont encore insuffisantes, contrairement aux nombreuses informations disponibles pour la plupart des pesticides parents. En l'absence d'étalons analytiques commercialement disponibles pour confirmer la présence de la majorité des TP potentiellement formés, il est alors nécessaire de développer des stratégies analytiques puissantes basées sur la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (LC-HRMS).

Nous présentons ici la stratégie d'échantillonnage et d'analyse mise en œuvre afin de caractériser la contamination par les pesticides et leurs TP connus ou encore inconnus, d'une parcelle viticole située en amont d'un bassin versant du site atelier Ardières-Morcille dans le Beaujolais (69), par l'utilisation couplée d'analyses ciblées et suspectées.

Pour cette étude, trois types de matrices ont été sélectionnées : des sols, des matières en suspension (MES) et des eaux de surface et souterraines. Les sols ont été prélevés à différentes profondeurs lors d'un carottage dans la partie amont de la parcelle. Les MES ont été obtenues par décantation de la phase particulaire du ruissellement de surface collecté en aval de la parcelle. Les eaux de ruissellement ont été prélevées dans le surnageant. Les échantillons d'eau de rivière située à l'aval de la parcelle, et de piézomètres installés au sein de la parcelle ont été collectés par des prélèvements ponctuels. Au total, 12 échantillons ont été sélectionnés puis analysés.

Afin d'être le moins sélectif possible, les échantillons d'eaux ont été seulement filtrés (0,22 µm) puis dopés avec des traceurs d'injection deutérés. Les matrices solides MES et sols ont été extraites par une méthode sous pression et température [1]. L'ensemble des échantillons et extraits ont été analysés par RPLC-HRMS (mode ESI positif). Le retraitement des données générées a consisté en (i) la quantification de pesticides et TP connus par analyse ciblée et (ii) la recherche suspectée d'une large gamme de pesticides et de TP correspondants, à l'aide des méthodologies basées sur la création préalable de 2 bases de données (en s'appuyant sur les travaux développés pour les TP du tébuconazole [2]), contenant respectivement 239 pesticides utilisés ou ayant été utilisés en viticulture et 1559 potentiels TP.

L'analyse ciblée de tous les échantillons a permis la quantification de 18 pesticides et de 7 produits de transformation, avec des concentrations maximales de 28 µg/L dans les eaux et 309 µg/kg dans les sols.

Ces résultats ont mis en évidence que les TP pouvaient être jusqu'à 2 fois plus concentrés que leurs composés parents respectifs dans les échantillons. La recherche par analyse suspectée a permis de détecter 32 pesticides et 215 TP en plus de l'analyse ciblée.

L'analyse de l'occurrence des TP détectés dans les 12 échantillons a montré un nombre de pesticides et de TP suspectés 2 fois plus important dans les solides que dans les eaux, avec seulement 20 % de TP communs aux 2 types de matrices. L'interprétation des données acquises indique que les TP issus de fongicides représentent environ 44% (98/224) des TP détectés. Par ailleurs, les 32 TP ayant une fréquence de détection supérieure à 25 % dans les échantillons analysés sont issus de 21 pesticides dont 9 retirés du marché. A l'heure actuelle, seulement 6 TP parmi ceux détectés dans cette étude font l'objet d'un suivi réglementaire dans les eaux et sont tous issus d'herbicides. Ces résultats soulignent le fait que la recherche de TP issus de la réglementation dans les cours d'eau ne donne probablement qu'un faible aperçu de la contamination réelle des eaux par ces composés. Il est cependant important de rappeler que malgré la confiance élevée en l'identification apportée par la démarche d'analyse suspectée employée dans cette étude, la confirmation absolue de présence des TP n'est possible qu'avec un étalon analytique [3].

**Mots-clés :** sols, milieu aquatique, LC-HRMS, analyse non ciblée, produits de transformation

#### **Références bibliographiques :**

- [1] J. Riedo, F.E. Wettstein, A. Rosch, C. Herzog, S. Banerjee, L. Buchi, R. Charles, D. Wachter, F. Martin-Laurent, T.D. Bucheli, F. Walder, M.G.A. van der Heijden (2021). Widespread Occurrence of Pesticides in Organically Managed Agricultural Soils-the Ghost of a Conventional Agricultural Past? 10.1021/acs.est.0c06405
- [2] K. Rocco, C. Margoum, L. Richard, M. Coquery (2022). Enhanced database creation with in silico workflows for suspect screening of unknown tebuconazole transformation products in environmental samples by UHPLC-HRMS. 10.1016/j.jhazmat.2022.129706
- [3] E.L. Schymanski, J. Jeon, R. Gulde, K. Fenner, M. Ruff, H.P. Singer, J. Hollender (2014). Identifying Small Molecules via High Resolution Mass Spectrometry: Communicating Confidence. 10.1021/es5002105

## **Caractérisation qualitative de pesticides et produits de transformations ultra-polaires dans les eaux potables par échantillonnage passif couplé à la spectrométrie de masse haute résolution**

Vincent DUFOUR <sup>(1)</sup>, Laure WIEST <sup>(1)</sup>, Aurélie FILDIER <sup>(1)</sup>, Xavier DAUCHY <sup>(2)</sup>, Mar ESPERANZA <sup>(3)</sup>, Jérôme ENAULT <sup>(3)</sup> & Emmanuelle VULLIET <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut des Sciences Analytiques, UMR 5280, 5 rue de la Doua, F-69100 Villeurbanne, France – [vincent.dufour@isa-lyon.fr](mailto:vincent.dufour@isa-lyon.fr)

<sup>(2)</sup> ANSES, Laboratoire d'Hydrologie de Nancy, 40 Rue Lionnois, F-54000 Nancy, France

<sup>(3)</sup> SUEZ, CIRSEE (Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement) – 38 rue du président Wilson, 78230 Le Pecq, France

### Résumé :

Les pesticides font partie intégrante de l'agriculture intensive et servent à garantir des rendements de production élevés en combattant divers ravageurs tels que des insectes, des champignons ou des adventices indésirables. Toutefois, en raison de leur usage intensif et de leurs caractéristiques physico-chimiques, une partie de ces molécules se retrouve dans les sols et les eaux de ruissellement, avant de rejoindre les écosystèmes aquatiques, qui sont les réceptacles ultimes des contaminants organiques anthropiques. Au cours du transport, les substances actives peuvent être progressivement dégradées en produits de transformation et ces derniers peuvent parfois se révéler plus toxiques et plus mobiles que les molécules mères. Malgré des concentrations environnementales faibles allant de la trace ( $\mu\text{g/L}$ ) à l'ultra-trace ( $\text{ng/L}$ ), ils sont souvent présents dans les eaux de surface ou les eaux souterraines. Or ces eaux sont potabilisées pour la consommation humaine, et la présence de substances actives ou de produits de transformation à des taux supérieurs aux normes en vigueur (Directive UE 2020/2184) est actuellement un des principaux facteurs de non-conformité. Parmi ces contaminants, les PMOCs (Composés Organiques Persistants et Mobiles) se distinguent par leur caractère hydrophile et polaire ( $\log P < 0$ ) qui les rend difficilement analysables avec les méthodes employées dans le cadre des contrôles sanitaires réglementaires. Associés à une problématique de toxicité potentielle à de faibles concentrations, ce sont des molécules à forts enjeux pour lesquelles le recul scientifique en terme de présence et de dynamique reste faible.

Les échantillonneurs passifs représentent un intérêt dans l'identification de ces molécules particulières. En effet, ces outils permettent de réduire les limites de quantification en accumulant les contaminants dissous sur une longue période de temps, tout en prenant en compte les épisodes de contamination, même fugaces. Il en existe de différentes formes et structures, mais les plus élémentaires se présentent comme de simples phases accumulatrices qu'il est possible de sélectionner selon les propriétés physicochimiques des molécules ciblées (hydrophile, hydrophobe, échange d'ions, etc.). Ces outils ont un potentiel considérable dans l'analyse des PMOCs, en particulier lorsqu'ils sont associés à la Spectrométrie de Masse Haute Résolution (HRMS). Les méthodes de criblage de suspects par HRMS s'appuient sur la comparaison des signaux détectés dans l'échantillon avec des bases de données,

permettant ainsi de rechercher plusieurs centaines de molécules, comparé à quelques dizaines dans la plupart des approches mises en œuvre dans les contrôles sanitaires.

Le projet de recherche PESPOT a entre autre consisté en le développement de phases accumulatrices et de méthodes analytiques adaptées au screening de molécules d'une large gamme de polarité, puis à leur application sur des échantillons d'eaux potables afin d'identifier de nouvelles molécules via HRMS, notamment au travers d'approches de criblage de suspects. Les développements en laboratoire ont mis en évidence la pertinence d'utiliser des phases accumulatrices de constitutions différentes (HLB, SAX et SCX) et de les utiliser en parallèle afin de couvrir une large gamme de polarité. De même, l'utilisation de séparations chromatographiques complémentaires sur des colonnes C18 et HILIC permet une de faciliter le criblage de suspects en séparant respectivement les molécules peu et fortement hydrophiles. Le couplage de l'ensemble de ces approches devrait ainsi permettre d'améliorer la représentativité des échantillons par rapport à des approches plus conventionnelles.

L'application de cette stratégie à 7 continuums de production d'eau potable (eau brute / eau traitée) répartis sur l'ensemble de l'hexagone a permis de détecter plus de 90 substances actives, produits de transformation et substances utilisées dans la synthèse de pesticides (niveau de confiance 1 ou 2 selon l'échelle de Schymanski) sur les >2500 substances contenues dans les bases de données utilisées (PesticideScreener 2.1 & ToxScreener 2.1). Avec 11 à 36 molécules selon les échantillons, les fréquences de détections sont généralement plus importantes dans les eaux brutes en lien avec les usages anthropiques. Il est également possible de mettre en évidence que les traitements multi-barrières sont à priori plus efficaces à réduire les contaminations dissoutes que les simples chlorations, et que l'on observe généralement moins de substances actives à l'issue de la potabilisation.

**Mots-clés :** *molécules ultrapolaires, HILIC, échantillonneurs passifs, suspect screening, eaux potables*

## Challenge analytique de l'analyse des micropolluants émergents

P. Candido<sup>1</sup>, G. Couturier<sup>1</sup>, L. Moulin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eau de Paris, Direction de la Recherche, du Développement et de la Qualité de l'Eau,  
33 avenue Jean Jaurès, 94200, Ivry-sur-Seine, patrick.candido@eaudeparis.fr ; +33 6 80 07 02 18

### Résumé :

De manière à accroître la capacité de détection et d'identification de nouvelles substances organique, Eau de Paris a choisi de s'intéresser à des solutions analytiques innovantes. Une stratégie d'analyse basée sur un screening des échantillons par chromatographie liquide haute pression (HPLC) couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (HR-MS) a été mise en place au sein de l'unité R&D Chimie il y a une dizaine d'année. L'utilisation de la spectrométrie de masse haute résolution permet un suivi renforcé des substances réglementées dans les eaux, en termes d'évolution des concentrations et d'occurrences (fréquence de détection) mais aussi une recherche élargie basée sur une méthodologie de type suspect (non ciblée).

La directive eau (2020/2184, décembre 2020) et les réglementations européennes et françaises sur les eaux destinées à la consommation humaine ont évoluées ces dernières années avec l'ajout de substances aux propriétés physicochimiques variées, notamment la recherche et la quantification de métabolites. C'est le cas des métabolites de la chloridazone : la desphénylchloridazone (CDP) et la méthyl-desphénylchloridazone (CMDP) classées comme pertinentes par l'Anses (n°2018-SA-0134-d, avril 2020), des métabolites des substances de la famille des chloroacétamides (n°2018-SA-0134-b, février 2020) et plus récemment des métabolites du chlorothalonil (n°2021-SA-0020-b, janvier 2022). L'évaluation de la présence et de l'occurrence de ces nouvelles substances à un impact sur la stratégie de production d'eau potable et impose une surveillance accrue des ressources. Dans ce contexte de surveillance de la qualité de l'eau et d'une politique de protection des ressources importante, la stratégie analytique par HR-MS, bien que très performante, a dû être complétée par des méthodes spécifiques adaptées aux substances plus difficilement détectables avec les méthodes classiques de chromatographie (liquide ou gazeuse). Le champ d'application de la chromatographie liquide haute pression est notamment limité pour les analyses de substances très polaires dans l'eau comme les métabolites pouvant se comporter comme des anions ou des cations.

Pour de telles substances, l'unité RD Chimie s'est orientée vers la chromatographie ionique (CI) couplée à la spectrométrie de masse en tandem (MS<sup>2</sup>). La CI, bien connue des laboratoires d'analyse environnementale, est une technique séparative permettant notamment la séparation des anions ou cations majeurs dans un mélange complexe comme : Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. Les dernières avancées technologiques permettent aujourd'hui de coupler ces systèmes de CI à des spectromètres de masse (simple MS ou en tandem MS<sup>2</sup>). Ce couplage permet ainsi d'élargir la gamme de substances recherchées avec une grande spécificité et des sensibilités conformes à la recherche de traces ou d'ultra-traces.

En première intention, une méthode a été mise en place pour l'analyse et le suivi des Acides Haloacétiques intégrés à la nouvelle directive eau (sans préparation d'échantillon). Cette méthode permet également la recherche de plusieurs pesticides polaires : dalapon, fosétyl-aluminium, éthéphon, hydrazine maléïque, ainsi que le glyphosate et l'AMPA sans dérivation avec des sensibilités de l'ordre de la dizaine de ng/L. Les performances de cette méthode nous ont permis d'envisager d'étendre l'utilisation de cet instrument à d'autres composés aujourd'hui difficilement analysables avec les systèmes HPLC classiques.

Ensuite, dans le cadre de l'évaluation et de la connaissance de nos ressources en eau, une méthode spécifique pour l'analyse de 10 métabolites du chlorothalonil a été développée en CI-MS<sup>2</sup> (Tableau 1). Un intérêt particulier a été porté sur ces métabolites à la suite des campagnes de mesures réalisées en Suisse en 2018 et 2019. Celles-ci ont montré la présence de métabolites du chlorothalonil dans l'eau à des teneurs et des occurrences significatives. La commission européenne a mentionné une liste de 8 métabolites du chlorothalonil en préoccupation essentielle (R417888, SYN507900, R419492, R471811, SYN548008, M7, SYN548580, SYN548581). En raison des données toxicologiques insuffisantes et de la toxicité du composé parent, l'ANSES a classé le métabolite R471811 comme pertinent pour les EDCH (N°2021-SA-0020-b, janvier 2022).

Tableau 1 : Métabolites du chlorothalonil analysés par CI-MS<sup>2</sup>

Substances	LQ (µg/L)	Substances	LQ (µg/L)
CLT_M R471811	0,01	CLT_M SYN507900	0,01
CLT_M R417888	0,01	CLT_M SYN548008	0,01
CLT_M R419492	0,01	CLT_M R611968	0,01
CLT_M SYN548580	0,01	CLT_M R418503	0,01
CLT_M SYN548581	0,01	CLT_M M7	0,01

2587 échantillons ont ainsi été analysés en 2023 pour la recherche des métabolites du chlorothalonil de la ressource en eau à la mise en distribution, en passant par les filières de traitement et les réservoirs. Cette étude a mis en évidence la présence de plusieurs métabolites du chlorothalonil au niveau de la ressource notamment le R471811 mais également le SYN548008 et le R419492. Un suivi renforcé des points de captages les plus impactés est mis en place et plusieurs études sont en cours afin d'évaluer l'efficacité des traitements vis-à-vis de ces substances.

Ce couplage associant chromatographie ionique et spectrométrie de masse en tandem permet le suivi de substances jusqu'alors difficilement analysables par chromatographie liquide. Dans les années à venir, de nouvelles molécules pas encore réglementées ou recherchées, pourraient apparaître dans les suivis ou les demandes réglementaires. Cette technologie se révèle comme une solution adaptée pour répondre aux défis analytiques que représentent l'analyse de ces substances très polaires et compléter l'approche en screening du laboratoire R&D.

**Mots-clés :** eau, réglementation, chromatographie, pesticides, métabolites, chlorothalonil.

## **Développement d'une méthode de dosage de la chlordécone et d'autres composés organochlorés dans le sérum humain dans le cadre des études épidémiologiques à visée étiologique.**

Maïlie SAINT-HILAIRE<sup>(1)</sup>, Reggie LANOIR <sup>(1)</sup>, Morran LIPAUL <sup>(1)</sup>,  
Luc MULTIGNER <sup>(2)</sup>, Léah MICHINEAU <sup>(2)</sup>, Ronan GARLANTEZEC <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut Pasteur de Guadeloupe, Laboratoire C2AS (Chimie Analytique Appliquée à la Santé), F-97139 Les Abymes – msaint-hilaire@pasteur-guadeloupe.fr

<sup>(2)</sup> Inserm 1085 IRSET (Institut de recherche en santé, environnement et travail), 9 avenue du Professeur Léon Bernard 35 000 Rennes

### Résumé :

Les Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique, subissent une pollution permanente de l'environnement par la chlordécone (CD), un insecticide organochloré employé de 1973 à 1993 pour lutter contre le charançon du bananier. Ce pesticide, en raison de sa faible dégradation biotique et abiotique, de sa persistance dans l'environnement, de sa bioaccumulation dans la chaîne alimentaire et de sa toxicité pour les êtres vivants, a été classé Polluant Organique Persistant. Confirmant des travaux antérieurs conduits par l'Inserm, l'étude Kannari mise en œuvre sur la période 2013-2014 par l'Anses et Santé publique France a montré la présence détectable de la CD dans le sang chez 94.9 % des 292 volontaires représentant la population générale adulte en Guadeloupe. Ce développement de méthode analytique s'inscrit dans le cadre des études épidémiologiques à visée étiologique actuellement conduites en Guadeloupe. Une méthode de dosage de la CD et de 14 autres POPs (HCH alpha, HCH bêta, HCH gamma, pp' DDE, pp' DDT, HCB, Mirex, PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180) a été développée à l'aide d'une extraction QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Rugged and Safe) et d'analyses par LC-MS/MS et GC-MS/MS. Cette méthode a permis à l'aide d'étalons internes d'obtenir des taux de récupération pour chacune des molécules entre 70 et 120%, a été testée dans le cadre d'essais inter laboratoires (INSPQ, Canada) et à l'aide de matériaux de référence certifiés (SRM 1957 et 1958). Cette méthode sera validée selon la norme NF 15189 et V03-110 et utilisée par la suite.

**Mots-clés :** chlordécone, épidémiologie, méthode, pesticides, QuEChERS,

## ANR AlimOmic - Caractérisation de l'exposome chimique alimentaire

Parinet Julien <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentaire, de l'environnement et du travail (Anses), Laboratoire Sécurité des Aliments, 14 rue Pierre et Marie Curie, 94701 Maisons-Alfort Cedex, France

### Résumé :

Les molécules organiques telles que les pesticides sont largement utilisées dans l'agriculture française et mondiale. Si elles permettent d'obtenir des rendements élevés, elles ne sont pas sans conséquences pour la planète, à commencer par la santé des êtres humains [1]. C'est pourquoi une réglementation impliquant des limites maximales de résidus (LMR) a été mise en place. Elle s'accompagne de plans de surveillance et de contrôle (PSPC) pour assurer le respect de la législation par les agriculteurs et les intermédiaires. Cependant, les récents scandales alimentaires (Fipronil, oxyde d'éthylène, PFAS...) nous alertent sur le fait que ce système de surveillance n'est pas parfait. Les causes de ces scandales peuvent être multiples ; mauvais usage, pratiques différentes, accidents industriels, ignorance... Dans un monde où les échanges sont globalisés, les provenances et la traçabilité parfois incertaine, les acteurs multiples, les chaînes logistiques complexes, il est nécessaire d'accroître la vigilance par la mise en place de PSPC les plus complets possibles afin d'éviter toute contamination et ainsi rassurer le consommateur. Actuellement, pour détecter les pesticides, on utilise classiquement la spectrométrie de masse en tandem (basse résolution) par le biais d'instruments du type triple quadripôle en mode MRM. Ces instruments sont généralement couplés à la chromatographie liquide (LC-MS/MS). Cette technologie est reconnue comme la référence pour l'analyse des pesticides grâce à sa spécificité et sa sensibilité. Cependant, cette technique est limitée à une liste préétablie de substances à rechercher *a priori* ; approche dite "ciblée". Ce manque d'exhaustivité [2] est un problème car de nombreuses molécules sont susceptibles de se retrouver dans l'alimentation, il est donc important de pouvoir les détecter. Cependant nous ne sommes pas exposés qu'aux seuls pesticides, il est possible de trouver des contaminants industriels, environnementaux appartenant à diverses familles de composés chimiques : médicaments, médicaments vétérinaires, retardateurs de flammes, perfluorés, toxines, alcaloïdes... Si bien qu'au final nous sommes exposés à une grande diversité de molécules pouvant avoir potentiellement une influence néfaste sur notre santé. En particulier par l'apparition de maladies chroniques. Ce cocktail de contaminants auxquels nous sommes exposés n'est pas constant, il varie au cours du temps. C'est ainsi qu'en 2005, Christopher Wild [3] du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a énoncé le terme « d'exposome » qui correspond à l'ensemble des expositions auxquelles nous sommes soumis tout au long de notre vie. Par « expositions » Christopher Wild entend intégrer, bien entendu, les expositions aux composés chimiques, mais également les expositions à divers stress : sonores, psychoaffectifs, socioéconomiques. Dans le cadre de l'ANR AlimOmic ([www.alimomic.fr](http://www.alimomic.fr)) nous nous sommes concentrés exclusivement sur l'exposome chimique alimentaire et la recherche exhaustive de contaminants organiques dans les matrices alimentaires.

L'objectif du projet AlimOmic est double : (1) évaluer la capacité de la spectrométrie de masse à haute résolution (HRMS) à améliorer la surveillance sanitaire et (2) générer les données nécessaires à une meilleure caractérisation de l'exposome chimique alimentaire.

En effet, la HRMS est apparue relativement récemment sur le marché. Ces instruments permettent de détecter un grand nombre de petites molécules (<1500 uma) en exploitant la masse monoisotopique des molécules et en générant des empreintes chimiques qui nécessitent l'utilisation d'outils chimiométriques. Ce type d'approche permet de répondre au manque d'exhaustivité des analyses conventionnelles par la mise en œuvre de stratégies dites "non ciblées" [4]. Malgré les avantages certains de la HRMS sur les approches actuellement mises en œuvre dans le cadre des PSPC, celles-ci ont bien entendu leurs subtilités. Au travers de l'ANR JCJC AlimOmic ([www.alimomic.fr](http://www.alimomic.fr)) démarré en 2020, nous avons souhaité répondre aux défis inhérents à ces nouveaux instruments et approches associées (ciblées, suspectes et non-ciblées). Nous avons œuvré pour couvrir de la façon la plus exhaustive possible l'espace chimique des contaminants potentiellement présents dans notre alimentation. Pour ce faire, nous avons eu recours au développement de méthodes d'extraction du type « Quick, Easy, Cheap, Rugged and Safe » (QuEChERS). Puis, nous avons développé nos méthodes LC-HRMS et les avons éprouvées sur un grand nombre et une grande diversité de matrices alimentaires (purées pour bébés, produits sucrés, produits de la pêche, fruits & légumes, viandes...) jusqu'à atteindre de bonnes, voire de très bonnes, performances en terme de sensibilité et d'exhaustivité. En parallèle de ce travail méthodologique, nous nous sommes intéressés également à l'impact de divers traitements thermiques sur la stabilité de pesticides et la production éventuelle de sous-produits potentiellement toxiques pour la santé humaine que nous avons caractérisés par la mise en œuvre de la HRMS. Puis, nous avons évalué divers logiciels et algorithmes (« open source » et constructeurs) et les stratégies à mettre en œuvre afin de résoudre de manière optimale le cas de toxico-infection alimentaires collectives (TIAC) ou d'empoisonnements par l'emploi d'outils chimiométriques. Enfin, nous avons développé des modèles de type QSPR (quantitative structure property relationship) afin d'être en mesure de travailler sans étalon.

Actuellement nous employons ces méthodes, stratégies analytiques et outils à l'analyse et à la caractérisation des mélanges/cocktails de contaminants potentiellement présents dans les échantillons de l'Etude de l'Alimentation Totale Française (EAT n°3). A terme cela devrait nous permettre de proposer une évaluation des risques exhaustive de l'exposition des consommateurs français aux contaminants organiques.

**Mots-clés :** *exposome, alimentation, spectrométrie de masse haute résolution*

## **Exposition au glyphosate dans le secteur des espaces verts : comparer les expositions cutanées mesurées sur le terrain avec les valeurs prédites par les modèles d'homologation**

Lucie de Graaf<sup>(1)</sup>, Morgane Bresson<sup>(2,3)</sup>, Mathilde Bureau<sup>(1)</sup>, Pierre Lebailly<sup>(2,3)</sup>, Isabelle Baldi<sup>(1,4)</sup>

<sup>(1)</sup> INSERM U1219 Epicene, Bordeaux Population Health Centre, Université de Bordeaux, F-33000 Bordeaux, France

<sup>(2)</sup> INSERM, UMR1086-Cancers et Préventions, Centre François Baclesse, Caen, France

<sup>(3)</sup> Université de Caen Normandie, Caen, France

<sup>(4)</sup> Service Santé Travail Environnement, CHU de Bordeaux, F-33000 Bordeaux, France

### Résumé :

En Europe, le modèle AOEM (*Agricultural Operator Exposure Model*) est utilisé pour estimer l'exposition professionnelle lors de l'homologation et réhomologation de substances actives. Ce modèle déployé en 2014 a été construit à partir de 34 études menées en grande majorité par les industriels, en conditions contrôlées. Y sont incluses 12 cultures agricoles et les zones non-agricoles telles que les pelouses d'ornement ou les voies ferrées.

L'objectif de cette étude était de comparer l'exposition cutanée mesurée lors d'une étude de terrain, avec les valeurs estimées par le modèle AOEM. L'étude de terrain a été conduite en 2011 en France dans les conditions réelles de travail, auprès de 24 jardiniers privés et employés municipaux qui réalisaient des traitements à base de glyphosate avec des pulvérisateurs à dos. L'exposition cutanée était mesurée grâce à des combinaisons (« *whole-body method* ») et des gants en coton. Chaque valeur mesurée avait une valeur estimée correspondante et nous avons testé leur corrélation via une régression linéaire.

Concernant l'exposition corporelle (mains exclues), le modèle a surestimé l'exposition pour toutes les observations et nous n'avons pas identifié de corrélation entre les valeurs mesurées et celles estimées. En revanche, pour l'exposition des mains, l'estimation par le modèle était 42 fois inférieure à ce qui a été mesuré sur le terrain. De plus, le modèle a systématiquement sous-estimé l'exposition lorsque les opérateurs portaient des gants de protection, tout particulièrement lors de l'application. Afin de garantir la sécurité des travailleurs, le modèle AOEM est censé être conservateur et surestimer l'exposition. Or, cette étude montre que l'exposition des mains a été sous-estimée et que la protection apportée par les gants a été fortement surestimée.

Bien que le modèle AOEM soit un outil facile et rapide pour prédire l'exposition des travailleurs, il est basé sur un nombre limité d'études, la plupart conduites par les industriels dans des conditions contrôlées. De plus, aucune des études incluses ne concerne les zones non-agricoles et seules quatre études réalisées avec des pulvérisateurs à dos ont été incluses dans le modèle. Au niveau mondial, ce matériel d'application étant le plus utilisé en agriculture et zones non-agricoles, il est important d'incrémenter le modèle avec de nouvelles données spécifiques à ce type d'équipement. À l'heure de la réhomologation du glyphosate pour 10 ans au niveau européen, les études de terrain réalisées en conditions réelles de travail dans des secteurs divers sont nécessaires pour améliorer les estimations du modèle et garantir la sécurité des utilisateurs.

**Mots-clés :** *glyphosate, exposition professionnelle, espaces verts, homologation, zone non-agricole*

## **Nouvelle approche de spectrométrie de masse haute résolution multiplexée pour une évaluation exhaustive de l'exposition interne aux pesticides**

Debrauwer Laurent <sup>(1)</sup>, Mirmont Elodie <sup>(1)</sup>, Moufawad Tarek <sup>(2)</sup>, Alem Fatima-Zahra <sup>(3)</sup>, Zhou Houssein <sup>(1)</sup>, Jamin Emilien <sup>(1)</sup>, Chevrier Cécile <sup>(3)</sup>, Bonvalot Nathalie <sup>(3)</sup>, Kesse-Guyot Emmanuelle <sup>(4)</sup>, Baudry Julia <sup>(4)</sup>, Bichon Emmanuelle <sup>(2)</sup>, Guiffard Ingrid <sup>(2)</sup>, Antignac Jean-Philippe <sup>(2)</sup>, David Arthur <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> *Toxalim (Research Center in Food Toxicology), Toulouse University, INRAE, ENVT, INP-Purpan, Toulouse, France*

<sup>(2)</sup> *ONIRIS, INRAE, LABERCA, Nantes, 44300, France*

<sup>(3)</sup> *Univ Rennes, Inserm, EHESP, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail), UMR\_S 1085, Rennes, France*

<sup>(4)</sup> *CRESS – EREN – INRAE, Université Sorbonne Paris Nord, SMBH, 74 rue Marcel Cachin, 93017 Bobigny cedex*

### **Résumé :**

L'exposition humaine aux contaminants alimentaires et environnementaux, dont l'exposition particulière aux pesticides, est généralement estimée par des méthodes indirectes (modèles d'exposition externe). La bio-surveillance, basée sur des biomarqueurs mesurés à partir d'échantillons biologiques humains, complète cette stratégie en évaluant l'exposition interne des populations et permet d'affiner l'évaluation des risques associés. Les approches conventionnellement utilisées dans ce domaine restent toutefois centrées sur un nombre limité de substances connues a priori, et nécessitent des quantités d'échantillons importantes pour conduire de multiples analyses couvrant différentes classes de substances avec à la fois précision et sensibilité.

