Recueil des résumés

du

49ème congrès du Groupe Français de Recherche sur les Pesticides

21 - 24 mai 2019

Montpellier SupAgro Campus de la Gaillarde

Pour en savoir plus : http://www.gfpesticides.org/

Contact : gfp2019@inra.fr

Sommaire

Recueil des résumés des présentations orales

Session 1 : Usage des pesticides : diagnostic et leviers de réduction

Mesures de pesticides dans l'air et dans les dépôts en bordure de champs lors d'opérations de pulvérisation

Ruthy Ingrid, Remy Suzanne, Veschkens Mathieu, Huyghebaert Bruno, Herman Jean-Luc, Pigeon Olivier, Schiffers Bruno

Développement d'une méthodologie d'évaluation et de classification des appareils de traitements en viticulture

Douzals Jean-Paul, Codis Sebastien, Verges Adrien, Carra Mathilde

PulvéLab : évaluer au vignoble des capteurs et des solutions numériques innovantes pour diminuer et gérer les intrants phytosanitaires

Cheraiet Anice, Delpuech Xavier, Carra Mathilde, Andres Jean, Vergès Adrien, Lienard Adrien, Codis Sébastien, Naud Olivier

Détection des pesticides et transformation des expositions - Usage de la métrologie pour (ré)organiser la préparation de bouillie en viticulture et limiter la migration des pesticides (Etude PREVEXPO)

Goutille Fabienne, Duporté Geoffroy, Bouchart Valérie, Dévier Marie-Hélène, Budzinski Hélène, Garrigou Alain

Evaluation des risques liés à l'utilisation des intrants dans l'agriculture Ivoirienne : Cas des stocks de pesticides obsolètes

Kouadio K. Georges, N'guessan Y. Mathieu, Yoboué Justin

L'utilisation des produits phytosanitaires : une affaire de familles ? Comparaisons sociologiques sur quatre territoires agricoles français.

Barthélémy Carole, Allouche Aurélien, Armani Gilles, Gramaglia Christelle, Nicolas Laurence

Certiphyto : Formation pour réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques ? Regard croisé entre une sociologue et une expologue

Grimbuhler Sonia, Barthelemy Carole

Session 2 : Devenir des pesticides dans l'environnement : observation et diagnostic

Suivis pluriannuels des transferts verticaux de pesticides dans des sols de vallée alluviale en monoculture de maïs irriguée

Agnan Yannick, Alletto Lionel, Boithias Laurie, Budzinski Hélène, Giuliano Simon, Deswarte Cyrielle, Pelletier Aude

Suivi de la multi-contamination en pesticides organiques et inorganiques dans les sols viticoles : évolution des transferts sols-solution pendant une année de culture

Pierdet Manon, Gaillard Juliette, Quenot Chloé, Bussière Sylvie, Coriou Cécile, Robert Thierry, Le Menach Karyn, Pardon Patrick, Dévier Marie-Hélène, Denaix Laurence, Budzinski Hélène

Contamination des eaux en tête de bassin versant en zone rurale agricole de polyagriculture élevage : comparaison entre les pesticides neutres et les pesticides ioniques.

Guibal Robin, Leblanc Julie, Cleries Karine, Brizard Yoann, Lissalde Sophie), Guibaud Gilles

Evaluation du rôle des phases dissoutes et particulaires dans la contamination en Chlordécone en rivière

Samouelian Anatja, Ponchant Lise, Andrieux Patrick, Bajazet Thierry, Crosset Mégane, Nannette Jean-Baptiste, Voltz Marc

Mise en évidence d'une dégradation naturelle de la Chlordécone avec libération dans l'environnement de produits de transformation chlorés

Della-Negra Oriane, Muselet Delphine, Chaussonnerie Sébastien, Mottes Charles, Rangon Luc, Chevallier Marion, Barbance Agnes, Fouteau Stéphanie, Vuilleumier Stéphane, Imfeld Gwenaël, Woignier Thierry, Saaidi Pierre-Loïc, Le Paslier Denis

Photodégradation du myrigalone A, herbicide naturel : cinétique, photoproduits et effet des terpènes

Khaled Amina, Sleiman Mohamad, Darras Etienne, Bertrand Cédric, Inguimbert Nicolas, Richard Claire

Estimation du potentiel d'émission des pesticides vers l'atmosphère à partir de leurs propriétés moléculaires avec l'outil TyPol

Bonnot Kévin, Bedos Carole, Mamy Laure, Bockstaller Christian, Latrille Eric, Patureau Dominique, Rossard Virginie, Servien Rémi, Benoit Pierre

Session 3 : Techniques de monitoring, analyses et remédiation

Criblage suspect de polluants émergents dans les eaux souterraines et de ruissellement par échantillonnage passif couplé à la spectrométrie de masse haute résolution

Pinasseau Lucie, Wiest Laure, Fildier Aurélie, Volatier Laurence, Mermillod-Blondin Florian, Vulliet Emmanuelle

Couplage d'approches analytiques innovantes pour évaluer l'état de contamination des milieux aquatiques par les pesticides

Margoum Christelle, Guillemain Céline, Mathon Baptiste, Mazzella Nicolas, Soulier Coralie, Togola Anne, Miege Cécile

Apports des traceurs géochimiques à la compréhension des comportements intra-crue des pesticides présents dans une rivière guadeloupéenne.

Grünberger Olivier, Ponchant Lise, Andrieux Patrick, Samouelian Anatja, Michelot Jean-Luc, Bazajet Thierry, Nannette Jean-Baptiste, Voltz Marc

Biocides de la protection du bois utilisé en menuiserie extérieure : Développement de méthodes analytiques dans les compartiments bois (ASE GC-MS/MS) et eau (SPME GC-MS/MS)

Ouali Oussemah, Le Ménach Karyn, Raphalen Elisabeth, Legay Stéphane, Budzinski Hélène

Photo dégradation de deux pesticides commerciaux par le dioxyde de titane : étude d'élimination compétitive.

El Mouraille Nadia, Belmouden Moustapha, Aitichou Yahia

Quelles approches de remédiation des sites industriels pollués seraient transposables aux pollutions diffuses agricoles ?

Estival Julie, Hiez David

Session 4 : Efficacité ou impacts des pesticides sur les organismes végétaux et animaux

Etude de l'efficacité de deux insecticides non homologués (Sulfoxaflor et du Diflubenzuron) pour lutter contre la cochenille du Figuier de Barbarie

Zeitoun Rawan, Hayar Salem), Darazi Dalida, Makhoul Cyril, Majed Liliane, Zeaiter Lama, El Omari Khaled, Sylvie Dousset

Mise au point d'une méthodologie d'étude d'impacts en situation pratique des préparations phytopharmaceutiques sur les insectes de la vigne

Quenin Hervé, Blanc Amandine, Bailly-Maitre Agnès

Quels protocoles pour évaluer les effets des pesticides chez l'abeille ?

Michel Sokolowski

Effets de l'imidaclopride sur la production et l'étirage de cire chez l'abeille domestique *Apis mellifera intermissa* en conditions controlées

Toudert Fatima, Piou Vincent, Amrane Rachid, Treilhou Michel

Etude du devenir de la métribuzine (un herbicide) chez différent biotypes de morelle noire (Solanum nigrum)

Kilinc Özgür Kivilcim, Laurent François

Effet de la formulation sur la cinétique de dissipation des résidus de pesticides

Majid Liliane, Hayar Salem, Zeitoun Rawan, Ghosn Mostafa, Sylvie Dousset

Caractérisation des pesticides dans les légumes cultivés sous serres agricoles au Liban : Effet de la lumière et Suivi des volatils

Hamdache Samar, Sleiman Mohamad, Jaber Farouk, Richard Claire

Session 5 : Evaluation de l'exposition et des impacts en santé humaine

Evaluation de l'exposition humaine aux résidus de pesticides à l'aide de bracelets en silicone

Joly L., Aerts R., Szternfeld P., Tsilikas K., De Cremer K., Castelain P., Aerts J.M., Van Orshoven J., Somers B., Hendrickx M., Andjelkovic M., Van Nieuwenhuyse A

Activation du récepteur *Pregnane X Receptor* humain et poisson zèbre par les pesticides

Garoche Clémentine, Grimaldi Marina, Creusot Nicolas, Boulahtouf Abdelhay, Bourguet William, Aït-Aïssa Selim, François Brion, Balaguer Patrick

Implication du zinc dans la modulation de la fonctionnalité des monocytes/macrophages humains induite *in vitro* par le zirame

Parny Mélissa, Pipy Bernard, Treilhou Michel

Evaluation des risques pour les riverains lors de pulvérisations de pesticides

Remy Suzanne, Ruthy Ingrid

Effets de pesticides sur la santé de l'utilisation sur les maraîchers de Santa, Cameroun

Abdulai A.N., Tarla D.N.

Diminution de l'exposition des agriculteurs par l'amélioration de leurs pulvérisateurs : Démarche de co-construction avec les acteurs de terrain

Gallien Marc, Perrin Jean Luc, Grimbuhler Sonia

Session 6 : Approches Paysagères et territoriales du devenir et de l'impact des pesticides

L'entretien des fossés comme levier pour limiter la contamination des eaux par les pesticides

Dagès Cécile, Bailly Jean-Stéphane, Dollinger Jeanne, Lagacherie Philippe, Voltz Marc

Modélisation de l'effet de la configuration paysagère et des pratiques culturales sur la dispersion et le dépôt des pesticides utilisés en agriculture

Djouhri Meriem, Loubet Benjamin, Benoit Pierre, Mamy Laure, Bedos Carole

PESHMELBA : modéliser le devenir des pesticides dans des paysages agricoles en intégrant l'influence des éléments du paysage

Rouzies Emilie, Barachet Christine, Morel Thierry, Lauvernet Claire, Carluer Nadia

Modélisation intégrée du devenir des pesticides dans les paysages agricoles

Voltz Marc, Bedos C., Crevoisier D., Fabre J.C., Loubet B., Chataigner M., Bankwal P., Barriuso E., Benoit P., Brunet Y., Casellas E., Chabrier P., Chambon C., Dagès C., Douzals J.P., Drouet J.L., Lafolie F., Mamy L., Moitrier N., Personne E., Pot V., Raynal H., Ruelle B., Samouelian A., Saudreau M.

Evaluation d'une méthodologie d'estimation du risque de contamination des eaux en contexte volcanique tropical

Campan Pauline, Samouelian Anatja, Crevoisier David, Voltz Marc

Une évaluation multicritère des performances socio-économiques et environnementales d'exploitations viticoles bordelaises dans le cadre de la transition agroécologique

Aouadi Nawel, Macary Francis Alonso-Ugaglia Adeline, Delière Laurent, Roby Jean-Philippe

Formation Zones Tampons : limiter les transferts de contaminants

Morbois Chloé, Carluer Nadia, Achard Anne-Laure, Liger Lucie, Tournebize Julien, Ouvry Jean-François, Pierlot Frédéric, Billy Claire, Dubaele Hélène

Recueil des résumés des posters

Session 1 : Usage des pesticides : diagnostic et leviers de réduction

Modélisation des dépôts au sol et de la rétention des pesticides sur la culture de l'artichaut dans le contexte tunisien

Bahrouni Hassouna, Allagui Asma, Chaabane Hanène, Khemira Mohsen, Ben Abdallah Mohamed Ali

Intervention ergonomique dans le cadre du projet Trajectoires : Comprendre les freins et leviers à la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires chez les viticulteurs de cœur d'Hérault.

Biencourt Mélanie (1), Grimbuhler Sonia (2)

Mise au point sur les traitements chimiques appliqués en cultures maraîchères en Tunisie et calcul des indices de risque

Chaabane Hanène, Miladi Leila, Bahrouni Hassouna, Grünberger Olivier

Inventaire des pesticides et leurs impacts sur l'environnement par le calcul de l'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) dans la plaine du Gharb -Amont de la Merja Zerga- Zone RAMSAR au MAROC

El Bouzaidi Hind, Hafiane Fatimazahra, El Idrissi Yahya, Fekhaoui Mohammed

Spatialisation de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques agricoles en Wallonie (Belgique) et études écologiques géographiques

Habran Sarah, Phillipart Christelle, Veschkens Mathieu, Remy Suzanne

Comportement des agriculteurs concernant l'utilisation des pesticides dans le bassin versant de l'Oued Zarga (Béjà, Tunisie)

Marzougui Sarra, Chaabane Hanène, Khammassi Messaad, Khriji Oussama, Souissi Thouraya

L'état des pesticides obsolètes au Cameroun

Tarla DN, Tchamba NM, Fontem DA, Tanga G, Baleguel PN, Baleguel DP

Session 2 : Devenir des pesticides dans l'environnement : observation et diagnostic

Application de la géomatique à l'identification des zones vulnérables à la pollution aux pesticides : Cas du bassin versant de la Marahoué (Côte d'Ivoire)

Akpo Sylvain Kouakou, Tiangoua Koné, Lacina Coulibaly, Issiaka Savané

Photo dégradation de deux pesticides commerciaux par le dioxyde de titane : étude d'élimination compétitive.

El Mouraille Nadia, Belmouden Moustapha, Aitichou Yahia

A propos d'une méthode cartographique d'identification d'espaces potentiellement pollués par les pesticides. Le cas de l'agriculture intra-urbaine à Yaoundé (Cameroun)

Branchet Perrine, Borrell-Estupina Valérie, Sebag David, Ngounou Ngatcha Benjamin, Ndam Jules Remy, Fenet Hélène, Gonzalez Catherine, Cadot Emmanuelle

ClimaVista – EToPhy web : un outil pour gérer l'impact des pratiques phytosanitaires agricoles sur la santé de l'applicateur et l'environnement

Caubel Julie, Nembrot Isabelle, Arredondo S. Josué, Bromblet Lucas, Ramarohetra Johanna, Gabriac Denis, Louvet Samuel, Boulanger Jean Philippe, Mghirbi Oussama, Fabre Jacques, Mandart Elisabeth, Le Grusse Philippe

Évaluation des indices de risque des principaux insecticides utilisés pour lutter contre le charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* sur la base du modèle de l'indicateur de risque des pesticides pour le Québec (IRPeQ)

Chihaoui-Meridja Sabrine, Chaabane-boujnah Hanène, Suma Pompeo, Abess Khaled, La Pergola Alessandra, Chermiti Brahim

TROPHY un outil d'évaluation des risques de contamination des eaux souterraines et superficielles par les produits phytosanitaires en milieu volcanique antillais

Crevoisier David, Fernandez-Bayo Jesus, Boivin Arnaud, Duboisset Arnaud, Fostier Julien, Rudi Gabrielle, Samouelian Anatja, Voltz Marc

Etude de la contamination de l'atmosphère par les pesticides dans une zone agricole

Decuq Céline, Bedos Carole, Benabdallah Rachid, Esnault Baptiste, Durand Brigitte, Gautier Jean-Luc, Bretagnolle Vincent, Bertrand Colette, Fritsch Clémentine, Benoit Pierre, Pelosi Céline

Contamination des sargasses par la chlordécone : l'autre défi des échouages aux Antilles

Devault Damien A., Massat Félix, Dupuy Laetitia, Lambourdière Josie, Ménez Florence, Maridakis Clio, Hervé Vincent, Anne Péné-Annette, Trouillefou Malika, Dolique Franck, Lopez Pascal-Jean

Caractérisation spatiale de la vulnérabilité des ressources naturelles et gestion des risques de pollution diffuse liés aux pratiques phytosanitaires agricoles

Grimene Chaima, Mghirbi Oussama, Louvet Samuel, Le Grusse Philippe

Dynamique spatiale des concentrations des pesticides dans les eaux de surface et les sédiments d'un agro-hydrosystème tropical : cas du bassin versant du Béré en Côte d'Ivoire

Koné Tiangoua, Eba Mian Germain, Akpo Kouakou Sylvain, Ouattara Petemangnan Jean Marie, Coulibaly Sandotin Lassina, Coulibaly Lacina

Influence de l'utilisation des pesticides sur la qualité des ressources en eau dans le département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire).

Orou Kotchi Rodrigue, Ahoussi Kouassi Ernest, Tie Yro Hyacinthe, Tanoh Adjoua Germaine, Soro Tanina Drissa, Soro Nagnin

Suivi des eaux de drainage en contexte très argileux

Pierlot Frédéric, Schott François-Xavier, Maillet Mezeray Julie, Laflotte Alexandre

Analyse des risques de transferts de pesticides en sols et systèmes de culture tropical antillais

Ponchant Lise, Samouelian Anatja, Andrieux Patrick, Bajazet Thierry, Nannette Jean-Baptiste, Négro Sandrine, Robin Nazaire, Schmitt Chloé, Voltz Marc

Le digital au service du diagnostic parcellaire

Vergonjeanne Hélène, Junger Anaïs, Royal Aurélie

Pollutions ponctuelles : une appli pour prévenir les risques

Vigouroux Ronan, Vergonjeanne Hélène, Garde Philippe, Coudreuse Sylvain, De-Paepe Isabelle, Lagriffoul Arnaud, Goffart Pascal

Session 3 : Techniques de monitoring, analyses et remédiation

Gestion des effluents phytosanitaires : développement d'un procédé de décontamination des emballages vides de pesticides *via* un bio-détergent

Ben Salem Asma, Chaabane Hanène, Lahbib Nada, Salghi Rachi, Fattouch Sami

Mesure de la rétention des pesticides par imagerie rapide

Boukhalfa Hassina Hafida, Belhamra Mohamed

La collection Pesticide Explorer - Dépistage et quantification rapides des résidus de pesticides à l'aide d'une solution complète de LC-MS/MS

Sales Susanne, T. Yang Charles, Reymond Marc, Giacalone Alain, Godula Michal

Effet de l'incorporation de charbon actif pour limiter le transfert de Chlordécone dans les sols

Louis-Thérèse Julian, Samouelian Anatja, Lagacherie Manon, Voltz Marc, Yacou Christelle, Gaspard Sarra

L'analyse des pesticides et des contaminants anioniques polaires par un nouveau flux de travail IC-MS/MS à échantillon unique, multi-analytique, robuste et sensible au résultat.

Pigozzo Fausto, Fussell Richard, Guo Qilei, Yingchen Li, Blay David, Giacalone Alain, Tao Bo

Méthode alternative d'analyse d'herbicides dans les eaux souterraines : vers le développement de biocapteurs.