Ainsi, les risques pour la santé humaine associés à une exposition multiple à des mélanges complexes de pesticides restent actuellement sous-explorés. Dans ce contexte, nous proposons une approche innovante basée sur un workflow intégratif visant à détecter le plus grand nombre possible de marqueurs d'exposition aux pesticides de façon non ciblée en combinant trois plateformes complémentaires de spectrométrie de masse à haute résolution (HILIC-LC-HRMS, C18-LC-HRMS et GC-HRMS).

Sur la base des méthodes dérivées de la métabolomique, nous avons développé une approche analytique innovante permettant de capturer le plus grand nombre de signaux d'exposition possible issus de pesticides et métabolites associés sur une très large gamme de polarité à partir d'un échantillon d'urine unique et de volume restreint (0,5 mL).

Dans le cadre du projet Screenpest (Grant OFB 20,0743), nous nous sommes ainsi concentrés sur l'exposition interne humaine aux pesticides dans le but de fournir une caractérisation de l'exposition aux pesticides à grande échelle, basée sur cette approche de criblage multi-plateforme. L'originalité de notre approche réside dans le fait de produire des données d'exposition couvrant une large gamme de polarité des pesticides et métabolites auxquels la population est exposée, incluant les pesticides « traditionnels »

de polarité moyenne et les pesticides de polarité plus élevée et plus difficiles à analyser (e.g. glyphosate / AMPA).

Les résultats de la méthodologie développée seront présentés montrant une plus-value des données générées par cette nouvelle approche multiplexée appliquée à des échantillons provenant de deux études épidémiologiques (cohorte mère-enfant PELAGIE et NutriNet-Santé).

Ainsi, le criblage simultané d'un large panel de marqueurs d'exposition (> 1000) avec une couverture étendue des polarités des marqueurs permet de fournir des informations riches à partir d'un échantillon unique de taille limitée pour tester les associations avec des paramètres de santé, au-delà des marqueurs déjà identifiés et suivis, et d'étendre notre connaissance de l'exposition vers des marqueurs non encore identifiés.

Des exemples de marqueurs observés/détectés au moins une fois, leurs familles chimiques selon leur polarité et les marqueurs détectés en commun ou spécifiquement par l'une des trois méthodologies complémentaires abordées seront présentées en mettant en évidence l'originalité de ce travail.

Cette approche présente encore des marges de progrès en termes de technologie (sensibilité des approches non-ciblées vs. ciblées) et de traitement de données (prétraitement des données, alimentation des bases spectrales, outils chemo-informatiques), mais le nouveau paradigme proposé pose les bases d'une méthodologie holistique d'évaluation de l'exposition interne aux pesticides, pouvant être étendue à de nombreuses autres classes de contaminants.

**Mots-clés :** *Spectrométrie de masse, exposome, pesticides, miniaturisation*

**Session « Évaluation des impacts des pesticides sur la santé humaine et les écosystèmes »**

## **Impact de l'exposition aux fongicides SDHi sur le risque de paragangliome chez les sujets à risque de paragangliome héréditaire déterminé par SDH : étude de faisabilité**

Astrid Coste<sup>(1)</sup>, Alexandre Buffet<sup>(2)</sup>, Margaux Duboeuf<sup>(1)</sup>, Sabrina Boudif<sup>(2)</sup>, Lény Grassot<sup>(1)</sup>, Boutheina Ouelaa<sup>(2)</sup>, Annabelle Sueur<sup>(1)</sup>, Timgad Lounis<sup>(2)</sup>, Olivia Pérol<sup>(1)</sup>, Béatrice Fervers<sup>(1)</sup>, Anne-Paule Gimenez Roqueplo<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Centre Léon Bérard, Département Prévention Cancer Environnement ; INSERM UMR 1296 Radiations : Défense, Santé, Environnement ; 28 Rue Laënnec 69008 Lyon – [Astrid.COSTE@lyon.unicancer.fr](mailto:Astrid.COSTE@lyon.unicancer.fr)

<sup>(2)</sup> Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Hôpital Européen Georges Pompidou, Service de Génétique, F-75015 Paris, France; Université Paris Cité, F-75006 Paris, France

### Résumé :

**Contexte :** Les paragangliomes et les phéochromocytomes (PPGL) héréditaires sont des cancers rares. Les gènes responsables de la maladie sont les gènes *SDHx* qui codent pour la succinate deshydrogénase. Des facteurs environnementaux pourraient jouer un rôle dans l'émergence des tumeurs. Les fongicides inhibiteurs de la succinate déshydrogénase (SDHi) sont suspectés car ils pourraient être impliqués dans la survenue du second événement génétique induisant l'inhibition complète de l'enzyme au niveau somatique, chez les patients asymptomatiques porteurs d'une mutation constitutionnelle hétérozygote, nécessaire au développement tumoral.

**Objectifs :** Nous avons cherché à évaluer la faisabilité d'une étude épidémiologique cas-témoins appariée portant sur le lien entre les pesticides, en particulier les fongicides SDHi, et le risque de PPGL lié aux gènes *SDHx*. Notre échantillon cible était de 50 cas et de 50 témoins appariés individuellement.

**Méthodes :** L'étude a été menée chez des patients suivis au sein du centre de référence des maladies des surrénales à l'hôpital européen Georges Pompidou entre mars et juillet 2022. Les cas étaient des patients avec un diagnostic génétique de PPGL héréditaire réalisé entre 2000 et 2021. Les témoins ont été sélectionnés parmi des sujets connus comme étant porteurs d'une mutation *SDHx* mais n'ayant pas développé de PPGL. Un processus d'appariement a été élaboré pour sélectionner les cas et les témoins sur la base des critères suivants : avoir le même gène *SDHx* muté, être non apparenté et pour les témoins de ne pas avoir de tumeur à l'âge du diagnostic de la première tumeur chez le cas. Les entretiens, réalisés par des enquêteurs formés de l'institut IPSOS sans connaissance du statut cas ou témoins des sujets interrogés, ont permis de recueillir des données sur les caractéristiques générales, les facteurs de risque connus ou suspectés de PPGL, l'utilisation domestique de pesticides dans chaque domicile, l'historique résidentiel et professionnel. Les adresses ont été géocodées et la qualité du géocodage a été évaluée. L'exposition résidentielle aux pesticides agricoles a été estimée pour les adresses au moment du diagnostic en s'appuyant sur la base d'occupation du sol européenne CORINE LAND COVER.

**Résultats :** A partir d'une série de 193 patients suivis dans le service, une lettre a été envoyée à 138 de ces patients. Sur la base d'une priorisation du recrutement définie par le potentiel d'appariement de chaque patient. 110 ont pu être joints par téléphone, 101 ont accepté d'être inclus dans l'étude et 82 ont

réalisé l'entretien (42 cas et 40 témoins, taux de participation 81%). Le nombre moyen de paires constituées variait entre 26 et 38, en fonction de la règle d'appariement choisie sur le gène muté. Le pourcentage de données manquantes sur l'exposition domestique aux pesticides était beaucoup plus élevé pour les adresses les plus anciennes, en particulier pour les types d'utilisation rares. En revanche, la qualité du géocodage restait élevée même pour les adresses les plus anciennes (81 % au moins géocodées à la plaque adresse, niveau de géocodage le plus fin). Dans une zone tampon d'un rayon de 1500 mètres, les terres arables étaient présentes pour 55% des adresses des sujets, les vignobles et les vergers pour 5% et 3,8% respectivement. Seuls deux sujets étaient professionnellement exposés aux pesticides.

Conclusion : Notre étude a montré un taux de participation élevé. L'exposition aux pesticides a pu être évaluée avec un niveau de précision de très bon à modéré, même pour des expositions passées de longue date. Cette étude pilote a permis de valider l'extension de ce projet au niveau national.

*Ce projet a été financé par l'Anses dans le cadre de la phytopharmacovigilance.*

**Mots-clés :** *Paragangliome héréditaire, gène SDH, fongicides SDHi, cas-témoins, faisabilité*

## Synthèse des résultats de la cohorte AGRICAN sur le rôle d'expositions professionnelles agricoles (dont l'exposition aux pesticides) sur le risque de cancers

Tual Séverine<sup>(1,2,3)</sup>, Renier Marine<sup>(1,2,3)</sup>, Boulanger Mathilde<sup>(1,2,3)</sup>, Hippert Juliette<sup>(1,2,3)</sup>, Clin Bénédicte<sup>(1,2,4)</sup>, Nassar Carine<sup>(1,2)</sup>, Morlais Fabrice<sup>(1,2)</sup>, De Graaf Lucie<sup>(5)</sup>, Vignerons Nicolas<sup>(1,3,6)</sup>, Monnereau Alain<sup>(5,7)</sup>, AGRICAN-group, Baldi Isabelle<sup>(5,8)</sup>, Lebailly Pierre<sup>(1,2,3)</sup>

<sup>(1)</sup> INSERM UMR 1086 ANTICIPE, 3, avenue du Général Harris 14076 Caen – tual-s@baclesse.unicancer.fr, marine.renier@unicaen.fr, m.boulanger@baclesse.unicancer.fr, j.hippert@unicaen.fr, clin-b@chu-caen.fr, carine.nassar@unicaen.fr, fabrice.morlais@unicaen.fr, n.vignerons@baclesse.unicancer.fr, p.lebailly@baclesse.unicancer.fr

<sup>(2)</sup> Université de Caen-Normandie, Esplanade de la paix 14000 Caen

<sup>(3)</sup> Centre de lutte contre le cancer François Baclesse, 3, avenue du Général Harris 14076 Caen

<sup>(4)</sup> CHU de Caen, Service de Pathologies Professionnelles, Avenue de la Côte de Nacre 14033 Caen

<sup>(5)</sup> INSERM UMR 1219 EPICENE, 146 rue Léo Saignat 33076 Bordeaux – lucie.de-graaf@u-bordeaux.fr, isabelle.baldi@u-bordeaux.fr, a.monnerau@bordeaux.unicancer.fr

<sup>(6)</sup> Registre général des tumeurs du Calvados, 3, avenue du Général Harris 14076 Caen

<sup>(7)</sup> Registre des hémopathies malignes de la Gironde, Institut Bergonie, 229 Cours de l'Argonne 33076 Bordeaux Cedex

<sup>(8)</sup> CHU de Bordeaux, Pôle de Santé Publique, Service de Médecine du Travail et Pathologies Professionnelles, Place Amélie Raba-Léon 33000 Bordeaux

Résumé :

**Introduction.** Plusieurs méta-analyses ont montré des augmentations de risque de plusieurs cancers en milieu agricole (cancer de la prostate et cancers hématologiques principalement). Les expositions dans ce secteur sont multiples (UV, pesticides, biocides, gaz d'échappement, poussières, micro-organismes...). D'après les expertises collectives INSERM de 2013 et 2021, la présomption de lien avec l'exposition professionnelle aux pesticides est modérée à forte pour certains cancers (prostate, cancers hématologiques, tumeurs cérébrales). Des données manquent sur (1) les secteurs agricoles à risque de cancers, notamment dans le contexte français (2) le rôle des autres circonstances d'exposition aux pesticides que l'utilisation sur cultures (traitement de semence, insecticides sur animaux, tâches exposant aux pesticides par contact avec les végétaux traités) (3) le rôle des biocides (4) la caractérisation des risques par types histologiques (cancers pulmonaires, hématologiques, tumeurs cérébrales) ou pour certains cancers rares (ovaire, sarcome...). L'objectif de cette communication est de présenter les résultats publiés à ce jour sur les risques de cancers en milieu agricole d'après la cohorte française AGRICAN.

**Méthodes.** En 2005-2007, la cohorte AGRICAN a inclus 181 842 personnes, de plus de 18 ans (50% de retraités, 46% de femmes) affiliées à la Mutualité Sociale Agricole depuis au moins 3 ans et résidant dans un des 11 départements couverts par un registre de cancers à l'inclusion. Les participants ont retourné un auto-questionnaire comprenant des informations sur (1) les activités agricoles d'élevage et de culture réalisées au cours de leur vie et les principales tâches pour chaque activité (2) les années de début et de fin de ces tâches, (3) d'autres données comme les habitudes de vie. Des croisements réguliers sont effectués avec différentes sources externes dont les registres généraux et spécialisés de cancers afin de suivre l'incidence de cancers (23 200 cancers incidents après 10 années de suivi). Les données produites à ce jour portent sur les risques de différents cancers (cancers de la prostate, colorectaux, pulmonaires, vessie, ovaire, myélome multiple, tumeurs cérébrales, sarcomes) associées aux activités et aux tâches agricoles et à certaines familles chimiques de pesticides (carbamates, composés arsenicaux, phénoxyherbicides, triazines).

**Résultats.** L'ensemble des résultats obtenus montrent que tous les secteurs étudiés (5 types d'élevage et 13 types de culture) sont associés de façon défavorable à au moins un type de cancers. Pour certains secteurs, des doublements de risque sont observés pour le cancer de la prostate, pour les tumeurs cérébrales, pour les sarcomes, pour certaines hémopathies lymphoïdes, pour les cancers colorectaux et pour les cancers de l'ovaire. L'utilisation de pesticides sur cultures augmente le risque de nombreux cancers (prostate, myélome multiple, tumeurs cérébrales, cancers colorectaux, cancers pulmonaires et sarcome). La réalisation de traitement de semences à la ferme est positivement associée aux risques de tumeurs cérébrales, de cancers hématologiques, de cancers colorectaux et de cancers de l'ovaire. Les expositions secondaires aux pesticides en viticulture ou arboriculture augmentent le risque de certains cancers hématologiques, de cancers pulmonaires (adénocarcinomes, épidermoïdes) et de cancers de la prostate. L'exposition aux insecticides en élevage augmente le risque de cancers de la prostate, myélome multiple, cancers pulmonaires et cancers colorectaux. La désinfection des locaux augmente le risque des cancers de la prostate, sarcomes, hémopathies lymphoïdes, cancers colorectaux. A noter que certaines tâches en élevage (soins aux animaux ou traite) augmentent aussi le risque de certains cancers (prostate, tumeurs cérébrales, sarcomes, colorectaux, ovaire). A l'opposé, la conduite au long cours de l'élevage de bovins pour ceux étant nés dans une ferme ayant cette activité réduirait le risque de cancers pulmonaires. Enfin, les premières données produites sur le rôle de certains pesticides montrent (1) des élévations de risque de cancers de la vessie avec l'exposition aux composés arsenicaux (2) des augmentations de risque de tumeurs cérébrales (doublement voire triplement de risque) avec certains carbamates (3) une absence d'association entre sarcomes et phénoxyherbicides et entre cancers de l'ovaire et herbicides triazines.

**Conclusion.** Ces résultats soutiennent le rôle de l'exposition aux pesticides sur cultures ou lors des traitements de semences mais aussi dans le secteur de l'élevage pour plusieurs cancers, souvent renforcé par des relations avec les durées d'exposition. Des analyses se poursuivent (1) sur d'autres cancers (sein, cancers hématologiques plus rares, rein) (2) sur le rôle d'autres familles chimiques d'herbicides (chloroacétamides, urées substituées, glyphosate...), d'insecticides (pyréthrinoides, organochlorés, organophosphorés...) et de fongicides (triazoles...), en estimant les relations dose-réponse avec des scores d'exposition issus de la matrice cultures-expositions PESTIMAT et (3) sur l'utilisation d'autres approches afin d'estimer le rôle de l'exposition à des combinaisons de pesticides sur le risque de cancers, notamment.

**Mots-clés :** agriculture, pesticides, cancers, épidémiologie, cohorte

## Des pesticides sont-ils des perturbateurs thyroïdiens ?

Frédéric Flamant, Yanis Zékri, Romain Guyot

*(1) Institut de Génomique Fonctionnelle de Lyon Ecole Normale Supérieure de Lyon INRAE USC 1370 CNRS UMR5242 46 allée d'Italie 69007 Lyon – Frederic.flamant@ens-lyon.fr*

### Résumé :

L'hormone thyroïdienne joue un rôle important au cours du développement cérébral. Par conséquent l'exposition à des substances environnementales capables d'agir comme des perturbateurs thyroïdiens fait courir un danger actuellement mal évalué sur le neurodéveloppement des enfants. Notre équipe, membre du programme européen ERGO (<http://www.ergo-project.eu/>) a abordé cette question à trois niveaux :

- Nous avons réanalysé des données de transcriptomique publiées dans le but d'identifier une possible signature laissée par des antagonistes des récepteurs nucléaires de l'hormone thyroïdienne.

- Nous avons mis au point des tests in vitro pour identifier des substances capables d'agir comme des antagonistes de ces récepteurs nucléaires et avons testé une cinquantaine de substances. Ces tests reposent soit sur l'utilisation de gènes rapporteurs, soit sur l'analyse globale du transcriptome de cellules exposées.

- Nous avons mis au point un test d'exposition de souris au cours de la gestation/lactation qui repose sur l'analyse du transcriptome cérébral des souriceaux. L'analyse globale de l'expression des gènes, focalisée sur le striatum, s'avère capable de reconnaître une altération même très limitée de la signalisation thyroïdienne au sein des neurones. Cette perturbation peut résulter soit d'un effet antagoniste sur les récepteurs nucléaires, soit d'une altération de la production, de la distribution ou de la régulation des niveaux d'hormone thyroïdienne.

Pour établir une preuve de concept, cette batterie de tests a été appliquée à un pesticide pour lequel des indications d'une perturbation thyroïdienne avaient été publiées (l'amtrole) et pour un pesticide sélectionné parce qu'actif dans tous les tests in vitro (la pyraclostrobine). Utilisés à des doses sans toxicité aiguë, ces pesticides ne se comportent pas comme des perturbateurs thyroïdiens. En revanche, ils ont un effet significatif sur l'expression des gènes dans les neurones des souriceaux qui suggèrent fortement une altération pathologique du neurodéveloppement.

Ces expériences démontrent l'importance des tests in vivo et l'amélioration importante que procure les analyses du transcriptome, devenues peu coûteuses.

**Mots-clés :** hormone thyroïdienne. Perturbateurs endocriniens. Transcriptomique.

## Densité de cultures agricoles et tumeurs germinales du testicule, approches vie entière

CHAUVIN Juliette<sup>(1)(2)</sup>, COSTE Astrid<sup>(1)(2)</sup>, PRAUD Delphine<sup>(1)(2)</sup>, SUEUR Anabelle<sup>(1)(2)</sup>, GRASSOT Lenny<sup>(1)(2)</sup>, FERVERS Béatrice<sup>(1)(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Centre Léon Bérard, Département Prévention Cancer Environnement. 28 Rue Laënnec 69008 Lyon – [Juliette.CHAUVIN@lyon.unicancer.fr](mailto:Juliette.CHAUVIN@lyon.unicancer.fr) – [Astrid.COSTE@lyon.unicancer.fr](mailto:Astrid.COSTE@lyon.unicancer.fr)

<sup>(2)</sup> INSERM UMR 1296 Radiations : Défense, Santé, Environnement 28 Rue Laënnec 69008 Lyon

Résumé :

**Contexte :** Les tumeurs germinales du testicule (TGT) sont les tumeurs malignes les plus fréquentes chez les hommes âgés entre 15 et 44 ans. Dans les pays occidentaux, l'incidence de ces tumeurs a beaucoup augmentée ces dernières décennies et une origine environnementale de ces tumeurs est suspectée. Parmi les substances considérées comme perturbateurs endocriniens et cancérigènes suspectées, les pesticides constituent une piste de recherche majeure. Certaines études montrent des associations entre les expositions professionnelles et domestiques à ces substances et le risque de TGT, mais l'exposition résidentielle aux pesticides agricoles a été très peu étudiée.

**Objectifs :** Nous avons étudié le lien entre exposition vie entière à la densité de culture communale, proxy de l'exposition résidentielle aux pesticides, et le risque de TGT.

**Méthodes :** Nous nous sommes appuyés sur l'étude cas-témoins multicentrique nationale TESTIS (453 cas et 670 témoins) conduite entre 2015 et 2018 dans 20 CHU de France métropolitaine. Les cas et les témoins ont été appariés sur la date de naissance (plus ou moins 5 ans) et la région de recrutement. L'histoire résidentielle était disponible pour l'ensemble des sujets et nous avons croisé le code commune INSEE de chaque adresse avec les données de recensement général agricole depuis 1970. Des informations sur les cultures permanentes, les grandes cultures et les prairies étaient disponibles à l'échelle communale. Une densité de culture a été estimée à partir de la surface agricole par culture et la surface des communes pour chaque adresse recensée. L'association entre la densité de culture communale et le risque de TGT a été estimées par des analyses de régressions logistiques conditionnelles, par période : à la naissance, à la puberté et à l'âge adulte ainsi que sur la vie entière. Des ajustements ont été réalisés sur des variables potentielles confondantes issues du questionnaire de l'étude.

**Résultats :** Une association positive significative a été observée entre densité de cultures permanentes moyenne sur la vie entière et risque de TGT (odds ratios, OR = 2.17, intervalle de confiance à 95% IC : 1.11 - 4.27) pour une augmentation de 10 % de densité). Pour les grandes cultures et les prairies, aucune association n'a été relevée. L'association avec la densité de cultures permanentes demeurait pour l'exposition à l'âge adulte (OR = 3.02, IC : 1.42 – 6.43). Par ailleurs, une association positive a été observée pour les grandes cultures à l'âge adulte (OR = 1.07, IC : 1.00 – 1.15). Aucune autre association n'a été mise en évidence pour les autres densités de culture par période. Les analyses intégrant un ajustement sur la catégorie socio-professionnelle des sujets et/ou celle de leurs parents montraient des associations similaires sauf pour les grandes cultures à l'âge adulte où l'association n'était plus significative.

**Conclusion :** Cette étude observationnelle suggère un lien entre TGT et certaines cultures agricoles fortement exposées aux pesticides.

**Mots-clés :** Tumeurs germinales du testicule, pesticides agricoles, cas-témoins, approche vie entière, recensement agricole

## **Evaluation intégrée, écotoxicologique et toxicologique, des produits phytopharmaceutiques utilisés lors de la culture de pomme de terre – résultats du projet TEPoT**

Lemiere Sébastien <sup>(1)</sup>, Theysgeur Sandy <sup>(2)</sup>, Dugardin Camille <sup>(2)</sup>, Louvel Brice <sup>(1)</sup>, Houilliez Benoît <sup>(3)</sup>, Ravallec Rozenn <sup>(2)</sup>, Pernin Céline <sup>(1)</sup>, Deram Annabelle <sup>(1)</sup>, Cuny Damien <sup>(1)</sup>, Lucau Anca <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Université de Lille, IMT Lille Douai, Université d'Artois, JUNIA, ULR 4515 – LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, équipe Fonctionnement des écosystèmes terrestres anthropisés, F-59000 Lille – [sebastien.lemiere@univ-lille.fr](mailto:sebastien.lemiere@univ-lille.fr)

<sup>(2)</sup> Université de Lille, UMRt 1158, Unité Mixte de Recherche transfrontalière BioEcoAgro, F-59000 Lille

<sup>(3)</sup> Pôle Légumes Région Nord, Chambre régionale d'agriculture des Hauts-de-France, Route d'Estaires, F-62840 Lorgies

### Résumé :

Deux laboratoires régionaux des Hauts de France, de l'Université de Lille et de JUNIA, se sont associés à la Chambre Régionale d'Agriculture et au Pôle Légumes Région Nord pour étudier les effets de l'utilisation de produits phytosanitaires (PP) lors de la culture de pomme de terre.

Des recherches pluridisciplinaires ont été menées successivement à trois échelles : au champ, sur des placettes expérimentales et au laboratoire. Leur objectif principal était de contribuer à une meilleure compréhension de la contamination multi-résiduelle et des effets éventuels liés aux produits phytopharmaceutiques utilisés lors de l'ensemble d'une saison culturale. Les objectifs détaillés étaient d'établir un état des lieux des pratiques culturales et d'étudier les effets écologiques, écotoxicologiques et toxicologiques des phytosanitaires, sur la qualité des sols, leur fonctionnement, la qualité des récoltes et différents modèles végétaux et animaux.

La première phase du projet portait sur 16 parcelles en culture de pomme de terre : une moitié en agriculture conventionnelle (AC) et l'autre en agriculture biologique (AB), toutes situées en région Hauts de France, dans deux contextes distincts (grande culture ou péri-urbain). Sur chacune des parcelles, il a été réalisé une analyse des usages et des pratiques culturales, la reconnaissance et l'échantillonnage des sols, la caractérisation de l'état sanitaire des cultures et des récoltes, la mesure des concentrations en phytosanitaires dans les tubercules de pomme de terre, le relevé des adventices, l'analyse de la biodiversité des parcelles au regard d'indicateurs biologiques et l'évaluation de l'imprégnation de lichens déposés aux alentours des parcelles dans une approche de biosurveillance atmosphérique.

La deuxième phase portait sur des cultures (AC et AB) de pommes de terre sur des parcelles, divisées en placettes expérimentales, du Pôle Légumes Région Nord en conditions mieux contrôlées (sols, itinéraires techniques, natures et doses des PP). Le suivi a été comparable à celui de la première phase.

Enfin la dernière phase a utilisé le sol des placettes étudiées précédemment et une partie des tubercules récoltés pour réaliser des expositions au laboratoire. Cela, dans le but d'évaluer les réponses écotoxicologiques et toxicologiques pour quatre modèles biologiques, à savoir le ver de terre, le trèfle, le chou (expositions en microcosmes pour ces derniers) et la souris (approche de nutriginomique). Une étude de la dégradation de la matière organique a également été réalisée en conditions contrôlées.

Nous présenterons brièvement les résultats et conclusions obtenus dans les premières phases (ils l'ont été par ailleurs). Ces derniers faisaient apparaître : des sols contaminés par de faibles concentrations en PP, contamination qui pouvait être ancienne, consécutive à la culture ou aux traitements de cultures avoisinantes ; un état écologique des parcelles cultivées plutôt limité et des approches de terrain complémentaires et pertinentes pour la surveillance des usages de PP en plein champ.

Nous aborderons de manière plus détaillée nos résultats obtenus plus récemment au laboratoire, pour nos différents modèles biologiques, avec les sols ou les tubercules cultivés en conditions réelles. Ceux-ci soulignent la complémentarité de nos différents organismes d'essais, et l'intérêt d'expositions réalistes. Nous avons utilisé des approches biomarqueurs en écotoxicologie (marqueurs de génotoxicité dans notre cas) et de métagénomique en toxicologie plus classique. En complément, les microbiotes des souris, de la rhizosphère des pommes de terre et des sols dans les différentes modalités (AC et AB) ont été caractérisés. Nous concluons sur la prise en compte d'interactions éventuelles entre les résidus de PP utilisés lors d'une saison culturale. Cette dernière ne peut se faire qu'en favorisant une approche intégrée, s'inspirant du concept One Health, pour une évaluation pertinente des PP et de leurs effets.

**Mots-clés** : produits phytopharmaceutiques, multi-échelle, (éco)toxicologie, productions agricoles, contamination multi-résiduelle

### **Remerciements**

Action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Écophyto II+.

# Évaluation du risque écotoxicologique des métabolites de pesticides retrouvés en étangs : quel risque pour les organismes aquatiques ?

Gaspard Conseil<sup>1</sup>, Sylvain Milla<sup>1</sup>, Olivier Cardoso<sup>2</sup>, Christophe Rosin<sup>3</sup>, Laure Pasquini<sup>3</sup>, Frédéric Pierlot<sup>4, 5</sup>, Damien Banas<sup>1</sup>.

(1) Université de Lorraine-INRAe (USC340), L2A, 54500, Vandœuvre-lès-Nancy, France – [damien.banas@univ-lorraine.fr](mailto:damien.banas@univ-lorraine.fr)

(2) Office Français de la Biodiversité (OFB) - DRAS/Service EcoAqua, 9 avenue Buffon, 45000, Orléans, France - [olivier.cardoso@ofb.gouv.fr](mailto:olivier.cardoso@ofb.gouv.fr)

(3) ANSES, Laboratoire d'hydrologie de Nancy - 40 rue Lionnois, 54000, Nancy, France - [christophe.rosin@anses.fr](mailto:christophe.rosin@anses.fr)

(4) Université de Lorraine, LAE, UMR 1121 Univ. Lorraine/INRAE, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy [frederic.pierlot@univ-lorraine.fr](mailto:frederic.pierlot@univ-lorraine.fr)

(5) Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est, 9 Rue de la Vologne, 54520 Laxou

Résumé :

## Introduction

En Europe, particulièrement en France, de nombreux petits plans d'eau existent mais demeurent des systèmes lenticques peu étudiés. Les étangs constituent une partie de ces derniers et servent de zones humides offrant de nombreux services écosystémiques. En raison de leur proximité avec les zones agricoles, ils présentent un état de contamination variable, en particulier en ce qui concerne les pesticides (Ulrich et al. 2022 ; Slaby et al. 2023). La fréquence accrue de détection des produits de protection des plantes (PPP) et de leurs formes résiduelles (appelés métabolites ou produits de transformation (PT)) dans les écosystèmes aquatiques a rendu leur inclusion nécessaire, dans la surveillance de contaminants en milieu naturel (Le Cor et al. 2021). Actuellement, une prise de conscience croissante émerge concernant ces produits pour lesquels peu d'éléments sont connus, en particulier en ce qui concerne leur présence dans l'environnement et leur écotoxicité (Hensen, Olsson, Kümmerer 2020). Afin de mieux comprendre les pressions exercées sur ces systèmes, y compris le risque lié aux pesticides, l'objectif de cette étude est triple : (1) caractériser l'état de contamination de 12 étangs sélectionnés le long d'un gradient de pression agricole (PPP +TP) ; (2) rechercher, vérifier et recueillir des données d'écotoxicité pour les substances trouvées dans ces masses d'eau ; et (3) réaliser une évaluation des risques écotoxicologiques concernant la faune aquatique inféodée à ces écosystèmes. Cette étude fournit des données exclusives dans un biotope aquatique continental en intégrant des molécules peu étudiées, tout en menant une évaluation critique.

## Matériel et méthodes :

### Analyse chimique : mesure des concentrations environnementales des PPP

Les 12 sites de cette étude sont des étangs piscicoles situés dans le Nord-Est de la France, positionnés le long d'un gradient agricole, directement influencés par les pratiques exercées dans les environs. Afin d'évaluer la présence de PPP, un système d'échantillonnage passif intégratif (*passive sampling*, POCIS) a été utilisé. Cela a permis une caractérisation qualitative de l'état de contamination des étangs de manière intégrée dans le temps. Il constitue un complément aux prélèvements d'eau conventionnels (i.e.

des prélèvements ponctuels, *grab sampling*) qui permettent la quantification des PPP. L'analyse chimique a été réalisée par chromatographie liquide à haute performance couplée à de la spectrométrie de masse en tandem avec ionisation électrospray (HPLC-ESI-MS/MS). Elle a permis la recherche de 86 substances au total. Toutes les concentrations de pesticides ainsi mesurées dans l'eau des étangs surveillés constituent l'ensemble des données d'exposition pour cette étude.

### Évaluation de l'impact écotoxicologique :

En plus de déterminer l'exposition (i.e. les concentrations environnementales mesurées), des données écotoxicologiques ont été recueillies concernant les molécules quantifiées en étang, afin d'obtenir une caractérisation précise des dangers associés ces dernières. Les données recueillies correspondent à des informations écotoxicologiques pour chaque groupe taxonomique usuellement utilisé dans l'évaluation des risques (algues, invertébrés et poissons) ainsi que d'autres taxons aquatiques. Ces données sélectionnées ont ensuite été utilisées pour dériver des concentrations prévues sans effet (i.e. Predicted No Effect Concentration, PNEC) pour les substances retrouvées et quantifiées dans les étangs. Le risque imputable à certains pesticides dans ce compartiment aquatique, que représente les étangs, a été évalué en calculant un quotient de risque (RQ) selon l'approche recommandée par la Commission Européenne (CE) et définie dans un document guide concernant les milieux aquatique (EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR) 2013).

### Résultats et discussion

#### Disparités dans les niveaux de pesticides et de leurs produits de transformation (PT) entre les étangs.

Sur les 32 composés parentaux (CP) et les 54 produits de transformation (PT) analysés dans l'eau, plus de la moitié des pesticides ciblés (18 CP et 31 PT) ont été détectés dans les étangs. Parmi les substances détectées, 10 CP et 20 produits de transformation (PT) ont été quantifiés, avec un nombre variant de 3 à 24 molécules parmi les étangs étudiés. Ces données semblent concorder avec les utilisations et les occupations des sols connues au niveau de leurs bassins versants respectifs (agriculture biologique *versus* pratiques agricoles conventionnelles). La représentation du nombre de composés parentaux (CP) et de produits de transformation (PT) détectés dans les 12 étangs en Figure 1 ci-après, permet l'observation de différents profils.

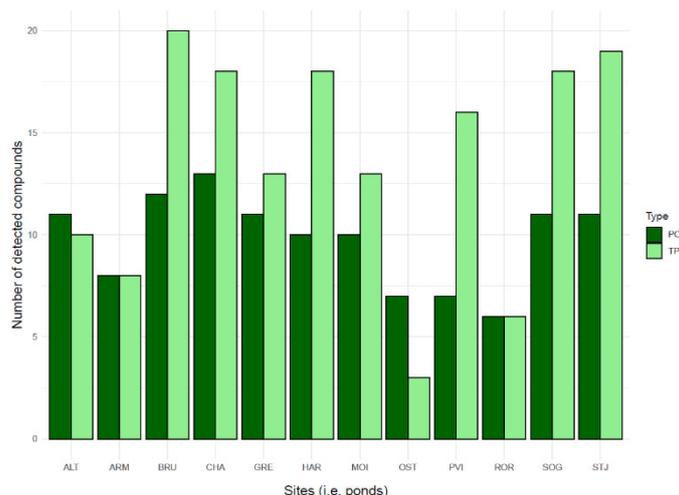


Fig. 1. Occurrence des pesticides dans les douze étangs : comparaison des composés détectés, à savoir les composés parentaux (PC) et les produits de transformation (TP).

## Évaluation du risque

Notre évaluation du risque s'est basée sur l'approche du quotient de risque, permettant une comparaison entre les concentrations maximales et moyennes mesurées de chaque pesticide parmi tous les étangs avec leur PNEC respective la plus basse parmi les données récupérées. Sur l'ensemble des molécules évaluées, 10 sur les 30 quantifiées ont présentées un risque modéré à élevé dans les deux scénarios de contamination, à savoir le scénario normal (basé sur les moyennes) et le scénario pessimiste (basé sur les maximums). Le risque potentiel associé à ces pesticides découle principalement de leurs concentrations élevées détectées dans certains étangs et de leur PNEC remarquablement basse, indiquant une toxicité avérée.

## Conclusion

Cette ERA constitue une analyse de la contamination des étangs par les pesticides, permettant d'évaluer simultanément leur présence et le risque qui y est associé. Dans un contexte où de nombreuses molécules sont mises sur le marché, l'apport de nouvelles données d'occurrence permet de rendre compte de la contamination de ces systèmes. Cette évaluation considère des PT originaux issus de pesticides, mais ne représente qu'une fraction limitée des multiples substances retrouvables dans l'environnement. Les résultats de cette étude mettent en évidence l'impact significatif de l'utilisation des pesticides sur la qualité de l'eau et soulignent le risque potentiel lié à cette usage pour les organismes aquatiques non-cibles. Il apparaît que la réalisation d'études (éco)toxicologiques plus intégratives soit cruciale pour évaluer avec précision le risque posé par les mélanges de pesticides retrouvables au sein de ces écosystèmes de zones humides, en vue de déterminer leur état de dégradation réel.

**Mots-clés :** Étangs; Évaluation des risques; Produits de transformation; Pesticides, Effets Non-Intentionnels

## References Bibliographiques :

EFSA PANEL ON PLANT PROTECTION PRODUCTS AND THEIR RESIDUES (PPR), 2013. Guidance on tiered risk assessment for plant protection products for aquatic organisms in edge-of-field surface waters. *EFSA Journal*. 2013. Vol. 11, n° 7, pp. 3290. DOI 10.2903/j.efsa.2013.3290.

HENSEN, Birte, OLSSON, Oliver et KÜMMERER, Klaus, 2020. A strategy for an initial assessment of the ecotoxicological effects of transformation products of pesticides in aquatic systems following a tiered approach. *Environment International*. avril 2020. Vol. 137, pp. 105533. DOI 10.1016/j.envint.2020.105533.

LE COR, François, SLABY, Sylvain, DUFOUR, Vincent, IURETIG, Alain, FEIDT, Cyril, DAUCHY, Xavier et BANAS, Damien, 2021. Occurrence of pesticides and their transformation products in headwater streams: Contamination status and effect of ponds on contaminant concentrations. *Science of The Total Environment*. septembre 2021. Vol. 788, pp. 147715. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.147715.

SLABY, Sylvain, CATTEAU, Audrey, LE COR, François, CANT, Amélie, DUFOUR, Vincent, IURÉTIG, Alain, TURIÈS, Cyril, PALLUEL, Olivier, BADO-NILLES, Anne, BONNARD, Marc, CARDOSO, Olivier, DAUCHY, Xavier, PORCHER, Jean-Marc et BANAS, Damien, 2023. Chemical occurrence of pesticides and transformation products in two small lentic waterbodies at the head of agricultural watersheds and biological responses in caged *Gasterosteus aculeatus*. *Science of The Total Environment*. août 2023. pp. 166326. DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.166326.

ULRICH, Uta, LORENZ, Stefan, HÖRMANN, Georg, STÄHLER, Matthias, NEUBAUER, Lydia et FOHRER, Nicola, 2022. Multiple pesticides in lentic small water bodies: Exposure, ecotoxicological risk, and contamination origin. *Science of The Total Environment*. avril 2022. Vol. 816, pp. 151504. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.151504.

Remerciements - Les auteurs tiennent sincèrement à remercier A. et H. L'Huillier, T. et G. Barthélemy ainsi que T. Glasser pour avoir accordé l'accès aux étangs étudiés.

## Étude expérimentale d'une exposition chronique au tébuconazole sur le succès reproducteur et la descendance du diamant mandarin (*Taeniopygia guttata*)

Pauline Bellot <sup>(1)</sup>, François Brischoux <sup>(1)</sup>, Clémentine Fritsch <sup>(2)</sup>, Benoit Valot <sup>(2)</sup>, Lou Mougin <sup>(2)</sup>, Emmanuelle Grimaud <sup>(1)</sup>, Charline Parenteau <sup>(1)</sup>, Frédéric Angelier <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, CNRS-La Rochelle Université, UMR 7372, 79360 Villiers en Bois, France - pauline.bellot@cebc.cnrs.fr

<sup>(2)</sup> Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249 CNRS / Université de Franche-Comté, 25000, Besançon, France

### Résumé :

Les triazoles représentent une famille de fongicides largement utilisée en agriculture pour contrôler les maladies fongiques. Des études antérieures ont suggéré que les triazoles pourraient altérer certains traits physiologiques et reproducteurs chez des organismes modèles en écotoxicologie aquatique. Cependant, la plupart de ces recherches se sont concentrées sur des tests d'écotoxicité aiguë, négligeant ainsi les effets sublétaux associés à une contamination environnementale.

Dans le cadre de notre étude, nous avons constitué deux groupes expérimentaux : un groupe d'oiseaux abreuvé à une eau exempte de toute contamination, et un groupe d'oiseaux exposés à une eau contaminée à 550 µg/L de tébuconazole afin de simuler une concentration plasmatique dite « environnementale ». En effet, notre concentration d'exposition est estimée à 0,164 mg par kg de poids corporel par jour, ce qui est 36 fois moins que le seuil chronique au-delà duquel aucun effet nocif n'est observé chez les oiseaux (NOAEL). En outre, la diversité et la complexité des cultures présentes dans les paysages agricoles impliquent que les agroécosystèmes peuvent être sujets à une exposition prolongée aux pesticides à l'échelle d'un paysage. C'est la raison pour laquelle nous avons opté pour une période d'exposition chronique de six mois. Nous avons choisi le diamant mandarin (*Taeniopygia guttata*) comme modèle d'étude en raison de sa capacité à s'acclimater aux conditions expérimentales et de notre compréhension approfondie de son cycle de vie.

Les objectifs de cette recherche étaient les suivants : **1.** Étudier les effets du tébuconazole sur la qualité des pontes des oiseaux (fertilité, viabilité) et sur le succès reproducteur. **2.** Évaluer les effets du tébuconazole sur la croissance et les paramètres sanguins des poussins, notamment leur profil lipidique et leur peroxydation lipidique (via le malondialdéhyde). **3.** Documenter les effets potentiels du traitement sur les adultes à l'aide de marqueurs écophysiologiques (condition corporelle, hormones sexuelles (testostérone)).

Nos résultats ont révélé que des doses environnementales de tébuconazole avaient un impact négatif sur le succès reproducteur du diamant mandarin. Bien que le succès d'éclosion n'ait pas été affecté par le traitement, les couvées issues des parents exposés présentaient un taux de fécondité et de viabilité inférieur à celui des couples témoins. De plus, les poussins exposés avaient des niveaux de malondialdéhyde plus élevés que les poussins témoins, suggérant que l'exposition au tébuconazole induit un stress oxydatif chez les jeunes en développement. Nos résultats suggèrent également que le tébuconazole pourrait perturber le profil lipidique (cholestérol et lipase) des poussins issus du groupe exposé. Enfin, dans nos conditions de test, l'exposition au tébuconazole ne semble pas avoir d'incidence majeure sur la condition corporelle et les niveaux de testostérone chez les adultes.

**Mots-clés :** Fongicides, effets sublétaux, succès reproducteur, diamant mandarin

## Les pesticides du milieu rural influencent-ils le microbiote intestinal d'un rapace sauvage, le busard cendré ?

Léa Bariod<sup>(1)</sup>, Marie-Amélie Pussacq-Caillet<sup>(2)</sup>, Elva Fuentes<sup>(1)</sup>, Maurice Millet<sup>(3)</sup>, Vincent Bretagnolle<sup>(1)</sup>, Joël White<sup>(2)</sup>, Jérôme Moreau<sup>(2, 4)</sup>, Karine Monceau<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> UMR 7372, Centre d'Études Biologiques de Chizé, La Rochelle Université & CNRS, 79360 Villiers en Bois, France

<sup>(2)</sup> Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Laboratoire Evolution et Diversité Biologique (EDB), UMR 5174, 118 Route de Narbonne, F-31062 Toulouse, France

<sup>(3)</sup> Université de Strasbourg, CNRS-UMR 7515, ICPEES, 67087 Strasbourg cedex 2, France

<sup>(4)</sup> Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, Université de Bourgogne, 6 Boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France

### Résumé :

De nombreuses communautés microbiennes se trouvent dans le corps des vertébrés, la grande majorité vivant dans leur intestin. Appelé microbiote intestinal, cet ensemble de micro-organismes est associé à la régulation de nombreuses fonctions physiologiques, telles que la digestion ou la défense immunitaire. Par ailleurs, il diffère selon les individus, et est sensible à de nombreux facteurs, liés à l'hôte (ex. son génotype, sa condition corporelle) ou à l'environnement (ex. polluants). Des études récentes ont notamment démontré que la composition et les fonctions du microbiote intestinal pouvaient être affectées par certains pesticides et leurs effets toxiques, diminuant par exemple la richesse microbienne (ex. chez *Mus musculus*, *Coturnix japonica*), et ayant des conséquences possibles sur la santé de l'hôte (ex. dysbiose intestinale). La voie principale d'exposition aux pesticides étant l'ingestion de nourriture, ces contaminants se retrouvent directement dans le système digestif d'individus parfois non-cibles, dont la dernière barrière avant l'absorption et la distribution des aliments est le microbiote intestinal.

Actuellement, les recherches sur la toxicité des pesticides sur le microbiote intestinal sont principalement menées chez l'Homme, en raison de problèmes de santé majeurs. Chez d'autres espèces comme les oiseaux, dont la morphologie intestinale est fondamentalement distincte de celle des mammifères, les effets de ces contaminants sur les communautés microbiennes restent largement ignorés. Seulement quelques études ont eu lieu sur des espèces modèles (e.g., volailles, cailles japonaises). Cependant, elles se sont concentrées sur une seule catégorie de pesticide, et ne sont pas représentatives du milieu sauvage, la captivité modifiant le microbiote. De ce fait, les oiseaux sauvages restent sous-étudiés, malgré les inquiétudes actuelles concernant le déclin des oiseaux spécialistes des terres agricoles en raison, entre autres, de l'utilisation des pesticides.

Cette étude avait pour objectif d'améliorer la compréhension des interactions entre le niveau de contamination par plusieurs pesticides (104 composés recherchés) et la composition du microbiote intestinal chez un rapace vivant en milieu rural, le Busard cendré (*Circus pygargus*).

Nous nous sommes concentrés sur les poussins, dont le niveau de contamination par les pesticides et la colonisation microbienne du système digestif proviennent principalement de l'alimentation après

éclosion. Les données utilisées étaient issues de 22 individus (11 mâles, 11 femelles) provenant de 13 nids échantillonnés en 2022, et nous ont permis d'évaluer : i) le nombre de pesticides détectés, leurs concentrations et la somme totale de ces concentrations dans le sang, ii) la composition et diversité communautaires du microbiote à partir de prélèvements cloaquaux, tout en tenant compte de facteurs individuels comme le sexe et la condition corporelle.

Les résultats ont tout d'abord montré que la composition et la diversité du microbiote intestinal variaient entre les individus, avec notamment des différences entre mâles et femelles. Nous avons également observé un niveau de contamination plus important chez les individus ayant une condition corporelle élevée comparé à ceux ayant une faible condition corporelle. Enfin, le nombre de pesticides et leurs concentrations étaient associés à une diminution de la diversité des espèces du microbiote, ainsi qu'à des modifications de sa composition taxonomique et de la structure des communautés microbiennes. La force de ces relations dépendait toutefois de la variable étudiée. Ainsi, nos résultats ont mis en avant des différences de microbiote intestinal et de contamination aux pesticides entre les individus selon leurs caractéristiques phénotypiques, ainsi qu'un effet de l'exposition à un cocktail de pesticides sur les communautés microbiennes d'une espèce aviaire sauvage. À l'avenir, les oiseaux des terres agricoles pourraient représenter des bio-sentinelles pertinentes, et la problématique du lien entre pesticides, microbiote intestinal et même physiologie des oiseaux pourrait être transposée à l'Homme, notamment dans le contexte actuel « One Health ».

**Mots-clés :** *Circus pygargus*, communautés microbiennes, poussin, produits phytosanitaires

## Glyphosate, moustique tigre et microbiote : une liaison dangereuse ?

Pierre Antonelli<sup>1</sup>, Edwige Martin<sup>1</sup>, Laurent Vallon<sup>1</sup>, Laurent Simon<sup>2</sup>, Séverine Balmand<sup>4</sup>, Anne Baudoin<sup>3</sup>, Sylvie Guibert<sup>3</sup>, Aurélien Vigneron<sup>1</sup>, Guillaume Minard<sup>1</sup>, Claire Valiente Moro<sup>1</sup>

1 : Université Claude Bernard Lyon 1, Laboratoire d'Ecologie Microbienne, UMR CNRS 5557, UMR INRAE 1418, VetAgroSup, 69622 Villeurbanne, France

2 : Université Claude Bernard Lyon 1, Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, UMR CNRS 5023, ENTPE, 69622 Villeurbanne, France

3 : Université Claude Bernard Lyon 1, Centre Commun de RMN, France, 69622 Villeurbanne, France

4 : Université Claude Bernard Lyon 1, Biologie Fonctionnelle, Insectes et Interactions, UMR 0203, INSA, INRAE ; 69621 Villeurbanne, France.

### Résumé :

Bien que l'exposome humain ait été intensément étudié, il est largement négligé chez d'autres espèces. Les écosystèmes anthropisés modifient grandement l'exposome des espèces, altérant la biodiversité, en favorisant cependant certaines espèces. C'est le cas du moustique tigre *Aedes albopictus*, qui a colonisé l'ensemble des continents habités au cours des dernières décennies. Ce moustique se développe en zone urbaine où il est exposé à de nombreux xénobiotiques issus des activités humaines tout au long de son cycle de vie. Comme démontré chez d'autres modèles insectes, le microbiote peut lui aussi contribuer à la réponse de l'insecte aux xénobiotiques. Nous avons ainsi fait l'hypothèse que le microbiote du moustique peut jouer un rôle clef dans la réponse de l'insecte aux environnements très pollués. Dans un premier temps, nous avons évalué la toxicité de 7 composés présents dans les eaux urbaines sur des larves de moustiques venant d'éclore. Une concentration létale 50 a pu être estimée pour le glyphosate, le sulfate de cuivre et la fluoxétine, ainsi que leur impact sur la survie des larves avec ou sans microbiote extracellulaire. La présence du microbiote ne modifiait pas la survie des larves exposées au sulfate de cuivre et à la fluoxétine contrairement au glyphosate où un effet négatif a été observé. Sans microbiote, les larves avaient une mortalité réduite de 30% en comparaison aux larves avec microbiote. Ce nouveau phénotype a été exploré au travers de 2 nouvelles hypothèses : (i) le glyphosate induit une dysbiose sélectionnant des microorganismes pathogènes (ii) le microbiote interfère avec le métabolisme du glyphosate augmentant sa toxicité. Dans le cadre de la première hypothèse, l'analyse du microbiote bactérien par métabarcoding couplé à des analyses de qPCR et de la microscopie à épifluorescence *in situ* a démontré que le glyphosate élimine la majorité du microbiote larvaire, rejetant ainsi l'hypothèse d'un pathogène opportuniste envahissant l'hémolymph. Dans la seconde hypothèse, nous avons utilisé l'isotope stable du carbone, le <sup>13</sup>C pour tracer l'assimilation du glyphosate dans les larves. Nous avons ainsi montré que les larves axéniques (sans microbiote) accumulent moins de glyphosate dans leurs tissus. En explorant cette interaction, nous avons montré que le glyphosate est catabolisé dans les larves associées à un microbiote. De plus, l'impact du glyphosate sur le métabolisme des larves a été étudié et montre différents patterns au niveau des métabolismes primaires. Ces résultats mettent en lumière un impact négatif du microbiote dans la réponse à un xénobiotique chez un modèle insecte. Ces résultats mettent aussi en exergue l'importance d'étudier les interactions entre le microbiote et le métabolisme de l'hôte pour appréhender l'importance toxicologique sur l'hôte des interactions bactéries-xénobiotiques.

**Mots-Clés :** Glyphosate – Asian tiger mosquito – bacterial microbiota – metabolism

## **Effets des pesticides sur les pollinisateurs sauvages et modulations de ces effets par le contexte paysager : que dit la littérature ?**

Thanh-Julie NGUYEN <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> INRAE Allée de Vilvert, 78350, Jouy en Josas, thanh-julie.nguyen@inrae.fr

Résumé :

Le déclin des pollinisateurs sauvages est une réalité constatée par la communauté scientifique et est maintenant connue par un large public. En Europe, une espèce sur dix d'abeilles et de papillons est menacée et les populations diminuent pour 37% des abeilles et 31% des papillons [1]. Il existe plusieurs facteurs pouvant expliquer le déclin des populations de pollinisateurs domestiques ou sauvages, parmi lesquels l'agriculture industrielle. En effet, l'utilisation d'engrais et de pesticides mène à la perte des habitats naturels et semi-naturels, à la fragmentation, à la dégradation et à la diminution de la diversité floristique disponible. Cela a pour conséquence de restreindre la capacité de nidification des pollinisateurs ainsi que leur ressource florale [2,3]. Les molécules présentes dans les pesticides sont également toxiques pour certaines pour les pollinisateurs sauvages. Si l'effet néfaste de ces pesticides a été largement démontré pour l'abeille domestique [4,5], leurs effets sur les pollinisateurs sauvages restent encore mal connus. Ceci s'explique d'une part par la grande diversité de régimes alimentaires, de modes de vie, de taille au sein de ces différents groupes et d'autre part par la difficulté à quantifier l'exposition de pollinisateurs sauvages aux pesticides car les voies d'expositions sont nombreuses, les temps d'expositions variables et les molécules nombreuses et pouvant agir en synergie et à des doses faibles. Pourtant, ces pollinisateurs sont essentiels pour 75% de nos cultures alimentaires, et 95% [1] des plantes sauvages ainsi que pour les réseaux trophiques associés. Il est donc urgent de mettre en place des stratégies permettant de maintenir les populations de pollinisateurs sauvages.

La composition et la structure des paysages peuvent être des leviers pour préserver les pollinisateurs sauvages [6,7]. Cependant, les rôles de la composition et structure des paysages sur l'exposition des pollinisateurs sauvages aux pesticides restent mal connus, ces derniers pouvant agir par des effets barrières [6] ou par amplification dans le cas de paysages avec peu de ressources florales [7]. De plus, les connaissances sur les effets des pesticides sur les pollinisateurs sauvages restent morcelées, car les études menées se focalisent sur différents systèmes « espèces de pollinisateurs x pesticides » dans des contextes d'études hétérogènes. L'objectif de cette synthèse est donc double : identifier les variables paysagères dont l'effet sur l'exposition et l'impact des pesticides sur les pollinisateurs sauvages ont été démontrés.

Pour cela, nous mobilisons les études déjà existantes afin de formaliser les liens entre espèces de pollinisateurs sauvages, molécules de pesticides et contexte paysager. Les articles étudiés ont été sélectionnés à partir de la requête « Pollinators » AND/OR « pesticides » AND/OR « landscapes » AND/OR « impact » AND/OR « bee, semi-natural, habitat et grassland », dans les moteurs de recherche GoogleScholar, Semantic Scholar et Web of science. Une seconde sélection des articles a été effectuée à partir de la lecture des résumés et sur la prise en compte ou non de variables du paysage dans l'analyse. Pour chaque article, nous avons relevé les caractéristiques du protocole de l'étude : la nature des variables d'exposition et l'impact des pesticides, le type de pesticides observés, les espèces de pollinisateurs étudiées, les types de paysages étudiés, les effets observés... et les résultats obtenus (par exemple : présence ou absence de l'effet du paysage).

Nous avons étudié les liens entre ces différentes variables de manière descriptive (analyses multivariées) et quantitative (modèles linéaires et linéaires généralisés). Les résultats de notre étude révèlent une corrélation significative entre plusieurs variables clés étudiées, à savoir les espèces de pollinisateurs sauvages, les molécules de pesticides et le contexte paysager.

L'analyse de la littérature actuelle nous a permis d'observer la relation entre la diversité et l'abondance des espèces de pollinisateurs sauvages et leur exposition aux pesticides. Une majorité des études incluses dans notre synthèse montre un effet délétère des pesticides sur les communautés de pollinisateurs sauvages. Nous avons ensuite évalué l'impact du contexte paysager sur la présence de pesticides et leur effet sur les populations de pollinisateurs sauvages. Les résultats recueillis décrivent les paysages étudiés (par exemple : Le pourcentage de milieux semi-naturels dans un rayon donné) et pris en compte. Ils peuvent être caractérisés en les classant selon un gradient de pression de pesticides qu'ils représentent et leurs effets sur la diminution de la diversité et de l'abondance des pollinisateurs sauvages ont été étudiés.

En outre, notre synthèse met en évidence des variations dans la sensibilité des différentes espèces de pollinisateurs aux pesticides. Certaines espèces (celles de plus petite taille) semblent être plus affectées que d'autres par l'exposition aux pesticides [7], ce qui souligne l'importance de prendre en compte la diversité des réponses des pollinisateurs à ces substances chimiques.

En consolidant les résultats des articles sélectionnés, nous avons observé une tendance générale à la baisse de la diversité et de l'abondance des pollinisateurs sauvages en présence de pesticides, en particulier dans les environnements agricoles intensifs. Ces résultats soulignent l'urgence de développer des stratégies de gestion des pesticides qui prennent en compte les impacts sur les pollinisateurs sauvages et la biodiversité en général.

Cette synthèse des résultats obtenus permet d'identifier les lacunes dans les connaissances actuelles et de mettre en évidence les pistes de recherche futures. Elle offre ainsi une perspective claire sur les informations manquantes (études sur certains groupes de pollinisateurs, groupes de molécules) nécessitant davantage d'investigation pour une meilleure compréhension des interactions complexes entre les communautés de pollinisateurs sauvages, les pesticides et le contexte paysager. Les futures études qui peuvent en découler pourront fournir des indications cruciales pour orienter les politiques de conservation et les pratiques agricoles visant à protéger la biodiversité des pollinisateurs sauvages dans les paysages agricoles modernes.

**Mots-clés :** *Pesticides, Impact, Contexte paysager, Pollinisateurs sauvages*

#### **Références bibliographiques :**

- [1] IPBES (2016) Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production.
- [2] Chagnon, Madeleine. "Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier." Fédération Canadienne de la Faune. Bureau régional du Québec (2008).
- [3] Potts, Simon G., et al. "Global pollinator declines: trends, impacts and drivers." *Trends in ecology & evolution* 25.6 (2010): 345-353.
- [4] Chauzat, Marie-Pierre, et al. "A survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France." *Journal of economic entomology* 99.2 (2006): 253-262.
- [5] Decourtye, Axel, et al. "Fréquentation des cultures par les abeilles mellifères et sauvages: synthèse des connaissances pour réduire le risque d'intoxication aux pesticides." *Cahiers Agricultures* 25.4 (2016): 44001.
- [6] Park MG, Blitzer EJ, Gibbs J, Losey JE, Danforth BN. 2015 Negative effects of pesticides on wild bee communities can be buffered by landscape context. *Proc. R. Soc. B* 282: 20150299. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.0299>
- [7] Knapp, Jessica L., et al. "Ecological traits interact with landscape context to determine bees' pesticide risk." *Nature Ecology & Evolution* 7.4 (2023): 547-556.