Surribas Anaïs, Noguer Thierry, Barthelmebs Lise)

Session 4 : Efficacité ou impacts des pesticides sur les organismes végétaux et animaux

Impact des pesticides sur l'activité microbienne de dénitrification dans les eaux souterraines

Michel Caroline, Baran Nicole, André Laurent, Joulian Catherine

Evaluation de la toxicité aigue d'un pesticide (oberonr) sur un poisson *Gambusia Affinis* : paramètres de lethalite et activité de l'acétylcholinestérase

Bengrait Meriem, Habes Dehbia, Soltani Noureddine

Effets des pesticides sur l'activité natatoire des larves d'huître creuse (*Magallana gigas*) exposées au stade embryo-larvaire

Bringer Arno, Dubillot Emmanuel, Prunier Grégoire, Clérandeau Christelle, Lerebours Adelaïde , Thomas Hélène, Cachot Jérôme

Effet répulsif des extraits du thym *Thymus vulgaris* et du ricin *Ricinus communis* sur l'acarien *Tetranychus urticae* (*Acari, Tetranychidae*)

Bouharroud R., Hormatallah A., El Assri M., Mokrini F.

Comparaison de la détoxication de la métribuzine par deux espèces d'Amarante.

Kilinc Özgür Kivilcim, Laurent François

Détermination des pesticides dans les moules, huîtres, sédiments et l'eau des Pertuis Charentais – Etude Pilote

Lerebours Adélaïde, Parinet Julien, Receveur Justine, Jezequel Ronan, Thomas Hélène

Enquête de suivi sur les résidus de pesticides dans les raisins de table et évaluation des risques pour l'homme au Liban

Sandikly Nahid, Hayar Salem, Millet Maurice

Session 5 : Evaluation de l'exposition et des impacts en santé humaine

Quels sont les dangers sanitaires des usages agricoles des pesticides autorisés en Algérie ?

Bettiche Farida, Grunberger Olivier, Bengouga Khalila, Tahar Chaouche Souad, Chaib Warda, Mancer Halima, Belhamra Mohamed

Risques d'exposition des agriculteurs aux pesticides à Biskra – Algérie

Boukhalfa Hassina Hafida, Guehiliz Naoual, Deghnouche Kahramen

Procédure d'homologation des produits phytopharmaceutiques : Prise en compte de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques dans l'air – explication pour les promeneurs et riverains

Laurent Sonia, Maillet-Mezeray Julie

Session 6 : Approches Paysagères et territoriales du devenir et de l'impact des pesticides

Exposition des sols agricoles et d'organismes non cibles aux pesticides : quelle influence de la mosaïque paysagère ?

Bertrand Colette, Daniele Gaëlle, Lafay Florent, Vulliet Emmanuelle, Bretagnolle Vincent, Zagatti Pierre, Pelosi Céline, Fritsch Clémentine

« Printemps silencieux » sur l'île de la Réunion, un rapace endémique menacé par l'utilisation de pesticides

Coeurdassier Michael, Villers Alexandre, Augiron Steve, Sage Mickael, Couzi François-Xavier, Lattard Virginie, Fourel Isabelle

Exposition des micromammifères aux pesticides actuellement utilisés : différences entre espèces, rôle de l'habitat et du paysage

Fritsch Clémentine, Coeurdassier Michaël, Raoul Francis, Scheifler Renaud, Hardy Emilie M, Palazzi Paul, Schaeffer Charline, Bretagnolle Vincent (Appenzeller Brice, Pelosi Céline

La transition agroécologique passe par des versants agricoles suffisamment résilients

Le Hénaff Guy

Recueil des résumés des présentations orales

Session 1 :

Usage des pesticides : diagnostic et leviers de réduction

Mesures de pesticides dans l'air et dans les dépôts en bordure de champs lors d'opérations de pulvérisation

Ruthy Ingrid (1), Remy Suzanne (1), Veschkens Mathieu (1), Huyghebaert Bruno (2), Herman Jean-Luc (2), Pigeon Olivier (2), Schiffers Bruno (3)

(1) ISSeP (Institut Scientifique de Service Publique-, 200, rue du Chera, 4000 Liège Belgique – i.ruthy@issep.be

(2) CRA-W (Centre wallon de Recherches Agronomiques), 4, rue du Bordia, 5030 Gembloux, Belgique – b.huyghebaert@cra.wallonie.be

(3) ULiège, Gembloux-AgroBioTech - schiffersbruno@gmail.com

Introduction

L'objectif du projet était de collecter des données de mesure pour évaluer, de manière plus précise, l'exposition aux produits phytopharmaceutiques des populations vivant en bordure de champs traités par pulvérisation. Des moyens techniques pour réduire l'exposition comme l'installation d'un filet à papillon en bordure de champ ou l'utilisation de buses anti-dérive ont également été testés.

Méthodologie

Plusieurs essais en parcelles expérimentales (froment, pomme de terre et maïs) ont été menés entre mai et septembre 2018, soit lors d'une seule saison culturale et aux conditions météorologiques particulières. Au total 19 substances actives (SA) ont été étudiées lors de 7 pulvérisations, réalisées selon les bonnes pratiques agricoles. Trois types de capteurs différents ont été utilisés pour collecter, avec une efficacité propre à leur principe de fonctionnement, les SA : des capteurs horizontaux ont permis l'échantillonnage de la dérive sédimentaire, des pompes à air ont permis d'échantillonner les SA présentes dans l'air et des capteurs verticaux ont capté les SA présentes sous forme d'aérosols solides ou liquides dans la dérive de pulvérisation. Des essais de mesure de la dérive sédimentaire avec un traceur ont également été réalisés. Pour chacune de ces approches, des essais, soit avec ou sans buses anti-dérive, soit avec ou sans écran, ont pu être réalisés permettant ainsi une évaluation de l'efficacité de la mise en œuvre de ces mesures sur la réduction de la dispersion des PP.

Résultats

Des centaines de données ont été engrangées lors des essais sur le terrain. Les enseignements majeurs qui peuvent en être tirés sont les suivants :

Selon les SA, les quantités déposées au sol sont de l'ordre de quelques dizaines de ng/m² à quelques dizaines de µg/m² (voire quelques mg/m² pour quelques SA). Dans l'air, les concentrations en SA varient entre quelques dixièmes de ng/m³ à quelques centaines de ng/m³. Le dépôt au sol de SA diminue en fonction de l'éloignement de la zone de pulvérisation, particulièrement dans les 10 premiers mètres (80 % de réduction pour 90 % des SA). Par contre, les concentrations de pesticides dans l'air ne montrent pas de tendance nette à la diminution en fonction de la distance au champ traité. Souvent, les concentrations les plus élevées sont mesurées à une distance de 6 m du champ. Si on ne considère que les 2 premières heures qui suivent la pulvérisation, des concentrations maximales sont toutefois parfois observées à 10 m, ou 25 m du bord du champ traité.

Les dépôts au sol de SA diminuent, généralement, en fonction du temps écoulé depuis la pulvérisation. Les dépôts les plus élevés sont observés dans les deux premières heures. Selon les SA, entre 10 % et 90 % de la quantité totale se dépose durant les 2 premières heures et entre 40 % et ± 90 % durant les 12 premières heures. Pour 3 SA, on a observé que les dépôts sédimentaires étaient encore importants 12 h après la pulvérisation. Une diminution des concentrations en SA dans l'air en fonction du temps écoulé ne constitue pas par contre une règle générale. Plusieurs SA présentent des pics de concentrations bien au-delà des 2 premières heures après la pulvérisation, à 12 h, 24 h voire 48 h.

Les résultats confirment que l'utilisation de buses anti-dérive (min 50 %) permet de réduire significativement la dérive sédimentaire immédiate, essentiellement dans les 10 premiers mètres jouxtant la parcelle pulvérisée. Au-delà, la réduction est moindre.

L'installation d'un écran de type filet de protection 'anti-insectes' en double couche de 2 m de haut utilisé en bord de parcelle permet de réduire, dans 2/3 des observations, la dérive sédimentaire, dans les premiers mètres (6 m) et durant les premières heures qui suivent la pulvérisation (2 h). A partir de 10 mètres de la barrière et au-delà, une réduction des quantités de SA accumulées n'est plus observée qu'une fois sur deux. Quelle que soit la distance considérée, les taux de réduction (rabattement) de la dérive sédimentaire sont très variables mais le plus souvent inférieurs à 50 %.

Conclusions

Compte tenu des résultats un certain nombre de recommandations ont été formulées à l'attention des autorités publiques. Parmi elles, figurent en première ligne l'utilisation des buses anti-dérive, l'installation d'un écran en bordure de champs. Le respect d'une distance de 10 m entre la bordure du champ traité et les milieux de vie et d'une période de 12 heures entre l'application et la présence d'enfants à l'école est également préconisé.

Développement d'une méthodologie d'évaluation et de classification des appareils de traitements en viticulture

Douzals Jean-Paul (1), Codis Sebastien (2), Verges Adrien (2), Carra Mathilde (1)

(1) *IRSTEA UMR ITAP, Montpellier Sup Agro, Université de Montpellier, 361 rue JF Breton 34196 Montpellier jean-paul.douzals@irstea.fr*

(2) *IFV – UMT ECOTECH, 361 rue JF Breton 34196 Montpellier*

La viticulture est un domaine où la consommation de produits de protection des plantes est importante et varie peu dans le temps (Agreste, 2017). De plus, ce domaine agricole comporte une vaste gamme de typologies de matériels adaptés à des contextes régionaux de mode de culture et qui tiennent compte de la largeur d'inter-rangs étroits ou larges (frontière fixée à 1,60 m). Cette double variabilité Végétal vs. Pulvérisateur se traduit par une difficulté de pouvoir caractériser la performance d'un appareil dans un contexte viticole donné par l'évaluation des dépôts de pulvérisation au champ (Codis et al., 2018). Ainsi les travaux menés depuis 2013 par l'UMT IFV-IRSTEA ont permis de développer un banc d'essai correspondant à une végétation artificielle couplant un banc central avec feuilles entouré par des bancs équipés de filets brise vent servant à homogénéiser les flux d'air et de gouttes. Le banc EvaSprayViti permet de représenter 3 stades phénologiques différents avec des surfaces foliaires variant de 0,24, à 0,88 et 1,68 $ha.ha^{-1}$. Les données analysées correspondent aux dépôts quantitatifs de traceur (Tartrazine E102) considérant une double normalisation de l'unité de dépôt en ng/dm² pour 1 g de substance active/ha et ce pour différents compartiments correspondant à des hauteurs et des profondeurs d'échantillonnage différentes. Différentes typologies d'appareils représentant l'état du marché (voûte pneumatique, face par face, aéroconvecteur tangentiel…) ont été testées (figure 1).
Les résultats obtenus montrent une grande variabilité des performances en termes de dépôts moyens et de coefficients de variation inter-compartiments selon le type de matériel d'une part et le stade phénologique d'autre part ce qui amène à plusieurs questionnements sur i) la possibilité de classer les appareils selon leur performance d'application, ii) la validation des bénéfices de pratiques d'application spécifiques et iii) une réflexion objectivée sur la capacité du végétal à capter un certain volume de bouillie. Afin de classer les appareils selon leur performance d'application en 4 classes de performances (A+, A, B et C), les deux critères de dépôt moyen (DM) et de coefficient de variation (CV) entre compartiment sont intégrés dans le calcul d'un dépôt moyen corrigé (DMc). Les appareils de référence (voûte pneumatique passée tous les deux rangs en vigne large, face par face par le dessus en vigne étroite) ont été testés afin de définir le niveau de performance de référence (note B). Les appareils dont les performances sont inférieures à ce niveau de référence reçoivent la note C. Un appareil permettant de produire des niveaux de dépôt au niveau de référence est affecté de la note C et ne permet pas de réduire les doses. Un appareil permettant un niveau de dépôt corrigé supérieur à 30 % par rapport au niveau de référence est affecté de la note A et peut permettre des réductions de dose de 30 % tout en maintenant une quantité de dépôt de pulvérisation équivalente à la référence. Enfin un appareil permettant un niveau de dépôt supérieur de 50 % par rapport à la référence est affecté de la note A+ et peut permettre des réductions de dose de l'ordre de 50 % (Figure 2).

Les objectifs de cette classification qui va donner lieu à une labellisation volontaire des appareils les plus performants sont i) de permettre des réductions de dose en sécurité, ii) de générer un avantage concurrentiel pour les constructeurs, et iii) de flécher les aides au renouvellement de matériel grâce à une classification universelle.

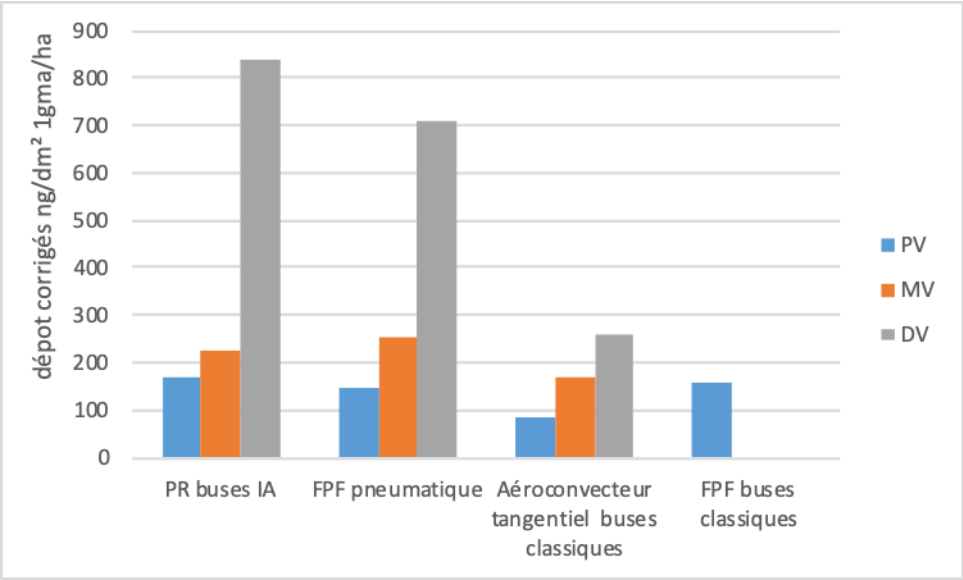


Figure 1 : évolution des dépôts corrigés selon le stade et la typologie d'appareil

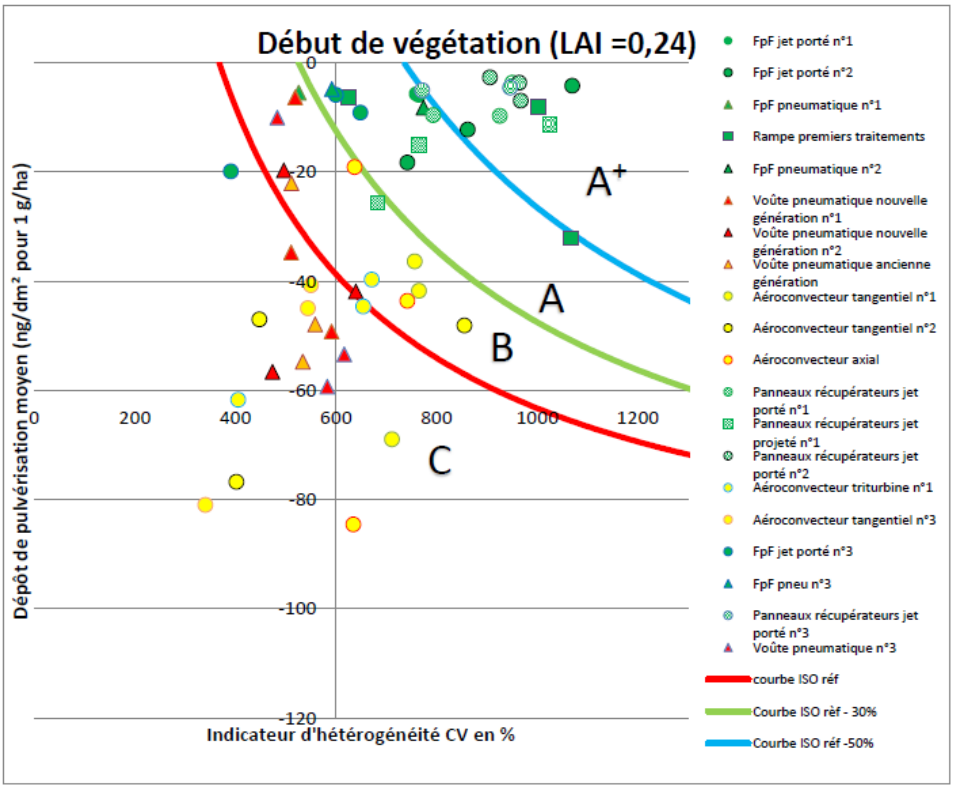


Figure 2 : principe de classification des appareils selon leur performance en début de végétation en vignes larges

Agreste, 2017. Agreste Les Dossiers - n° 39 - Mars 2017, 30p.

Codis et al., 2018. Dataset of spray deposit distribution in vine canopy for two contrasted performance sprayers during a vegetative cycle associated with crop indicators (LWA and TRV). Data in Brief, vol. 18, p. 415-421. DOI 10.1016/j.dib.2018.02.012.

PulvéLab : évaluer au vignoble des capteurs et des solutions numériques innovantes pour diminuer et gérer les intrants phytosanitaires

Cheraiet Anice (1), Delpuech Xavier (1), Carra Mathilde (2), Andres Jean (1), Vergès Adrien (1), Lienard Adrien (1), Codis Sébastien (1), Naud Olivier (2)

(1) Institut Français de la Vigne et du vin (IFV), Montpellier, France.

(2) ITAP, Université Montpellier, Irstea, Montpellier SupAgro, Montpellier, France.