## Impacts des néonicotinoïdes sur la biodiversité

Mamy Laure <sup>(1)</sup>, Pesce Stéphane <sup>(2)</sup>, Sanchez Wilfried <sup>(3)</sup>, Aviron Stéphanie <sup>(4)</sup>, Bedos Carole <sup>(1)</sup>, Berny Philippe <sup>(5)</sup>, Bertrand Colette <sup>(1)</sup>, Betoulle Stéphane <sup>(6)</sup>, Charles Sandrine <sup>(7)</sup>, Chaumot Arnaud <sup>(2)</sup>, Coeurdassier Michael <sup>(8)</sup>, Coutellec Marie-Agnès <sup>(9)</sup>, Crouzet Olivier <sup>(10)</sup>, Faburé Juliette <sup>(1)</sup>, Fritsch Clémentine <sup>(8)</sup>, Gonzalez Patrice <sup>(11)</sup>, Hedde Mickael <sup>(12)</sup>, Leboulanger Christophe <sup>(13)</sup>, Margoum Christelle <sup>(2)</sup>, Mougins Christian <sup>(1)</sup>, Munaron Dominique <sup>(13)</sup>, Néliou Sylvie <sup>(1)</sup>, Pelosi Céline <sup>(14)</sup>, Rault Magali <sup>(15)</sup>, Sucré Elliott <sup>(13, 16)</sup>, Thomas Marielle <sup>(17)</sup>, Tournebize Julien <sup>(18)</sup>, Leenhardt Sophie <sup>(19)</sup>

<sup>(1)</sup> INRAE, UMR ECOSYS 91120 Palaiseau – laure.mamy@inrae.fr

<sup>(2)</sup> INRAE, UR RiverLy, 69625 Villeurbanne

<sup>(3)</sup> Ifremer, Direction Scientifique, 34200 Sète

<sup>(4)</sup> INRAE, Institut Agro, ESA, UMR BAGAP, 35042, Rennes

<sup>(5)</sup> UR ICE Vetagro Sup, Campus Vétérinaire, 69280 Marcy-L'Etoile

<sup>(6)</sup> Université de Reims Champagne-Ardenne, Normandie Université, ULH, INERIS, SEBIO, UMR-I 02, 51100 Reims

<sup>(7)</sup> Université Lyon 1, UMR CNRS 5558, 69100 Villeurbanne

<sup>(8)</sup> Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249 CNRS - Université de Franche-Comté, 25000 Besançon

<sup>(9)</sup> DECOD (Ecosystem Dynamics and Sustainability), INRAE, L'Institut Agro, Ifremer, 35042 Rennes

<sup>(10)</sup> OFB, Direction de la Recherche et Appui Scientifique (DRAS), 78610, Auffargis

<sup>(11)</sup> Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, EPOC, UMR 5805, 33600 Pessac

<sup>(12)</sup> Eco&Sols, Univ. Montpellier, INRAE, IRD, CIRAD, Institut Agro Montpellier, 34060 Montpellier

<sup>(13)</sup> MARBEC, Univ Montpellier, CNRS, Ifremer, IRD, 34200 Sète

<sup>(14)</sup> INRAE, Avignon Université, UMR EMMAH, 84000, Avignon

<sup>(15)</sup> Université d'Avignon, Université Aix-Marseille, CNRS, IRD, IMBE, Pôle Agrosociétés, 84916 Avignon

<sup>(16)</sup> Centre Universitaire de Formation Et de Recherche de Mayotte (CUFR), 97660 Dembeni, Mayotte

<sup>(17)</sup> Université de Lorraine, INRAE, UR AFPA, 54000 Nancy

<sup>(18)</sup> Université Paris-Saclay, INRAE, UR HYCAR, 92160 Antony

<sup>(19)</sup> INRAE, DEPE, 75338 Paris Cedex 07

## Résumé :

Les néonicotinoïdes sont des insecticides systémiques qui agissent sur le système nerveux central des insectes en ciblant les récepteurs nicotiques de l'acétylcholine (nAChRs) dans le cerveau. Ils constituent la classe d'insecticides la plus utilisée dans le monde, majoritairement en agriculture via des traitements de semences, mais aussi en tant que produits vétérinaires et biocides. Les cinq néonicotinoïdes les plus employés sont l'acétamipride, la clothianidine, l'imidaclopride, le thiaclopride et le thiaméthoxame. En Europe, seul l'acétamipride est encore approuvé mais des dérogations ont été notamment accordées en France en 2021 et 2022 pour l'imidaclopride et le thiaméthoxame afin de lutter contre la jaunisse de la betterave. En raison de leur persistance, les néonicotinoïdes sont ubiquistes dans l'environnement et suscitent de nombreuses inquiétudes quant à leurs effets sur la biodiversité.

L'expertise scientifique collective portant sur les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques (Pesce et al., 2024) a permis de réaliser une synthèse bibliographique sur la contamination de l'environnement (sol, eau, air, biote) par les néonicotinoïdes (acétamipride, clothianidine, imidaclopride, thiaclopride, thiaméthoxame) et leurs impacts sur la biodiversité terrestre et aquatique (Mamy et al., 2024).

Le corpus bibliographique a été construit à partir de six requêtes centrées sur les néonicotinoïdes, l'écotoxicologie, la biodiversité, les écosystèmes terrestres, les écosystèmes d'eau douce et les écosystèmes marins. Chaque requête a été caractérisée par plusieurs dizaines de mots-clés. La recherche a été effectuée sur le Web of Science<sup>TM</sup>, pour la période 2000-2020, puis complétée jusqu'au début de l'année 2023. Au total, 7697 références ont été analysées et 308 ont été retenues. La sélection a été focalisée sur les études les plus intégratives et les plus réalistes possible du point de vue écologique.

L'analyse de la bibliographie a montré que les néonicotinoïdes sont très fréquemment détectés dans les sols et dans l'eau douce, et qu'ils sont également présents dans l'air. Ils n'ont été recherchés que récemment dans les environnements côtiers et marins, mais certaines études ont déjà signalé la présence d'imidaclopride et de thiaméthoxame dans des écosystèmes de transition ou semi-fermés (lagunes, baies, estuaires). La contamination de l'environnement entraîne l'exposition et la contamination d'organismes non cibles, ainsi que des effets négatifs sur la biodiversité. Les effets directs des néonicotinoïdes sont principalement observés sur les invertébrés terrestres (pollinisateurs, ennemis naturels, vers de terre, etc.) et les vertébrés (oiseaux, etc.), ainsi que sur les invertébrés aquatiques (arthropodes, etc.). Les effets sur les populations et les communautés de vertébrés aquatiques, ainsi que sur les micro-organismes, sont moins bien documentés. Outre leur toxicité pour les organismes directement exposés, il a été démontré que les néonicotinoïdes ont des effets indirects sur certaines espèces (oiseaux, invertébrés terrestres et aquatiques) par le biais de cascades trophiques.

De nombreuses recherches restent à mener pour mieux caractériser les effets directs et indirects des néonicotinoïdes sur les organismes terrestres et aquatiques, ainsi que sur les services écosystémiques associés à ces organismes, afin de protéger la biodiversité.

**Mots-clés :** Pesticides ; Produits phytopharmaceutiques ; Ecotoxicologie ; Agrosystème ; Expertise scientifique collective

## Références

Mamy et al. (2024) Environ Sci Pollut Res, <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31032-3>

Pesce S et al. (2024) Environ Sci Pollut Res, <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26952-z>

## Analyse comparée d'indicateurs pour évaluer les impacts sanitaires et environnementaux des pesticides en cultures tropicales

Le Bars Marjorie<sup>(3)</sup>, Ouedraogo Rahim<sup>(4)</sup>, Lammoglia Sabine-Karen<sup>(5)</sup>, Babin Régis<sup>(4)</sup>, Bagny Beilhe Leila<sup>(4)</sup>, Bertrand Benoit<sup>(5)</sup>, Bureau-Point Eve<sup>(6)</sup>, Côte François<sup>(7)</sup>, De Lapeyre Luc<sup>(8)</sup>, Loeillet Denis<sup>(8)</sup>, Sester Mathilde<sup>(9)</sup>, Martin Thibaud<sup>(2)</sup>, Ten Hooper Martijn<sup>(4)</sup>, Villain Luc<sup>(5)</sup>, Le Bellec Fabrice<sup>(2)</sup>

- (1) *IRD, UMR-SENS, Site St Charles - Rue du Professeur Henri Serre 34080 Montpellier, France*  
[marjorie.le-bars@ird.fr](mailto:marjorie.le-bars@ird.fr)
- (2) *CIRAD, UPR HortSys, F-34398 Montpellier, France*
- (3) *CIRAD, UMR ABSys, F-34398 Montpellier, France*
- (4) *CIRAD, UMR PHIM, F-34398 Montpellier, France*
- (5) *CIRAD, UMR DIADE, F-34398 Montpellier, France*
- (6) *CNRS, Centre Norbert Elias, Marseille, France*
- (7) *CIRAD, DGDRS, F-34398 Montpellier, France*
- (8) *CIRAD, UPR GECO, F-34398 Montpellier, France*
- (9) *CIRAD UPR AIDA, F-34398 Montpellier, France*

Résumé :

### Introduction.

L'usage des produits phytopharmaceutiques (PPP) s'est répandu de manière très importante avec le développement de l'agriculture intensive, mais aussi dans le cadre de la lutte antivectorielle. L'utilisation de PPP dans les contextes tropicaux revêt certaines spécificités. Tout d'abord le développement de bioagresseurs y est important, principalement du fait de la richesse des interactions biotiques en milieu tropical, mais aussi de la présence de conditions climatiques favorables au développement des bioagresseurs toute l'année. Par ailleurs, la législation sur les PPP dans les Pays En Développement (PED) est généralement moins contraignante et favorise l'emploi massif de produits génériques peu chers permettant d'augmenter la productivité des exploitations agricoles à bas prix. La formation et les usages sont souvent mal connus, et font l'objet d'importants écarts vis-à-vis de la réglementation. Ce contexte aggrave les conséquences négatives des usages des PPP dans les PED en termes de santé humaine (agriculteurs, riverains et consommateurs), de réduction de la biodiversité et d'apparition de résistance aux PPP chez les bioagresseurs. Malgré la volonté des filières alimentaires dans les PED de s'engager dans des transitions agro-écologiques, le recours aux PPP entraîne des pollutions des différents compartiments environnementaux<sup>1</sup> et menace la santé des populations sur le court et long terme<sup>2</sup>. Face à ces enjeux, il est important de quantifier les risques de ces usages. Des indicateurs existent au niveau national, européen et international permettant d'évaluer ces risques mais les critères sont nombreux et souvent difficiles à utiliser dans les PED où les données sont quasi inexistantes ou peu structurées. L'un des objectifs de l'initiative PRETAG (*Pesticide Reduction for Tropical Agricultures*)<sup>3</sup> est de comparer certains de ces indicateurs de risques sanitaires et environnementaux en tenant compte

<sup>3</sup> Le Bars M., Maïga A., Sacko M., Koïta O. (2022) Pesticide contamination of water used for urban market gardening in Bamako (Mali) *Current Research in Environmental Sustainability*.

<sup>4</sup> Le Bars M, Sissako A, de Montgolfier A, Sidibe Y, Diarra A, Sagara A, Koïta O. (2022). Usage des pesticides et impacts sur la santé des applicateurs en zone cotonnière du Mali. *Cah. Agric.* 31: 24.

<sup>5</sup> <https://www.pretag.org/> / Pretag est une initiative soutenue par les fondations Agropolis et Farm

des données disponibles sur cinq filières alimentaires tropicales (café, cacao, bananes, maraîchage et riz), des caractéristiques des PPP et de leurs recommandations d'utilisation.

### Matériels & méthodes.

**Développement d'une base de données.** Une base de données des principaux usages de PPP pour les 5 filières de 11 pays d'Afrique, d'Amérique Centrale et du Sud, et d'Asie a été élaborée. Elle détaille les différentes caractéristiques de ces PPP (matières actives, doses homologuées, type de formulation...).

### **Choix des indicateurs pour l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux**

Cinq indicateurs ont permis d'évaluer les risques des substances actives (s.a.) contenues dans les PPP répertoriés i) sur la santé (celle des utilisateurs et plus globalement la santé humaine) et ii) sur les risques de transfert et leurs impacts sur l'environnement. Ces indicateurs ont été choisis pour leur complémentarité dans l'évaluation.

Concernant leurs impacts sur la santé, l'indicateur de **Risque pour la Santé Applicateurs (IRSA)** permet de déterminer le risque potentiel d'une substance active contenue dans une préparation commerciale donnée et selon son utilisation. Cet indicateur tient compte des principaux critères de toxicité aiguë et de toxicité chronique des substances actives ainsi que du potentiel de bioaccumulation dans l'organisme humain<sup>6</sup>. Aussi, le **modèle BROWSE**<sup>7</sup> (Bystanders, Residents, Operators and WorkerS Exposure models for plant protection products) permet d'estimer l'exposition via les voies d'exposition telles que l'inhalation, la voie cutanée et l'ingestion orale, en prenant en compte les EPI (Équipements de Protection Individuelle). Le modèle permet ainsi d'évaluer les risques sanitaires en comparant les quantités absorbées de chaque pesticide aux niveaux acceptables d'exposition.

Concernant les impacts environnementaux des PPP, l'**Analyse du Cycle de Vie (ACV)** a été utilisée pour quantifier les flux de matière et d'énergie liés aux différentes étapes de cycle de vie de chaque s. a. contenue dans les PPP. Il permet ainsi d'évaluer et de comparer selon plusieurs critères, les impacts environnementaux et humains des s.a., à travers le logiciel d'ACV SimaPro et en mobilisant UseTox<sup>8</sup>. Aussi, **I-PHY** et son interface d'aide à la décision Phyto'Aide<sup>9</sup> permettent d'évaluer le risque de transfert vers l'environnement d'une s.a. en considérant ses caractéristiques et ses conditions d'application à la parcelle (I-PHY) et de déterminer les actions pour les limiter (Phyto'Aide).

### Principaux résultats.

**Base de données PPP :** 300 références d'usage de PPP ont été répertoriées, lesquelles comprennent 92 s.a. à la base de 38 fongicides, 37 insecticides et 17 herbicides. 56 % de ces s.a. ne sont plus autorisées en Europe. Seulement 4 s.a. sont communément utilisées par les 5 filières étudiées, il s'agit du chlorpyrifos, de l'imidaclopride, du thiamethoxam et du glyphosate. La grande majorité des autres s.a. (69) n'est utilisée que par une seule filière. Ainsi 36 s.a. ont été répertoriées pour la filière banane, 36 pour la filière riz, 27 pour la filière maraîchage, 24 pour la filière cacao et 9 pour la filière café.

**Résultats des indicateurs :** Les résultats des indicateurs sont difficilement comparables entre eux du fait des objectifs d'évaluation très différents que ces indicateurs doivent remplir. Nous avons donc réalisé un classement hiérarchique par indicateur (s.a. classée en fonction de sa dangerosité/indicateur) pour chacune des 5 filières. A titre d'exemple, nous donnons ici les s.a. qui ont été classées dans le top 5 des indicateurs pour la filière maraîchage (entre parenthèse le nombre d'indicateurs sur 5 la classant dans

<sup>6</sup> Mghirbi O., Ellefi K., Le Grusse Ph., Mandart E., Fabre J., Ayadi H., Bord., Jp. (2014) « Assessing Plant Protection Practices Using Pressure Indicator And Toxicity Risk Indicators: Analysis Of The relationship Between These Indicators For Improved Risk Management, Application In Viticulture » Environmental Science And Pollution Research 22(11):8058 - 8074

<sup>7</sup> Lammoglia S. K., Kennedy M. C., Barriuso E., Alletto L., Justes E., Munier-Jolain N., Mamy L. 2017. Assessing human health risks from pesticide use in conventional and innovative cropping systems with the BROWSE model. Environment International, 105, 66-78.

<sup>8</sup> Basset-Mens, C., Avadí, A., Acosta-Alba, I., Bessou, C., Biard, Y., Payen, S., 2021. Life Cycle Assessment of agri-food systems. An operational guide dedicated to developing and emerging economies. Quae, Versailles.

<sup>9</sup> Le Bellec F., Vélu A., Fournier P., Le Squin S., Michels T., Tendero A., Bockstaller C. 2015. Helping farmers to reduce herbicide environmental impacts. Ecological Indicators, 54: p. 207-216.

son top 5) : chlorpyrifos (5), chlorothalonil (4), mancozeb (3), azoxystrobine (2), profenofos (2), acephate (1), alphacyperméthrine (1), bifenthrine (1), carbendazime (1), oxychlorure de cuivre (1), emamectin benzoate (1), indoxacarbe (1), lambda-cyhalothrin (1) et manèbe (1). Il est important de noter que tous les indicateurs utilisés classent le chlorpyrifos dans les 5 s.a. les plus préoccupantes. Cette substance qui existe depuis plus de 50 ans, est hautement toxique par contact pour les mammifères et plus généralement sur la biodiversité. Aujourd'hui interdite en Europe, le chlorpyrifos reste encore utilisé dans la plupart des pays des cinq filières étudiées.

### **Conclusion**

Cette étude visait à faire un inventaire des produits phytosanitaires utilisés dans 5 cultures tropicales, à analyser leur utilisation et à évaluer les risques associés. Sur la base de cinq indicateurs d'évaluation de risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des substances actives recensées, cette étude a permis d'identifier les plus problématiques. Malgré les différences méthodologiques entre les indicateurs, on constate en majeure partie une convergence de classement selon la dangerosité des substances actives. Ceci permet, au-delà de certaines limites (ex. données inexistantes ou peu structurées et détaillées) de justifier la pertinence d'une telle démarche visant à combiner différents indicateurs à plusieurs niveaux, afin de mieux évaluer les impacts sanitaires et environnementaux des PPP dans les pays en voie de développement.

***Mots-clés** : Pesticides, indicateurs, santé, environnement*

## **POSTERS**

**Thème : Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation, les transferts et les risques liés aux pesticides**

## **PRIOR'eau, un outil de spatialisation des détections de produits de protection des plantes au niveau de la ressource en eau wallonne à des fins de prévention**

Bergiers Guillaume<sup>(1)</sup>, Durenne Bastien<sup>(1)</sup>, Weickmans Bernard<sup>(1)</sup>, Godeaux Denis<sup>(2)</sup>, Rentier Céline<sup>(2)</sup> et Huyghebaert Bruno<sup>(1)</sup>

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

(2) *Service Public de Wallonie (SPW), Avenue Prince de Liège 15, 5100 Jambes ;*  
[celine.rentier@spw.wallonie.be](mailto:celine.rentier@spw.wallonie.be), [denis.godeaux@spw.wallonie.be](mailto:denis.godeaux@spw.wallonie.be)

### Résumé :

L'outil PRIOR'eau exploite les bases de données spécifiques à la Région Wallonne de détection des produits de protection des plantes (PPP) dans les eaux souterraines (ESO) et de surface (ESU). Il permet de définir les zones prioritaires à plus fortes occurrences en contamination où les actions de sensibilisation des conseillers de terrain doivent être ciblées. Cet outil a été développé en collaboration avec le Service public de Wallonie (SPW) afin d'appuyer les actions de la structure régionale de protection de la ressource en eau PROTECT'eau.

À des fins de prévention, l'outil PRIOR'eau se focalise sur les substances actives (s.a.) et leurs métabolites pertinents dont les concentrations retrouvées dans les différents ouvrages (captages, puits, sources, drains) sont comprises entre 30 et 75 % de la norme de qualité des eaux potabilisables (100 ng/l). La connaissance des PPP problématiques dans une zone permet d'objectiver les cultures et les parcelles où les conseils et l'encadrement aux changements de pratiques agricoles devront être délivrés prioritairement.

D'un point de vue méthodologique, les bases de données qualitatives du SPW (CALYPSO pour les eaux souterraines et AQUAPHYC pour les eaux de surface) sont exploitées afin de mettre en évidence les substances actives ou les métabolites sur lesquelles il faut concentrer les conseils donnés aux agriculteurs. Pour effectuer la surveillance des eaux souterraines, les réseaux « DCE » (Directive – Cadre – Eau) et un réseau dit « supplémentaire » regroupent près de 1000 ouvrages répartis sur l'ensemble de la Wallonie. Le réseau DCE est un réseau de surveillance mis en place par le SPW pour répondre aux exigences de l'Europe. Il est composé de 397 points d'échantillonnage pour, entre autres, mesurer l'état chimique des masses d'eau afin d'atteindre leur bon état. Le réseau dit « supplémentaire » est composé d'ouvrages dans lesquels des analyses sont également effectuées mais moins fréquemment que ceux du réseau DCE et dont les résultats ne servent pas à évaluer l'état des masses d'eau souterraines.

Le choix des molécules sera établi en fonction de la fréquence de détection et des concentrations rencontrées dans les ouvrages au sein des deux réseaux, mais aussi de la pertinence des s.a. selon leur

usage agronomique. Cette liste de molécules est susceptible d'être complétée chaque année en fonction des nouvelles détections et de l'évolution des concentrations mesurées.

Sur base de cette liste (substances actives et métabolites associés), des zones prioritaires ESO sont définies à l'échelle de la Wallonie sous forme vectorielle, utilisables dans un Système d'Information Géographique (SIG). Ces zones permettront ainsi d'identifier les parcelles situées à proximité d'un ouvrage dans lequel des détections préoccupantes ont été avérées en une ou plusieurs s.a. ou métabolites. Les conseillers de l'opérateur régional PROTECT'eau (ASBL) peuvent ainsi établir des priorités au niveau des exploitations agricoles sur lesquelles ils doivent concentrer leurs efforts par l'encadrement de bonnes pratiques.

Enfin, des résumés opérationnels seront produits et serviront d'outils pour l'ASBL. Ils présenteront, entre autres, des tableaux dans lesquelles les moyennes annuelles des concentrations par ouvrage seront reprises afin de les aider à programmer et hiérarchiser leurs actions sur le terrain. En effet, un ouvrage peut présenter une faible concentration en une s.a., mais récurrente et/ou croissante, ou au contraire, présenter une concentration préoccupante, mais sporadique, ce qui aura un impact sur la priorité des actions qui seront menées. Ces résumés reprendront également les zones prioritaires ESO, ainsi que toute autre information jugée pertinente (parcellaire agricole, présence de roches carbonatées, nappes affleurantes). Toutes ces actions permettront d'agir plus précisément et plus rapidement sur le terrain, afin de sensibiliser et d'accompagner les agriculteurs dans leurs démarches de réduction de la pression exercée par les PPP sur la ressource en eau.

*Mots-clés : Ressource en eau, PPP, spatialisation*

## Perspectives mondiales sur l'utilisation des fongicides pour contrôler la maladie de la nécrose du collet du colza : Revue de littérature

Maghrebi Essia\*<sup>(1)</sup>, Bochra Bahri<sup>(1,2)</sup> et Chaabane Hanène\*<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> *Institut National Agronomique de Tunis, Département Santé Végétale et Environnement, Laboratoire de recherche Bio-agresseurs et protection intégrée en Agriculture (LR/BPIA), 43, Avenue Charles Nicolle 1082 -Tunis- Mahrajène TUNISIE – [maghrebi.essia@gmail.com](mailto:maghrebi.essia@gmail.com); [hanene.chaabene@inat.u-carthage.tn](mailto:hanene.chaabene@inat.u-carthage.tn). ; \* Contribution égale.*

<sup>(2)</sup> *Department de Plante Pathologie, Institute of Plant Breeding, Genetics and Genomics, University of Georgia, Griffin, GA 30223, USA.*

### Résumé

Décrite pour la première fois en 1791, la nécrose du collet (NC) ou maladie du phoma, causée par le complexe d'espèces *Leptosphaeria maculans* et *Leptosphaeria biglobosa*, est l'une des maladies du colza les plus importantes et les plus dommageables au monde. À l'heure actuelle, le déploiement de gènes de résistance est la stratégie la plus privilégiée. Cependant, ces programmes de sélection sont toujours susceptibles d'être contournés et d'échouer face à l'apparition continue de nouvelles races.

La lutte chimique contre les maladies fongiques du colza, initiée dans les années 1980, s'impose de plus en plus comme la méthode la plus pratique et la plus efficace. En effet, le nombre de substances actives homologuées pour le colza en Europe est passé de 9 à 17 entre 1995 et 2019, avec un indice de fréquence de traitement (IFT) actuel de 2,8. Cependant, les informations sur les composantes de la gestion chimique de la maladie de la NC chez le colza restent plutôt rares. Cette revue de la littérature vise à fournir une vue d'ensemble de la diversité et de l'efficacité des différentes matières actives fongicides utilisées dans les principales régions productrices de colza du monde. Elle résume également le moment optimal et le nombre d'applications de fongicides pour contrôler la NC, ainsi que leur impact sur l'amélioration du rendement du colza.

Ce travail souligne en général l'importance de raisonner l'utilisation de fongicides et de l'incorporer dans les stratégies de gestion intégrée de la culture du colza oléagineux, à travers une revue bibliographique des principaux travaux réalisés à cet effet.

**Mots-clés :** *Colza oléagineux , fongicides , Leptosphaeria maculans, nécrose du collet.*

## Quelles préconisations pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires ? Le point de vue des agriculteurs - Occitanie

Corte Sandrine <sup>(1)</sup>, Faurie Isabelle <sup>(2)</sup>, Duru Michel <sup>(3)</sup>,  
Marty Chantal <sup>(2)</sup>, Cassadou Sylvie <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> CREAI-ORS Occitanie 37, allées Jules Guesde, 31000 Toulouse – s.corte@creaiors-occitanie.fr

<sup>(2)</sup> Laboratoire de Psychologie de la Socialisation – Développement et Travail, Université Toulouse – Jean Jaurès 5, allée Antonio Machado 31058 Toulouse cedex 9 - isabelle.faurie@univ-tlse2.fr

<sup>(3)</sup> UMR AGIR "Agroécologie, Innovations & Territoires", INRAE Toulouse Chemin de Borde-Rouge CS 52627 Auzeville 31326 Castanet Tolosan Cedex - michel.duru@inra.fr

<sup>(4)</sup> MSA, Midi-Pyrénées Nord 180 avenue Marcel Unal, 82014 Montauban - marty.chantal@mpn.msa.fr

Résumé :

### Contexte

Depuis 2009, la France a lancé plusieurs plans de réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires qui n'ont ni atteint leurs objectifs, ni suscité l'adhésion des agriculteurs.

Dans ces conditions, comment concilier protection de la santé et de l'environnement et besoins des agriculteurs ? Pour répondre à cette question, l'avis des agriculteurs apparaissait incontournable car, in fine, ils sont les décideurs de leurs pratiques culturales.

Nous avons mis en place une enquête visant à recueillir leurs préconisations pour le développement de pratiques culturales utilisant peu ou pas de produits phytosanitaires. L'Occitanie, région agricole aux paysages et cultures variés, était appropriée pour réaliser cette enquête.

### Méthodes

Les données ont été recueillies par entretiens semi-directifs individuels auprès de 58 agriculteurs occitans. Les participants ont été sélectionnés à parts égales dans six profils différents de communes, identifiés préalablement par une typologie statistique caractérisant l'environnement local de vie et de travail agricole.

Les réponses ont fait l'objet d'une analyse de contenu thématique. Les thèmes recensés ont ensuite été mis en perspective avec les caractéristiques des différents profils.

### Résultats à venir

Cette enquête vise à fournir des propositions et recommandations concrètes facilitant l'appropriation de pratiques culturales réduisant drastiquement l'utilisation des produits phytosanitaires, comme par exemple la formation des professionnels, la politique environnementale européenne ou l'organisation des filières de production agricole. Certaines de ces recommandations pourront être partagées par la profession dans son ensemble alors que d'autres ne concerneront que certains profils locaux du travail agricole. Les résultats seront disponibles pour le congrès du GFP, en mai 2024.

## **Conclusion**

La suspension du plan Ecophyto en février 2024 pose la question de la conciliation possible de la protection de l'environnement et de la santé, présente et à venir, avec les revendications du monde agricole. Réussir à réduire significativement l'utilisation des produits phytosanitaires ne peut que s'appuyer sur les besoins identifiés par les agriculteurs comme nécessaires à l'atteinte de cet objectif. En tenant compte de leurs contraintes communes ou plus spécifiques à leur environnement local, les résultats de ce travail pourraient alimenter, aux échelles globales et locales, les stratégies d'action des acteurs publics, tant dans le domaine de la gestion de l'agriculture que de la protection de l'environnement et de la prévention primaire en santé.

*Mots-clés : produits phytosanitaires - réduction - pratiques culturales - logiques d'acteurs*

## **Exposition de la ressource en eau souterraine sur géologie de socle aux micropolluants dans le cadre des eaux destinées à la consommation humaine : premiers résultats sur les produits phytosanitaires et leurs métabolites**

Sarah GARGOLY, Rachel MARTINS de BARROS\*, Karine CLERIES, Emmanuelle COURANDIERE, Sophie LISSALDE, Robin GUIBAL, Thibaut LE GUET, Gilles GUIBAUD

*Université de Limoges - E2Lim, 123 avenue Albert Thomas 87060 Limoges*

*\* rachel.martins\_de\_barros@unilim.fr*

### Résumé :

En contexte de géologie de socle, comme sur la marge ouest du Massif-Central français, les Eaux Destinées à la Consommation Humaine (EDCH) sont souvent captées à faible profondeur dans les altérites. Elles sont habituellement distribuées sans traitement complexe (au mieux une désinfection, parfois une neutralisation-reminéralisation) car elles sont faussement réputées de bonne qualité mais également du fait des difficultés économiques qu'engendreraient la mise en place de traitements. Dans ce contexte, la protection du captage est capitale. Cependant, les mutations de la polyagriculture-élevage entraînent un recours aux pesticides pour les parcelles en céréales destinées à l'alimentation du bétail de l'exploitation. Ainsi, 10% des 150 captages du tiers sud de la Haute-Vienne ont souffert d'un dépassement réglementaire de la limite de qualité, principalement à cause du Métolachlore ESA *i.e.*, métabolite de l'herbicide S-Métolachlore jugé pertinent par l'ANSES jusqu'à son avis du 30/09/22. Cette molécule est persistante et surtout très mobile. Cependant, seules quelques données du contrôle sanitaire des eaux sont disponibles sur cette nouvelle problématique et ne permettent pas de comprendre la trajectoire des pesticides au niveau du captage limitant ainsi le choix des actions à mettre en place.

Les objectifs de ce projet sont globalement de soutenir, par la production de données et de connaissances, la réflexion locale mise en place récemment sur cette problématique émergente de pollution de la ressource en eau par les pesticides et leurs métabolites. Pour cela, différents captages limousins classés prioritaires du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux Loire-Bretagne (SDAGE) seront suivis sur 6 ans. L'année 2023 a été consacrée au lancement de l'étude notamment par la rencontre avec les présidents de syndicat, les services techniques et les délégués puis au lancement du suivi en semi-continu pour faire un premier état des lieux. Ainsi, à partir des données acquises, il sera possible d'évaluer l'impact des activités (*i.e.*, autonomie alimentaire du bétail, augmentation des surfaces en céréales à d'autres destinations...) sur la qualité des eaux captées et de caractériser la trajectoire dans le temps et l'espace (*i.e.*, conditions climatiques, caractéristiques des molécules, occupations des sols et rotations...) pour définir des actions adaptées à la protection ou au traitement. Finalement, l'évaluation des effets bénéfiques ou non des actions mises en place par les syndicats pourra également être faite (*i.e.*, animation agricole, changement de pratiques, rachats de parcelles, mesures de protection basées sur la nature...). A noter qu'une anticipation des évolutions réglementaires sera primordiale avec la recherche de nouveaux éléments/composés (*e.g.*, autres pesticides ou métabolites, uranium, substances per et polyfluoroalkylées, Bisphénol A...) afin de soutenir les stratégies de mise en place de mesures de protection réglementaires (PGSSE) ou volontaristes. Finalement, cette étude sera aussi l'occasion de mettre en application des outils et méthodologies de surveillance (*i.e.*, échantillonnage passif, analyse non ciblée) pour mettre en avant leur apport et motiver un futur transfert vers le domaine applicatif voir réglementaire.

**Mots-clés :** *surveillance de la ressource, eaux destinées à la consommation humaine, réglementation*

## **Le projet ODACE : vers un Outil d'évaluation et de Dialogue entre acteurs et chercheurs, pour Accompagner la conCEption de solutions de protection des plantes dans le contexte arboricole.**

Mohamed-Mahmoud Memah<sup>(1)</sup>, Jean-Noël Aubertot<sup>(2)</sup>, Daniele Bevacqua<sup>(1)</sup>, Philippe Blanc<sup>(3)</sup>, Julie Borg<sup>(1)</sup>, Pascal Borioli<sup>(4)</sup>, Stéphanie Drusch<sup>(5)</sup>, Valérie Gallia<sup>(6)</sup>, Bertrand Gauffre<sup>(1)</sup>, Hélène Gautier<sup>(1)</sup>, Michel Génard<sup>(1)</sup>, Isabelle Grechi<sup>(7)</sup>, Pierre Franck<sup>(1)</sup>, Baptiste Labeyrie<sup>(8)</sup>, Claire Lavigne<sup>(1)</sup>, Françoise Lescourret<sup>(1)</sup>, Vincent Mercier<sup>(5)</sup>, Christophe Mouiren<sup>(4)</sup>, Didace Ndalla-Landou<sup>(1)</sup>, Frédéric Normand<sup>(9)</sup>, Marie-Hélène Robin<sup>(2)</sup>, Antoine Rolland<sup>(10)</sup>, Julien Ruesch<sup>(8)</sup>, Natacha Sautereau<sup>(11)</sup>, Pierre Valsesia<sup>(1)</sup>, Gilles Vercambre<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> INRAE/ PSH. 228 route de l'aérodrome, 84914 Avignon Cedex 9, France, [nom.prenom@inrae.fr](mailto:nom.prenom@inrae.fr)

<sup>(2)</sup> INRAE/AGIR. 24, chemin de Borde-Rouge, CS 52627 Castanet Tolosan Cedex, [jean-noel.aubertot@inrae.fr](mailto:jean-noel.aubertot@inrae.fr), [mh.robin@purpan.fr](mailto:mh.robin@purpan.fr)

<sup>(3)</sup> CETA du Vidourle, Mas de Carrière, 34590 Marsillargues, [cetaduvideourle@gmail.com](mailto:cetaduvideourle@gmail.com)

<sup>(4)</sup> GRCETA. 2 Route Mollèges, 13210 Saint-Rémy-de-Provence, [pascal.borioli@grceta.fr](mailto:pascal.borioli@grceta.fr)

<sup>(5)</sup> INRAE/URI Gotheron. 460 Chemin de Gotheron, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence, [vincent.mercier@inrae.fr](mailto:vincent.mercier@inrae.fr)

<sup>(6)</sup> SUDEXPE. Mas de Carrière, 34590 Marsillargues, [vgallia@sudexpe.net](mailto:vgallia@sudexpe.net)

<sup>(7)</sup> CIRAD, UPR HortSys, F-34398 Montpellier; HortSys, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France, [isabelle.grechi@cirad.fr](mailto:isabelle.grechi@cirad.fr)

<sup>(8)</sup> CTIFL/ Centre Opérationnel de Balandran. 751 chemin de Balandran – 30127 Bellegarde, [julien.ruesch@ctifl.fr](mailto:julien.ruesch@ctifl.fr), [baptiste.labeyrie@ctifl.fr](mailto:baptiste.labeyrie@ctifl.fr)

<sup>(9)</sup> CIRAD, UPR HortSys, F-97455 Saint-Pierre, La Réunion ; HortSys, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, [frederic.normand@cirad.fr](mailto:frederic.normand@cirad.fr)

<sup>(10)</sup> Université Lumière Lyon 2/Laboratoire ERIC, 5 avenue Pierre Mendès France, 69676 Bron Cedex, [antoine.rolland@univ-lyon2.fr](mailto:antoine.rolland@univ-lyon2.fr)

<sup>(11)</sup> ITAB. 149 rue de Bercy - 75595 Paris cedex 12, [natacha.sautereau@itab.asso.fr](mailto:natacha.sautereau@itab.asso.fr)

### Résumé :

La réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires nécessite une maîtrise durable des bioagresseurs (BAs) des plantes s'appuyant conjointement sur plusieurs leviers de contrôle alternatifs, ayant chacun une efficacité souvent partielle : leviers cultureux, biodiversité planifiée, biopesticides, barrières physiques, etc. L'évolution des attentes de la société et des filières implique de considérer non seulement les performances agronomiques et économiques des agroécosystèmes mais aussi les impacts sur l'environnement, l'équité sociale, et la santé humaine. En outre, les acteurs de la transition agroécologique ont des préférences contrastées et ont besoin d'éléments adaptés à leurs points de vue pour évaluer des stratégies de gestion des BAs. Pour la mise au point de ces stratégies, il est donc nécessaire d'adopter une approche intégrée qui considère de multiples performances et de multiples acteurs.

Le projet ODACE (2021-2024), financé par le programme Ecophyto 2+, vise à accompagner les acteurs dans leur réflexion sur la mise en place de stratégies de réduction de l'usage des produits phytosanitaires en vergers. Cette réflexion passe par une meilleure compréhension des interactions cultures-BAs et leur

pilotage par les pratiques et la biodiversité planifiée, dont les plantes de service encore peu utilisées. Par une approche de modélisation, le projet propose de développer un outil ergonomique et interactif pour accompagner les utilisateurs (conseillers, animateurs de réseaux, formateurs et apprenants) dans leurs démarches de conception de stratégies de production intégrant, dans des cadres existants (AB) ou nouveaux (0 phytos, ...), des leviers alternatifs aux pesticides. Cet outil prendra en compte les objectifs et les préférences des utilisateurs, relatifs à des performances multiples. Les scénarios candidats obtenus illustreront la démarche de co-conception et ouvriront des perspectives pour la transition agroécologique.

Pour ce faire, nous avons couplé des modèles d'atténuation des dégâts causés par de multiples BAs et des modèles de cultures fruitières afin de prédire les performances multiples de scénarios combinant plusieurs leviers alternatifs aux pesticides pour la gestion des BAs. Nous avons utilisé IPSIM, un modèle hiérarchique agrégé qualitatif, pour prédire le profil des dégâts des cultures en fonction des pratiques culturales et de l'environnement abiotique et biotique. Les profils de dégâts prédits associés aux conditions environnementales et aux pratiques culturales servent d'entrée pour QualiTree, un modèle quantitatif de culture arbre-sol capable de prédire 9 indicateurs de services écosystémiques liés à la production fruitière, à la régulation du climat, à la fertilité du sol et au cycle de l'eau.

Nous avons considéré plusieurs profils d'acteurs (éco-responsable, AB, rupture) avec des préférences contrastées et nous avons utilisé la simulation pour identifier et archiver un grand nombre de scénarios (combinaisons de leviers de contrôle) appropriés pour chaque profil. Des méthodes d'aide à la décision multicritères et de classification ont été utilisées pour sélectionner un petit nombre de scénarios adaptés au contexte et aux préférences de l'utilisateur, recueillies à l'aide d'un simple questionnaire.

Nous illustrons l'avancement du projet sur le cas du pommier avant d'aborder les difficultés rencontrées et les perspectives envisagées.

**Mots-clés :** Vergers, bioagresseurs multiples, gestion des bioagresseurs, modélisation, décision multicritère.

**Remerciement :** « ODACE », avec le soutien financier de l'OFB dans le cadre de l'APR « Durabilité des systèmes de productions agricoles alternatifs évitant ou limitant l'utilisation des produits phytopharmaceutiques » lancé dans le cadre du plan Écophyto II+ et co-piloté par les ministères de la transition écologique, de l'agriculture et de l'alimentation, des solidarités et de la santé et de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

## Les rôles de l'action collective, des réseaux sociaux et du droit pour l'innovation agroécologique en Martinique & Guadeloupe

Laurent Parrot <sup>(1)(2)</sup>, \*\*, Magali Aubert <sup>(3)</sup>, Camille Luis <sup>(1)(2)</sup>, Youri Catherine <sup>(2)</sup>

(1) CIRAD UPR Hortsys, F-97285 Le Lamentin, Martinique ; UMI SOURCE, EDEM Univ Paris Saclay, France. – [laurent.parrot@cirad.fr](mailto:laurent.parrot@cirad.fr)

(2) CIRAD UPR Hortsys, F-97285 Le Lamentin, Martinique, France ; Univ Montpellier, France.

(3) UMR 1110 MOISA, INRAE-Montpellier Supagro, 34060, Montpellier, France.

Résumé :

Nous présentons plusieurs résultats du projet ECOPHYTO PUMAT « *Pour Un Maraîchage Attractif : le cas de la Tomate en Martinique* », dans le cadre de l'appel à proposition de recherche « *Les approches globales pour limiter l'utilisation des produits phytopharmaceutiques : Coupler le préventif et le curatif au sein des filières, des agriculteurs jusqu'aux consommateurs* » et les résultats du projet inter-DOM *Territoires Durables*.

Le volet économique repose sur des enquêtes auprès de 409 maraîchers en Martinique et en Guadeloupe interrogés en 2022. Les résultats montrent que :

1. Les exploitations maraîchères sont diversifiées (pluri-cultures, élevage, arboriculture, etc.) ;
2. 27% des maraîchers n'utilisent ni de pesticides ni d'engrais de synthèse ;
3. Les organisations de producteurs sont les formes organisationnelles qui permettent de répondre au mieux aux objectifs de valorisation économique de la production et de réduction d'utilisation des produits phytosanitaires comparativement aux maraîchers non intégrés dans des réseaux ;
4. Le numérique se traduit en une diversité d'outils (Internet, réseaux sociaux, smartphone, etc.) qui permet de répondre aux besoins des systèmes agricoles diversifiés. Pour les producteurs, il représente un levier complémentaire qui aide la transition agroécologique et renforce les canaux de commercialisation alternatifs (vente en ligne, paniers, etc.) ;
5. La discipline du droit facilite la compréhension des dynamiques de transition par l'intermédiaire de l'analyse des groupes d'intérêt et des conflits d'intérêt. Par exemple, la dérogation est une « *exception* » mais aussi un « *instrument* » pour la transition.

En conclusion, les groupements de producteurs et le partage de connaissances et de compétences par les réseaux numériques contribuent à la diffusion de pratiques agroécologiques. Elles doivent en revanche être mieux appuyées par les pouvoirs publics pour consolider leur impact.

**Mots-clés :** *maraîchage ; réseaux sociaux ; capital humain ; capital social ; droit.*

### Références bibliographiques :

Catherine, Y., Aubert, M., & Parrot, L. (2022). Entre complexité et diversité des exploitations et des formes organisationnelles : Analyse de l'adoption du couple outil-usage du numérique des maraîchers antillais. *16èmes JRSS, Clermont-Ferrand, France.*

Luis, C., Aubert, M. & Parrot, L. (2023). "Do the factors influencing the adoption and intensity of use of agroecological practices go hand in hand? A double-hurdle approach in the French West Indian vegetable sector", *XVII EAAE Congress, Rennes, France.*

- Parrot, L., et Faure, C. 2023. « Le droit et la loi comme ressources au service de la transition agroécologique : Le rôle des dérogations ». In *Transitions écologiques ultra-marines au concret - Politiques publiques animations territoriales et pratiques sectorielles*, 29-42. Espace, territoires et sociétés. *Presses universitaires des Antilles*.
- Parrot, L., Joltreau, T. 2024. « Tous les chemins mènent-ils au rhum ? Le rôle de l'alliance sur la performance des coalitions d'acteurs dans les filières canne à sucre et maraîchage en Martinique ». *Economie Rurale* 389, n° Juillet-Septembre (2024).
- Parrot, L., Varenne, M. 2023. « Confiance, vulnérabilité et résilience : le paradoxe des stratégies de diversification maraîchères en Martinique ». *Mondes en Développement* 204, n° 4 (2023): 131-48.

## Les biochars, un levier pour améliorer la qualité de l'eau agricole

Marie Bertrand<sup>(1)</sup>, Damien BANAS<sup>(1)</sup>, Matthieu DELANNOY<sup>(1)</sup>, Gaspard CONSEIL<sup>(1)</sup>,  
Frédéric PIERLOT<sup>(2,3)</sup>

- (1) Université de Lorraine, UR L2A, 2 Avenue de la Forêt de Haye, BP 20163, 54505 Vandoeuvre-lès-Nancy  
[damien.banas@univ-lorraine.fr](mailto:damien.banas@univ-lorraine.fr) ; [gaspard.conseil@univ-lorraine.fr](mailto:gaspard.conseil@univ-lorraine.fr); [matthieu.delannoy@univ-lorraine.fr](mailto:matthieu.delannoy@univ-lorraine.fr)
- (2) Université de Lorraine, LAE, UMR 1121 Univ. Lorraine/INRAE, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy [frederic.pierlot@univ-lorraine.fr](mailto:frederic.pierlot@univ-lorraine.fr)
- (3) Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est, 9 Rue de la Vologne, 54520 Laxou

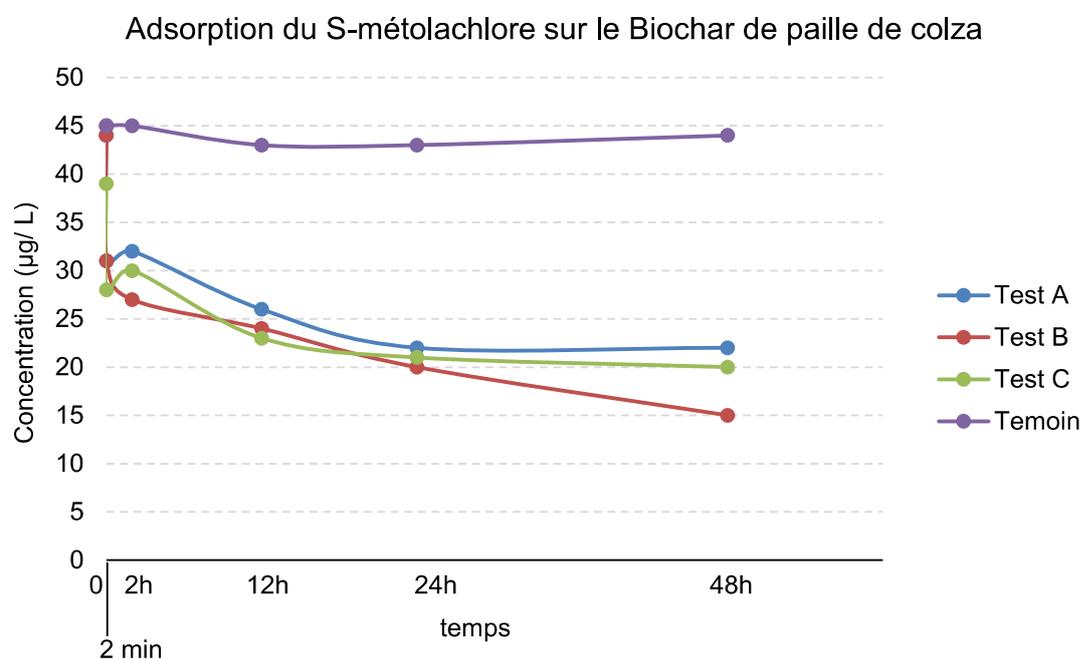
### Résumé :

Le transfert de pesticides d'origine agricole vers les eaux, malgré les différents plans nationaux et européens mis en place, reste à l'origine de la dégradation de masses d'eau vis-à-vis de la réglementation et est susceptible d'induire de multiples effets délétères sur les biocénoses. Dans le cas de sols drainés, le rejet des eaux issues de la parcelle se fait souvent directement dans le cours d'eau et, de ce fait, court-circuitent les bandes enherbées réglementaires le long des cours d'eau. La mise en place de Zones Tampon Humides Artificielles (ZTHA) est une solution pour limiter ces transferts mais les études préalables montrent une efficacité hétérogène selon les molécules et les années hydrologiques de 0% à 75%, avec une moyenne de 15% (Pierlot et al., 2020). Accroître l'efficacité d'abattement de ces dispositifs constitue ainsi un enjeu prometteur au regard de l'adhésion des exploitants agricoles et de l'efficacité déjà démontrée de ces dispositifs, complémentaires des solutions agronomiques promues pour réduire et améliorer l'utilisation des produits phytosanitaires.

L'aptitude de Biochar à séquestrer les contaminants fait de ces produits issus de la pyrolyse de biomasse, un amendement utilisé pour séquestrer le carbone ou mêmes les contaminants organiques ou métalliques des sols pollués. Ces propriétés pourraient être mises à profit pour accroître les capacités de rétention des contaminants d'origine agricole, au sein des ZTHA. L'intérêt d'utiliser des biochars dans ce but vient i) de la disponibilité et de la variété des matières premières d'origine agricole sur les territoires concernés : ii) du fait que ces matières premières peuvent être transformées de façon peu impactante d'un point de vue environnemental et énergétique afin de produire des adsorbants dans le cadre d'une économie circulaire de territoire responsable et iii) l'utilisation des biochars ne requiert pas l'intégration d'une cascade de procédés (systèmes membranaires avec prétraitement de coagulation-floculation,...), ce qui limite fortement leur coût d'exploitation et ne génère pas de nouveaux effluents pollués concentrés et donc la nécessité d'un stockage ou d'une étape de traitement ultime. L'utilisation de biochar paraît une alternative intéressante pour améliorer ces dispositifs.

Afin d'apprécier le potentiel des biochars à retenir les contaminants d'origine agricole en ZTHA, notre projet intègre plusieurs étapes dont une revue bibliographique et des tests de séquestration en laboratoire dont les premiers résultats semblent prometteurs. Ainsi, la revue de la bibliographie mettant en œuvre des biochars pour traiter les PPP dans les eaux nous a permis de répertorier au cours de ces six dernières années, 400 articles scientifiques récents sur le sujet de l'adsorption des pesticides par les biochars. Ces travaux permettent d'apprécier les capacités encourageantes d'adsorption de ces produits, sans qu'il soit possible de relier ces résultats aux caractéristiques des pesticides ni des biochars, tant les conditions d'utilisation et les ratios de biochar / pesticides sont différents dans ces études.

Les tests en laboratoire réalisés avec un biochar issu de paille de colza locale et visant à évaluer ses capacités d'adsorption du S-métolachlore et de son principal métabolite (Metolachlore-ESA) nous a permis de séquestrer 60% de la quantité de substance active en 48h.



Les étapes suivantes consisteront donc à caractériser les interactions entre la lame d'eau drainée et les biochars (rôle des sédiments, interaction avec la dynamique du drainage, recyclage du biochar...) avant d'intégrer cette solution dans les ZTHA à des proportions compatibles avec une viabilité technique et économique.

**Mots-clés :** ZTHA, transfert de pesticides, drainage agricole, dispositifs rustiques

# **Comment aborder la complexité de l'exposition des personnes aux pesticides dans un territoire ?**

## **Contribution de l'approche patrimoniale et du projet Expo'Phyto en Occitanie**

Pupin Vincent <sup>(1)</sup>, Oriane Mallard <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> API, 2 rue Raymond Lizop 31100 Toulouse – [vincent.pupin@api-patrimoinescommuns.org](mailto:vincent.pupin@api-patrimoinescommuns.org)

### Résumé :

Aujourd'hui, les produits de synthèse issus de l'industrie chimique font partie de nos vies. Ils sont devenus des outils utilisés dans notre quotidien, comme matériaux, comme médicaments, comme pesticides sur nos animaux domestiques ou dans nos jardins et nos champs... Ils ont constitué et constituent toujours, en grande partie, le cœur de la « modernité », un des piliers de notre confort, un gage de facilité pour des tâches autrefois plus pénibles. Ces produits et les molécules issues de leur dégradation font partie de nos vies aussi parce qu'ils sont maintenant détectés dans l'air, dans l'eau, dans notre corps et dans tout le vivant autour de nous. De nombreuses études montrent que la santé humaine, la santé des écosystèmes, la « santé globale » sont menacées par cette présence. Ces produits issus de l'industrie chimique, en particulier les pesticides, sont également indissociables d'un système cohérent, un « éco-socio-système » dont il est difficile de s'extraire aussi bien au niveau de secteurs économiques entiers comme l'agriculture et l'agro-alimentaire qu'au niveau de la société en général. Aborder la question de la réduction de l'utilisation de pesticides ou de la lutte contre leurs effets sur la santé globale est donc particulièrement difficile, comme pour tout autre produit issu de l'industrie chimique. C'est toute une façon « d'être au monde » qui est en jeu.

L'API est une association qui a abordé ces questions dans des travaux d'intervention-recherche. Elle s'inscrit dans le courant théorique de l'approche patrimoniale qui a été développée dans les années 1970 au ministère de l'agriculture, puis à partir des années 1990 à AgroParisTech. Le recul que nous avons aujourd'hui nous permet de dessiner un chemin possible pour aborder le sujet des pesticides et éclairer les décideurs publics qui y sont confrontés.

Nous montrerons dans une première partie comment les démarches patrimoniales sur les problèmes posés par la présence des pesticides s'insèrent dans un contexte global de compréhension croissante de la complexité du sujet. Sur la base d'un historique des différentes politiques publiques sur l'utilisation des produits phytosanitaires et des travaux de recherche sur ce même sujet, nous distinguerons plusieurs phases depuis les années 1990.

Dans une deuxième partie, nous expliquerons que, malgré cette reconnaissance de la complexité du sujet, les acteurs que nous rencontrons dans nos démarches sur les pesticides constatent que les politiques publiques pluridimensionnelles mises en place ne parviennent pas à réellement prendre en compte de façon globale les problèmes posés par la présence des pesticides. Nous concluons à une forme « d'injonction systémique » qui alimente aujourd'hui la montée de colères et de frustrations face à une incapacité à agir pour résoudre les problèmes auxquels les acteurs des territoires sont confrontés, et dans laquelle la question des pesticides prend place.

Dans une troisième partie, nous exposerons notre façon d’approcher cette complexité à travers l’exemple du projet Expo’Phyto, projet toujours en cours actuellement. Ce projet, à l’initiative de la DRAAF Occitanie, se déploie aujourd’hui sur deux territoires d’Occitanie (SICOVAL et Pays Cœur d’Hérault), et mobilise une diversité d’acteurs. Il permet de reformuler le problème posé par l’exposition des personnes aux pesticides autour notamment de deux thématiques, qui s’incarnent différemment dans les deux territoires impliqués : comment revivifier l’identité des territoires comme patrimoine commun en partant de l’agriculture telle qu’elle est ? Comment piloter l’équilibre vivant des territoires ?

En conclusion, après plusieurs décennies d’études, de recherche, d’évolution législatives, de transformation agricole et rurale, l’exposition des personnes aux pesticides est aujourd’hui largement partagée comme un problème « complexe » par les acteurs concernés. Cependant, la mise en œuvre d’une approche globale sur cette question, basée sur la mobilisation de savoirs scientifiques et techniques eux aussi globaux, se heurte à la réalité de la présence des pesticides dans la vie de tous. Cette question de l’exposition aux pesticides ne peut se réduire à une question de « pratiques agricoles », ou de « consommation durable », ou de « relations agriculteurs/riverains », ou encore de « santé environnementale ». De multiples couches de complexité se superposent que les approches globales par secteur échouent à embrasser.

Le projet Expo’Phyto montre qu’une autre approche de cette complexité est possible et qu’elle permet de mettre en lien des dimensions que notre mode d’action traditionnel tend à disjoindre. La jonction entre ces dimensions ne se fait pas par un seul opérateur qui définit le cadre du problème mais par l’écoute mutuelle des acteurs qui constatent les attachements de chacun à telle ou telle dimension en jeu. Mettre en œuvre une démarche de facilitation stratégique telle que nous l’entendons demande une compétence professionnelle spécifique. La transmission du savoir-faire et le savoir-être des facilitateurs stratégiques professionnels en la matière appelle une formation-action approfondie.

Ce projet donne aussi des éléments d’éclairage sur la façon d’aborder la question de l’exposition aux pesticides qui peuvent être utiles à un décideur public, sans pour autant qu’il engage une démarche de l’ampleur d’Expo’Phyto. Nous pouvons ainsi formuler des recommandations pour un acteur qui souhaite investir le champ de la réduction de l’exposition des personnes aux pesticides dans un territoire : comment bien positionner une démarche, se donner les moyens d’aborder la complexité du sujet avec l’ensemble des acteurs concernés et produire des propositions d’actions pertinentes.

*Mots-clés : pesticide, complexité, territoire*

## Les rotations de cultures comme outils de réduction des pesticides : scénarios de transitions en Wallonie (Belgique)

Noé Vandevorde<sup>(1)</sup>, Anton Riera<sup>(1)</sup>, Antoine Squilbin<sup>(1)</sup>, Manon Ferdinand<sup>(1)</sup>, Philippe Baret<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Earth and Life Institute, Université Catholique de Louvain (UCLouvain), 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique – [noe.vandevorde@uclouvain.be](mailto:noe.vandevorde@uclouvain.be)

Résumé :

Au cours du siècle dernier, les intrants industriels ont progressivement remplacé les rotations de cultures dans la gestion de la fertilité des sols ainsi que dans la lutte contre les maladies et ravageurs. Outre les effets néfastes directs de l'introduction de ces intrants sur les écosystèmes et la santé humaine, leur généralisation a entraîné la spécialisation des cultures, avec un net appauvrissement de l'agrodiversité. Cela a favorisé l'établissement de (quasi-)monocultures, engendrant de nouvelles répercussions négatives sur les écosystèmes et renforçant la dépendance à ces intrants. Ainsi, la réintroduction et la promotion de rotations de cultures diversifiées et optimisées sur le plan agronomique apparaissent comme des mesures essentielles pour réduire l'usage des intrants industriels.

Dans cette étude, nous analysons le recours aux pesticides dans les cultures en distinguant un effet cultural (principal) et un effet de succession (secondaire), afin d'estimer (1) les quantités de pesticides utilisés dans différentes permutations de cultures (rotations) et (2) les impacts environnementaux et sur la santé humaine résultants de l'utilisation de ces pesticides dans ces rotations. Pour ce faire, nous combinons les données d'utilisation des pesticides à l'échelle des régions agricole wallonnes (quatre territoires de l'ordre de 180 000 ha chacun) avec l'*indicateur de séquence culturale* présenté dans Vandevorde et Baret (2023)<sup>10</sup>, permettant d'estimer l'effet du précédent cultural sur la demande en herbicides, fongicides et insecticides. Ces données, détaillées par substance active, alimentent ensuite l'évaluation de l'impact environnemental et de santé humaine de l'usage des pesticides, par le biais de l'indicateur *Pesticide load* (Kudsk *et al.*, 2018)<sup>11</sup>. À terme, ce projet (mené de février 2024 à juillet 2025) fournira un état des lieux des rotations de cultures actuelles en Wallonie et proposera des scénarios de transition modélisant les réductions des pesticides (et des risques associés) résultant de modifications des pratiques de rotations des cultures.