INTRODUCTION

Dans le contexte viticole Français actuel, maîtriser l'impact des maladies et bio-agresseurs est un défi majeur. La maîtrise des épidémies, notamment pour les parasites obligatoires que sont le mildiou de la vigne (*Plasmopara viticola)* ou l'oïdium (*Erysiphe necator*), nécessite l'utilisation de nombreux traitements phytosanitaires pouvant avoir des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Pour la réduction des doses de produits phytosanitaires, essentielle à une viticulture plus performante économiquement et plus respectueuse de l'environnement, un levier est de prendre en compte les caractéristiques structurales et morphologiques de la végétation et la performance du matériel de pulvérisation utilisé pour raisonner l'application des traitements phytosanitaires. L'évolution des technologies dans le domaine de l'application de la pulvérisation et la multiplication des capteurs disponibles pour l'agriculture ouvrent la voie au développement de solutions numériques innovantes pour la pulvérisation de précision en viticulture. Le PulvéLab est un projet lancé en 2018 par l'IFV et IRSTEA dans le cadre de l'unité mixte technologique ECOTECH. Ce projet vise à accélérer l'innovation en viticulture de précision en proposant à des partenaires, notamment des sociétés innovantes privés un domaine viticole pour (i) tester, (ii) évaluer et (iii) démontrer la performance de leurs solutions innovantes en conditions opérationnelles. Pendant la première année du projet, la caractérisation de la variabilité spatiale de la structure et de la morphologie du couvert végétal a été réalisée sur l'ensemble du vignoble avec des mesures de référence (mesures manuelles de la géométrie) et des mesures haute résolution (LiDAR 2D embarqué sur engin mobile). La première campagne a permis à des sociétés de tester leurs services et des capteurs. Les capteurs de détection proximale suivants ont été mis en œuvre : Multiplex 330 (Force-A), Greenseeker (Trimble), ainsi que le LiDAR 2D Sick LMS-100 avec une chaine de traitement offrant le calcul de plusieurs indices (Bastianelli et al., 2018). Des sociétés offrant des mesures embarquées sur drones à différentes altitudes ont réalisé plusieurs mesures au cours de la saison. Les indices EVI (enhanced vegetation index) et canopy area (CA) ont été mesurés par la société VineView. L'indice NDVI (normalized difference vegetation index) a été mesuré par les sociétés Chouette et Fruition Science. Par ailleurs, des acquisitions par satellite de NDVI ont été réalisées par la société ICV-Terranis. Dans la présente étude, nous nous intéresserons spécifiquement à l'utilisation d'un indice permettant d'estimer le volume de végétation (TRV : tree row volume), afin d'évaluer la faisabilité de mettre en œuvre un modèle permettant de préconiser une dose en fonction de ce volume et d'autres paramètres, en l'occurrence le modèle de préconisation Optidose® (Davy et al., 2007). Nous prendrons pour exemple l'indice de surface de végétation, canopy area (CA) fourni par la société VineView. Les objectifs étaient (i) d'élaborer une carte de recommandation de doses à l'échelle du vignoble basée sur la cartographie d'un indice de végétation, et (ii) de calculer les économies potentielles en pesticides, en considérant différentes échelles spatiales de décision sur les doses : dose uniforme au vignoble, dose ajustée parcelle par parcelle, et enfin dose ajustée localement dans la parcelle, dans l'hypothèse de disponibilité d'un appareil automatisé permettant cette adaptation dite « en temps réel ».

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Un vignoble de 10 ha situé au nord de Montpellier (Hérault, France, Lat. 43°31'55.9 "N, Long. 3°51'50.3 "E) a été suivi pendant la campagne 2018. 40 placettes de 15 m de long ont été positionnées dans des zones contrastées de vigueur de végétation du vignoble. Sur chaque placette, la hauteur et la largeur de la végétation ont été mesurées manuellement pendant le développement de la vigne, afin de calculer le tree row volume (TRV). Le TRV (m3/ha) a été calculé selon la formule suivante : TRV = (l * h * 10 000) / ir ; avec l : épaisseur en m ; h : hauteur en m ; ir : largeur de l'inter-rang en m. Le TRV est l'indicateur de végétation utilisé pour adapter les doses de pesticides à la végétation dans le modèle Optidose® développé par l'IFV. Optidose® fournit une recommandation de dose de produits phytosanitaires exprimée en pourcentage de la dose homologuée à l'hectare cadastral. La table de préconisation Optidose® tient compte du TRV, du stade phénologique, de la pression parasitaire (en particulier, résultant de l'interprétation d'un modèle bioclimatique de risque) et de la sensibilité de la parcelle (sensibilité en pratique souvent déterminée selon le cépage). La pression de la maladie a été évaluée à l'échelle du domaine à partir des modèles du Potentiel Système proposés par l'IFV sur la plateforme Epicure (www.vignevin-epicure.com). Les parcelles de Carignan ont été considérées comme fortement sensibles à l'oïdium, en relation avec les manifestations souvent précoces de cette maladie sur ce cépage. La variabilité de la végétation a été cartographiée par la société VineView. L'acquisition a été réalisée par un drone, le 17 juillet 2018 (étape de fermeture de grappe BBCH : 79), à une altitude de 50 m, pour obtenir des images d'une résolution de 0,03 à 0,05 m sur l'ensemble du vignoble. VineView calcule un indicateur de surface de végétation pour chaque cep de vigne, calculé à partir des pixels identifiés comme de la végétation de vigne : la canopy area (CA) (figure 1). Pour chaque placette, la valeur moyenne de l'indicateur végétatif CA a été calculée, et un modèle linéaire a été estimé pour faire le lien avec l'indicateur végétatif TRV manuel, permettant d'obtenir une cartographie de l'indicateur végétatif TRV du vignoble à l'échelle de résolution du cep. Le modèle Optidose® a ensuite été utilisé pour obtenir une carte de recommandation des doses à l'échelle de résolution du cep de vigne. À cette période de l'année, les modèles de maladie indiquaient une forte pression de maladie en faveur de l'oïdium. Les économies potentielles de produits phytosanitaires ont été calculées à partir de cette carte de recommandations, selon différents scénarios : (i) dose homologuée sur l'ensemble du vignoble (ii) adaptation de la dose recommandée avec Optidose® à l'échelle du vignoble (iii) adaptation à l'échelle de la parcelle et (iv) adaptation pour chaque cep de vigne. Pour chaque échelle, l'ajustement de la dose a été calculé en fonction de la dose maximale recommandée, dans le cadre d'une stratégie visant à minimiser le risque de maladie. Sur l'ensemble du vignoble, le pourcentage de la dose moyenne homologuée a été calculé. Cet indicateur définit l'indicateur synthétique permettant de comparer les économies de pesticides en fonction de l'échelle spatiale d'ajustement des doses.

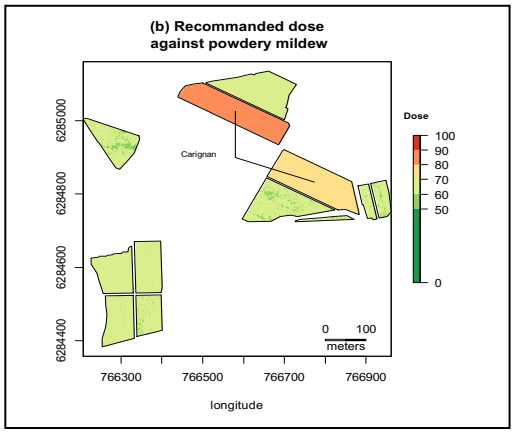


Figure 1 : carte des doses recommandées (en % de la dose homologuée) contre l'oïdium de la vigne avec le modèle Optidose® obtenu avec l'indicateur canopy area à la résolution du cep acquis par le drone de la société VineView, au stade fermeture de la grappe (17 juillet 2018)

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les doses recommandées par Optidose® au stade de la fermeture des grappes pour l'oïdium variaient de 40 à 90 % de la dose homologuée (figure 1). Les valeurs les plus élevées de l'indicateur végétatif TRV ont été observées sur les parcelles de Carignan, qui ne sont pas palissées et présentent un inter-rang plus grand que les autres parcelles du vignoble (3 m contre 2,5 m sur le reste du vignoble). De plus, la sensibilité élevée du cépage Carignan à l'oïdium a conduit à la préconisation des doses recommandées les plus élevées pour les parcelles correspondantes. L'analyse de la carte (figure 1) montre qu'en suivant les recommandations d'Optidose®, l'application d'une même dose sur l'ensemble du vignoble conduit à appliquer sur le vignoble la dose préconisée la plus élevée et conduirait donc à une réduction de dose de 10 % par rapport à l'application de la dose homologuée. Une adaptation des doses à la parcelle permet un gain supplémentaire de 13 %. Enfin, une interprétation au cep

de la dose recommandée permettrait une économie additionnelle de 6 %. Ces résultats montrent qu'adapter spatialement les doses sur un vignoble permet potentiellement de réaliser des économies de produits significatives. Néanmoins, le niveau d'économie potentielle attendu de cette préconisation modulée par un attribut de la végétation dépend de la pression de la maladie, des différences de sensibilité des variétés plantées, mais aussi de la variabilité spatiale de cet attribut dans le vignoble. Or, ce niveau de variabilité évolue au cours de la saison. D'autre part, une adaptation à l'échelle de la parcelle implique l'adaptation des réglages de pulvérisation à chaque parcelle, ce qui peut être une contrainte pour l'opérateur avec un pulvérisateur standard. Des dispositifs automatisés de pulvérisation seraient a priori utiles pour aider à la mise en œuvre de ce type d'approche. Les premiers résultats obtenus de cette expérience ont été obtenus au stade de la fermeture des grappes, à la fin de la période de sensibilité pour la vigne et avec une végétation bien développée. Dans la mesure où l'indice de végétation TRV augmente au fur et à mesure au cours de la saison culturale, les doses recommandées sont susceptibles d'être plus faibles lors des premiers traitements de la saison, ce qui se traduirait par des économies de pesticides plus importantes pour une saison culturale complète. Une étape prochaine, dans l'évaluation de l'intérêt environnemental et technico-économique d'une telle approche numérique facilitant l'élaboration d'une préconisation spatialement précise, consisterait en des tests biologiques.

REFERENCES

Bastianelli, M., et al. 2018. Assessing models from Lidar based vegetation indicators for predicting spraying deposit amounts in a set of vine estates in France, In : Proceedings International Advances in Pesticide Application Conference, Aspects of Applied Biology, 137 :375-384, Brighton,

Davy, A. 2007. Le programme Optidose : optimisation agronomique et environnementale de la pulvérisation, In : Proceedings EUROVITI Conference, 1 : 157-162, Montpellier, France.

Détection des pesticides et transformation des expositions - Usage de la métrologie pour (ré)organiser la préparation de bouillie en viticulture et limiter la migration des pesticides (Etude PREVEXPO)

Goutille Fabienne (1), Duporté Geoffroy (2), Bouchart Valérie (3), Dévier Marie-Hélène (2), Budzinski Hélène (2) et Garrigou Alain (1)

(1) Equipe EPICENE, Bordeaux Population Health Center - Inserm U1219, Université de Bordeaux - ISPED Case 11, 146 rue Léo Saignat, 33076 BORDEAUX Cedex – fabienne.goutille@gmail.com

(2) Equipe LPTC, EPOC UMR 5805, Université de Bordeaux - CNRS, 351 cours de la libération, 33405 TALENCE Cedex – helene.budzinski@u-bordeaux.fr

(3) Laboratoire LABÉO, 1 route de Rosel – Saint-Contest, 14053 CAEN Cedex 4 - valerie.bouchart@laboratoire-labeo.fr

La prévention des risques pesticides est un sujet de préoccupation croissant pour les professionnels et pour la population générale. Pourtant, les connaissances sur les situations d'exposition en conditions réelles d'usage sont très limitées. En milieu viticole, les sources potentielles d'exposition aux pesticides sont nombreuses et difficilement quantifiables. Le nombre de matières actives employé par les professionnels pour réaliser les traitements phytopharmaceutiques est élevé. Il est essentiel de mieux comprendre les circonstances de ces usages de manière à pouvoir mieux prévenir les expositions. La recherche-intervention PREVEXPO s'inscrit dans la poursuite du programme PESTEXPO, mis en place en Aquitaine en 2000, dans lequel des études d'observation en vigne dans les conditions habituelles de travail ont été réalisées. PREVEXPO, initiée en 2016, réunit métrologie et ergonomie autour de la question de la détection et de la transformation des situations d'exposition en milieu viticole.

Prevexpo, c'est permettre à des viticulteurs et à des chercheurs en santé au travail de construire ensemble la détection et la transformation des situations d'exposition aux pesticides. Il s'agit de caractériser conjointement les expositions et les sources de contamination. De la sphère d'usage des produits phytosanitaires (PPP) et des pesticides (espace et matériel de transport de stockage, de chargement, de nettoyage) à des sphères de non usage de ces produits (bureaux, ateliers, cuisine, salle de réception, lieux de vie, etc.). Puis, de faire évoluer l'organisation du travail (espaces, matériels, modes opératoires, acteurs) pour réduire au possible la migration des matières actives d'une sphère à une autre.

Dans ce but, la recherche-intervention PREVEXPO a été mise en place en plusieurs étapes : observations filmées de la préparation de bouillie, métrologie humaine et environnementale, construction de la sécurité à partir des données de métrologie couplées aux observations filmées. La première étape consistât à filmer sous plusieurs angles les situations de travail, à produire des enregistrements sonores et visuels permettant d'examiner le fil d'action des viticulteurs qui préparent la bouillie phytosanitaire. Intégrés au logiciel Captiv® ces enregistrements permettent de mesurer les durées de contact direct et indirect du travailleur avec les matières actives. La deuxième étape avait pour objectif de mesurer la contamination externe du travailleur, de son matériel et de son environnement par l'emploi simultané de plusieurs techniques : les patches (compresses en coton) disposés sur le viticulteur pour évaluer les zones du corps les plus touchées en fonction des situations ; les frottis surfaciques pour mettre en visibilité les souillures liées aux usages ; les capteurs atmosphériques pour suivre le comportement des matières actives d'un espace à un autre. Lors de la troisième étape, les éléments de résultats des étapes 1 et 2 ont permis d'appuyer la conception de nouvelles situations d'usage pour optimiser l'action du viticulteur et limiter l'exposition.

La construction collaborative de la détection des expositions aux pesticides dans l'usage des PPP en viticulture a permis une caractérisation concrète des situations d'exposition et de leurs déterminants. D'un côté, la métrologie, construite avec les viticulteurs, a permis de mesurer et de mettre en visibilité des migrations de molécules peu décelables par l'Homme et classiquement peu recherchées (Outils,

équipements et espaces souillés en situation d'usage). D'un autre côté, le couplage de la métrologie à l'analyse de l'activité a permis aux viticulteurs de mettre en visibilité, de s'approprier et développer leur pouvoir d'agir pour transformer par eux-mêmes les déterminants des expositions (macro-déterminants reliés au système d'activité et à l'organisation de l'activité, micro-déterminants reliés aux ressources nécessaires à l'exécution des tâches).

Pour transformer les situations d'exposition, il a s'agit d'appuyer les opérateurs dans la construction de situations de sûreté au-delà de la capitalisation de situations d'exposition. Ces résultats, issus de l'action PREVEXPO, nécessitent à présent d'être mise en forme pour une appropriation et une adaptation par d'autres viticulteurs, voir d'autres utilisateurs de PPP.

Evaluation des risques liés à l'utilisation des intrants dans l'agriculture Ivoirienne : Cas des stocks de pesticides obsolètes

Kouadio K. Georges (1, 2, 3), N'guessan Y. Mathieu (1, 4), Yoboué Justin (1)

(1) Projet de Gestion des Pesticides Obsolètes en Côte d'Ivoire (PROGEP-CI), II Plateaux 7ème Tranche 27 BP 629 Abidjan 27

(2) Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement Durable de Côte d'Ivoire

(3) Ecole Normale Supérieure Abidjan, 08 BP 10 Abidjan 08

(4) Université Félix Houphouët Boigny, Cocody-Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22

L'agriculture revêt une importance vitale pour l'économie de la Côte d'Ivoire, où elle représente une grande partie des recettes en devises et assure l'emploi de millions de personnes dans le pays. La perte éventuelle de l'accès aux marchés internationaux des produits d'exportation, notamment le cacao, dû aux non respect des normes, peut avoir de graves conséquences sur l'économie ivoirienne. En effet, depuis quelques années, les pays exportateurs de produits agricoles sont soumis, au niveau international, à de nouvelles réglementations plus contraignantes sur les Limites Maximales de Résidus (LMR). Au Japon, par exemple, la nouvelle législation sur les LMR, en vigueur depuis mai 2006, a conduit au renvoi, par le pays, de plusieurs tonnes de cacao en raison de leur non-conformité. Dans l'UE et aux États Unis, les fabricants de chocolat ont exprimé de vives préoccupations au sujet de fèves de cacao pour lesquelles il a été constaté un dépassement des LMR ou la présence des traces de pesticides obsolètes. Face à cette situation, la Côte d'ivoire, premier producteur mondial de cacao, a fait de la réduction des pesticides obsolètes, sur son territoire, une priorité nationale. Cette mission a été confiée au Projet de Gestion des Pesticides Obsolètes en Côte d'Ivoire (PROGEPCI), qui a conduit durant 6 mois une vaste étude sur les stocks de pesticides utilisables et non utilisables en Côte d'Ivoire. Cette étude a consisté à inventorier, dans les 33 régions et districts de Côte d'Ivoire, le type/substance active, la qualité, la quantité, la localisation et les conditions de stockage des pesticides dans le pays.

Cette investigation, qui a mobilisé 200 techniciens et cadres du ministère en charge de l'Agriculture en Côte d'Ivoire, a permis de répertorier 6 000 magasins et dépôts de pesticides, sur tout le territoire ivoirien. La plupart de ces magasins se situent dans l'ouest (zone de cultures de cacao, café et riz) et le nord (zone de cultures de coton, d'anacarde et cultures vivrières) du pays, avec respectivement 39 % et 27 % des dépôts et magasins de pesticides inventoriés. Le centre du pays (zone de cultures maraichères et vivrières), avec 9 %, est la zone qui compte le moins de dépôts de pesticides. La quantité de pesticides obsolètes (périmés, frauduleux et interdits), répertoriés sur le territoire ivoirien est de 150 tonnes. Des molécules interdites telles que le Paraquat (interdit depuis 2004), l'atrazine (interdite en 2015), l'endosulfan (POP interdit en 2008), ont été identifiées dans certains stocks. Les conditions de stockage des pesticides obsolètes et utilisables, dans la moitié des magasins visités, ne sont pas conformes aux normes requises par le code de conduite de la FAO. Les pesticides obsolètes sont entreposés à proximité des habitations ou des bureaux des agents des structures étatiques ; les bâtiments qui servent de stockage de ces produits dangereux, ne sont pas adaptés, car ne disposant pas de système d'aération permanent.

Mots-clés : Pesticides obsolètes, Résidus, Inventaire, Agriculture, Stockage

L'utilisation des produits phytosanitaires : une affaire de familles ? Comparaisons sociologiques sur quatre territoires agricoles français.

Barthélémy Carole (1), Allouche Aurélien (2), Armani Gilles (3), Gramaglia Christelle (4), Nicolas Laurence (5)

(1) Laboratoire Population Environnement Développement UMR 151 Aix-Marseille Université, Site Saint-Charles Case 10, 3 place Victor Hugo, 13 331 Marseille Cedex 3 – carole.barthelemy@univ-amu.fr

(2) Ressource, 3095 route de Boulbon, 13570 Barbentane - aurelien.allouche@orange.fr

(3) IRSTEA Lyon-Villeurbanne, UR RiverLy, Équipe EMA, 5 rue de la Doua CS70077, 69626 VILLEURBANNE Cedex IRSTEA - gilles.armani@irstea.fr

(4) IRSTEA, UMR G-EAU, Montpellier UMR G-EAU IRSTEA, 361 rue J.F. Breton BP 5095, 34196 Montpellier cedex - christelle.gramaglia@irstea.fr

(5) Ressource, 3095 route de Boulbon, 13570 Barbentane – laurence.b.nicolas@wanadoo.fr

Le rôle de la famille dans les sociétés paysannes et/ou agricoles est toujours souligné comme fondamental, indépendamment du type d'agriculture pratiquée. Dans leur ouvrage de synthèse concernant la sociologie des « mondes agricoles », Bertrand Hervieu et François Purseigle proposent d'appréhender la recomposition de l'agriculture dans un contexte d'économie globalisée autour de trois pôles : la famille, la firme et la subsistance (2014). Si les changements liés à la modernisation de l'agriculture ont donné lieu à de nouvelles formes de gestion des exploitations, la famille reste, selon les sociologues, un élément constant de l'agriculture. Pierre Gasselin et al. (2014) proposent une analyse comparée du rôle joué par la famille dans le monde agricole au Nord et au Sud. Celle-ci est ainsi étudiée comme une entrée analytique délaissée selon les auteurs et qu'il faudrait réactiver. Il est alors nécessaire de déconstruire la construction politique et idéologique de la famille agricole « traditionnelle » pour souligner les nouvelles formes qu'elle épouse dans un contexte agricole changeant où en France, par exemple, les 2/3 des exploitations agricoles, qui sont dans une situation de succession, n'ont pas de successeurs connus. L'individualisme, en lien avec la technicisation de l'agriculture, interroge les liens familiaux. Le rapport à la famille est ambivalent : « La famille peut être un atout pour la pérennité, la transmission, les solidarités tout comme elle peut s'apparenter à un héritage lourd, un lieu d'oppression et son ouverture permet un rapprochement avec les autres secteurs de la société » (Gasselin et al., p.376). La prise en compte de cette dualité est pertinente dans une perspective de changements de pratiques plus respectueuses de l'environnement. Les auteurs interrogent d'ailleurs le rôle de la famille dans le cadre de l'agro-écologie : « En regardant la famille, l'agriculture prend la forme d'un tissu social qui s'ancre dans les territoires ruraux ou dans des réseaux qui ouvrent la vie de l'exploitation sur d'autres ressources et d'autres possibles. Toutefois, la famille créatrice de solidarités et terreau de transmission est parfois un lieu de rapports de force et de rupture ; elle articule du prévisible dans l'inertie des liens et de l'imprévisible quand il s'agit de s'en détacher pour vivre une autre histoire que l'histoire familiale » (Gasselin et al., op.cit., p.378).

L'utilisation des produits phytosanitaires dans un contexte de profonds changements à leur égard (en termes de prises de risques environnementaux et sanitaires, de controverses sociotechniques) n'a pas été, jusqu'alors, analysée dans une perspective familiale. C'est précisément cette entrée analytique qu'une équipe de sociologues et d'ethnologues réunis dans le cadre du projet « Trajectoires »[1] a décidé de suivre. En suivant l'histoire familiale d'agriculteurs, était-il possible de repérer les périodes de changement dans l'utilisation des pesticides ? Et si oui, quels en étaient les facteurs ? L'entrée par la famille a permis de donner une perspective plus longue dans le changement des pratiques. Quatre territoires ont fait l'objet d'une enquête sociologique auprès, pour chacun d'entre eux, d'une vingtaine d'exploitants agricoles et de leurs familles : le Beaujolais, le secteur de la communauté de communes Cœur d'Hérault, la Camargue et les Alpilles Nord (pour l'arboriculture) et Sud (pour l'oléiculture). La comparaison des entretiens réalisés

[1] Action pilotée par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et le ministère de la Transition écologique et solidaire, avec l'appui financier de l'Agence française de la biodiversité dans le cadre de l'APR « Résistances et pesticides », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto.

met, tout d'abord, en évidence des invariants dans les trajectoires familiales : importance de la période de « modernisation » dans les années 1950/1960 et l'arrivée « magique » des pesticides ; installation d'une représentation stable dans le temps de la nécessité d'avoir une parcelle propre et entretenue ; aucune connaissance à l'égard des risques potentiels. Les « points de basculement » dans les pratiques agricoles adviennent à plusieurs périodes. Certains ont eu lieu très rapidement dès les années 1970/1980, d'autres sont beaucoup plus récents. En analysant la répercussion de ces nouvelles pratiques au sein des familles, il est possible de proposer une grille d'analyse des changements opérés et de la multi-factorialité qui peut les expliquer. L'échelle d'observation et d'analyse permet d'éclairer l'imbrication de micro-évènements familiaux, d'itinéraires individuels, de postures territorialisées à des conditions et des contextes socio-économiques plus larges. La démarche comparatiste aboutit à la mise en perspective de singularités locales et à l'importance de la dimension socio-culturelle dans les usages des pesticides.

Références citées :

Hervieu B. Purseigle F. 2014. Sociologie des mondes agricoles, Collection U., Armand Colin, 318 p.

Gasselin P., Choisis J.P., Petit S., Purseigle F., Zasser S. 2014. L'agriculture en famille : travailler, réinventer, transmettre, EDP Sciences, 382 p.

Certiphyto : Formation pour réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques ? Regard croisé entre une sociologue et une expologue

Grimbuhler Sonia (1), Barthelemy Carole (2)

(1) Irstea 361, rue Jean-François Breton 34196 Montpellier – sonia.grimbuhler@irstea.fr

(2) UMR 151, Aix-Marseille Université, Institut de Recherche pour le Développement. Laboratoire Population Environnement Développement, 3 place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3, carole.barthelemy@univ-amu.fr

Dans le cadre du projet Trajectoires (2015 – 2019), des sociologues et des chercheurs des sciences de l'environnement et de la santé appréhendent la résistance au changement des usages en lien avec les produits phytopharmaceutiques et identifient les leviers ou les freins pour réduire leur utilisation. Les agriculteurs enquêtés sur les quatre terrains étudiés (Alpilles, Beaujolais, Camargue, Cœur d'Hérault), évoquent majoritairement des questions d'utilisation technique et de niveau, moins des questions environnementales et sanitaires.
Le certificat individuel phytopharmaceutique (Certiphyto) est une mise en application de la directive européenne 2009/128/CE, qui a pour objectif de parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. Cette formation vise à généraliser l**es pratiques limitant les risques pour les utilisateurs et l'environnement. Pour l'achat des produits phytopharmaceutiques l'obtention du Certiphyto par les utilisateurs de produits est obligatoire.**

Dans le rapport « Evaluation du dispositif de délivrance du certificat individuel phytopharmaceutique » (2014), les rapporteurs recommandent par exemple de :

- mettre l'accent sur le contenu des formations sur les techniques de réduction des produits, (suggestion d'un volet machinisme)
- s'appuyer sur la participation des professionnels des domaines concernés : médecins MSA (Mutualité Sociale Agricole), techniciens machinismes, agriculteurs …
- d'améliorer la qualité de la formation (constat d'une grande hétérogénéité de formation) et la formation des formateurs …

L'objectif de cette présentation est de montrer une analyse croisée d'un même objet le Certiphyto par une sociologue de l'environnement et un expologue (ergo-toxicologue), qui ont participé à plusieurs formations Certiphyto, comme observateurs de la formation.
Cette démarche d'observation participative permet de comprendre :

- les informations données aux agriculteurs et comment ils reçoivent ces informations,
- les actions mises en place dans le cadre d'Ecophyto pour réduire l'utilisation des produits par une approche analytique et qualitative, ce qui permet l'évaluation du dispositif.

Le dispositif est uniformisé et inadapté à la diversité des participants aux formations. Les formateurs ne tiennent pas compte des profils des agriculteurs, salariés sachant parler français ou non, chefs d'exploitation, compagnes ou compagnons d'agriculteurs qui partent bientôt à la retraite qui ne réalisent pas les traitements … De plus, certains participants forment les formateurs. Les agriculteurs regrettent de ne pas participer à des démonstrations (désherbage mécanique, réglage de pulvérisateurs …) lors de ces 2 journées. Ils ne voient pas comment réutiliser les informations.
Les supports de formations ne sont pas à jour. Sur le volet santé, beaucoup de caisses de MSA se sont désengagées des formations Certiphyto ; les formateurs des différents centres de formation ont suivi les journées Santé Sécurité au Travail de l'INMA (Institut National de Médecine Agricole), mais ne sont pas pour autant capables de présenter ce volet. Les principes généraux de prévention préconisent de privilégier les actions suivantes : éviter les risques, c'est supprimer le danger ou l'exposition au danger ; évaluer les risques, combattre les risques à la source, adapter le travail à l'Homme, tenir compte de l'évolution de la technique, remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins, planifier la prévention …. au port d'un Equipement de Protection individuelle, peu porté par les agriculteurs, car considéré comme un équipement inconfortable.

L'étude met en avant que le Certificat individuel obligatoire pour l'achat de produits phytopharmaceutiques est perfectible et ne positionne pas les agriculteurs dans une démarche de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques. L'interdisciplinarité entre un sociologue et un ergo-toxicologue permet de comprendre les freins et les leviers de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques par l'individu (utilisateur de produits) déterminé par l'appartenance à un groupe social et l'influence des pratiques en tenant compte des facteurs humains, techniques et organisationnels.

Références

Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt/CGAAER/CGEDD : Bruno Andral, Jean-Claude Bessemoulin et Sylvie Dutartre pour le CGAAER et Thierry Galibert pour le CGEDD - Rapport de mission interministérielle d'expertise n° 13132, Evaluation du dispositif de délivrance du certificat individuel phytopharmaceutique, oct 2014, 79p.

Remerciements :

Action Pilotée par le ministère de l'Agriculture et de l'alimentation et le ministère de la transition écologique et solidaire, avec l'appui financier de l'Agence française pour la biodiversité dans le cadre de l'APR « Résistances et pesticides », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribuées au financement du plan Ecophyto.

Mots clés : Formation, Certiphyto, réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, santé

Session 2 :

Devenir des pesticides dans l'environnement : observation et diagnostic

Suivis pluriannuels des transferts verticaux de pesticides dans des sols de vallée alluviale en monoculture de maïs irriguée

Agnan Yannick (1), Alletto Lionel (2), Boithias Laurie (3), Budzinski Hélène (4), Giuliano Simon (5), Deswarte Cyrielle (5), Pelletier Aude (1)

(1) Chambre d'Agriculture de l'Ariège, Villeneuve-du-Paréage, France – yannick.agnan@biogeochimie.fr, aude.pelletier@ariege.chambagri.fr

(2) Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie, Castanet-Tolosan, France – lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr

(3) GET, Université de Toulouse, CNRS, IRD, UPS, Toulouse, France – laurie.boithias@get.omp.eu

(4) EPOC, Université de Bordeaux, CNRS, EPHE, Talence, France – helene.budzinski@u-bordeaux.fr

(5) AGIR, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP-PURPAN, Castanet-Tolosan, France – simon.giuliano@purpan.fr, cyrielle.deswarte@purpan.fr

La culture de maïs représente un tiers de la surface cultivée dans le département de l'Ariège et le contrôle chimique de ses bioagresseurs contribue à la dispersion de pesticides dans les eaux de surface et souterraines (Lopez *et al.*, 2015 ; Mauffret *et al.*, 2017), principalement des herbicides. Afin de réduire la présence de ces composés dans l'environnement, une réduction des quantités appliquées peut être obtenue par la mise en œuvre de techniques telles que la localisation des traitements sur les lignes de semis accompagnée d'une gestion mécanique des inter-rangs, ou encore la réduction des doses (par une optimisation technique des pulvérisations). En complément, d'autres pratiques peuvent permettre de favoriser la dissipation des pesticides en augmentant les capacités de rétention et de dégradation des sols, par exemple par des amendements organiques (Majumdar & Singh, 2007 ; Fenoll *et al.*, 2014) ou par une réduction du travail du sol afin de maintenir un mulch et la présence de matière organique à la surface du sol (Aslam *et al.*, 2018), et ainsi dynamiser l'activité biologique des sols (Lal, 2015 ; Parihar *et al.*, 2016 ; Parihar *et al.*, 2018). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de ces pratiques culturales sur les quantités et le devenir des pesticides dans les sols agricoles de la plaine alluviale de l'Ariège à partir de mesures *in situ* dans la solution de sol.

Six sites d'études localisés dans la plaine alluviale de l'Ariège (nord du département de l'Ariège) ont été étudiés pendant quatre années consécutives (2015–2018) : deux en culture de maïs grain et quatre en culture de maïs semence. Sur chaque site, une modalité de référence (REF) est comparée à deux (maïs grain) ou une (maïs semence) modalités expérimentales de 1 ha environ afin de tester des leviers d'atténuation des risques de transfert de solutés : une modalité sans labour (NL) et une modalité sans labour avec ajout de matière organique (NLMO) pour les cultures de maïs grain et une modalité avec application localisée d'herbicides afin de réduire de moitié la dose appliquée (MM2025) pour les cultures de maïs semence. Pour chaque modalité expérimentale, trois groupes de cinq bougies poreuses à 50 cm de profondeur ont été répartis spatialement afin de collecter la solution du sol. Un prélèvement au pas de temps mensuel pendant la période culturale a été réalisé, ainsi qu'en période d'interculture entre 2017 et 2018, en ciblant l'ensemble des molécules appliquées (16 herbicides, 3 insecticides, 6 fongicides, 1 molluscicide, 3 métabolites [ESA, OXA et AMPA] et 3 phytoprotecteurs). Au total, 488 échantillons ont été collectés puis analysés par La Drôme Laboratoire.

Les concentrations en pesticides mesurées dans la solution du sol sur l'ensemble des campagnes culturales montrent une gamme très étendue, tant au sein de chaque molécule (facteur moyen > 4 000 entre la concentration la plus élevée et la concentration la plus faible) qu'entre les molécules appliquées (facteur > 1 000 entre la médiane la plus élevée et la médiane la plus faible) pour des gammes de doses appliquées allant de 1,34 à 1 217 g/ha. Vingt pesticides analysés présentent des concentrations inférieures à la limite

de quantification dans plus de la moitié des données. Par ailleurs, cinq pesticides montrent des concentrations pouvant atteindre ponctuellement des valeurs > 10 µg/L (S-métolachlore, mésotrione, azoxystrobine, bentazone, nicosulfuron). Les concentrations mesurées en période d'interculture tendent à croître par rapport à celles de fin de culture. Nous suggérons que, pendant la culture estivale, l'évapotranspiration maintient un flux d'eau ascendant limitant le flux descendant, et réduisant donc les fuites de solutés. En fin de cycle, le flux descendant devient dominant (période de recharge des nappes) et les solutés sont alors transférés, le couvert végétal implanté n'étant pas suffisamment développé pour contrebalancer ces mouvements. La comparaison entre les concentrations mesurées dans les différentes parcelles n'a pas permis d'observer d'influence des pratiques culturales sur les concentrations en pesticides dans la solution du sol. Des régressions linéaires multiples confirment cette observation et mettent en évidence l'influence de la durée après dernier traitement sur les concentrations mesurées (liée au transfert et/ou à la dégradation), alors qu'aucun effet de la dose appliquée n'est observé pour la majorité des molécules. Par ailleurs, les concentrations sont sensiblement différentes entre sites, ce qui peut s'expliquer en partie par l'influence de paramètres physico-chimiques du sol, tels que la teneur en matière organique qui semble limiter le transfert du S-métolachlore, et les pH acides, celui du nicosulfuron.

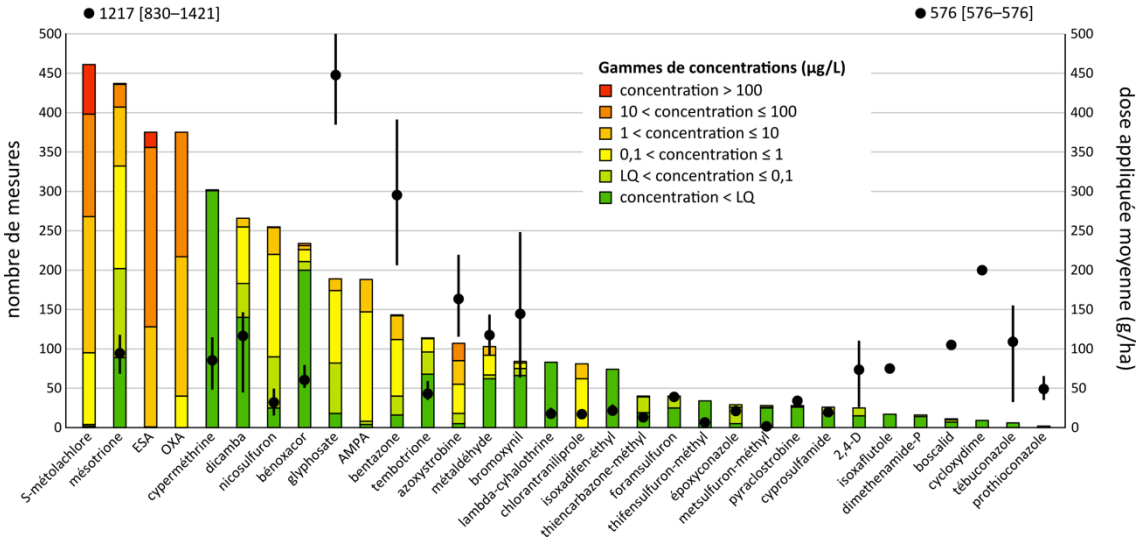


Figure : nombre de mesures en pesticides par gamme de concentrations (barres colorées) et dose moyenne annuellement appliquée par molécule (ronds noirs) incluant l'écart interquartile.