**Mots-clés :** pesticide, rotation, diversification

---

<sup>10</sup> Vandevorde, Noé, et Philippe V. Baret (2023). *Assessing crop sequence diversity and agronomic quality in grassland regions*. European Journal of Agronomy 151:126958. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126958>

<sup>11</sup> Kudsk, Per, Lise Nistrup Jørgensen, et Jens Erik Ørum (2018) *Pesticide Load—A New Danish Pesticide Risk Indicator with Multiple Applications*. Land Use Policy 70:384-93. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.010>

**Thème : Alternatives aux pesticides de synthèse de la parcelle à l'exploitation agricoles**

## Potentiel bio-insecticide des nématodes entomopathogènes marocains pour lutter contre la mineuse des feuilles de la tomate, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae)

Mokrini Fouad <sup>(1)</sup>, El Aimani Ali <sup>(2)</sup>, Houari Abdellah <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut National de la Recherche Agronomique, CRRRA-Rabat, INRA-Maroc, [fouad.mokrini@inra.ma](mailto:fouad.mokrini@inra.ma)

<sup>(2)</sup> Faculté polydisciplinaire de Taroudant, Agadir, Maroc, [elaimani2000@yahoo.fr](mailto:elaimani2000@yahoo.fr)

### Résumé :

Le secteur maraîcher sous serre est considéré comme le moteur de l'économie de la région de Sous Massa (Agadir, Maroc), malheureusement, ses cultures sont la cible de plusieurs insectes ravageurs. A la tête de cette liste, la mineuse des feuilles de la tomate, *Tuta absoluta* (Meyrick). La mineuse des feuilles de la tomate, (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae), est un ravageur originaire d'Amérique du Sud. C'est le principal insecte dévastateur attaquant les cultures de solanacées, en particulier les tomates (*Solanum lycopersicum* L.) dans la plupart des régions productrices de tomates en Europe et en Afrique. Dans le but d'établir un programme de lutte complet et pratique à l'agriculteur, nous avons testé des isolats marocains de nématodes entomopathogènes (NEP) contre la mineuse des feuilles, *Tuta absoluta*. Une série d'essais en laboratoire et sur le terrain ont été réalisés afin d'évaluer les isolats d'NEP marocains. Ces études ont permis de mieux comprendre leur efficacité et leur potentiel en tant qu'outil de lutte biologique contre ce ravageur. Nos résultats ont indiqué que les isolats marocains d'NEP, *S. feltiae* (SF-MOR10 et SF-MOR9) à 50 IJs cm<sup>-2</sup> ont une efficacité enlevée dans des conditions de laboratoire et de terrain avec des taux de mortalité (> 80%) . La mise en œuvre de ces EPN dans l'IPM pourrait donc réduire l'utilisation des traitements chimiques, réduisant ainsi la pollution de l'environnement et retardant la résistance développée chez *T. absoluta*.

**Mots-clés :** Mineuse des feuilles, maraîcher, nématodes entomopathogènes

## Effets sublétaux et létaux de l'huile essentielle de *Myrtus communis* sur le taux des lipides et de malondialdéhyde chez un vecteur de maladies *Culex pipiens*

Yezli Amina <sup>(1)</sup>, Boudjelida Hamid <sup>(1)</sup>

(1) Université Badji Mokhtar Annaba, Laboratoire de biologie animale appliquée ,BP12 RP Annaba Algérie 23000– [yezliamina@gmail.com](mailto:yezliamina@gmail.com)

(1) Université Badji Mokhtar Annaba, Laboratoire de biologie animale appliquée ,BP12 RP Annaba Algérie 23000– [boudjelidahamid@yahoo.fr](mailto:boudjelidahamid@yahoo.fr)

### Résumé :

Dans les campagnes de lutte anti moustiques, les insecticides de synthèse constituent un moyen de lutte, ces préparations, bien qu'elles soient très efficaces sur les moustiques, elles se sont révélées très toxiques et leurs effets collatéraux sur les écosystèmes naturels restent inestimables, vu leur large spectre d'action pour servir à une gestion durable de l'environnement et rendre efficace une lutte biologique anti vectorielle. Les recherches actuelles se sont orientées vers l'utilisation des substances naturelles d'origine végétale en particulier comme les huiles essentielles, qui sont des agents bioactif et insecticide plus sélectifs et biodégradables du point de vue écologique. L'objectif de cette étude est la compréhension du mode d'action de l'huile essentielle issue d'une plante endémique de la région méditerranéenne appelée *Myrtus communis*, l'huile est extraite par hydrodistillation et le rendement a été calculé. Le taux du Malondialdéhyde un biomarqueur de la peroxydation lipidique ainsi que la teneur en lipides totaux a été estimé chez les larves du 4<sup>ème</sup> stade de *Culex pipiens*, témoin et traitées avec les concentrations létales, la CL50 et la CL90 de l'huile essentielle de *M. communis* durant le temps 24, 48 et 72 heures. Les résultats obtenus montrent une augmentation significative du malondialdéhyde (MDA) durant les temps testés, avec un effet traitement hautement significatif  $P < 0,0001$ . La teneur en lipides diminue de manière significative ( $p < 0,0001$ ) au cours du temps, l'huile essentielle de *M. communis* induit une diminution hautement significative dans le contenu en lipides chez les séries traitées pour les deux concentrations létales testées, une corrélation entre l'augmentation du MDA et la diminution des lipides totaux a été observée.

**Mots clés :** *Culex pipiens*, Huile essentielle, Biomarqueur, *Myrtus communis*, Lipides totaux.

## Composition chimique de l'huile essentielle de *Thymus munbyanus* subsp *coloratus* et évaluation de son effet toxique chez un ravageur des denrées stockées *Ephestia kuehniella*

YEZLI-TOUIKER Samira, BENDJEDID Hadjira, TAFFAR Asma & YEZLI Amina

Université Badji Mokhtar ANNABA, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Laboratoire de Biologie Animale Appliquée, ANNABA, ALGERIE, RP BP12, Annaba 23000, Algérie.

[yezlitouikersamira@yahoo.fr](mailto:yezlitouikersamira@yahoo.fr)

### Résumé :

Les insectes nuisibles, considérés comme l'un des problèmes majeurs en agriculture, peuvent être, également, vecteurs d'agents pathogènes et constitue une menace pour les animaux dont l'homme. Ainsi, dans le cadre du développement durable, des pesticides non polluants ont été commercialisés par les firmes pharmaceutiques et phytosanitaires. Ces molécules, alternatives aux pesticides conventionnels, sont représentées par les pesticides synthétiques de la 3<sup>ème</sup> génération (régulateurs de croissance) ou encore par les pesticides d'origine naturelle (biopesticides). Afin de contribuer à la valorisation des plantes médicinales locales, nous nous sommes intéressés à une plante médicinale *T. munbyanus* subsp. *coloratus* (Lamiaceae) très répandu en médecine traditionnelle. Les plantes aromatiques ont de plus en plus un atout considérable grâce à la valorisation de leurs huiles essentielles dans diverses applications notamment comme (anti-inflammatoire, antiseptique, antifongique, antitoxique, insecticide et répulsif.).

L'objectif de cette étude est de déterminer la composition chimique des huiles essentielles de *Thymus munbyanus*. Les parties aériennes ont été récoltées à Annaba (Nord-Est de l'Algérie) et soumises à une hydrodistillation, et analyser par une chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Le criblage par GC/MS a identifié 58 constituants.

Les effets de cette huile essentielle ont été testés par application topique sur des nymphes nouvellement exuviées (0 jour) d'un ravageur des denrées stockées *Ephestia kuehniella* Zeller. L'Huile essentielle de *T. munbyanus* a été diluée dans l'acétone, différentes doses ont été testées : 5, 10, 25, 50 et 100 µl/ml (trois répétition par dose comportant chacune 30 insectes). Les pourcentages d'inhibition de l'émergence des adultes ont été corrigés conformément à Abbott (1925). Les doses d'inhibition (ID) ID25 et ID50 (doses entraînant l'inhibition de l'émergence des adultes chez 25% et 50% des insectes traités, respectivement) ont été déterminées avec leurs limites de confiances correspondantes à 95% (FL à 95%) et le Hill slope.

**Mots clés:** *Ephestia kuehniella*, huile essentielle, , *Thymus munbyanus*, CPG, ravageurs des denrées stockées, toxicité.

**Thème : Modélisation des transferts et des risques associés**

## Réseaux de neurones artificiels appliqués à l'analyse de la toxicité des pesticides

Benzidane C.<sup>1</sup>; Bouharati K.<sup>2</sup>; Fenni M.<sup>3</sup>

1: Faculty of Natural Science and Life, UFAS Setif1 University, Algeria

2: Laboratory of Health and Environment, Faculty of Medicine, UFAS Setif1 University, Algeria

1: Faculty of Natural Science and Life, UFAS Setif1 University, Algeria

### Résumé :

L'importance des pesticides utilisés en santé publique est utilisée pour la prévention et le contrôle de la transmission des maladies aux vecteurs chez l'homme. Cependant, la durabilité à long terme de la lutte contre les maladies à transmission vectorielle dans la région est menacée par le développement de la résistance aux insecticides et par l'épuisement de l'arsenal d'insecticides dangereux et dangereux rentables. De nombreux facteurs peuvent influencer la contamination du sol. Le problème des effets nocifs des pesticides est celui des conséquences à long terme. Les eaux de surface ont une influence directe sur le degré de contamination des eaux souterraines par les pesticides. Ceux-ci sont contaminés par d'importantes infiltrations. Certains facteurs sont liés aux conditions climatiques, d'autres à la nature du sol et d'autres encore à la nature du pesticide utilisé.

Dans cette étude, nous proposons un modèle basé sur les techniques de l'intelligence artificielle incluant les principes de la logique floue dans l'analyse de telles données. En plus d'autres facteurs impliqués dans le processus et sont mal compris ou complètement inconnus. Nous sommes alors au point, ce qui justifie l'application d'un système flou dans l'analyse des données. Sur la base de données de terrain, nous avons établi un modèle prédictif reliant les paramètres d'entrée à leur effet sur la santé publique en tant que variable de sortie du système. Il s'agit ensuite de connecter les espaces entrées-sorties par le biais d'une base de données compilée à partir des données enregistrées. Cela permet d'agir en amont sur la qualité et la quantité des pesticides et produits chimiques utilisés en agriculture afin de préserver la santé publique des habitants de ces zones.

*Mots clés : eaux souterraines, pesticides, santé publique, logique*

## Réseaux de neurones artificiels appliqués aux risque liés à l'utilisation des pesticides

C. Benzidane <sup>1</sup>; S. Bouharati <sup>2</sup>; K. Bouharati <sup>3</sup>

1: Faculty of Natural Science and Life, UFAS Setif1 University, Algeria

2: Laboratory of Intelligent Systems, Faculty of Technology, UFAS Setif1 University, Algeria

3: Laboratory of Health and Environment, Faculty of Medicine, UFAS Setif1 University, Algeria

### Abstract:

Pesticides are substance or mixture of substance, which differ in their physical, chemical properties. Hence, they are classified by their properties into various classes. Consequently, to three modes: according to their targets, their mode or period of action. Pesticides have proven to be an effective means for farmers to increase yield and therefore cover the population's demand for food. However, the risk to human health and the environment. In the medium and long term, pesticides are responsible of many reproductive problems, sterility in men also in women such as ABRT and congenital anomalies. The toxic effects have been observed in reproduction disrupt the process of spermatogenesis which leads to degeneration and atrophy of the tubules (the absence of maturity of the tubes) and oligospermia which can even lead to azoospermia.

An epidemiological survey was carried out in the region with a strong use of the pesticide in order to make any correlation and predict well the occurrence of certain diseases. Since the effect of these parameters is characterized by uncertainty, because many other ignored factors can influence the results to different degrees, we found it useful to proceed these data by the artificial intelligence techniques including fuzzy logic inference system. Such as fuzzy systems are dynamic and the ability to read the experimental data of the real environment, therefore they are capable of solving complex systems of natural processes. If the proposed program predicts the effect of pesticides residues on public health, it is extensible and allows the introduction of other variables that are not considered in this study.

**Keywords:** *risk, pesticides, sterility in men, fuzzy logic*

## Méta-modélisation d'un modèle de prédiction des contaminations de ruissellements par les pesticides à l'exutoire d'une parcelle agricole

G. Métayer<sup>1</sup>, C. Dagès<sup>1</sup>, M. Voltz<sup>1</sup>, J.S. Bailly<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 34060 Montpellier, France

### Résumé :

La contamination des eaux de surface par les pesticides est avérée en France comme dans le reste de l'Union Européenne (European Environment Agency, 2024). En France, les molécules les plus souvent décelées et quantifiées à fortes concentrations sont principalement des herbicides et leurs métabolites (Leenhardt et al., 2022). L'export de pesticides des parcelles par ruissellement constitue une voie majeure d'apport aux masses d'eau aval ruissellement de constitue une voie majeure de transfert dans l'environnement. Il varie fortement selon les contextes pédo-climatiques, les propriétés chimiques des molécules, les doses et calendriers d'épandage, ou de pratiques d'entretien du sol susceptibles de modifier les propriétés de transfert des sols (ex. Labour). Il existe plusieurs modèles mécanistes prédisant cet export. Leur déploiement sur de longues chroniques climatiques et une large diversité de contextes agro-pédo-climatique, nécessaire pour évaluer le risque de transfert ou son évolution lors de changement de pratiques peut se heurter à des temps de calculs conséquent. En outre, leur déploiement est souvent limité par le manque de données pour renseigner les paramètres nécessaires à leur exécution.

La méta-modélisation est un levier à la fois pour réduire les temps de calcul de modèle mécaniste. Plusieurs approches sont possibles, dont la méta-modélisation à base statistique qui vise à ajuster une fonction mathématique d'approximation pour reproduire une ou plusieurs sorties d'intérêt du modèle initial (e.g. Kleijnen, 2009 ; Castelletti et al., 2012). Il s'agit donc d'une simplification du modèle initial sur la diversité des variables simulées et/ou sur son domaine d'application, mais qui conserve l'effet de l'ensemble des processus pertinents du modèle initial. La méthode repose sur un apprentissage, dont la base de données doit couvrir le domaine d'application visé. Elle peut nécessiter l'ajustement de très nombreux paramètres, mais le méta-modèle produit pourra ensuite être instancié avec un nombre restreint de paramètres spécifiques à la situation à représenter.

Il existe quelques rares exemples de méta-modélisation de modèles mécanistes de transferts hydrologiques de pesticides à l'échelle parcellaire. Ainsi, plusieurs méta-modélisations du modèle MACRO (Larsbo et al., 2005) visent à reproduire la concentration moyenne annuelle de pesticides dans les sols ou son 80<sup>ème</sup> percentile (Holman et al. (2004), Reichenberger et al. (2021), Stenemo et al. (2007)). Les variables de sortie de ces méta-modèles sont statiques. Plusieurs méthodes pour produire une méta-modélisation de variable dynamique ont été testées dans le domaine des sciences de l'environnement. En hydrologie, la méthode d'apprentissage profond Long Short Term Memory (LSTM, Hochreiter and Schmidhuber, 1997) a été très récemment reconnue comme particulièrement performante pour la simulation de la relation temporelle pluie-débit (Kratzert et al. (2018, 2019), Hu et al. (2018), Xiang et al. (2020)). Elle présente des temps d'exécution remarquablement courts (Arsenault et al., 2023). Les modèles LSTM tiennent compte des relations entre les séquences temporelles des variables d'entrée et de sortie à court et à long terme, ce qui les rend adaptés à la simulation de la dynamique de variables hydrologiques pour laquelle les séries temporelles de données sont fortement

auto-corrélées (Arsenault et al., 2023). En ce sens, un modèle LSTM devrait aussi permettre de simuler des séries temporelles de concentrations en pesticides dans les ruissellements de surface, qui dépendent de facteurs hydrologiques mais aussi des mécanismes de sorption et de dégradation des molécules dans le sol dont l'influence relative varie en fonction du temps écoulé depuis l'épandage (Métayer et al. 2023). Les modèles LSTM pluie-débit déjà développés s'appuient, en plus des séries temporelles de forçage, sur la/les variables produites au pas de temps précédents. Simuler sans itération une séquence temporelle en continu avec un modèle LSTM semble toutefois possible et pourrait représenter une solution plus efficace en temps de calcul (e.g. Xiang et al. (2020).

Dans ce contexte, cette présentation proposera une démarche de méta-modélisation par réseau LSTM d'un modèle mécaniste simulant en continu les variabilités temporelles des exports en pesticides par ruissellement Hortonien à l'exutoire d'une parcelle agricole. Plus spécifiquement, sera abordée la performance d'un réseau LSTM i) à reproduire de longues séries temporelles de ruissellements Hortoniens et de concentrations en pesticides associées simulées par une modélisation mécaniste à l'exutoire d'une parcelle agricole en contexte méditerranéen, et ii) à réduire le temps de calcul de la modélisation mécaniste initiale. La méta-modélisation est menée à l'échelle d'une parcelle et vise à simuler les débits horaires de ruissellement et les concentrations en herbicides à l'exutoire au cours d'une année en contexte viticole Méditerranéen. La base d'apprentissage et de validation a été créée à partir de simulations avec le modèle MHYDAS Pesticide 1.0 (Crevoisier et al., 2021), validée sur sa capacité à reproduire les exports de pesticides par ruissellement sur des chroniques pluri-annuelles (Métayer et al., 2023). Elle contient 560 560 simulations de chroniques annuelles d'export horaire de pesticides (ruissellement et concentrations) ; 70% ont été utilisées pour l'apprentissage et les 30% restant pour la validation.

*Mots-clés : métamodélisation, concentration, ruissellement, LSTM*

### **Références bibliographiques :**

- Crevoisier, D., Dagès, C., Fabre, J.C., Roman-Villafane, S. and Voltz, M., 2021. MHYDAS- Pesticides-1.0 : Modélisation Hydrologique Distribuée des AgroSystèmes - Eau et Pesticides. Rapport dans le cadre du projet collaboratif PollDiff Captage 2018-2021 (AAP Readynov FEDER-FSE-Occitanie), INRAE Montpellier, UMR LISAH.
- Métayer, G., Dagès, C., Crevoisier, D., Bailly, J.-S., Voltz, M., 2024. Performance of a pesticide fate model for predicting multi-year surface runoff contamination in a Mediterranean vineyard, Science of The Total Environment, Volume 906, 167357, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167357>.

**Thème : Evaluation, suivi et analyse des contaminations  
aux pesticides**

## Quantification des résidus de pesticides actuellement utilisés en cacaoculture en Côte d'Ivoire

ADAMA SORO <sup>(1,2)</sup>, Gaetana QUARANTA <sup>(1)</sup>, Maurice MILLET <sup>(2)</sup>,

(1) IPHC, Institut pluridisciplinaire Hubert Curien, 23 rue du Læss BP 28, 67037 Strasbourg CEDEX 2, [sorroadam@gmail.com](mailto:sorroadam@gmail.com), [soro.adama@iphc.cnrs.fr](mailto:soro.adama@iphc.cnrs.fr), [quaranta@unistra.fr](mailto:quaranta@unistra.fr)

(2) ICPEES, Institut de Chimie et Procédés pour l'Énergie, l'Environnement, la Santé, UMR 7515, Université de Strasbourg, [mmillet@unistra.fr](mailto:mmillet@unistra.fr)

### Résumé :

Située en Afrique de l'Ouest, la Côte d'Ivoire est le principal producteur mondial de cacao avec plus de 40% des volumes sur le marché. Son économie a une forte addiction à son « or brun ». Cette dépendance est telle que les autorités et les producteurs ne pouvaient être indifférents face au fléau des innombrables bio-agresseurs des cacaoyers favorisés par le milieu naturel sub-équatorial et tropical humide propice au développement des ennemis du cacaoyer (maladies, ravageurs, adventices). La principale stratégie de riposte choisie est la lutte chimique choisie dans le cadre du programme 2QC (Qualité, Quantité, Croissance) du Conseil Café-Cacao (CCC), et à l'initiative des producteurs à l'aide de produits phytopharmaceutiques. Mais cette approche n'est pas sans conséquences pour les milieux terrestres et aquatiques. Cependant face à l'absence de données scientifiques post-programme 2QC sur les concentrations des résidus dans ces milieux, l'objectif de ce travail est de quantifier leurs concentrations dans les eaux (courantes et phréatiques), dans les sols et le cacao sur dix sites de l'ensemble du bassin de production afin de comprendre ultérieurement leur transfert entre les différentes matrices.

Pour se faire, la démarche méthodologique a consisté d'abord à procéder à un échantillonnage des différentes matrices. Les composés ciblés sont 20 molécules issues de la liste officielle des pesticides homologués pour la culture du cacao en Côte d'Ivoire. Les techniques analytiques ont été adaptées suivant un protocole développé en interne dans le laboratoire<sup>12</sup>. Les résultats préliminaires concernant une campagne de mesure mettent en évidence que les fongicides sont les pesticides les plus détectés dans les 3 matrices. La pyraclostrobine est le principal fongicide. Cette omniprésence des fongicides s'explique par la forte prévalence de la pourriture brune des cabosses, avec des pertes de 30 % voire 45% de production et constitue la principale maladie qui préoccupe les producteurs. Les sites présentant respectivement le plus et le moins de résidus sont San Pedro et Daloa, avec une variabilité relative entre les 10 sites en concentrations de résidus. L'analyse de la conformité des eaux montre que les concentrations individuelles par résidu sont inférieures à la valeur de référence pour les eaux de surface brutes (2 µg/L/substance) de même que la concentration en résidus totaux (5 µg/L/site)<sup>13</sup>. Cependant dans les eaux souterraines, un dépassement du seuil (0,1 µg/L) est noté sur les sites de Divo et Soubré pour ce fongicide. Quant aux sols, il ressort que l'ensemble des 10 sites ont des résidus, avec les fongicides comme principaux résidus suivis des insecticides. En dernier lieu, sur le cacao, tous les

---

<sup>12</sup> F. Baroudi, J. Al-Alam, S. Chimjarn, O. Delhomme, Z. Fajloun, M. Millet. Conifers as environmental biomonitors: A multi-residue method for the concomitant quantification of pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls by LC-MS/MS and GC-MS/MS. *Microchemical Journal* 154 (December 2020) 104593

<sup>13</sup> Directive 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

échantillons contiennent des résidus de pesticides (12 trouvés sur 20 recherchés), avec un dépassement de LMR (0,1mg/kg)<sup>14</sup> à Alépé et Soubré. Toutefois l'évaluation du risque par ingestion alimentaire des résidus dans les fèves de cacao, ne montre pas une exposition à un risque de contamination au regard des valeurs EDI (Estimated Daily Intake) obtenues.

**Mots-clés :** *Cacaoculture, méthodes chimiques, résidus de pesticides, phytosanitaire*

---

<sup>14</sup> European Commission, Pesticide residue(s) and maximum residue levels (mg/kg), MRLs.  
[https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/maximum-residue-levels\\_en](https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/maximum-residue-levels_en)

## Développement et validation d'une méthode de dosage de pesticides multi-classes dans les cheveux par chromatographie liquide-spectrométrie de masse

Brillard Eloïse <sup>(1)</sup>, Larrue Camille <sup>(1)</sup>, Antoine Dupuis <sup>(1)</sup>, Sandrine Lefeuvre <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Université de Poitiers, CHU Poitiers, CNRS 7267 EBI, INSERM CIC 1402, F-86000, Poitiers, France; Pôle Biologie - Pharmacie, Santé Publique, CHU de Poitiers, 2 Rue de la Milétrie, 86021, Poitiers Cedex, France. [sandrine.lefeuvre@chu-poitiers.fr](mailto:sandrine.lefeuvre@chu-poitiers.fr).

### Résumé :

Il a été prouvé que les pesticides ont des effets néfastes sur la santé, allant de la toxicité cutanée à la neurotoxicité, perturbateurs endocriniens, cancers, etc... d'où l'intérêt de développer une approche appropriée pour la biosurveillance dans les matrices humaines. Les cheveux, échantillon non invasif, permettent la détection d'analytes dans une fenêtre temporelle plus large que d'autres matrices biologiques (sang, urine) et conviennent parfaitement à la mesure de l'exposition.

L'objectif de ce travail était de développer et valider une méthode analytique pour la quantification de 169 pesticides et métabolites appartenant à différentes familles chimiques (néonicotinoïdes, azolés, organophosphorés, ...) par chromatographie liquide - spectrométrie de masse. Afin de couvrir l'ensemble de ces pesticides, un mix de 700 pesticides est utilisé.

Plusieurs procédures de lavage ont été évaluées pour leur capacités à éliminer les pesticides (différentes classes chimiques) déposés artificiellement à la surface des cheveux : cinq procédures organiques : acétone, dichlorométhane, acétate d'éthyle, méthanol, acétonitrile ; et trois aqueuses : eau, eau acidifiée, solution de dodécylsulfate de sodium (SDS). Après décontamination, les cheveux sont séchés une nuit à température ambiante et coupés en segments de 1 à 3 mm. Le processus d'extraction a été réalisé avec la méthode QuEChERS dans le méthanol. Après évaporation du surnageant sous un flux d'azote, l'échantillon séché est repris avec 100 µL de phase mobile. La séparation analytique est effectuée en 15 minutes avec un gradient de phase mobile (Phase A : eau tamponnée acidifiée ; Phase B : méthanol tamponné acidifié) sur une colonne C18 Luna Omega Polar (100 mm x 2,1 mm ; 1,6 µm ; Phenomenex<sup>®</sup>). Les échantillons ont été analysés sur une UPLC-MS/MS (Qtrap6500 ; Sciex<sup>®</sup>) avec une interface d'ionisation par électrospray (positive et négative). Cette méthode a ensuite été validée conformément aux recommandations de l'Agence Européenne des Médicaments (EMA). Quatre niveaux de contrôle (CQ) répartis sur la gamme d'étalonnage ont été préparés en ajoutant aux cheveux une solution mère de pesticides. Les paramètres évalués étaient : la limite de détection (LDD), la limite de quantification (LDQ), la précision/justesse intra- et inter- jours (n=6), le carry-over et les effets de la matrices (EM) avec une approche quantitative (n=6).

La procédure de lavage optimisée permettant l'élimination de l'ensemble des pesticides déposés artificiellement est la suivante : un bain d'eau 10 minutes sous agitation suivi d'un bain dans une solution de SDS sous agitation et un bain d'eau aux ultrasons. Au total, il est possible de détecter 426 pesticides sur les 700 et pour le moment 40 composés ont été quantifiés avec une régression linéaire entre 2 et 100 pg/mg de cheveux ( $r^2 > 0,997$ ). La précision et la justesse globales n'ont pas dépassé 20% pour la LDQ et 15% pour les autres niveaux de contrôles (CQ). Les effets matrices présentaient des CV entre 11% et

34%. L'effet le plus fréquemment mesuré est un effet d'enrichissement. Après la mise en place d'un rinçage de l'aiguille avant et après injection d'un échantillon, les essais n'ont pas mis en évidence de contamination.

Une première mise en application de ce dosage a été réalisée. Pour cela, les cheveux de 11 volontaires ont été analysés selon cette méthode révélant la présence de 22 pesticides différents, avec chaque individu contaminé par 4 à 12 pesticides. Le DDT et le 4-nitrophénol étaient omniprésents, avec des concentrations variant de 24,39 à 216,52 pg/mg de cheveux pour le DDT et de 0,10 à 44,46 pg/mg de cheveux pour le 4-nitrophénol. Des substances interdites en France, comme le DDT et la clothianidine, ont été détectées malgré une interdiction depuis plusieurs années.

La méthode QuEChERS permet l'extraction d'une large gamme de pesticides et de métabolites de différentes classes chimiques dans les cheveux avec une sensibilité, une précision et une inexactitude optimales. Le panel actuel est en train d'être étendu et validé pour d'autres composés puisque la préparation d'échantillon et le système analytique ont été adaptés pour la quantification de différentes familles de pesticides. Des recherches plus approfondies doivent être réalisées afin de prendre en compte diverses variables (âge, sexe, texture et couleur du cheveu, mode de vie, etc...) quant à l'évaluation de l'exposition chez les individus.

**Mots-clés :** *Biomonitoring, Pesticides, Cheveux, UPLC-MS/MS, EMA*

## Rendre interopérables de manière partagée les données de référence sur les pesticides

### C3PO : Base de Connaissances sur les Produits PhytoPharmaceutiques à partir de sources de données Ouvertes

Camus Antoine <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Office français de la biodiversité (OFB), 5 square Félix Nadar, 94300 Vincennes – [antoine.camus@ofb.gouv.fr](mailto:antoine.camus@ofb.gouv.fr)

#### Résumé :

De nombreuses substances entrant dans la composition des produits phytopharmaceutiques (PPP) ont un impact démontré sur la santé et l'environnement. Les études s'intéressant à ces impacts peuvent mobiliser plusieurs sources de données de référence gérées par différentes structures et ne reposant pas systématiquement sur des référentiels communs. Différents acteurs travaillant sur le croisement et le rapprochement des données relatives aux PPP ont pu relever la difficulté d'exploiter et de rapprocher ces différentes sources.

Afin de répondre à ce besoin et de faciliter la diffusion des informations publiques relatives aux produits phytopharmaceutiques et aux substances constituant ces derniers, la **base de Connaissances sur les Produits PhytoPharmaceutiques à partir de sources de données Ouvertes (C3PO)** a été développée par l'Office Français de la Biodiversité (OFB), porteur de ce projet initié dans le cadre du [challenge Green Data for Health 2023](#), avec l'aide de bénévoles et pour lequel C3PO a reçu le 3<sup>ème</sup> prix du jury (sur 15 projets participants). L'OFB a ensuite poursuivi le projet afin d'aboutir à une première version (V1) de la base de données, avec les fichiers CSV des tables de cette base de données diffusés via [data.gouv.fr](https://data.gouv.fr) et le code source sur [Gitlab](#), ainsi que la publication d'un *datapaper* dans [HAL](#).