Références

Aslam *et al.* (2018). J. Contam. Hydrol. 214: 54–64
Fenoll *et al.* (2014). Sci. Total Environ. 493: 124–132
Lal (2015). Sustainability 7: 5875–5895
Lopez et al. (2015). Sci. Total Environ. 518: 562–573
Majumdar & Singh (2007). Chemosphere 66: 630–637
Mauffret *et al.* (2017). Sci. Total Environ. 576: 879–887
Parihar *et al.* (2018). Eur. J. Soil Sci. 69: 902–912
Parihar *et al.* (2016). Soil Till. Res. 161: 116–128

Suivi de la multi-contamination en pesticides organiques et inorganiques dans les sols viticoles : évolution des transferts sols-solution pendant une année de culture

Pierdet Manon (1)(2), Gaillard Juliette (1), Quenot Chloé (2), Bussière Sylvie (2), Coriou Cécile (2), Robert Thierry (2), Le Menach Karyn (1), Pardon Patrick (1), Dévier Marie-Hélène (1), Denaix Laurence (2) et Budzinski Hélène (1)

(1) *Université de Bordeaux-CNRS, EPOC-LPTC, UMR 5850, Talence, France*

(2) *INRA de Bordeaux-ISPA, UMR 1391, Villenave d'Ornon, France*

La viticulture est l'une des cultures les plus consommatrices de pesticides en France, plus particulièrement de fongicides. Ces apports réguliers peuvent entrainer une contamination des écosystèmes à long terme et impacter la faune et la flore. Dans le but d'améliorer nos connaissances sur le devenir des pesticides et leur impact, il est important d'étudier les différents processus qui contribuent à la rétention et aux transferts de ces pesticides dans les sols.

Un état des lieux du niveau de contamination des sols de surface a donc été réalisé. 53 parcelles comportant une diversité pédologique importante ont été échantillonnées sur l'horizon 0-15 cm. Une contamination cuprique a été mise en évidence sur le site expérimental (jusqu'à 197 mg/kg de sol sec), fortement corrélée à l'âge viticole de la parcelle. L'évaluation des stocks de cuivre dans les 45 premiers centimètres et le calcul de l'apport théorique par année permet de constater le fort impact de l'usage ancien de la bouillie bordelaise sur les taux retrouvés actuellement dans les sols. Concernant les pesticides organiques, 205 molécules préalablement choisies en lien avec les pratiques des viticulteurs du site expérimental, mais aussi représentatives d'anciens usages ou d'autres usages, ont été recherchées, avec des limites de quantification de l'ordre du microgramme par kilogramme. 64 molécules ont été quantifiées (31 fongicides, 19 insecticides et 14 herbicides), et les pourcentages de persistance de chaque molécule ont été calculés en relation avec les calendriers d'épandage des viticulteurs. Il est ainsi possible de constater une plus forte persistance de certaines d'entre elles dans des sols riches en certaines phases réactives du sol (matière organique, argile…) ainsi que la rémanence de molécules historiques. Ces résultats laissent donc penser que le devenir des pesticides n'est pas homogène mais varie selon les différents types de sol, mais également selon la nature même des différents contaminants, variables qui vont affecter les transferts sol-solution.

A partir des résultats du screening global de surface, 4 parcelles ont été sélectionnées pour le suivi des échanges sol-solution pendant une année de culture. Une liste réduite de pesticides a également été générée sur la base du screening spatial (90 composés organiques). Le suivi a été effectué à l'aide de bougies poreuses en acier inoxydable et d'échantillonneurs passifs de type DGT (diffusive gradient in thin films) pour le cuivre. Les premiers résultats montrent une variabilité très importante de la concentration des contaminants en solution au cours du temps, avec une concentration en cuivre atteignant 1,4 mg/L, et un facteur de variation pouvant aller jusqu'à 15 entre la concentration la plus faible et la plus forte, retrouvées pour une même parcelle. Concernant les pesticides organiques, 49 molécules ont pu être quantifiées sur les 90 recherchées. 3 fongicides (dimétomorphe, métalaxyl et bénalaxyl) et 1 métabolite d'herbicide historique rémanent (hydroxy-terbuthylazine) ont été retrouvés dans 100 % des échantillons. La concentration maximale peut atteindre 5 µg/L dans le cas du dimétomorphe. Pour une même molécule, un facteur de variation allant jusqu'à 500 peut être observé entre les concentrations les plus faibles et les plus fortes dans une même parcelle. Ces variations sont indépendantes des périodes d'épandage mais semblent fortement influencées par les conditions météorologiques et les caractéristiques pédologiques des différents sols.
De nombreuses molécules filles, issues de molécules mères interdites depuis plus de 15 ans, restent parmi les plus fréquemment retrouvées et aux concentrations les plus importantes, avec une variation non négligeable dans le temps malgré leur non épandage actuel.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet PhytoCOTE avec le soutien financier de l'ANR dans le cadre du programme investissement d'avenir au sein du Laboratoire d'Excellence COTE (ANR-10-labx-45), de la Région Nouvelle-Aquitaine et de l'Union européenne (projet

CPER A2E). L'Europe s'engage en Nouvelle-Aquitaine avec le fonds européen de développement régional (FEDER).

Contamination des eaux en tête de bassin versant en zone rurale agricole de polyagriculture élevage : comparaison entre les pesticides neutres et les pesticides ioniques.

Guibal Robin (1) *, Leblanc Julie (1), Cleries Karine (1), Brizard Yoann (2), Lissalde Sophie (1), Guibaud Gilles (1)

(1) Laboratoire Peirene, Équipe DIQeau, URA IRSTEA, Université de Limoges, 123 Avenue Albert Thomas, 87060 Limoges (*) robin.guibal@unilim.fr

(2) SABV, Syndicat d'Aménagement du Bassin de la Vienne, 38 Avenue du Président Wilson, 87700 Aixe-sur-Vienne

Les têtes de bassins versants, de la frange ouest du Massif-Central, sont des lieux peu caractérisés vis à vis de la pollution par les micropolluants organiques malgré qu'elles présentent un intérêt particulier. En effet ces zones sont par exemple des réservoirs de biodiversité, des lieux de préservation d'espèces endémiques, ou encore elles présentent un rôle majeur dans l'alimentation en eau de l'aval des grands bassins hydrographiques. Ces territoires ont longtemps été considérés comme des zones préservées de la pollution issue des activités humaines du fait de leur caractère très rural et d'une activité économique centrée, entre autres, sur l'agriculture d'élevage extensif (bovin ou ovin) et la forêt. Ces dernières années, ces zones sont marquées par une évolution des pratiques des élevages pour que les exploitations deviennent autonomes pour l'alimentation du bétail et aient une meilleure rentabilité économique (*i.e.* transformation des prairies naturelles en prairies artificielles et augmentation des surfaces cultivées en céréales – environ 10 % de la Surface Agricole Utile – SAU).

Pour cette étude, un suivi semi-continu sur le bassin versant de l'Aixette (87, affluent direct de la Vienne) a été réalisé. Ce bassin versant de 152 km^2 est situé sur un socle plutonique avec un climat océanique légèrement dégradé par des influences continentales. Le suivi de la pression en produits phytosanitaires a été réalisé par échantillonnage passif de type Polar Organic Chemical Integrative Sampler (POCIS) déployés *in situ* durant 2 ans par pas de 14 jours permettant d'avoir des concentrations moyennes (nommées TWAC – Time Weighted Average Concentration) en pesticides ou métabolites. Les pesticides neutres (environ 60) ont été suivis grâce à un POCIS contenant de la phase Oasis® HLB (Alvarez *et al.,* 2004 (1)) alors que les pesticides ioniques (environ 15) ont été suivis grâce à un POCIS contenant de la phase Oasis® MAX (Fauvelle *et al.,* 2012 (2)).

La majorité des pesticides retrouvés sont des herbicides. Ceci semble en accord avec les pratiques agricoles actuelles pratiquées sur le bassin versant. Cependant, l'usage de telles molécules par des particuliers et/ou des collectivités n'est pas à exclure.
Les résultats ont montré que l'aval du bassin est moins contaminé que l'amont. Cela peut s'expliquer par les capacités de dilution plus importantes des cours d'eau par la présence d'affluents avant le point aval. De même, un traitement en amont du bassin même sur de faibles surfaces, avec la présence de chevelu important en contact direct avec le cours d'eau ou *via* les zones humides, peut engendrer des concentrations moyennes plus élevées que sur le reste du bassin versant.
Les résultats montrent deux comportements différents entre les pesticides neutres et les pesticides ioniques. Quel que soit la station d'étude sur le bassin versant de l'Aixette, les pesticides neutres sont présents tout au long de l'année à des concentrations relativement basses créant un « bruit de fond » (TWAC de 10 à 40 $ng.L^{-1}$). Ces résultats sont concordants avec une étude précédente (3). Ponctuellement des pics sont généralement observés en fin d'hiver et début de printemps (mars) et en fin d'automne (début décembre), et peuvent atteindre, exprimés en TWAC, plus de 100 $ng.L^{-1}$ (jusqu'à des TWAC de 160 $ng.L^{-1}$). Sur les composés neutres, le régime climatique et notamment la pluviométrie n'a pas ou très peu d'impact sur l'exportation vers le cours d'eau. Néanmoins, après une période de sécheresse de plusieurs mois, les produits phytosanitaires neutres seront lessivés, ce qui pourra expliquer les pics de concentrations observés. Quelques échantillonnages ponctuels classiques réalisés montrent que les pics en concentration instantanée peuvent facilement dépasser le µg/L. Dû aux évolutions climatiques, ces évènements de sécheresse et par conséquent ces pics de contamination apparaissent plus régulièrement dans la région.

Il est également possible de retrouver l'usage de molécules interdites comme l'atrazine ou le diuron. Leurs métabolites (*e.g.* déséthyl-atrazine (DEA), N-(3,4 dichlorophényl)-N-(méthyl)-urée (DCPMU), déséthyl-terbuthylazine (DET)…) sont régulièrement détectés et/ou quantifiés sur l'ensemble du bassin versant. Au-delà de l'emploi de molécules interdites, la présence de diuron peut être aussi expliquée par son utilisation actuelle comme biocide pour traiter les toitures de maison ou de bâtiments d'élevage.
Les pesticides ioniques, quant à eux, sont présents dans les eaux par « à coups » de pollution et à de plus grandes concentrations moyennées (TWAC jusqu'à 415 $ng.L^{-1}$). Leur présence peut être directement corrélée avec le débit des cours d'eau. Dans le contexte local de tête de bassin versant, le socle plutonique imperméable induit un lien étroit entre la pluviométrie et les débits de chevelu de cours d'eau. Par conséquence ceci démontre l'importance des pluies pour l'exportation de ce type de molécules vers le réseau hydrographique. De plus, le caractère physico-chimique particulier de ces molécules (*i.e.* très polaires) facilite leurs interactions avec l'eau et induit une forte aptitude à la mobilité des sols vers le réseau hydrographique. En effet, lors de pluies (faibles ou plus importantes), le suivi réalisé montre que ces molécules sont facilement lessivées et se retrouvent dans les cours d'eau.
Il faut également noter que la forte concentration en pesticides ioniques est majoritairement induite par la présence de métabolites d'herbicides (entre autres, métolachlore-ESA et métolachlore-OA, issus de la dégradation du métolachlore). La concentration du métabolite (métolachlore-ESA) est plus importante d'un facteur 10 par rapport à celle de la molécule mère (S-métolachlore). Ceci est cohérant avec une demi-vie du S-métolachlore estimée à 2 ou 3 semaines, ainsi qu'à un emploi de plus en plus systématique de cet herbicide sur la zone d'étude.
L'analyse de la Banque Nationale des Ventes par les distributeurs (BNV-d) à l'échelle du département de la Haute-Vienne peut apporter des éléments de discussion sur la trajectoire des pesticides vendus et donc potentiellement utilisés. Cette analyse permettrait d'expliquer les molécules retrouvées ou la présence de leurs métabolites qui s'ajoutent aux relargages de molécules à la demi-vie longue utilisées par le passé et en partie ou totalement interdites depuis de nombreuses années.

Bibliographie

Alvarez, D.A., Petty, J.D., Huckins, J.N., Jones-Lepp, T.L., Getting, D.T., Goddard, J.P., Manahan, S.E., 2004. Development of a passive, in situ, integrative sampler for hydrophilic organic contaminants in aquatic environments. Environ Toxicol Chem 23, 1640-1648.
Fauvelle V., Mazzella N., Delmas F., Madarassou K., Eon M., Budzinski H., 2012. Use of mixed-mode ion exchange sorbent for the passive sampling of organic acids by Polar Organic Chemical Integrative Sampler (POCIS). Environ Sci Technol 46, 13344-13353.
Guibal R., Lissalde S., Leblanc J., Cleries K., Charriau A., Poulier G., Mazzella N., Rebillard J.P., Brizard Y., Guibaud G., 2017. Two sampling strategies for an overview of pesticide contamination in an agriculture-extensive headwater stream. Environ Sci Pol Res, 1-14

Mots-clés : Tête de bassin versant, pesticides ioniques, pesticides neutres, échantillonnage passif, POCIS

Evaluation du rôle des phases dissoutes et particulaires dans la contamination en Chlordécone en rivière

Samouelian Anatja (1), Ponchant Lise (2), Andrieux Patrick (2), Bajazet Thierry (2), Crosset Mégane (1&2), Nannette Jean-Baptiste (2), Voltz Marc (1)

(1) UMR LISAH, Univ Montpellier, INRA, IRD, 2, place Pierre Viala 34060 Montpellier

(2) ASTRO Agrosystèmes Tropicaux, INRA, 97170 Petit-Bourg, (Guadeloupe), France

Contexte et objectif

Dans le cadre de la DCE, la préservation et la restauration des masses d'eaux nécessitent la mise en place de programmes de mesure et de surveillance de la qualité des eaux. Actuellement les suivis règlementaires de surveillance s'appuient sur des prélèvements ponctuels sur lesquels les teneurs en micropolluants sont déterminées. Ces analyses s'appuient sur des prélèvements d'eaux brutes, et reflètent un état global de la masse d'eau qui englobe la phase dissoute et la phase particulaire. Néanmoins, bien que délicat à mettre en place dans le cadre d'un suivi, la connaissance de la répartition d'un contaminant entre les deux phases apporte plusieurs intérêts. Au plan cognitif, cette partition indique les contributions réciproques des processus de lessivage et d'érosion impliqués dans la dispersion des contaminants par voie hydrologique. Par ailleurs concernant les écosystèmes aquatiques la distinction entre dissout et particulaire permet de mieux définir les phases d'exposition majoritaire des organismes et donc la biodisponibilité des contaminants. Elle peut par conséquent au plan opérationnel orienter les moyens de prévention de la dispersion du contaminant depuis sa zone d'application, voire faire évoluer les protocoles d'échantillonnage de surveillance si la phase particulaire présente une contribution significative. En contexte agropédoclimatique des Antilles, l'utilisation massive de Chlordécone (CLD) entre les périodes 1972-1978 et 1982-1993 pour lutter contre le charançon dans les bananeraies a produit une contamination chronique et durable des sols (Cabidoche et al 2009) et des eaux (Crabit et al 2016 ; Della Rosa et al 2016). Les propriétés d'adsorption élevées de cette molécule sur les phases organo-minérales du sol suggèrent la possibilité d'un transport important en phase particulaire. On recense actuellement peu d'études alliant une détermination conjointe de la CLD sur la phase dissoute et particulaire. L'objectif de ce travail, inscrit dans le cadre d'une convention avec l'AFB, a été d'estimer les voies de contamination majoritaire de la CLD en fonction de différentes situations hydrologiques, et de déterminer ainsi le rôle du transport solide sur la dynamique de transfert de la CLD dans les eaux de surface.

Méthode

La zone d'étude s'adosse à l'infrastructure de l'observatoire des Pollutions Agricoles aux AntilLEs (OPALE) en Guadeloupe, qui assure notamment un suivi hydrologique et de la qualité des eaux de surface à l'exutoire de la rivière Pérou à partir d'un échantillonnage hebdomadaire asservi aux volumes écoulés (Consortium OPA-C, 2015). A ce dispositif de référence, un protocole de suivi de la contamination par voie dissoute et particulaire s'appuie des prélèvements instantanés réalisés pour une variabilité de situations hydrologiques (montée de crue, pic de crue, décrue, tarissement et débit de base). Les prélèvements en crues répondent à une stratégie d'échantillonnage suivant une typologie de 4 classes de crues basées sur une analyse fréquentielle des débits de pointes (méthode du renouvellement, Miquel.1984). On comptabilise ainsi 226 prélèvements répartis entre 0,2 et 40 m^3/s, dont 200 associés à des situations de crues. Pour chaque prélèvement, on distingue : i) la charge en matière en suspension (MES) (filtration sur filtre de verre 0,7 µm, et séchage de 24 h à 40 °C) et dans la mesure du possible ii) les concentrations en CLD dissoute et particulaire (analyse HPLC au Laboratoire La Drôme (LDA26, Valence, France), l'incertitude analytique est de 35 % sur la matrice liquide et de 40 % sur la matrice solide). Dans le cadre de cette étude la distinction entre phase dissoute et particulaire est conduite par un choix technique (filtration par filtre de verre avec seuil de coupure le plus faible possible).

Résultats et discussion

En fonction des débits, les charges en MES varient de 4 ordres de grandeurs entre 2.10^{-4} et 4 g/L. On observe les charges en MES les plus faibles (inférieures à 1.10^{-3} g/L) pour des situations hydrologiques d'écoulements de débit de base, et les charges en MES plus variables et plus élevées pour des situations de crues, et donc des débits plus importants. Cette relation entre dynamique de transfert de MES et débit est cohérente avec une contribution croissante des eaux de ruissellement enrichies en MES suite à des

processus érosifs avec l'augmentation du débit, au détriment de la contribution des eaux souterraines faiblement chargées en MES. Par ailleurs à partir de l'échantillonnage des crues (15 crues/ 200 échantillons), la relation entre export de MES et le débit de pointe (r^2 = 0,87) permet d'extrapoler un comportement de transport particulaire pour toutes crues dont les pics de crues sont compris entre 5 et 40 m^3/s. De manière similaire, on identifie une dynamique des concentrations en CLD suivant trois phases en fonction du débit. Pour une gamme de débit inférieure à 2 m^3/s, la CLD est transférée sous forme dissoute, et les concentrations sont élevées et comprises entre 0,1 µg/L et 4 µg/L. Pour des débits compris entre 2 et 5 m^3/s, la CLD est présente sous forme dissoute et plus marginalement sous forme particulaire. Les concentrations en CLD dissoutes diminuent et sont comprises entre 0,02 et 0,08 µg/L. Pour des débits compris entre 5 et 40 m^3/s, la CLD présente des concentrations équivalentes entre la phase particulaire et dissoute, et les concentrations augmentent progressivement avec l'augmentation du débit. L'interprétation de ces évolutions est la suivante. Comme l'a montré Crabit et al. (2016) pour les gammes de débits modérés inférieures à 2 m^3/s, la concentration en CLD est élevée en lien avec une contribution importante des nappes fortement contaminées en CLD, entre 2 et 5 m^3/s la concentration en CLD diminue progressivement en raison d'une augmentation de la contribution au débit de rivière des eaux de ruissellement, plus faiblement concentrées en CLD que les eaux souterraines. Pour les débits supérieurs à 5 m^3/s, la ré-augmentation de la concentration en CLD est probablement liée à une augmentation de la capacité de lessivage et d'érosion des crues avec le débit, qui surcompense la diminution liée à une moindre contribution des eaux souterraines. Le schéma conceptuel mis en évidence amène à estimer le transport annuel en CLD en considérant explicitement le rôle des crues. A ces fins pour les situations de crues, l'export en CLD est établi en fonction du débit de pointe en distinguant la contribution particulaire (r^2 = 0,77) et la contribution par voie dissoute (r^2 = 0,62). Sur la base de ces relations l'estimation du transport de CLD brute estimée est similaire à celle mesurée par le dispositif de l'observatoire OPALE, respectivement 27 kg et 30 kg, pour une période de 460 jours comprise entre Février 2016 et Septembre 2017. A l'échelle annuelle on identifie un transport majoritaire de CLD sous forme dissoute (98 %) cohérent avec un fonctionnement hydrologique où 70 % de la lame écoulée s'effectue pour des débits compris entre 0,2 et 3 m^3/s. La contribution particulaire (2 %) est négligeable à l'échelle annuelle, et se concentre lors des épisodes de crues. Pour ces situations de crues, le transport sous forme particulaire est équivalent à la forme dissoute.

Conclusion

L'étude propose un schéma conceptuel des contributions des eaux souterraines et de ruissellement pour le transfert de CLD sous forme dissoute et particulaire. Cette analyse repose sur une double propriété de la contribution des eaux de ruissellement, qui suivant son importance est à l'origine d'un mécanisme de concentration ou bien de dilution en CLD. Par conséquent le rôle des crues est à prendre en compte explicitement pour estimer la contribution de la contamination en CLD.

Le débit sert de variable prédictive pour estimer l'export de CLD, et l'estimation proposée cohérente avec les résultats établis par l'observatoire OPALE conforte l'approche et la méthodologie proposées. Ainsi, à l'échelle annuelle on identifie clairement une contribution majoritaire du transfert de CLD par voie dissoute (98 %). Le transfert particulaire est concentré pendant les épisodes de crues, où il devient équivalent au transfert dissout.

Référence :

Cabidoche, Y. M., Achard, R., Cattan, P., Clermont-Dauphin, C., Massat, F., & Sansoulet, J. (2009). Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution*, *157*(5), 1697–1705. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.12.015

Consortium OPA-C, - Andrieux, P., Arnaud, L., Bonnal, V., Cattan, P., Charlier, J.B., Crabit, A., Ducreux, L., Grunberger, O., Jannoyer, M., Briquet, J.P., Samouelian, A., Voltz, M.- 2015. Mise en place de bassins versants instrumentés en Guadeloupe et en Martinique. Rapport Final Allenvi, Février 2015, BRGM-CIRAD-INRA-IRD, 111 pages.

Crabit, A., Cattan, P., Colin, F. and Voltz. M., 2016. Soil and River Contamination Patterns of Chlordecone in a Tropical Volcanic Catchment in the French West Indies (Guadeloupe). Environmental Pollution 212, 615–626. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.055.

Della Rosa P. Jannoyer M. mottes C. Plet J. Bazizi A. Arnaud L. Jestin A. Woignier T. Gaude M. et Cattan P., 2016. Linking current river pollution to historical pesticide use : insights for territorial management ? Science of total environment 574

J. Miquel. 1984. Guide pratique d'estimation des probabilités de crues, Collection de la direction des Etudes et Recherches d'EDF, n°53, Eyrolles Ed., Paris.

Mise en évidence d'une dégradation naturelle de la Chlordécone avec libération dans l'environnement de produits de transformation chlorés

Della-Negra Oriane (1), Muselet Delphine (1), Chaussonnerie Sébastien (1), Mottes Charles (2), Rangon Luc (2), Chevallier Marion (1), Barbance Agnes (1), Fouteau Stéphanie (1), Vuilleumier Stéphane (3), Imfeld Gwenaël (4), Woignier Thierry (2), Saaidi Pierre-Loïc (1), Le Paslier Denis (1)

(1) Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, CNRS, Université d'Évry Val d'Essonne, Université Paris-Saclay, 2 rue Gaston Crémieux 91000 Evry – plsaaidi@genoscope.cns.fr; denis@genoscope.cns.fr

(2) Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), Aix Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université and IRD, UMR IMBE, Campus Agro Environnemental Caraïbes B. P., 214 Petit Morne 97235 Le Lamentin, Martinique

(3) Génétique Moléculaire, Génomique, Microbiologie (GMGM), Université de Strasbourg, UMR 7156 CNRS, 28 rue Goethe 67000 Strasbourg

(4) Laboratory of Hydrology and Geochemistry of Strasbourg (LHyGeS), Université de Strasbourg, UMR 7517 CNRS/EOST, 1 rue Blessig 67084 Strasbourg

La Chlordécone est un insecticide organochloré classé parmi les Polluants Organiques Persistants, qui a massivement été utilisé aux Antilles Françaises de 1972 à 1993. Son utilisation extensive et sa persistance entraînent aujourd'hui de graves problèmes de santé publique (augmentation des risques de cancer, effet sur le développement cognitif et moteur des enfants, naissances prématurées) et socio-économiques (disparition de certaines activités professionnelles, disparition des filières courtes d'approvisionnement). Jusqu'à présent, la Chlordécone était considérée comme non-dégradable dans l'environnement, de par les quantités importantes encore retrouvées de nos jours dans les sols (0-15 mg/kg sol sec) et la quasi-absence de produits dérivés de la Chlordécone dans les sols (seuls le Chlordécol et la 8-monohydrochlordécone, contaminants connus des formulations commerciales de la Chlordécone, sont détectés à des concentrations nettement inférieures à celle de la Chlordécone).

Une double analyse GC- et LC-MS a permis de mettre en évidence la présence de plusieurs produits de transformation (PT) de la Chlordécone, dans tous les échantillons environnementaux analysés et contaminés par ladite molécule. Ainsi 17 PT appartenant à plusieurs familles de structures chimiques différentes nommées A, B, C et E ont été détectés (A : hydrochlordécone, B : polychloroindène, C : acide polychloroindène carboxylique, D : polychloroindène carboxylate de méthyle, E : polychloroindène carboxylate d'éthyle). Certains d'entre eux appartenant aux familles B et C ont de plus été retrouvés à des concentrations avoisinant celles de la Chlordécone (de l'ordre du mg/kg de sol). Des résultats similaires ont également été obtenus avec d'autres échantillons de type sédiments, cendres et ponces, eau de rivière et de mangrove, ce qui nous a permis de conforter ces résultats. A partir de trois sols (andosol, nitisol, ferralsol), nous avons également réalisés avec succès des expériences de dégradation de la Chlordécone. Ce résultat nous a ainsi permis de conforter nos précédentes observations et montrer que ces échantillons de sol possédaient bien chacun une capacité intrinsèque à dégrader la Chlordécone.

Nos résultats modifient fondamentalement la vision de la pollution par la Chlordécone aux Antilles : une dégradation naturelle est bien opérante et conduit à la libération dans l'environnement de quantités significatives de PT. Ceci remet en question le paradigme communément admis de la persistance de la Chlordécone à l'échelle de dizaines voire centaines d'années et soulève de nombreuses questions concernant ses PT du point de vue de leur propre persistance et de leur toxicité.

Photodégradation du myrigalone A, herbicide naturel : cinétique, photoproduits et effet des terpènes

Khaled Amina (1), Sleiman Mohamad (1), Darras Etienne (1), Bertrand Cédric (2)(3), Inguimbert Nicolas (2), Richard Claire (1)

(1) Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, F-63000 Clermont-Ferrand, France

(2) USR 3278 CRIOBE, PSL Research University, EPHE-UPVD-CNRS, Université de Perpignan Via Domitia, Laboratoire d'Excellence « CORAIL ». Bâtiment T, 58 avenue P. Alduy, 66860 Perpignan, France.

(3) AkiNaO SAS, F-66860 Perpignan, France

Face aux problématiques environnementales, de nouvelles stratégies de protection des cultures, basées sur l'utilisation de biopesticides peu toxiques tentent d'émerger [1]. Certaines plantes comme le *Myrica gale* peuvent supprimer la germination et le développement des plantes concurrentes par effet allélopathique en produisant des métabolites secondaires. Le constituant principal de cette plante est la myrigalone A, une molécule tricétonique qui se trouve à la surface des feuilles et des fruits et constitue environ 40 % de l'exsudat. Une variété de terpènes comme les pinènes, la germacrone et l'eucalyptol sont également présents dans l'huile extraite des feuilles et des fruits du *Myrica gale*. Il a été démontré que la myrigalone A présente des propriétés herbicides et pourrait être potentiellement allélochimique [2]. La présence de ce composé sur les organes de la plante exposés au soleil pose la question de son devenir et du rôle éventuel de ses photoproduits dans les propriétés herbicide et allélochimique [3].

L'objectif de ce travail a été d'étudier la phototransformation de la myrigalone A et d'identifier les photoproduits, y compris les volatils. Pour être plus proche des conditions réelles, l'effet de deux terpènes (eucalyptol et germacrone) sur la cinétique de photodégradation de la myrigalone A a aussi été déterminé. Les expériences ont été menées sur de la myrigalone A pure et sur des extraits naturels des feuilles de *Myrica gale* contenant un mélange de myrigalone. Les irradiations ont été menées dans un réacteur fermé hermétiquement afin de prélever la solution et le solide ainsi que la phase gazeuse et les photoproduits ont été analysés par HPLC-HRMS et GC-MS.

Les résultats montrent que la vitesse de phototransformation de la myrigalone A dans l'eau est assez rapide ($t_{1/2}$ = 4 h) et conduit à la formation de nombreux photoproduits. L'irradiation en phase solide est également rapide. Dans ce cas, plusieurs composés volatils ont été détectés (benzaldéhyde, acétophénone, acide acétique entre autre). L'addition des terpènes réduit la vitesse de photodégradation de la myrigalone A qui de son côté accélère la photo-oxydation des terpènes. Ceci indique que la présence des terpènes sur les feuilles permet de prolonger la durée de vie de la myrigalone A très photosensible tout en générant des produits d'oxydation des terpènes.

Remerciements

Nous remercions l'Agence française pour la biodiversité pour le financement du projet « Desherbal » et son soutien financier au poste de post-doctorat d'Amina Khaled.

Références

[**1**] D.K. Owens, N.P.D. Nanayakkara, F.E. Dayan, F.E. *In planta* mechanism of action of leptospermone: impact of its physico-chemical properties on uptake, translocation, and metabolism. J. Chem. Ecol. 39, 262 (2013).

[**2**] J. Popovici, C. Bertrand, D. Jacquemoud, F. Bellvert, M.P. Fernandez, G. Comte, F. Piola, An allelochemical from *Myrica gale* with strong phytotoxic activity against highly invasive *Fallopia bohemica taxa*. Molecules 16, 2323 (2011).

[**3**] A. Trivella, M. Stawinoga, F. E. Dayan, C.L. Cantrell, P. Mazellier, C. Richard, Photolysis of natural β-triketonic herbicides in water. Water Res. 78, 28 (2015).

Estimation du potentiel d'émission des pesticides vers l'atmosphère à partir de leurs propriétés moléculaires avec l'outil TyPol

Bonnot Kévin (1, 3), Bedos Carole (1), Mamy Laure (1), Bockstaller Christian (2), Latrille Eric (3), Patureau Dominique (3), Rossard Virginie (3), Servien Rémi (4), Benoit Pierre (1)

(1) ECOSYS, INRA-AgroParisTech-Université Paris-Saclay 78850 Thiverval-Grignon – kevin.bonnot@inra.fr, carole.bedos@inra.fr, laure.mamy@inra.fr, pierre.benoit@inra.fr

(2) LAE, Université de Lorraine, INRA, 28 rue de Herrlisheim 68000 Colmar – christian.bockstaller@inra.fr

(3) LBE, Université de Montpellier, INRA, 102 avenue des Etangs 11100 Narbonne – kevin.bonnot@inra.fr, dominique.patureau@inra.fr, eric.latrille@inra.fr, virginie.rossard@inra.fr

(4) InTheRes, INRA, 23 chemin des Capelles 31076 Toulouse – remi.servien@inra.fr

Pendant et après le traitement des cultures, une partie des pesticides apportés peut atteindre l'atmosphère par dérive lors de l'application, par volatilisation à partir de la surface du sol et des plantes et par érosion éolienne. Dans l'atmosphère, les pesticides peuvent être dégradés et/ou transportés à plus ou moins longues distances. Ils peuvent aussi entraîner une contamination différée du sol et de l'eau suite à des dépôts atmosphériques secs ou humides. Le suivi et l'évaluation des risques de contamination de l'air par les pesticides est cependant une problématique récente et la connaissance approfondie des mécanismes de transfert des pesticides vers l'atmosphère est nécessaire. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail a consisté à améliorer la compréhension et la prédiction du potentiel d'émission des pesticides vers l'atmosphère.

L'outil TyPol (Typology of Pollutants) (Servien et al., 2014) a été utilisé pour explorer les relations entre le potentiel d'émission des pesticides (caractérisé dans ce travail par la solubilité dans l'eau des pesticides *Sw*, leur coefficient de partage octanol-eau *Kow*, pression de vapeur P_{vap}, constante de Henry K_H, rétention *Koc* et persistance *DT50* dans les sols) et leurs propriétés moléculaires (masse molaire, nombre d'atomes, moment dipolaire, énergie des orbitales…). Les résultats obtenus avec TyPol ont ensuite été comparés à ceux de l'indicateur I-Phy Air (Bockstaller et al., 2008) qui prend en compte les pratiques agricoles, en plus des propriétés physico-chimiques des pesticides (notamment K_H, *Koc*, *DT50*). Enfin, les résultats ont été comparés à des concentrations en pesticides mesurées dans l'air de trois régions en France par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'air : Alsace (céréales/polycultures), Charente (vignobles), Lorraine (grandes cultures). Ces régions ont été choisies car elles permettent de couvrir différents groupes de cultures et donc différentes pratiques agricoles. Ce travail s'est intéressé à 178 substances actives, sélectionnées parce qu'elles ont été identifiées comme substances prioritaires à suivre et/ou parce qu'elles sont détectées de manière récurrente dans l'air en France et notamment dans les trois régions étudiées.

Les résultats obtenus avec TyPol ont permis de classer les pesticides en six groupes présentant des risques de contamination de l'air faibles à élevés et ils sont cohérents avec les observations régionales des concentrations dans l'air. Ces résultats ont aussi montré que (1) la pression de vapeur des pesticides augmente lorsque l'énergie totale de la molécule, la masse molaire, la polarisabilité et les indices de connectivité (qui décrivent le degré de ramification de la molécule) sont faibles, (2) la constante de Henry est corrélée positivement à la polarisabilité et aux indices de connectivité, (3) la persistance des pesticides dans l'air augmente avec le nombre d'atomes de chlore et d'halogènes de la molécule.
Même si le potentiel d'émission d'une partie des pesticides analysés reste peu ou mal caractérisé, le classement obtenu avec TyPol est, d'une manière générale, en accord avec le classement obtenu avec I-Phy Air. Toutefois, des divergences ont été observées : certains pesticides identifiés comme étant à risque élevé avec TyPol sont considérés comme étant à faible risque avec I-Phy Air. En effet, I-Phy Air tient compte de la dose de pesticide ainsi que des surfaces traitées alors que ces paramètres ne sont pas intégrés à TyPol.

TyPol a permis d'améliorer la compréhension du potentiel d'émission des pesticides vers l'atmosphère au niveau moléculaire et de catégoriser les pesticides potentiellement prioritaires à suivre, dont il faudrait réduire l'usage pour limiter les émissions. Dans une première approche, TyPol et I-Phy Air peuvent être utilisés de manière complémentaire pour estimer les risques de contamination de l'air par les pesticides.

Références

Bockstaller C., Wohlfart J., Hubert A., Hennebert P., Zahm F., Vernier F., Mazzela N., Keichinger O., Girardin P., 2008. Les indicateurs de risque de transfert de produits phytosanitaires et leur validation : exemple de l'indicateur I-PHY. Ingéniéries, 103-114.

Servien R., Mamy L., Li Z., Rossard V., Latrille E., Bessac F., Patureau D., Benoit P., 2014. TyPol - A new methodology for organic compounds clustering based on their molecular characteristics and environmental behaviour. Chemosphere, 111, 613-622.