Les informations contenues dans C3PO proviennent de diverses sources de données ouvertes de référence sur les pesticides. La source de données « pivot » de C3PO est la [Banque nationale de ventes par les distributeurs agréés \(BNV-D\)](#). Cette dernière répertorie depuis 2008 les données d'achats et de ventes des produits phytopharmaceutiques sur le territoire français. Des informations issues des dernières versions en vigueur des sources de données suivantes sont ensuite ajoutées à cette liste des substances et produits de la BNV-D :

- [Référentiels Sandre](#) - OFB : le référentiel "Paramètres" est utilisé pour récupérer le code paramètre associé à la substance, le référentiel "Groupes de paramètres" est ensuite mobilisé pour récupérer les informations relatives à la famille chimique et aux fonctions (herbicides, insecticides, fongicides, etc.) associées au code paramètre.
- [Agritox](#) - Anses : données essentielles (identité, propriétés physico-chimiques, toxicité aiguë, valeurs toxicologiques de référence, écotoxicité, classement) des substances actives approuvées au titre du Règlement (CE) N°1107/2009.
- [Tableau d'entrées harmonisées disponible à l'annexe VI du CLP - Adaptation to Technical Progress \(ATP\)](#) - ECHA : contenant toutes les mises à jour de la classification et de l'étiquetage harmonisés (CLH) des substances dangereuses au titre du règlement CLP (CE) N°1272/2008.
- [EU Pesticides Database \(EU PDB\)](#) - Commission Européenne : contenant des informations sur les substances actives (y compris les substances à faible risque ou candidats à substitution) et les substances de base, approuvées ou non dans l'Union Européenne.

- [E-phy](#) - Anses : donnant accès à l'ensemble des données des produits (produits phytopharmaceutiques, matières fertilisantes et supports de culture, adjuvants, produits mixtes et mélanges) couverts par une autorisation de mise sur le marché (AMM) ou un permis de commerce parallèle (PCP).
- [Registre Parcellaire Graphique](#) - [Table référentielle des cultures et des groupes de cultures - IGN](#) : table propre à la diffusion du RPG, la notion de groupe de culture dans cette table ne correspond pas à la notion de groupe de cultures du règlement PAC ni à celle des référentiels ISIS.

Les informations issues de ces sources de données sont intégrées dans la base de données C3PO soit de manière "brute" (sans retraitement de leur contenu avant intégration en base) soit après traitements (informations brutes extraites des sources de données puis traitées en vue de l'intégration en base), avec une mise à jour automatisée et des règles de jointure entre les sources de données qui peuvent désormais être partagées entre tous les acteurs travaillant sur des thématiques liées aux pressions exercées par les substances et produits phytopharmaceutiques (notamment institutions publiques et gouvernementales, organismes de recherche, bureaux d'étude ou encore associations).

En 2024 il est prévu de poursuivre le projet avec les développements d'une API pour diffuser ces données et d'une interface de recherche qui permettra aux utilisateurs d'accéder directement aux informations contenues dans C3PO. A plus long terme, l'OFB prévoit d'intégrer d'autres sources de données dans C3PO.

***Mots-clés** : base de données ; pesticides ; toxicité ; usages ; réglementation*

## **Accumulation, distribution et phytoextraction potentielle de la dieldrine par plusieurs espèces végétales et variétés de courgettes**

Cohen Grégory <sup>(1)</sup>, Affholder Marie-Cécile <sup>(1,2)</sup>, Mench Michel <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux-INP, EPOC-PROMESS UMR 5805, 1 allée F. Daguin, 33607, Pessac, France – gregory.cohen@ipb.fr

<sup>(2)</sup> Univ. Bordeaux, INRAE, BIOGECO, Allée Geoffroy St-Hilaire – bât. B2, CS 50023, 33615 PESSAC cedex, France – michel.mench@inrae.fr

### Résumé :

La dieldrine est un pesticide organochloré (POC) largement utilisé pour la protection des cultures entre les années 50 et 1972 et qui est encore présent dans des sols agricoles de nos jours. Elle peut être absorbée par des végétaux, en particulier les Cucurbitacées, selon les espèces et cultivars. Il est crucial d'identifier des solutions pour diminuer sa biodisponibilité dans les sols et récolter des produits végétaux conformes à la réglementation. Les phytotechnologies se pourraient être une solution (i) à court terme afin de maintenir une production de végétaux comestibles respectant les Limites Maximales en Résidus (LMR) et (ii) à long terme pour diminuer la fraction labile de la dieldrine dans les sols.

Cette étude a déterminé les capacités d'accumulation en dieldrine et son allocation pour 17 espèces de non-Cucurbitacées et 10 variétés de courgettes. Pour ces 27 espèces/variétés, 4 réplicats ont été cultivés à maturité dans des pots de 25 L remplis du sol d'une parcelle maraîchère historiquement contaminé, au préalable tamisé (1 cm) et homogénéisé. Les pots ont été enterrés au 2/3 de leur hauteur sur la parcelle pour limiter l'augmentation de leur température et les éventuelles racines sortantes coupées régulièrement. La récolte des plantes s'est faite 3 à 3,5 mois après leur mise en place et les fruits de courgettes ont été prélevés à taille commercialisable (15-20 cm de longueur) sur la période de culture. Après récolte, les tiges, racines, feuilles et fleurs (ou graines) ont été séparées, lavées à l'eau du réseau puis séchées à 30°C avant broyage, extraction au n-heptane et analyse de POC par GC-MS. Le même protocole a été suivi pour les fruits, sauf le séchage, permettant une analyse sur matière fraîche.

En dehors des Cucurbitacées, le vétiver est la seule espèce à accumuler des quantités significatives de dieldrine, mais surtout dans ses racines. Les 10 variétés de courgettes absorbent de fortes quantités de dieldrine et les transfère vers les parties aériennes, montrant un pouvoir de phytoextraction élevé. Il existe une variabilité intraspécifique de teneur en dieldrine, principalement pour les organes reproducteurs des courgettes, dont on peut tirer parti pour produire des fruits de courgettes respectant les LMR tout en exportant les parties végétatives contenant la dieldrine. La capacité de phytoextraction des fruits et parties aériennes était élevée pour toutes les variétés : entre 147 et 275 µg de dieldrine par plant ont été extraits, soit 4-8 % de la dieldrine extractible des sols au n-heptane. Ainsi, tant la production de fruits respectant les normes de sureté alimentaire que la phytoextraction progressive de la fraction phytodisponible de la dieldrine des sols (via l'export des parties végétatives) seraient assurées en sélectionnant des variétés de courgette présentant une faible contamination dans les fruits.

**Mots-clés :** pesticides organochlorés, sol contaminé, phytomanagement, remédiation

## **GC-HRMS, dans une approche de criblage suspect multiplexée, pour une investigation étendue de l'espace chimique pour caractériser l'exposition interne humaine aux pesticides**

Tarek Moufawad<sup>(1)</sup>, Ingrid Guiffard<sup>(1)</sup>, Elodie Mirmont<sup>(2)</sup>, Fatima-Zahra Alem<sup>(3)</sup>, Arthur David<sup>(3)</sup>, Emilien Jamin<sup>(2)</sup>, Laurent Debrauwer<sup>(2)</sup>, Jean-Philippe Antignac<sup>(1)</sup>, Emmanuelle Bichon<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>LABERCA, ONIRIS/INRAE, UMR 1329, Route de Gachet, La Chantrerie, CS 50707, 44307 Nantes

<sup>(2)</sup>TOXALIM, INRAE, INRAE UMR 1331, 180 chemin de Tournefeuille, BP 93173, 31027 Toulouse Cedex 3

<sup>(3)</sup>Univ Rennes, Inserm, EHESP, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail), UMR\_S 1085, Rennes, France

### Résumé :

L'évaluation globale de l'exposition humaine aux pesticides est un élément clé pour relier l'exposition complexe de la vie réelle et l'impact sur la santé. Lorsque l'on aborde le concept d'exposome humain, il est essentiel d'avoir une approche multi-angulaire pour obtenir la vue la plus large possible de l'exposition ubiquitaire, surtout pour une large classe de substances comme les pesticides.

Nous proposons une approche de dépistage à grande échelle pour la caractérisation de l'exposition interne humaine aux pesticides, basée sur le profilage par spectrométrie de masse haute résolution, dans le cadre du projet SCREENPEST (financement Ecophyto II, subvention OFB 20.0743) visant à développer un flux de travail analytique global harmonisé comprenant la préparation des échantillons, la mesure instrumentale et le traitement des données, en utilisant des approches complémentaires (C18-LC-HRMS, HILIC-LC-HRMS et GC-HRMS). Ce travail présente le développement du GC-Orbitrap Q-Exacte (Thermo, Fischer Scientific).

Nous avons établi une "liste de suspects" de 200 marqueurs de pesticides (composés parents et métabolites) couvrant une large diversité structurale (LogKow [-4.71;8.38] et MM/g.mol-1 [72;720]). Les pesticides sélectionnés ont été utilisés comme marqueurs QAQC dans des échantillons d'urine humaine poolés en contrôle positif pour guider notre développement méthodologique et évaluer les performances des méthodes. Nous avons développé un flux de travail analytique harmonisé basé sur le GC-HRMS pour le dépistage simultané d'une large gamme de marqueurs liés aux pesticides avec des propriétés physico-chimiques diverses.

Cette approche méthodologique innovante fournira des informations complémentaires sur l'exposition aux pesticides des populations. Elle a été appliquée à des échantillons d'urine des études mère-enfant PELAGIE et NutriNet-Santé pour générer des données sur un large panel de marqueurs d'exposition (>1000) ainsi que des stratégies analytiques complémentaires (LC-HRMS en modes HILIC et RP) et pour tester leurs associations avec des critères de santé pertinents. Les résultats fournissent un soutien plus pertinent pour l'évaluation de l'exposition et la position d'alerte précoce, en particulier sur les substances émergentes.

**Mots-clés:** Exposition chimique interne, Exposome, GC-HRMS, Évaluation des risques

## Développement et Validation d'une technique de dosage de pesticides multi-classes dans des plumes de Circaète Jean-le-Blanc (*Circaetus gallicus*) par LC-MS/MS

Maus Guillaume <sup>(1)</sup>, Brillard Eloise <sup>(1)</sup>, Larrue Camille <sup>(1)</sup>, Pradel Chloé <sup>(1)</sup>, Bergès Thierry <sup>(2)</sup>, Lefeuvre Sandrine <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Université de Poitiers, CHU Poitiers, CNRS 7267 EBI, INSERM CIC 1402, F-86000, Poitiers, France; Pôle Biologie - Pharmacie, Santé Publique, CHU de Poitiers, 2 Rue de la Milétrie, 86021, Poitiers Cedex, France. [sandrine.lefeuvre@chu-poitiers.fr](mailto:sandrine.lefeuvre@chu-poitiers.fr).

<sup>(2)</sup> Université de Poitiers, CNRS 7267 EBI, équipe Ecologie, Evolution, Symbiose, Bât. B31, 3 Rue Jacques Fort, TSA 51106, 86073 Poitiers Cedex 9, France. [thierry.berges@univ-poitiers.fr](mailto:thierry.berges@univ-poitiers.fr)

Résumé :

**Contexte :** Pour évaluer l'impact des pesticides sur un écosystème, les plumes d'oiseaux collectées sur le terrain peuvent être utilisées comme matériel biologique non invasif de biomonitoring (1). Les rapaces, en tant que prédateurs au sommet de la chaîne alimentaire, sont particulièrement exposés aux effets de bioaccumulation de polluants environnementaux présents dans leurs proies, ce qui en fait des espèces sentinelles de leur environnement. Le Circaète Jean-le-Blanc (*Circaetus gallicus*), rapace consommateur de reptiles et plus particulièrement de serpents, est une espèce longévive et migratrice. Ce rapace est un bon candidat pour les programmes de surveillance environnementale. Les couples sont fidèles à la fois à leur partenaire et à leur site de nidification, de sorte qu'on peut les suivre d'une année à l'autre. Ces oiseaux renouvellent leurs plumes annuellement et la mue s'effectue en grande partie pendant la période de nidification (mars-octobre). Les plumes de mue, collectées sous les nids, représentent un matériel biologique d'intérêt pour effectuer un biomonitoring toxicologique, en combinant celui-ci avec une approche génétique permettant de suivre annuellement les partenaires des couples nicheurs. L'objectif de cette étude est donc d'assurer un suivi individuel et longitudinal d'une population de circaètes (les couples nichant dans la Vienne notamment) en utilisant des échantillons biologiques collectés de manière non invasive (les plumes de mue). Après validation d'une méthode de dosage de différentes familles chimiques de pesticides (organochlorés, organophosphorés, carbamate, dithiocarbamate) par chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse en tandem (UHPLC-SM/SM), le degré d'exposition de ces rapaces aux polluants environnementaux permettra d'évaluer l'état de leur réseau trophique et donc de leur écosystème.

**Matériels et Méthodes :** Après un lavage des plumes au dodécylsulfate de sodium (SDS) permettant d'éliminer une potentielle contamination externe, la plume est séchée puis découpée en segments de 1 à 3 mm. La méthode de dosage utilise une extraction par QuEChERS avec du méthanol. L'analyse est réalisée par chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse (UHPLC-SM/SM), (Qtrap 6500 ; Sciex) en mode Multiple Reaction Monitoring (MRM) avec une interface d'ionisation par électrospray (positif et négatif). La méthode a été validée en accord avec les recommandations de l'Agence Européenne du Médicament (EMA) (2). Des échantillons de plumes ont été collectés au pied de 18 nids de Circaètes Jean-le-Blanc dans la Vienne au cours de la saison de reproduction 2022, en partenariat avec la Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) qui suit ces couples nicheurs d'année en année.

**Résultats :** A ce jour, 49 molécules ont été entièrement validées selon les critères de l'EMA. La méthode a été validée pour les critères suivants : limite de détection, limite de quantification, linéarité de la méthode, précision et justesse intra et inter-jours (coefficient de variation (CV) et biais inférieurs à 20% à la limite de quantification et 15% pour les autres niveaux), ainsi que pour la contamination et l'effet de matrice. A l'issue de la phase de sexage moléculaire et de génotypage, pour chaque nid, deux plumes ont été sélectionnées, une pour chaque sexe. Au total 35 plumes de circaète ont été analysées et ces analyses ont révélé la présence de quinze pesticides distincts. Le pesticide le plus fréquemment retrouvé est le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane), avec une concentration moyenne de 25,77 pg/mg de plume. Les autres pesticides les plus couramment détectés sont l'Aclonifen (herbicide), le Clothianidine (insecticide néonicotinoïde) et le Spiroxamine (fongicide). Les résultats ont révélé que les circaètes échantillonnées sont souvent contaminées par des cocktails de pesticides, entre 0 et 6 pesticides par individu.

**Conclusion :** Les résultats obtenus ont montré qu'il est possible de procéder à un monitoring individualisé du statut de contamination de ces rapaces ophiophages. Ce biomonitoring réalisé en combinant une approche génétique et une approche écotoxicologique, est basé sur un échantillonnage non invasif car effectué sur des plumes de mue. Ce travail va être poursuivi avec pour objectif de suivre l'évolution de ces niveaux de contamination par des pesticides en procédant à une étude longitudinale, menée pendant plusieurs années consécutives. Dans cette optique, le panel de molécules à valider sera élargi de 49 à 160 et des échantillons collectés pendant la saison de reproduction 2023 seront analysés.

*Mots-clés : plumes, pesticides, spectrométrie de masse, bioaccumulation, génotypage*

**Référence bibliographique :**

(1) Xiana González-Gómez et al. Non-invasive biomonitoring of organic pollutants using feather samples in feral pigeons (*Columba livia domestica*), Environmental Pollution, Volume 267, 2020. (2) European Medicines Agency. ICH guideline M10 on bioanalytical method validation and study sample analysis. 2022 p. 45.

## Compréhension de la dispersion hydrologique des pesticides anciens et actuels dans les bassins versants Antillais : Apport des chroniques de l'observatoire OPALE

A. Samouelian<sup>1</sup>, M. Voltz<sup>1</sup>, P. Andrieux<sup>1,2</sup>, L. Ponchant<sup>2</sup>, O. Grünberger<sup>1</sup>, T. Bajazet<sup>2</sup>, I. Comte<sup>3</sup>, JB. Nanette<sup>2</sup>, G. Onapin<sup>2</sup>, F. Bussière<sup>2</sup>, A. Richard<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 34060 Montpellier, France

<sup>(2)</sup> INRAE, UR Agroécosystème Tropicaux, F-97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, France

<sup>(3)</sup> CIRAD, Unité Propre de Recherche GECO, Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, F-97130 France

Résumé :

En contexte tropical, les conditions environnementales favorisent la prolifération d'insectes, d'adventices et de pathogènes et conduisent à un usage important de produits phytosanitaires pour lutter contre la pression parasitaire dans les systèmes de productions agricoles intensifs. Ainsi, en milieu Antillais, on observe des problèmes récurrents de pollutions des eaux liés à des pesticides actuels ou anciens, dont la chlordecone appliquée en bananeraies entre 1972 et 1993. Le diagnostic des voies de contaminations des eaux à partir des zones d'épandage est essentiel pour identifier des mesures d'atténuation des pollutions observées. Or, dans les DOM françaises, peu ou pas d'observations long terme étaient disponibles jusqu'à présent pour analyser les dynamiques de contamination des eaux. L'observatoire OPALE, mis en place en 2016 par INRAE, BRGM, CIRAD et IRD pallie à présent ce manque. En Guadeloupe cet observatoire repose sur deux rivières, le bassin versant de la rivière Pèrou, et celui de la rivière des Pères. Ainsi, à partir des 4 premières années de chroniques, nous présentons les principales caractéristiques des dynamiques de contaminations observées en lien avec les usages des pesticides et proposons une interprétation des voies de transfert majeurs selon les molécules.

La chlordecone, fortement persistante dans les sols, est toujours la principale source de dégradation de la qualité des eaux bien que n'étant plus épandue depuis 1993. Son transfert s'effectue majoritairement par percolation vers les nappes souterraines qui alimentent ensuite le débit de base des rivières. Il s'agit d'une contamination chronique des eaux de rivière. Des fluctuations importantes de concentrations à court terme ont également pu être observées. Elles peuvent-être attribuées en partie à l'arrivée dans la rivière par ruissellement de chlordecone liée aux particules de sol érodées lors d'évènements de pluies intenses. Les options d'atténuation pour ces composés anciens semblent limitées. Il serait possible d'atténuer les pics de concentration en réduisant par une gestion des sols adaptée l'érosion des parcelles contaminées amont, cela ne réduirait toutefois que marginalement les charges cumulées de chlordecone transportées par les rivières.

Parmi les pesticides actuellement utilisés, ce sont les herbicides appliqués en cultures de bananes et de canne à sucre ainsi que les fongicides appliqués en traitement post-récolte des bananes qui montrent des niveaux de contamination des eaux significatifs. L'étude a montré que les molécules actuelles les plus contaminantes pouvaient être identifiées en fonction de leurs propriétés de dégradation et d'adsorption sur les sols. Contrairement à la chlordecone, les voies majeures de contamination des eaux par les molécules actuelles sont superficielles via le ruissellement et le drainage des sols par le réseau hydrographique. Cela suggère que la mise en œuvre de zones tampons végétalisées à l'exutoire de parcelles ou dans les fossés agricoles permettrait une atténuation de la contamination de rivières par ces molécules. Enfin, les observations montrent également qu'un arrêt d'usage de ces pesticides conduit en quelques mois à une diminution très significative de leur présence dans les eaux de surface.

**Mots-clés :** observatoire OAPLE, pesticides, chlordecone, contamination, hydrologie, milieu volcanique tropicale

## **Etude des interactions entre le chlorpyrifos et trois enzymes impliqués dans le stress oxydatif par Docking moléculaire**

Sebti Lemya <sup>(1)</sup>, Chaouchi Mohamed <sup>(1)</sup>

(1) Laboratoire de Biotechnologie, Environnement et Santé, département des sciences de l'environnement et des sciences agronomiques, Faculté SNV, université de Jijel.

### Résumé :

Pour améliorer la compréhension des mécanismes physicochimiques qui régissent les interactions et les réactions au sein des systèmes biologiques, il est essentiel de développer des méthodes et des outils expérimentaux performants. Cependant, ces méthodes sont souvent coûteuses à mettre en place et nécessitent un investissement important en termes de temps. La modélisation moléculaire se présente comme une alternative prometteuse pour prédire les interactions moléculaires et obtenir des informations sur les modes d'interaction entre les ligands et les récepteurs.

Dans notre étude, nous nous concentrons sur les interactions entre un pesticide ; le chlorpyrifos et trois enzymes importantes : la glutathion S-transférase, la superoxyde dismutase et la catalase. Pour modéliser ces interactions, nous avons utilisé la technique du docking moléculaire avec le logiciel AutoDock Vina. La performance du programme Autodock Vina a été évaluée à l'aide de la méthode du re-docking. Cette analyse comparative revêt une importance capitale pour améliorer la précision des méthodes de docking. Le docking moléculaire nous a permis de prédire comment le pesticide a interagit avec chaque enzyme, en identifiant les sites d'interaction préférentiels et les orientations moléculaires favorables. La formation de complexes stables dépend de la fixation des ligands dans le site actif de l'enzyme étudiée. L'étude de la conformation géométrique du pesticide dans les sites actifs des enzymes GST, SOD et CAT, a montré que les ligands ont été bien positionnés dans les cavités des trois sites actifs. L'implication de plusieurs résidus du site actif dans les interactions survenues ont contribué à la stabilisation des complexes formés et ont permis une meilleure fixation des pesticides au niveau des sites actifs.

Nos résultats fournissent des informations précieuses sur les mécanismes moléculaires sous-jacents aux interactions entre ce pesticide spécifique et les enzymes cibles. Ces données contribuent à une meilleure compréhension de l'impact potentiel du pesticide sur les processus enzymatiques, ce qui est crucial pour la recherche en toxicologie et le développement de stratégies de gestion des pesticides.

**Mots-clés :** *Chlorpyrifos ; Docking moléculaire ; stress oxydant ; In silico.*

**Thème : Évaluation des impacts des pesticides sur la santé humaine et les écosystèmes**

## Mesure urinaire de l'exposition des travailleurs viticoles au folpel et évaluation des risques en rentrée

Rigaud Emma <sup>(1)</sup>, Feghali Maria <sup>(1)</sup>, Hegg Lucie <sup>(2)</sup>, Berthet Aurélie <sup>(2)</sup>, Bernadac Gérard <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Caisse centrale de la mutualité sociale agricole, 19 rue de Paris 93013 Bobigny Cedex France – bernadac.gerard@ccmsa.msa.fr

<sup>(2)</sup> Centre universitaire de médecine générale et santé publique, Route de la Corniche 2 1066 Epalinges Suisse – aurelie.berthet@unisante.ch

### Résumé :

Peu de recherches ont été menées sur la contamination interne des travailleurs agricoles intervenant sur des cultures traitées par des pesticides. La responsabilité d'évaluer le risque résiduel en rentrée relève de l'employeur. Cependant, ses moyens d'action dans ce domaine sont limités. Les autorisations de vente des produits phytosanitaires recommandent généralement l'utilisation d'équipements de protection individuelle en rentrée, mais sans préciser de délai après application du traitement et sans distinction des tâches.

En 2022-2023, une étude de biométrie a été menée pour évaluer l'exposition d'opérateurs viticoles au folpel (fongicide contre le mildiou) lors de tâches de traitement et de rentrée sur des parcelles traitées. L'indicateur biologique d'exposition mesuré était le phtalimide (PI) urinaire, le principal métabolite du folpel. Les travailleurs ont été encouragés à suivre un protocole facile à mettre en œuvre et ont rempli un questionnaire sur le travail réalisé. Chaque opérateur a collecté un prélèvement urinaire de 20 mL avant le début de poste et un autre le lendemain matin de la journée de travail afin de mesurer le pic d'excrétion. Les prélèvements ont été conservés à <-20°C puis analysés par une chromatographie haute performance couplée à un spectromètre de masse en tandem avec une ionisation chimique à pression atmosphérique. La limite de détection du PI était de 0,3 µg/L et la limite de quantification de 1 µg/L. Les concentrations d'exposition au folpel ont été prédites à partir d'un modèle toxicocinétique développé sur des données *in vivo* chez l'humain. Les concentrations en PI urinaire ont permis de reconstituer la dose d'exposition au folpel pour être comparée à la valeur limite de dose interne acceptable pour l'opérateur pendant 8 h (AOEL). Puis la dose d'exposition journalière au folpel estimée a été extrapolée pour une semaine d'exposition continue à cette même dose.

Sur 25 séquences de travail analysées (palissage : 7 ; vendanges : 16 ; application : 2), le PI a été détecté dans 2 échantillons sur 25 avant exposition et dans 10 échantillons sur 25 après exposition. La concentration la plus élevée de PI a été mesurée après une journée de palissage (2,3 µg/L), après application (2,0 µg/L) et après une journée de vendanges (1,2 µg/L). Aucune des valeurs prédites par le modèle ne dépasse l'AOEL du folpel et le pourcentage maximum de l'AOEL estimé est de 2,8% pendant le palissage. L'extrapolation de ces valeurs sur une semaine théorique d'exposition révèle une exposition inférieure à l'AOEL.

Ces résultats suggèrent que la contamination interne au folpel est minimale chez les travailleurs effectuant des tâches d'exposition indirecte après le délai de rentrée.

**Mots-clés :** Rentrée, viticulture, biométrie, folpel, AOEL

## **TOXIBEES : un logiciel libre pour réduire les impacts des pesticides sur les abeilles**

Bonmatin Jean-Marc <sup>(1)</sup>, Belzunces Luc <sup>(2)</sup>, Vidau Cyril <sup>(3)</sup>, Nguyen Elodie <sup>(4)</sup> & Bajolet Amélie <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> CNRS, Centre de Biophysique moléculaire, 45071 Orléans cedex 02 - [bonmatin@cnrs-orleans.fr](mailto:bonmatin@cnrs-orleans.fr)

<sup>(2)</sup> INRAE, Laboratoire de Toxicologie Environnementale, Unité de Recherches Abeilles & Environnement, 84914 Avignon cedex 9 France - [luc.belzunces@inrae.fr](mailto:luc.belzunces@inrae.fr)

<sup>(3)</sup> ITSAP - Institut de l'abeille, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12 – [cyril.vidau@itsap.asso.fr](mailto:cyril.vidau@itsap.asso.fr)

<sup>(4)</sup> Label BEE FRIENDLY, 47 avenue Pasteur, 93100 Montreuil - [abajolet@certifiedbeefriendly.org](mailto:abajolet@certifiedbeefriendly.org)

Résumé :

Toxibees est un outil dont l'usage est disponible gratuitement sur internet : <https://toxibees.certifiedbeefriendly.org/>. L'outil est principalement destiné à informer et guider les agriculteurs à réduire les risques des traitements produits phytopharmaceutiques sur les abeilles. Il peut aussi servir aux apiculteurs ou toute autre personne intéressée par cette thématique (jardiniers, consommateurs, etc).

Toxibees propose un toxiscore global de A à E pour chaque substance active sur le marché et permet ainsi de mieux aborder les impacts potentiels des produits phytopharmaceutiques pour les abeilles et, plus généralement, pour les pollinisateurs. Le toxiscore permet de comparer des substances d'une même classe (insecticide, fongicide, herbicide) afin de guider le choix d'un utilisateur de produits phytopharmaceutiques, ou pesticides. Toxibees guide également les utilisateurs vers des recommandations d'usage et vers des alternatives aux pesticides de plus forts impacts.

Toxibees se fonde sur un système de notation de différents critères. Au total, dix critères sont analysés dont quatre caractérisent la toxicité de la substance, ou dit autrement sa dangerosité intrinsèque, et six autres critères caractérisent le comportement de la substance dans l'environnement, permettant ainsi de qualifier le risque pour des abeilles exposées à cette substance. Tous ces critères sont importants à prendre en compte pour pouvoir estimer de manière fiable le risque toxique réel d'une substance. Une substance présente donc un risque pour les abeilles si elle est toxique et si les abeilles se retrouvent exposées à celle-ci. Le toxiscore incrémente les notes obtenues pour chaque critère auxquelles est ajouté un facteur de pondération. La méthodologie de calcul du toxiscore est transparente et librement consultable sur:

[https://toxibees.certifiedbeefriendly.org/IMG/pdf/presentation\\_de\\_la\\_methodologie\\_de\\_notation\\_versi\\_on\\_finale.pdf](https://toxibees.certifiedbeefriendly.org/IMG/pdf/presentation_de_la_methodologie_de_notation_versi_on_finale.pdf).

Pour illustration, l'insecticide imidaclopride obtient un toxiscore global de E (Figure 1) avec un sous-indicateur de danger très élevé : E, et un sous-indicateur de comportement dans l'environnement élevé : D.



Figure 1 : Exemple de fiche de résultat pour l'imidaclopride. Les informations sur la substance, sa famille, son mode d'action, son usage et son toxiscore global apparaissent ainsi que les valeurs des indicateurs de danger et de comportement dans l'environnement.

Il est important de rappeler que les informations consultables sur Toxibees concernent uniquement les substances et non les formulations commerciales des produits phytopharmaceutiques dont les co-formulants peuvent modifier la toxicité finale mais pour lesquels les données sont malheureusement moins disponibles.