Session 3 :

Techniques de monitoring, analyses et remédiation

Criblage suspect de polluants émergents dans les eaux souterraines et de ruissellement par échantillonnage passif couplé à la spectrométrie de masse haute résolution

Pinasseau Lucie (1), Wiest Laure (1), Fildier Aurélie (1), Volatier Laurence (2), Mermillod-Blondin Florian (2), Vulliet Emmanuelle (1)

(1) Univ Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, Institut des Sciences Analytiques, UMR 5280, 5 Rue de la Doua, F-69100, Villeurbanne, France – lucie.pinasseau@isa-lyon.fr

(2) Univ Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, ENTPE, Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, UMR 5023, 6 Rue Raphaël Dubois, F-69622 Villeurbanne, France

Les écosystèmes souterrains sont de plus en plus utilisés pour subvenir aux besoins des sociétés modernes, notamment en tant que réserves d'eau potable. En raison de l'accroissement de la population mondiale ainsi que de l'activité humaine, de nombreux polluants organiques sont fréquemment détectés dans les eaux souterraines. Il est possible que celles-ci soient contaminées par les systèmes d'infiltration des eaux de pluie, initialement conçus pour réduire le risque d'inondation dans les zones urbaines. Ces systèmes sont en général constitués d'un bassin de rétention et d'un bassin d'infiltration qui collectent des eaux de ruissellement pluviales provenant de zones agricoles, industrielles ou résidentielles. Les eaux de ruissellement atteignent la nappe souterraine en s'infiltrant à travers le sol et la zone non saturée. Cependant, même si l'efficacité du sol et de la zone non saturée a été démontrée pour la rétention/dégradation des polluants non polaires et des métaux, il existe très peu d'informations concernant le devenir des polluants émergents polaires et semi polaires. Il est donc urgent d'évaluer précisément la présence de contaminants organiques comme certains pesticides et pharmaceutiques dans les eaux souterraines et de ruissellement en connexion avec les bassins d'infiltration.

L'analyse de polluants organiques polaires et semi-polaires dans les eaux présente plusieurs difficultés. D'une part, la présence et la concentration des polluants peuvent varier rapidement dans le temps, et d'autre part, en ce qui concerne les eaux souterraines, les concentrations trouvées sont très faibles (ng L^{-1} ou pg L^{-1}). Ainsi, les méthodes d'échantillonnage et d'analyse conventionnelles (échantillonnage ponctuel et analyse par chromatographie liquide (LC) et spectrométrie de masse en tandem (MS/MS)) ne sont généralement pas adaptées. En effet, avec un échantillonnage ponctuel, l'échantillon n'est pas représentatif de l'état de contamination général de l'eau sur une période donnée et certains épisodes courts de pollution peuvent être manqués, une grande quantité d'échantillon doit être prélevée et les méthodes d'analyses doivent être très sensibles pour atteindre les limites de détections adaptées aux eaux souterraines. De plus, l'analyse par LC-MS/MS nécessite une liste prédéfinie de composés et pourvoie une vision limitée de la contamination de l'échantillon.

Nous avons donc développé une stratégie analytique basée sur un échantillonnage passif combiné avec une analyse par LC et spectrométrie de masse haute résolution (HRMS) pour effectuer un screening de pesticides et pharmaceutiques dans les eaux souterraines et de ruissellement. L'échantillonnage passif permet d'obtenir une concentration moyenne sur un temps défini puisque les échantillonneurs passifs sont exposés pendant plusieurs jours voire plusieurs semaines dans les eaux. Il permet également de détecter des composés présents à très faibles concentrations puisque ceux-ci sont accumulés sur une phase réceptrice. De plus, grâce à la HRMS il est possible de détecter un grand nombre de composés sans présélection et donc de réaliser un screening plus exhaustif.

Des supports pouvant recevoir 9 disques d'extraction Empore™ et ayant des dimensions adaptées aux piézomètres présents dans les systèmes d'infiltration des eaux de pluie ont été spécialement conçus. Ils ont été exposés pendant 10 jours durant un épisode pluvieux dans cinq systèmes d'infiltration des eaux de pluie aux alentours de Lyon, France. Sur chaque site, 3 supports ont été déployés : un dans un réservoir placé à l'entrée du bassin d'infiltration pour recueillir les eaux de ruissellement pluviales, un dans un piézomètre situé en amont de la zone touchée par l'infiltration et permettant d'échantillonner l'eau souterraine non impactée, et un dans un piézomètre situé en aval et permettant donc d'échantillonner l'eau souterraine impactée. Après exposition, les polluants accumulés sur les disques d'extraction ont été extraits et analysés par LC-HRMS. Le retraitement des données et la confrontation à des bases de données ont permis de réaliser un criblage suspect de plus de 1000 composés.

Grace à cette approche analytique, 101 composés ont été détectés dont 40 ont été confirmés par la suite. Parmi les pesticides, les composés détectés sont des fongicides, herbicides, insecticides ainsi que certains métabolites. En général, les pesticides sont majoritairement présents dans les eaux souterraines et sont détectés dans une moindre mesure dans les eaux de ruissellement pluviales. Par conséquent, leur présence dans les eaux souterraines ne peut pas être exclusivement expliquée par l'infiltration des eaux de ruissellement. Plusieurs pesticides, comme l'atrazine, ont probablement atteint et contaminé les eaux souterraines depuis plusieurs années. Enfin, lorsque l'on compare les fréquences de détection, les eaux souterraines impactées ne sont pas significativement plus contaminées que celles non impactées, ce qui suggère un faible transfert du bassin d'infiltration vers la nappe.

Couplage d'approches analytiques innovantes pour évaluer l'état de contamination des milieux aquatiques par les pesticides

Margoum Christelle (1), Guillemain Céline (1), Mathon Baptiste (1), Mazzella Nicolas (2), Soulier Coralie (3), Togola Anne (3), Miege Cécile (1)

(1) Irstea, UR RiverLy, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua CS 20244, 69625 VILLEURBANNE – christelle.margoum@irstea.fr

(2) Irstea, UR EABX, centre de Bordeaux, 50 avenue de Verdun – Gazinet,, 33612 Cestas cedex

(3) BRGM, 3 Avenue Claude Guillemin, 45100 Orléans

Déterminer les niveaux de contamination des cours d'eau en micropolluants organiques s'appuie généralement sur des prélèvements ponctuels d'eau et une recherche ciblée d'une liste prédéfinie de substances (mères ou produits de transformation).
Les échantillonneurs intégratifs passifs (EIP) font l'objet de multiples travaux de développements et de mises en œuvre locales ces dernières années et sont désormais identifiés comme des outils pertinents pour améliorer la surveillance des milieux aquatiques. Par ailleurs, les stratégies analytiques reposant sur la spectrométrie de masse haute résolution couplée à la chromatographie liquide ou gazeuse (LC ou GC-HRMS) permettent d'envisager la détection d'une gamme élargie de contaminants (analyse suspectée).

Dans le cadre de l'étude présentée ici, des campagnes de prélèvements ponctuels d'eau suivis d'une pré-concentration au laboratoire sur phase solide (SPE), ainsi que d'échantillonnages *in situ* par POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) sont mises en œuvre sur 20 cours d'eau répartis sur l'ensemble du territoire français y compris outre-mer, et couvrant différents niveaux et types de pressions chimiques. La quantification de pesticides est réalisée par LC-MSMS sur une liste prédéfinie de 52 substances. En parallèle, une approche d'analyse suspectée par LC-HRMS pour rechercher la présence de 400 pesticides et produits de transformation est menée sur ces mêmes échantillons. Ainsi, les données acquises permettent d'obtenir des informations globales sur l'état de contamination des différents sites en fonction des niveaux de pressions.

L'objectif de cette présentation est d'identifier dans quelle mesure les stratégies d'échantillonnages intégratives (EIP) et d'analyses HRMS (analyse suspectée) permettent de faciliter et d'améliorer l'évaluation des niveaux de contamination des eaux de surface par les pesticides à large échelle.

Dans un premier temps, pour mettre en évidence les avantages et inconvénients de chacune des 2 stratégies d'échantillonnage nous comparons les informations acquises par analyse suspectée des extraits issus des prélèvements ponctuels et des intégratifs passifs. Sur l'ensemble des échantillons (2x20), 106 pesticides sont détectés avec une fréquence s'échelonnant de 2,5 à 50 % suivant les sites ; les fongicides et les herbicides étant les molécules les plus souvent trouvées. Nous relevons un plus grand nombre de pesticides détectés dans les échantillons ponctuels sur 12 sites et dans les extraits de POCIS sur 7 sites.

Dans un deuxième temps, nous classerons les sites en fonction de leur niveau de contamination (nature et nombre de substances). Nous comparerons les tendances observées avec échantillonnage par EIP couplé avec les analyses ciblée ou suspectée.

Un tel déploiement large échelle en cours d'eau couplant stratégies d'échantillonnages et analytiques permet d'évaluer de façon intégrée les niveaux de contaminations globales des milieux aquatiques. Une analyse suspectée par LC-HRMS sur une gamme élargie de contaminants organiques offre par ailleurs la possibilité de révéler simultanément la présence de familles autres que les pesticides, comme les produits à usage vétérinaire ou les pharmaceutiques. Dans un contexte de surveillance des milieux aquatiques ou de mise en place de plans d'action, le couplage des approches analytiques ciblée et suspectée doit également aider à identifier les périodes clés offrant la meilleure stratégie d'échantillonnage pour un site donné.

Mots-clés *: pesticides, milieux aquatiques, contamination, large échelle, échantillonnage, screening analytique*

Apports des traceurs géochimiques à la compréhension des comportements intra-crue des pesticides présents dans une rivière guadeloupéenne.

Grünberger Olivier (1), Ponchant Lise (2), Andrieux Patrick (2), Samouelian Anatja (3), Michelot Jean-Luc (4), Bazajet Thierry (2), Nannette Jean-Baptiste (2), Voltz Marc (3)

(1) IRD, UMR LISAH (INRA, IRD, SupAgro) 2, place Pierre Viala 34060 Montpellier – olivier.grunberger@ird.fr

2) ASTRO Agrosystèmes tropicaux, INRA, 97170, Petit-Bourg (Guadeloupe), France – lise.ponchant@inra.fr; patrick.andrieux@inra.fr; thierry.bajazet@inra.fr; jean-baptiste.nannette@inra.fr

3) INRA, UMR LISAH (INRA, IRD, SupAgro) 2, place Pierre Viala 34060 Montpellier – anatja.samouelian@inra.fr; marc.voltz@inra.fr

4) CNRS UMR GEOPS (UPS,CNRS), Bâtiment 504, Rue du Belvédère Campus Universitaire d'Orsay 91405 Orsay jean-luc.michelot@u-psud.fr.

La protection phytosanitaire des systèmes agricoles tropicaux sur andosols est fréquemment basée sur un usage intensif des pesticides, potentiellement sources de contamination des ressources en eaux superficielles. Dans le cas des Antilles Françaises, un enjeu particulier lié à l'usage historique du Chlordécone (CLD) est présent mais ne doit pas faire oublier les préoccupations liées aux autres substances pesticides en usage aujourd'hui.

Les concentrations des contaminants agricoles dans les rivières présentent des évolutions dans le temps qui ont besoin d'être bien connues pour adopter les meilleures recommandations pour la préservation des ressources. Ces évolutions dépendent des calendriers de traitements, de la résilience des molécules incriminées et des contributions de différents réservoirs naturels ainsi que des cheminements des eaux. Pour la toxicologie environnementale, non seulement il est important de connaitre les flux totaux (ou les concentrations pondérées par les débits) des substances actives et des métabolites, mais également, les logiques de distribution entre phases dissoutes et phases adsorbées, les pics de concentrations maximales atteintes et la simultanéité de présence entre différents contaminants.

Dans les eaux de rivières, les programmes de surveillance de la qualité des eaux s'appuient sur des protocoles de prélèvements manuels réguliers à des pas d'échantillonnage de la semaine à l'année, ou bien à l'aide d'échantillonneurs asservis aux débits moyennant sur une ou deux semaines. Or le climat et l'orographie produisent des crues à la fois fréquentes et brèves qui placent l'expérimentateur devant des choix difficiles sur les paramètres analysés vis-à-vis des volumes récoltés et du suivi des différentes phases des crues.

Dans un travail précédant (Crabit et al., 2016) l'analyse sur des périodes de dix jours des débits et des concentrations moyennes en CLD sur la rivière du Pérou a abouti à la conclusion d'un mécanisme de dilution entre des eaux en provenance du haut du bassin versant forestier (non pollué) et des eaux issues des terres agricoles (traitées) et des aquifères contaminés. Dans cette conception, les principales contributions des flux de CLD sont issues des périodes hors-crues.

Dans le présent travail l'objectif est de décrire simultanément les comportements en crue des différents pesticides présents et de relier les concentrations observées aux dynamiques de traceurs géochimiques pour établir un schéma de contributions différenciées des crues.

Une rivière du dispositif expérimental OPALE, en Guadeloupe, la Rivière du Pérou, a été suivie manuellement, lors d'une crue atteignant un débit de 8 $m^3.s^{-1}$ le 11 octobre 2017, au travers de 20 prélèvements ponctuels d'une quinzaine de litres permettant la quantification des molécules pesticides et de leurs métabolites. Du fait de la non-limitation en volume, il a été possible d'associer un grand nombre de paramètres. L'analyse des pesticides comprend la partie dissoute (eau filtrée) et particulaire (analyse du filtrat et différence avec l'eau brute pour la CLD et différence avec l'eau brute pour quelques échantillons choisis pour les autres pesticides). Les analyses des traceurs géochimiques comprennent les teneurs

ioniques, la silice dissoute, les contenus en matières organiques dissoutes (eau filtrée) et particulaires (eau non filtrée et filtrats), les traceurs de la molécule d'eau et les teneurs en ^{13}C et ^{14}C du carbone inorganique dissous (CITD).

Alors même que les précipitations ayant donné lieu à la crue sont restreintes aux zones cultivées du bassin versant, les principaux résultats mettent en évidence des sollicitations de types d'eau bien marquées en liaison avec les phases hydrologiques pré-crue, pics de crues et phase de décrue. Du point de vue des teneurs en pesticides, la concentration en CLD est plus élevée dès le pic de crue et reste élevée dans les phases de décrue. Les quantités de CLD quantifiées dans la matière en suspension restent modérées (< 20%) par rapport aux parties dissoutes et montrent une décrue d'après pic. Dans les eaux filtrées, Glyphosate, AMPA, Asulam, ne sont plus détectés en fin de décrue, alors que les concentrations en HCH et 2,4-D montrent des évolutions plus aléatoires.

En conclusion, la crue étudiée a montré trois phases d'évolution des teneurs corrélées aux phases hydrologiques. Pour les substances actives, les plus fortes concentrations se sont produites pendant le pic de crue laissant suspecter à ce moment précis la vidange d'un réservoir de type « eau de sol » ou « nappe perchée » marquée par un CITD enrichi en ^{13}C avec un temps de contact eau-roche important permettant la dissolution de la silice, des teneurs en isotope stables bien différenciées. La décrue voit les concentrations de la plupart des pesticides baisser sauf de la part de la CLD qui reste en concentration plus élevée qu'avant la crue.

Mots clés : pesticides, géochimie, crues, rivière.

Crabit, A., Cattan, P., Colin, F., Voltz, M., 2016. Soil and river contamination patterns of chlordecone in a tropical volcanic catchment in the French West Indies (Guadeloupe). Environ. Pollut. 212, 615–626. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.055

Biocides de la protection du bois utilisé en menuiserie extérieure : Développement de méthodes analytiques dans les compartiments bois (ASE GC-MS/MS) et eau (SPME GC-MS/MS)

Ouali Oussemah (1, 2), Le Ménach Karyn (2), Raphalen Elisabeth (1), Legay Stéphane (1), Budzinski Hélène (2)

[1]*Institut Technologique FCBA (Laboratoire de chimie-écotoxicologie)* oussemah.ouali@u-bordeaux.fr

[2]*EPOC, Laboratoire de Physico- et Toxico-Chimie de l'environnement (UMR CNRS 5805), Université de Bordeaux*

Les produits biocides sont utilisés dans le secteur de la menuiserie extérieure afin de mettre en œuvre des essences françaises locales qui ne sont pas naturellement durables. Ils permettent de protéger en préventif contre le développement fongique et les insectes xylophages. Cependant, leur durée d'efficacité est limitée dans le temps car les matériaux traités sont soumis aux conditions climatiques, entrainant une diminution des biocides. Plusieurs études de terrain sur des bois traités en œuvre ont mis en évidence l'émission de biocides lors des évènements pluvieux, mais peu d'articles traitent des mécanismes à l'origine de leur mobilité et leur dégradation dans le bois. Après le bouleversement lié à l'instauration de la directive 98/8/CE (remplacée par le Règlement Biocides n° 528/2012), les formulations de produits biocides actuelles utilisent depuis plusieurs années un nombre limité et connu de familles de molécules telles que les pyréthrinoïdes de synthèse, les azoles, les carbamates et dérivés de morpholine. Les composés organiques choisis pour cette étude sont associés à ces différentes classes (Cyperméthrine, Perméthrine, Propiconazole, Tebuconazole, Butylcarbamate d'iodopropynyle, Fenpropimorphe).

Le pin sylvestre est une essence résineuse de référence dans les normes européennes dont l'aubier est reconnu pour sa bonne imprégnabilité et sa faible durabilité naturelle. Des bois seront traités avec 3 formulations industrielles différentes et exposés en classe d'emploi 3.1, correspondant à des bois en œuvre placés en extérieur, sans contact avec le sol et exposés aux intempéries (eau, UV, variation de température, …). Les bois destinés à l'analyse seront retirés après différents temps d'exposition et réduits en sciure par broyage à tamisage à 0,5 mm. Parmi les méthodes d'extraction étudiées, l'extraction par solvant accélérée (ASE) s'est avérée être le choix le plus favorable pour allier automatisation et performances en termes de temps et de rendements d'extraction. Des prises d'essais de 2 g de sciure sont extraites à l'acétone avant d'effectuer une évaporation à 0,5 mL et une reprise dans 50 mL d'acétate d'éthyle pour l'obtention de l'extrait final.

Un développement pour l'analyse des biocides cités plus-haut, et leur équivalent deutéré, choisis comme étalons internes (EI), a été effectué en injection liquide par chromatographie en phase gazeuse (GC) couplée à un spectromètre de masse en tandem (MS/MS). Les paramètres développés sont les suivants :

- Identification et choix des transitions caractéristiques des composés natifs et EI
- Optimisation du gradient de la méthode chromatographique
- Spécificité en solvant (acétate d'éthyle) et matrice bois issue de sciure de bois non traité
- Linéarité des composés et limites de quantification (LQ) solvant et bois
- Rendements d'extraction à partir de sciures supplémentées à 3 niveaux de concentration avant extraction ASE

Les limites de quantification instrumentales sont de l'ordre de la dizaine de picogramme par µL de solution injectée. Appliquées à la matrice bois, les limites de quantification se rapportent à une centaine de ng/g (ng de biocide par gramme de sciure de bois). Bien que la matrice bois puisse générer un bruit de fond plus complexe que le solvant, un phénomène de passivation du système chromatographique amène un gain de sensibilité sur certains des composés. Les ajouts de biocides dans les sciures de bois ont été réalisés 4 heures avant le lancement de la séquence ASE. Les 3 niveaux de concentration correspondent à la valeur de LQ instrumentale, une valeur intermédiaire définie à 50 µg/L d'extrait et un niveau haut défini à 100 µg/L d'extrait.