Toxibees est né de la collaboration du CNRS, de l'INRAE et de l'ITSAP sous l'impulsion du Label BEE FRIENDLY ayant reçu un soutien du plan ECOPHYTO par le biais de l'Office Français de la Biodiversité et du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire.

**Mots-clés :** Toxiscore, Pesticide, Abeille, Exposition, Toxicité

## **L'exposition réaliste au boscalid réduit la durée de vie des abeilles mellifères et perturbe la dynamique des colonies**

Victor Desclos le Peley<sup>1</sup>, Fabrice Requier<sup>3</sup>, Pierrick Aupinel<sup>2</sup>, Freddie-Jeanne Richard<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Poitiers, Laboratoire Écologie et Biologie des Interactions - UMR CNRS 7267, Équipe Écologie Évolution Symbiose - Batiment B31 3 rue Jacques Fort, TSA 51106, F-86073 Poitiers Cedex 9, France

<sup>2</sup> Université Paris-Saclay, CNRS, IRD, UMR Évolution, Génomes, Comportement et Écologie, 91198, Gif-sur-Yvette, France

<sup>3</sup> INRAE, UE 1255 APIS (Abeilles, Paysages, Interactions et Systèmes de culture), Centre de Recherche Station du Magneraud, CS 40052, 17700 Surgeres, France

<sup>4</sup> INRAE, UMR 406 Abeilles et Environnement, Laboratoire Biologie et Protection de l'abeille, Domaine Saint Pau, 84914 Avignon, France

[victor.desclos.le.peley@univ-poitiers.fr](mailto:victor.desclos.le.peley@univ-poitiers.fr)

[victordesclos@yahoo.fr](mailto:victordesclos@yahoo.fr)

Résumé :

Les abeilles sont des pollinisateurs essentiels qui augmentent le rendement des cultures et préservent la biodiversité. Malheureusement, leurs populations subissent de nombreuses pertes dans le monde entier en raison de plusieurs facteurs, notamment la perte d'habitat, les parasites (virus, bactéries, etc.) et l'exposition aux pesticides. Cette augmentation des menaces suscite de vives inquiétudes parmi les scientifiques, les gouvernements et les citoyens, d'autant plus que certains effets peuvent être cachés. Les effets sublétaux des pesticides sur les espèces non ciblées sont peu étudiés et probablement sous-estimés. Le boscalid, un fongicide couramment utilisé pour contrôler les maladies des cultures et les champignons des semences, a déjà montré des effets néfastes chez divers insectes, y compris les abeilles. Ce pesticide cible un mécanisme de respiration cellulaire présent chez de nombreuses espèces vivantes. Cependant, les effets sublétaux de ce fongicide sur les abeilles restent mal compris. D'autant plus que le boscalid est fréquemment utilisé lors de la floraison de nombreuses cultures (comme le colza, le tournesol et le pommier) et se retrouve dans le pollen collecté par les abeilles, qui le transportent ensuite jusqu'à la colonie. Les scénarios les plus courants incluent l'exposition précoce et récurrente des abeilles au boscalid par le biais de leur alimentation.

Notre objectif est d'évaluer les effets d'une exposition précoce et récurrente au boscalid sur les traits d'histoire de vie des abeilles et leurs conséquences sur la survie et la dynamique des colonies. L'une des principales voies d'exposition des larves et des jeunes abeilles est l'ingestion de pollen provenant de plantes traitées avec des pesticides. En nous basant sur les données disponibles dans la littérature, nous avons estimé l'exposition des larves et des jeunes abeilles en déterminant la concentration de boscalid présente dans le pollen ramené aux colonies en Europe. Les abeilles ont été élevées selon un protocole d'élevage larvaire *in vitro*, permettant une exposition contrôlée en laboratoire à différents stades de développement (larvaire et/ou adulte). Après exposition, les individus ont été suivis individuellement au stade adulte grâce à des puces RFID (identification par radiofréquence), qui permettent de mesurer leurs activités dans la colonie tout au long de leur vie. Nous avons ainsi pu étudier l'effet potentiel du boscalid sur sept traits d'histoire de vie des abeilles dans des conditions de terrain, au cours de trois

saisons (mai, juin et août). Enfin, nous avons utilisé un modèle basé sur l'individu (BEEHAVE) pour simuler si l'impact du boscalid sur la durée de vie des abeilles pouvait perturber la dynamique, la production et la survie des colonies.

Nos résultats mettent en évidence des effets significatifs de l'exposition au boscalid sur les larves et les abeilles adultes. Nous avons observé que l'exposition des larves entraîne un retard dans l'émergence des abeilles de 0,18 jour en laboratoire. De plus, les effets de l'exposition au boscalid sur les traits d'histoire de vie des abeilles adultes varient au cours de la saison. En particulier, ces expositions conduisent à une première sortie de la colonie avancée de 1,49 jour pour les abeilles exposées au boscalid. De plus, une proportion plus élevée (30 %) des abeilles exposées ne revient pas après leur première sortie. Ces perturbations de l'activité précoce entraînent une réduction de la durée de vie des abeilles allant jusqu'à 29,9 %. Lors de nos simulations, nous avons observé que les colonies pouvaient être plus sensibles à l'effet du boscalid lorsqu'elles étaient exposées au printemps pendant 46 jours. Cette exposition au boscalid réduit la taille de la population de 18,5 % et la production de miel de 13,0 % dans les colonies simulées. De plus, les conséquences du boscalid demeurent significatives jusqu'à 2 mois après l'arrêt de l'exposition sur les colonies. Bien que cette diminution de la taille de la population n'entraîne pas l'effondrement de la colonie, elle dépasse la valeur critique des objectifs de protection spécifiques fixés par l'EFSA (SPG : 10 %).

Le boscalid perturbe les premières activités des abeilles et réduit leur durée de vie. Ce stress peut influencer la dynamique des colonies, entraînant une réduction des populations d'abeilles et des ressources en miel. Les colonies semblent plus sensibles au boscalid au printemps, période durant laquelle les abeilles récoltent le pollen des plantes de la famille des Rosacées. Le boscalid est couramment utilisé en arboriculture (cerisiers, pommiers, poiriers, cognassiers...), ce qui suggère que son application pendant la floraison dans les vergers peut contribuer à l'affaiblissement des colonies. Cette évaluation plus précise des risques pour les abeilles, tant au niveau individuel que des colonies, souligne que les évaluations des pesticides basées uniquement sur les données de mortalité et au laboratoire ne prennent pas en compte leurs effets sublétaux.

**Mots-clés :** *Apis mellifera*, élevage *in vitro*; simulation ; RFID, SDHI

## **Etude comparative de la toxicité d'un fongicide chimique Azoxystrobine et l'extrait aqueux de l'ail sur la fonction hépatique et les paramètres du stress oxydatif chez le rat mâle *Wistar***

Mallem Leila <sup>(1)</sup>, Tektak Mohamed <sup>(2)</sup>, Chouabia Amel <sup>(2)</sup>, Abdnoour Cherif <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Département de Médecine dentaire, Laboratoire d'Ecophysiologie animale, Faculté de Médecine, B.P205 Bd Sedik Benyahia, Annaba 23000,

<sup>(2)</sup> Faculté des sciences, département de Biologie, Université Badji Mokhtar Annaba, Sidi Amar B.P 12 Annaba 23000, Algérie-elearning@univ-annaba.dz

### Résumé :

Ce travail vise à comparer les effets toxiques sur la fonction hépatique d'un bio-fongicide naturel, extrait de l'ail par rapport à un fongicide de synthèse, l'Azoxystrobine chez les rats mâles *Wistar* sur la fonction hépatique et quelques paramètres du stress oxydatif. Après une période d'adaptation, 40 rats ont été répartis en 5 groupes à raison de 8 rats chacun. Le groupe témoin (G1), les deux groupes G2, G3 ont été traité par l'extrait de l'ail *Allium sativum*, et les deux autres groupes G4 et G5 ont été traités par l'Azoxystrobine dans le régime alimentaire respectivement aux doses (1/15, 1/30) de la DL 50 de chaque pesticide pendant 6 semaines. Les résultats obtenus ont montré que le traitement par le pesticide chimique a provoqué une augmentation significative de la masse absolue du foie chez les groupes traités comparés au groupe témoin et au groupe traité à l'ail. Concernant l'activité enzymatique des transaminases l'ALAT, ASAT et la phosphatase alcaline PAL ont significativement augmenté chez les groupes traités par l'Azoxystrobine comparé au groupe témoin. Alors que la concentration de l'albumine a significativement diminué chez les groupes traités à l'Azoxystrobine. Ceci conclut, que l'exposition aux pesticides dans nos conditions expérimentales a démontré que le fongicide l'Azoxystrobine a affecté la fonction hépatique beaucoup plus que l'extrait aqueux de l'ail chez le rat mâle *Wistar*.

**Mots-clés :** Fongicide Azoxystrobine, l'extrait aqueux de l'ail, fonction hépatique, paramètres du stress oxydant

## Contamination du réseau trophique du sol par la chlordécone d'un agroécosystème bananier de Martinique

Pak Lai Ting <sup>(1,2)</sup>, Sénécal Julie <sup>(1,2)</sup>, Devriendt-Renault Yoann <sup>(3)</sup>,  
Parinet Julien <sup>(3)</sup>, Guérin Thierry <sup>(4)</sup>, Coulis Mathieu <sup>(5,6)</sup>

<sup>(1)</sup> Cirad, UPR HortSys, F-97285 Le Lamentin, Martinique – lai-ting.pak@cirad.fr

<sup>(2)</sup> HortSys, Univ Montpellier, Cirad, Montpellier

<sup>(3)</sup> ANSES, Laboratoire de Sécurité des Aliments, F-94701 Maisons-Alfort – julien.parinet@anses.fr

<sup>(4)</sup> ANSES, Direction de la Stratégie et des Programmes, F-94701 Maisons-Alfort – thierry.guerin@anses.fr

<sup>(5)</sup> Cirad, UPR GECCO, F-97285 Le Lamentin, Martinique – mathieu.coulis@cirad.fr

<sup>(6)</sup> GECCO, Univ Montpellier, Cirad, Montpellier

### Résumé :

Aux Antilles, la chlordécone (CLD) a été utilisée entre 1972 et 1993 pour lutter contre le charançon noir du bananier (*Cosmopolites sordidus*). Aujourd'hui, 12 000 ha de sols de Martinique présentent un risque de contamination par cet insecticide organochloré persistant (Cabidoche & Lesueur-Jannoyer, 2011). Les mécanismes de transfert de la CLD dans les sols vers les réseaux trophiques du sol ne sont pas connus. Actuellement, il n'existe aucune donnée sur la contamination par la CLD des organismes du sol, essentiels au fonctionnement des agroécosystèmes.

Ce travail constitue la première étude sur la quantification des concentrations de CLD dans des organismes du sol et leur comparaison entre groupes trophiques et taxonomiques. Nos objectifs sont de comprendre les mécanismes de transfert, en différenciant les deux principaux mécanismes de bioaccumulation : bioconcentration (Dromard *et al.*, 2018) et bioamplification (Gray, 2002).

Dans six parcelles (500 m<sup>2</sup>) en bananeraie de l'essai BANABIO (Le Lamentin, Martinique), nous avons ciblé et collecté sept espèces d'invertébrés représentatives des communautés de macrofaune du sol des agroécosystèmes de Martinique (Coulis, 2021 ; El Jaouhari *et al.*, 2023), en veillant à représenter des niveaux trophiques contrastés. Les espèces ont été échantillonnées de manière à prendre en considération les mécanismes i) de bioconcentration tels que par contact (tégument vs. exosquelette) et par ingestion (détritivores vs. herbivores) et ii) de bioamplification (consommateurs primaires vs. prédateurs). Les analyses en CLD ont été réalisées sur des échantillons de sol du site d'étude (par le LDA26) et les organismes échantillonnés (Saint-Hilaire *et al.*, 2018). Ces derniers ont fait l'objet de mesures complémentaires de  $\delta^{15}\text{N}$  (indicateur du niveau trophique) et de taux d'ingestion de sol (indicatif du régime alimentaire).

Les sols (profondeur 0-30 cm) de ces parcelles présentent des concentrations en CLD comprises entre 113 et 474  $\mu\text{g}/\text{kg}$  MS. La CLD est quantifiée dans l'ensemble des organismes étudiés (LQ = 2 ng/g). Néanmoins, il n'y a pas de relation significative entre les concentrations en CLD dans les sols et dans les organismes. Certains organismes présentent une forte concentration en CLD, notamment les vers de terre et leurs prédateurs. Le ver de terre endogé *Pontoscolex corethrurus* présente une concentration moyenne en CLD de 5072 ng/g MS, pourtant collecté dans un sol classé moyennement contaminé. Nous identifions un premier mécanisme de bioconcentration d'ordre physiologique par ingestion de sol, en étudiant finement le régime alimentaire de la faune détritivore (% de sol dans le bol alimentaire). En effet, les analyses indiquent une relation significative entre le pourcentage de cendre dans les fèces des

consommateurs primaires détritvovres et leur niveau de contamination par la CLD. Ce résultat suggère que les espèces ayant un régime alimentaire riche en sol sont contaminées par voie d'ingestion. Nous n'observons pas de mécanisme de bioconcentration d'ordre anatomique par contact. Le diplopode *Trigoniulus coralinus* (arthropode à cuticule) et le ver de terre *Eudrilus eugeniae* (corps mou) sont deux détritvovres vivant dans la litière et les premiers centimètres du sol et ayant un régime alimentaire similaire (pourcentages de cendre identiques). Ces deux espèces présentent des niveaux de contamination similaires, entre 808 et 1520 ng/g MS et entre et 783 et 1890 ng/g MS, respectivement. Ce résultat suggère que la nature de l'épiderme n'a pas ou peu influencé leur bioconcentration de la CLD par contact. Nous mettons en évidence le mécanisme de bioamplification le long du réseau trophique du sol *in situ*. A l'échelle de l'ensemble du réseau trophique, une relation significative existe entre les valeurs de  $\delta^{15}\text{N}$  et la contamination des organismes par la CLD ( $R^2 = 0.17$ ,  $p = 0.006$ ).

Ces premiers résultats appellent à une évaluation à plus grande échelle de l'état de la contamination par la CLD de la biodiversité des sols antillais. Une caractérisation de la contamination des organismes du sol sur un plus large gradient de contaminations du sol serait nécessaire et permettrait d'approfondir les mécanismes de bioaccumulation.

**Mots-clés :** *chlordécone, macrofaune, réseau trophique, sol, bananeraie*

### Références bibliographiques :

- Cabidoche, Y. M., Lesueur-Jannoyer, M. (2011). Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles : comment la gérer ? *Innovations agronomiques*, 16, 117-133.
- Coulis, M. (2021). Abundance, biomass and community composition of soil saprophagous macrofauna in conventional and organic sugarcane fields. *Applied Soil Ecology*, 164, 103923.
- Dromard, C.R., Bouchon-Navaro, Y., Cordonnier, S., Guéné, M., Harmelin-Vivien, M., Bouchon, C. (2018). Different transfer pathways of an organochlorine pesticide across marine tropical food webs assessed with stable isotope analysis. *PLoS ONE*, 13 (2), e0191335.
- El Jaouhari, M., Damour, G., Tixier, P., Coulis, M. (2023). Glyphosate reduces the biodiversity of soil macrofauna and benefits exotic species over native species in a tropical agroecosystem. *Basic and Applied Ecology*, 73, 18-26.
- Gray, J.S. (2002). Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. *Marine Pollution Bulletin*, 45, 1-12.
- Saint-Hilaire, M., Inthavong, C., Bertin, T., Lavison-Bompard, G., Guérin, T., Fournier, A., Feidt, C., Rychen, G., Parinet, J. (2018). Development and validation of an HPLC-MS/MS method with QuEChERS extraction using isotopic dilution to simultaneously analyze chlordercone and chlordercol in animal livers. *Food Chemistry*, 252, 147-153.

## **Tendance temporelle et spatiale des risques pour la biodiversité liée à l'utilisation de l'imidaclopride en France**

Thomas Perrot<sup>(1)</sup>, Jean-Marc Bonmatin<sup>(2)</sup>, Hervé Jactel<sup>(3)</sup>, Christophe Leboulanger<sup>(4)</sup>, Robin Goffaux<sup>(1)</sup>, Sabrina Gaba<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> *Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, Centre de Synthèse et d'Analyse sur la Biodiversité (FRB-Cesab), la Maison des Océans, 195 rue Saint-Jacques, Paris, France. [thomas.perrot@fondationbiodiversite.fr](mailto:thomas.perrot@fondationbiodiversite.fr), [robin.goffaux@fondationbiodiversite.fr](mailto:robin.goffaux@fondationbiodiversite.fr)*

<sup>(2)</sup> *Centre de biophysique moléculaire (CNRS), rue Charles Sadron, 45071 Orléans Cedex 02 (France). [bonmatin@cnr-orleans.fr](mailto:bonmatin@cnr-orleans.fr)*

<sup>(3)</sup> *INRAE, University of Bordeaux, umr Biogeco, 33610 Cestas, France. [herve.jactel@inrae.fr](mailto:herve.jactel@inrae.fr)*

<sup>(4)</sup> *MARBEC, Univ Montpellier, CNRS, Ifremer, IRD, Sète, France. [christophe.leboulanger@ird.fr](mailto:christophe.leboulanger@ird.fr)*

<sup>(5)</sup> *USC CNRS INRAE Université de La Rochelle, Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, 79360 Villiers en Bois, France. [sabrina.gaba@inrae.fr](mailto:sabrina.gaba@inrae.fr)*

### Résumé :

Les néonicotinoïdes sont les insecticides les plus vendus dans le monde. En raison de leur méthode d'utilisation, principalement en enrobage de semences, les néonicotinoïdes ont largement contaminé l'environnement et sont suspectés d'être à la cause du déclin de nombreux taxons à cause de leurs fortes toxicités pour la biodiversité. Bien que le risque des néonicotinoïdes pour la biodiversité soit largement reconnu, la description temporelle et spatiale de leurs utilisations reste inconnue dans de nombreux pays. Ces informations sont pourtant nécessaires pour évaluer les impacts potentiels de ces pesticides sur la biodiversité et pour établir des mesures de restauration de la biodiversité.

Dans cette étude, nous avons caractérisé l'utilisation temporelle et spatiale de l'imidaclopride, le premier néonicotinoïde autorisé en France, grâce aux données publiques disponibles, ainsi que sa contamination de l'environnement à travers des suivis de contamination des eaux par cette molécule entre 2005 et 2022. Nos résultats montrent que l'imidaclopride est le principal néonicotinoïde utilisé en France. Son utilisation a été fortement spatialisée, avec une utilisation plus importante dans le nord et l'ouest de la France, liée aux cultures de céréales et de betteraves. L'imidaclopride a largement contaminé l'environnement, comme le montre la contamination de l'eau, et a par conséquent augmenté le risque de danger pour la biodiversité, en particulier dans les départements traversés par la Loire, la Seine et la Vilaine. Ce risque a augmenté entre 2005 et 2018 en raison de l'utilisation accrue de l'imidaclopride. Ce travail fournit une première évaluation de la pression de l'imidaclopride sur la biodiversité en France, ainsi que sa relation avec la contamination des milieux aquatiques, et identifie les zones prioritaires pour les politiques d'atténuation et de restauration pour la biodiversité.

**Mots-clés :** *néonicotinoïde, exposition, eau de surface, contamination, pression*

## **Evaluation de la toxicité hépatique induite par un bio-insecticide d'origine végétale par rapport à un insecticide de synthèse chez le rat *Wistar* male**

TEKTAK Mohamed <sup>(1)</sup>, MALLEM Leila <sup>(1,2)</sup>, RENAULT David <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> *Laboratoire de Recherche en Ecophysiologie Animale, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar, BP12, 23000 Annaba, Algérie. mohamedtektak93@gmail.com*

<sup>(2)</sup> *Département de Médecine Dentaire, Faculté de Médecine, Route el Zaafrania, BP205, 23000, Annaba, Algérie. MalleMLEILA04@gmail.com*

<sup>(3)</sup> *Campus Scientifique de Beaulieu, UMR CNRS 6553, Université de Rennes 1, 263 Avenue du Gal Leclers, CS 74205, 35042 Rennes Cedex, France. david.renault@univ-rennes.fr*

### **Résumé :**

Les stratégies visant la réduction de l'utilisation de pesticides, la réduction de la toxicité induite par ces derniers en utilisant des pesticides naturels. La présente étude vise à comparer les effets toxiques d'un insecticide chimique (Imidaclopride) par rapport à un bio-insecticide naturel extrait de plante (Azadirachtine) sur quelques paramètres biochimiques de la fonction hépatique chez le rat *Wistar* male. 24 rats mâles ont été divisés en trois groupes. G1 est le groupe témoin et les deux groupes G2 et G3 ont reçu L'azadirachtine et l'imidaclopride à la dose (1/30 DL50) pour chaque groupe dans le régime pendant 6 semaines. Les résultats montrent une augmentation significative de la masse absolue du foie chez les groupes traités, en particulier chez le groupe traité par l'Imidaclopride par rapport au groupe témoin. Une augmentation significative de la concentration sérique des transaminases (TGO et TGP), de la phosphatase alcaline (PAL). Mais une diminution significative de la concentration en albumine est enregistrée chez les groupes traités par rapport au groupe témoin. Ces changements sont plus remarquables chez le groupe traité par l'Imidaclopride que chez le groupe traité par l'Azadirachtine. En conclusion, ces résultats suggèrent que l'exposition des rats mâles aux pesticides entraîne des perturbations des paramètres hépatiques, mais le bio-insecticide est moins toxique que son homologue chimique dans nos conditions expérimentales.

**Mots-clés :** pesticides, biopesticide, rat, hépatiques.

## SuRiPest

# Mise en place de deux réseaux de surveillance des pesticides dans l'air ambiant et les sols wallons pour une meilleure évaluation du risque sanitaire

Gismondi Eric<sup>(1)</sup>, Thiry Caroline<sup>(1)</sup>, Blondel Alodie<sup>(2)</sup>, Pigeon Olivier<sup>(2)</sup>, Jacquemin Pierre<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut Scientifique de Service Public (ISSEP), rue du Chéra 200, 4000 Liège (Belgique) - [e.gismondi@issep.be](mailto:e.gismondi@issep.be) ; [c.thiry@issep.be](mailto:c.thiry@issep.be) ; [p.jacquemin@issep.be](mailto:p.jacquemin@issep.be)

<sup>(2)</sup> Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W), rue de Liroux 9, 5030 Gembloux (Belgique) - [a.blondel@cra.wallonie.be](mailto:a.blondel@cra.wallonie.be) ; [o.pigeon@cra.wallonie.be](mailto:o.pigeon@cra.wallonie.be)

### Résumé :

Des quantités importantes de pesticides sont utilisées chaque année par les professionnels mais également par les particuliers. Parmi les pesticides, les produits de protection des plantes (PPP) ou produits phytopharmaceutiques ont pour but de protéger les végétaux des maladies, ravageurs et adventices. Par ailleurs, depuis plusieurs décennies, de nombreuses études mettent en lien l'exposition à ces pesticides et des effets sanitaires tels que des troubles neurologiques, du développement ou encore des perturbations endocriniennes, via l'ingestion, l'inhalation ou le contact cutané qui sont les voies privilégiées d'exposition aux pesticides. Actuellement, en Belgique, il existe des réseaux de surveillance de la qualité de l'eau (surface, souterraine et de distribution) et des denrées alimentaires (AFSCA - Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire). Cependant, aucun programme de surveillance n'existe pour l'air ambiant et le sol alors même que de nombreuses études ont démontré la présence de pesticides dans ces matrices.

Le projet SuRiPest (2023-2027) vise à mettre en place deux programmes de surveillance des pesticides dans l'air ambiant et dans les sols pour identifier et mesurer les concentrations des pesticides présents, afin de : (i) compléter les réseaux de surveillance des pesticides existants, (ii) améliorer l'évaluation du risque sanitaire liés aux pesticides en tenant compte de l'ensemble des réseaux de surveillance existants, (iii) évaluer l'efficacité des mesures de réduction de l'utilisation des PPP prises dans le cadre du PWRP (Programme Wallon de Réduction des Pesticides) et enfin (iv) améliorer la prévention de la contamination par les pesticides.

Après avoir réalisé un inventaire des connaissances et des données existantes sur les pesticides en Wallonie (substances actives (SA) agréées en Belgique, quantités de SA utilisées, toxicité de ces SA, ...) ainsi qu'un benchmarking des réseaux de surveillance des pesticides dans l'air ambiant et les sols en Europe, des listes « a priori » de SA d'intérêts à surveiller dans ces deux réseaux ont été établies. Par la suite, un screening préliminaire sera mis en place pendant 1 an afin d'identifier les SA présentes dans l'air ambiant et les sols en fonction du temps et de l'espace.

Les résultats obtenus seront comparés aux listes « a priori » afin de définir des listes pertinentes de SA à surveiller dans chaque matrice. Enfin, les réseaux de surveillance seront testés et ajustés/améliorés pendant 2 années avant d'être opérationnalisés et pérennisés.

**Mots-clés :** Pesticides, réseau, sol, air ambiant, surveillance, risque

## **Evaluation de la contamination d'une chaîne trophique d'arthropodes par des pesticides et éléments traces métalliques dans un système viticole**

Léa Tison <sup>(1,2)</sup>, Céline Franc <sup>(1)</sup>, Thierry Dalix <sup>(3)</sup>, Louisiane Burkart <sup>(2)</sup>, Camille Grosgeorge <sup>(2)</sup>, Camille Larrue <sup>(2)</sup>, Gilles de Revel <sup>(1)</sup> and Denis Thiéry <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Univ. Bordeaux, INRAE, Bordeaux INP, Bordeaux Sciences Agro, UMR 1366, OENO, ISVV, 33140 Villenave d'Ornon, France

<sup>(2)</sup> INRAE Bordeaux, UMR1065 SAVE, Villenave d'Ornon, France – lea.tison@inrae.fr

<sup>(3)</sup> INRAE Bordeaux, USRAVE, Villenave d'Ornon, France

Résumé :

Pour garantir la qualité et les rendements des productions fruitières, des produits phytopharmaceutiques variés sont employés, parfois en quantités importantes. C'est notamment le cas pour la vigne. Outre les pesticides de synthèse, le cuivre et le soufre sont traditionnellement utilisés contre les différentes maladies fongiques. Dans ces agrosystèmes, les espèces non-cibles comme les pollinisateurs et auxiliaires de culture sont exposés de manière chronique à des concentrations variables, souvent sub-létales, de pesticides et d'éléments traces métalliques (ETM), au sein des parcelles ou à leurs abords dans des haies, des prairies, ou des bandes fleuries.

Le transfert de contaminants dans les réseaux trophiques est une réelle préoccupation dans les agrosystèmes terrestres. Une des alternatives crédibles à la lutte insecticide est le biocontrôle qui repose sur la consommation de ravageurs par des insectes prédateurs, eux-mêmes consommés par les petits mammifères et les oiseaux. Mais si la chaîne trophique est contaminée à son origine, les niveaux supérieurs de la chaîne sont susceptibles d'être contaminés par des concentrations de pesticides et d'ETM augmentant à chaque niveau trophique par des phénomènes de bioaccumulation.

Nous présentons un cas d'étude sur le transfert de pesticides et d'ETM des abeilles domestiques *Apis mellifera* vers leur prédateur, le frelon asiatique *Vespa velutina*. Profitant de ce modèle proie-prédateur, nous avons évalué la contamination d'une chaîne alimentaire d'arthropodes échantillonnée dans un système viticole conventionnel entre début mai et fin octobre. La méthode d'extraction QuEChERS, suivie d'une purification sur phase solide dispersive (dSPE) nous a permis d'extraire des pesticides de différentes familles chimiques à partir d'un échantillon de 250 mg. Le dosage des résidus de pesticides a ensuite été effectué par LC-MS/MS (chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem). Nous avons également évalué la contamination des abeilles et de leur prédateur en ETM par ICP-MS (spectrométrie de masse par plasma à couplage inductif) et par ICP-AES (spectroscopie d'émission atomique par plasma à couplage inductif) en ce qui concerne le cuivre et le soufre.

Dans les abeilles, 16 pesticides différents ont été retrouvés, en majorité des fongicides, qui correspondent pour la plupart à des traitements phytosanitaires effectués sur la vigne en amont des prélèvements. Dans les frelons asiatiques, 6 pesticides différents ont été retrouvés à partir du mois d'août, période où la consommation d'abeilles est importante pour le prédateur. En plus des résidus de pesticides, des ETM, tel que l'aluminium, découlant eux aussi des traitements effectués sur les parcelles

viticoles, ont pu être quantifiés. Le cuivre a été retrouvé en quantité croissante dans les abeilles au cours de la saison mais ne semble pas s'accumuler chez son prédateur. En revanche, d'autres composés comme le soufre ou l'arsenic montrent une bioaccumulation dans la chaîne de prédation.

Cette étude constitue une avancée dans la compréhension du transfert des contaminants en conditions naturelles et de leur potentiel de bioaccumulation chez un insecte et son prédateur. Plus largement, cela nous aide à comprendre le transfert et la bioaccumulation de pesticides et d'ETM dans les systèmes trophiques terrestres et leur potentiel impact sur la biodiversité et les méthodes de biocontrôle.

**Mots-clés :** pesticides, métaux, vigne, bioaccumulation, insectes

# Merci à tous nos partenaires