Dans l'objectif de suivre l'action de la pluie sur les émissions de biocides, des surfaces de bois traités seront disposées sur des bacs de rétention en acier inox acheminant les eaux de ruissellement vers des bidons de collecte. La micro-extraction en phase solide (SPME) est la méthode choisie pour l'analyse des eaux collectées grâce à son faible volume d'eau requis pour une analyse sensible (10 mL) et l'absence d'utilisation de solvant contrairement à des méthodes plus classiques telles que l'extraction liquide-liquide. Un système SPME en ligne est connecté en amont d'une GC-MS/MS. Une étape d'optimisation a permis de déterminer le choix d'une fibre SPME en polyacrylate (PA 85 µm), parmi 3 fibres testées, offrant les meilleures capacités d'extraction. Les performances de la méthode analytique actuelle permettent d'obtenir des limites de quantification de l'ordre du ng/L (ng de biocide par litre d'eau de pluie), aussi bien dans l'eau milliQ que dans la matrice eau de pluie. Les pourcentages de lixiviation retrouvés dans la littérature, appliqués aux surfaces de bois exposés, indiquent pour plusieurs biocides (Terbutryne, Diuron, Propiconazole) un ordre de grandeur allant du mg/L, pour les premières précipitations les plus concentrées, au µg/L.

A partir des quantités de produits de préservation appliquées, en accord avec les recommandations d'usage, les concentrations de biocides attendues dans les sciures de bois sont de l'ordre de la dizaine de µg/g. Dans les deux compartiments (bois et eau), les concentrations d'essai attendues tout au long de l'étude de vieillissement naturel sont bien supérieures aux limites de quantification définies par les méthodes d'extraction et d'analyse développées. Ce double suivi en parallèle (bois et pluie) permettra d'assurer une quantification des biocides dans le temps et d'établir un bilan massique de la répartition des biocides lors de leur exposition. Des produits de dégradation des biocides organiques pourront également être recherchés dans le bois et l'eau, afin de mettre en évidence la dégradation des biocides liée aux conditions météorologiques.

Photo dégradation de deux pesticides commerciaux par le dioxyde de titane : étude d'élimination compétitive.

El Mouraille Nadia (1), Belmouden Moustapha (1), Aitichou Yahia (1)

(1) *Materials, Photocatalysis and Environment Team, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, B.P. 8106 Cite Dakhla, Agadir, Morocco*

L'agriculture dans la région Souss Massa au Maroc représente un important levier économique. En effet, le domaine agricole de la région du Souss Massa représente 13 % du PIB. Cette région s'oriente avant tout dans l'exportation de produits maraîchers et d'agrumes. Ainsi, cette région dispose de plusieurs stations de conditionnement des produits agricoles. Le conditionnement des agrumes est une phase indispensable avant commercialisation. Cette activité comporte de nombreuses étapes qui peuvent être qualifiées de simples telles que le nettoyage, l'application de cire, le calibrage ou le triage selon la qualité et la couleur de l'agrume. Ces stations utilisent, dans ces étapes, des volumes importants d'eau. Les eaux ainsi utilisées sont polluées par plusieurs composés. Entre autres, on trouve des pesticides. Le traitement de ces eaux est nécessaire et complexe.

Parmi les méthodes non conventionnelles de traitement des eaux polluées, la photocatalyse hétérogène a été utilisée pour traiter plusieurs polluants tels que les pesticides. Pour évaluer l'efficacité de la photocatalyse à base de TiO_2, comme traitement alternatif de ces polluants (Mythose et Imidaclopride), il est nécessaire de connaître l'adsorption par le catalyseur choisi.

Dans la première partie de ce travail, nous avons étudié l'élimination de chacun des pesticides seul par le système UV / TiO_2 / O_2. Nous étudions l'influence de la concentration initiale des pesticides et du pH du milieu. Les résultats obtenus ont montré que le pourcentage éliminé diminuait à mesure que la concentration augmentait de 5 mg/L à 60 mg/L. L'effet du pH est variable. Le Mythose se dégrade mieux à pH acide et aucune influence n'est observée pour un pH supérieur à 6. En revanche, l'Imidaclopride présente un maximum d'élimination à pH = 6 correspondant au pH de zéro charge de TiO_2. Pour les deux pesticides, on constate que le processus de dégradation photocatalytique suit une cinétique de réaction de premier ordre représentée par le mécanisme de Langmuir-Hinshelwood.

Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons étudié la photodégradation compétitive entre les deux composés. Nous avons noté un effet inhibiteur de chaque pesticide sur l'élimination de l'autre composé. Cela indique, dans un premier temps, une compétition d'adsorption influant sur la photodégradation du composé.

Quelles approches de remédiation des sites industriels pollués seraient transposables aux pollutions diffuses agricoles ?

Estival Julie (1), Hiez David (1)

(1) Tauw France, 14 D rue Pierre de Coubertin, 21000 DIJON – j.estival@tauw.com

L'impact des traitements phytosanitaires des cultures sur l'environnement est évalué principalement au regard des concentrations en matières actives mesurées dans les eaux souterraines et les eaux de surface. Or la rémanence de ces produits pose question quant à l'impact résiduel sur les futures cultures au droit de ces sols, et affecte la qualité des eaux, y compris lorsque les pratiques sur les parcelles ont drastiquement évolué. Ces éléments nous amènent à nous interroger sur les actions possibles de remédiation qui permettraient d'accélérer la reconquête de la qualité du sol et des eaux souterraines et de surface.

Dans un autre domaine d'activité, la gestion des sites pollués par des activités industrielles bénéficie en France d'un retour d'expérience d'environ 25 ans. Débutée par des phases d'inventaires et d'analyses de risques qualitatives en vue de hiérarchisation à la fin des années 90, la politique de gestion a évolué en passant d'une gestion par le risque sanitaire systématique et détaillée, à une gestion prescrivant la réduction de la charge polluante des zones les plus concentrées et une gestion par le risque (action sur la source et/ou action sur le transfert et/ou action sur l'usage des milieux) pour les zones marquées de manière plus diffuse.

Si l'on appliquait la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués à la problématique des pollutions diffuses d'origine agricole, on retiendrait comme source de pollution l'application des produits phytosanitaires. Par définition, on ne pourrait pas identifier de pollution concentrée (en raisonnant sur la répartition spatiale des concentrations en matières actives ; alors que la prise en compte de la variation saisonnière des concentrations, dans les eaux souterraines par exemple, permettrait sans doute de définir des pollutions concentrées). En revanche la migration « hors site » des matières actives, portant atteinte à des usages sensibles des milieux (non-conformité de l'eau destinée à la consommation humaine), conduirait à engager une démarche de gestion de ces pollutions (plan de gestion).

La finalité du plan de gestion est d'évaluer les actions envisageables sur la base d'une estimation de la masse de polluant en présence avec une analyse du bilan coûts-avantages de ces actions : la performance des options de gestion étant également jugée au regard du bilan environnemental des opérations de remédiation.

La connaissance du polluant en jeu est déterminante lorsqu'il s'agit de choisir une technique de remédiation. Or les pesticides comportent plusieurs familles de molécules avec des caractéristiques variées : il conviendrait alors de choisir les substances individuelles qui posent problème ou de travailler par familles de molécules (en utilisant des traceurs de ces familles).

La localisation et la quantification des volumes de polluant sont nécessaires pour concevoir et dimensionner les solutions techniques de traitement : les quantités appliquées peuvent être connues par des enquêtes agricoles, mais la quantité qui pénètre dans le sol (et est ensuite susceptible de migrer vers les eaux souterraines) n'est en général pas connue. S'agissant d'une pollution diffuse une cartographie très précise (intra parcellaire) des concentrations dans les sols présenterait sans doute peu d'intérêt, en revanche pour des pollutions historiques comme l'atrazine des sondages de sol avec des analyses à différentes profondeurs permettraient sans doute de connaître le « stock » encore présent dans le sous-sol.

La caractérisation du relargage dans les eaux souterraines pourrait être basée sur les propriétés physico chimiques de la molécule, éventuellement couplée à une modélisation. Une approche géostatistique, telle qu'elle est utilisée sur des sites industriels pollués mais à plus large échelle (bassin versant), serait intéressante à réaliser sur les concentrations en matières actives dans les eaux souterraines pour identifier des anomalies (et donc des zones de transfert plus actives). Cela pourrait conforter le calcul de la vulnérabilité réalisé dans les études BAC, spécialement lorsque le fonctionnement hydrogéologique du bassin versant est imparfaitement connu.

Une fois la localisation et la masse du polluant connues, plusieurs techniques de remédiation existent pour traiter les pesticides : confinement vertical, désorption thermique, lavage des sols, oxydation ou réduction chimique seraient des techniques de traitement des sols *in situ* peu adaptées à une pollution diffuse. La mise en place d'un piège hydraulique, pour confiner les eaux souterraines polluées, ne serait pas non plus envisageable à grande échelle sur une pollution peu concentrée. La barrière perméable réactive et la biodégradation dynamisée seraient des solutions de traitement des eaux souterraines qui pourraient être envisagées. Enfin, le pompage et traitement des eaux souterraines polluées sont aujourd'hui couramment pratiqués, lorsque les eaux captées et destinées à la consommation humaine sont traitées en station de potabilisation (sur charbon actif, filtre à sable, résine échangeuse d'ions ou autre procédé).

Cette approche pourrait aussi être appliquée aux milieux superficiels (sol - eaux de surface – sédiments) avec sans doute plus de possibilités de traitement des milieux contaminés.

La méthodologie nationale de gestion des sites et sol pollués n'est pas évidente à transposer en l'état à la problématique des pollutions diffuses agricoles. Toutefois le principe de mieux comprendre le comportement du polluant dans le sous-sol reste vrai, avec l'utilisation d'outils de cartographie, de modélisation, de géo statistique, de bilan massique. Dans un plan de gestion, le bilan coûts-avantages permet de sélectionner, parmi les techniques pertinentes, celles qui présentent les meilleures performances techniques et économiques au regard des bénéfices attendus (abattement de la pollution) et le meilleur bilan environnemental (bilan carbone, émissions de gaz à effet de serre, etc.). A l'instar des sites pollués, une approche spécifique à chaque situation semble nécessaire et il est difficilement envisageable de proposer une solution généralisable à tous les cas de figure.

Session 4 :

Efficacité ou impacts des pesticides sur les organismes végétaux et animaux

Etude de l'efficacité de deux insecticides non homologués (Sulfoxaflor et du Diflubenzuron) pour lutter contre la cochenille du Figuier de Barbarie

Zeitoun Rawan (1,2), Hayar Salem (1,2,3), Darazi Dalida (3), Makhoul Cyril (3), Majed Liliane (2,3), Zeaiter Lama (3), El Omari Khaled (4), Sylvie Dousset (5)

(1) Environmental Health Research Lab (EHRL), Department of Chemistry and Biochemistry, Faculty of Sciences, Section V, Lebanese University, Nabatieh, Lebanon – rawan.zeitoun@gmail.com

(2) Université Libanaise, Ecole Doctorale des Sciences et Technologies (EDST-PRASE), Campus Universitaire Rafic Hariri, Hadath-Mont Liban, Liban – liliane.majed.lm@gmail.com

(3) Université Libanaise, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de protection des plantes, Dekweneh-Beyrouth, Liban – dchoubaya_darazy@hotmail.com; cyrilmakhoul@gmail.com; zeaiter.lama@hotmail.com

(4) Quality Control Centre Laboratories, Chamber of Commerce Industry & Agriculture of Tripoli and North Lebanon – khaledo@cciat.org.lb

(5) Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux, Université de Lorraine / CNRS - BP 70239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy, France - sylvie.dousset@univ-lorraine.fr

L'*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, ou plus couramment le figuier de Barbarie est une plante de la famille des cactaceae, originaire du Mexique qui s'est naturalisée sur le pourtour méditerranéen jusqu'en Australie. C'est une plante potentiellement intéressante pour la valorisation et la protection des sols des régions arides et semi-arides. La culture de cette plante a été le choix socio-agro-économique le plus convenable pour les régions les plus sèches de l'Inde, du Mexique et des pays Nord-Africain en particulier le Maroc. Du fait de son adaptation à la sécheresse, ce cactus s'est avéré un moyen de lutte efficace contre l'érosion hydrique des sols et sa culture prometteuse procure des opportunités de travail dans ces régions. Ces dernières années, malgré sa résistance aux ravageurs et aux maladies, ce cactus a été victime, d'une attaque par la cochenille *Dactylopius opuntiae* pouvant détruire un verger en quelques semaines et donc menacer l'ensemble de la filière. Au sud du Liban, cet insecte s'est propagé le long du littoral et menace les plantations de cactus et pour lequel aucun produit phytosanitaire n'a été homologué jusqu'à présent.

L'objectif de ce travail consiste, dans son premier volet, à étudier *in vitro* l'efficacité de deux insecticides le sulfoxaflor et le diflubenzuron contre ce ravageur. Ainsi, la toxicité des pesticides choisis a été évaluée en termes de mortalité des cochenilles à la suite de cinq différents traitements des cladodes infectés dans des conditions contrôlées au laboratoire (T = 25°C, HR 65 %) après 12, 24, 36 et 48 heures de pulvérisation. Par ailleurs, le second volet consiste à étudier les résidus de ces deux pesticides en plein champ en appliquant les mêmes traitements sur un total de 45 plantes selon les bonnes pratiques agricoles. Les échantillons (fruits et cladodes) ont été récoltés tous les 3 jours. L'extraction des résidus de pesticides a été effectuée selon la méthode QuEChERS EN 15662 et l'analyse a été réalisée par chromatographie liquide couplée à une double spectrométrie de masse (LC/MS-MS).

Les résultats ont montré de prime abord que le sulfoxaflor est plus efficace que le diflubenzuron. Ces efficacités ont été renforcées par l'application simultanée d'une huile minérale tuant 99 % de la population de cochenilles en 48 heures pour le sulfoxaflor et 94,79 % pour le diflubenzuron. En revanche, le suivi des résidus dans les fruits, tout au long de 21 jours de l'expérience, a montré que le sulfoxaflor est plus persistant que le diflubenzuron avec une dissipation de 15,87 % et de 50,56 % respectivement.

Mots-clés *: Opuntia ficus-indica, Dactylopius opuntiae*, résidus de pesticides, QuEChERS, LCMSMS

Mise au point d'une méthodologie d'étude d'impacts en situation pratique des préparations phytopharmaceutiques sur les insectes de la vigne

Qunenin Hervé (1), Blanc Amandine (1), Bailly-Maitre Agnès (1)

(1) *COTESIA*
Société d'Expérimentation & Conseils Techniques en Protection Intégrée des cultures
Le bourg, 64360 Lucq de Béarn, France
h.quenin@cotesia.fr ; a.blanc@cotesia.fr ; a.baillymaitre@cotesia.fr

Depuis 2008, la société Cotesia travaille à la mise au point d'une méthodologie d'étude d'impacts des préparations phytopharmaceutiques utilisées contre les bioagresseurs de la vigne dans l'appellation Jurançon (Sud-Ouest de la France).
Une première série d'essais conduits en 2008, 2009 et 2011 a permis d'affiner une méthodologie de capture d'insectes sur vigne à l'aide d'un D-Vac® et d'identifier plusieurs préparations fongiques sans effet statistiquement observable sur les populations d'insectes collectées, ainsi considérées comme références neutres (*COTESIA, 2017 – Mise au point d'une méthodologie d'étude d'impacts des préparations phytopharmaceutiques sur les insectes de la vigne. Communication CIRA, AFPP*)
Une deuxième série d'essais conduits de 2013 à 2017 a permis de mesurer l'impact de traitements insecticides à base de β-cyfluthrine, chlorpyrifos-méthyl et spinosad sur le nombre d'insectes collectés. Ces trois préparations phytopharmaceutiques ont permis d'identifier des impacts écotoxiques statistiques après deux ou trois applications sur certains ordres d'insectes (références écotoxiques partielles), toutefois sans effet dépresseur sur l'ensemble de la population d'insectes présente. En 2018, l'association de ces trois insecticides a permis de mettre en évidence l'impact écotoxique du mélange des 3 matières actives ensembles, du mélange de la β-cyfluthrine associée au spinosad et du mélange utilisable en agriculture biologique : le spinosad associé à la pyréthrine naturelle. Ces 3 mélanges présentent une baisse statistique du nombre total d'insectes présents sur la vigne après 2 applications foliaires (références écotoxiques complètes). Ainsi, par comparaison à l'une de ces références écotoxiques et au témoin non traité, l'écotoxicité usuelle des préparations phytopharmaceutiques et/ou des programmes phytopharmaceutiques peut désormais être mesurée dans des essais de valeur pratique.

Mots-clés *:* Vigne, Expérimentation, Insectes, Auxiliaires, Préparations phytopharmaceutiques

Quels protocoles pour évaluer les effets des pesticides chez l'abeille ?

Michel Sokolowski (1)

(1) *michel.sokolowski@u-picardie.fr*

L'autorisation de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques requiert la démonstration de l'absence, ou de la faible toxicité, de ces molécules chez un ensemble d'espèces non ciblées, incluant les abeilles. Un certain nombre de tests sont ainsi requis concernant, par exemple, l'évaluation de la toxicité orale chez les abeilles, et plus récemment chez les bourdons. Dans le but d'évaluer la DL50, les tests légaux de toxicité orale aiguë (OCDE, 1998 ; OCDE, 2017) impliquent la mise en cagettes de groupes d'abeilles alimentées de manière continue avec des nourrisseurs et la mortalité est mesurée quotidiennement, tout comme la prise alimentaire globale.

Si de tels protocoles sont indéniablement utiles pour avoir une première idée de la toxicité d'une molécule chez l'abeille et le bourdon, nous pensons cependant que ceux-ci n'offrent qu'une description bien trop sommaire du caractère toxique des molécules. A nos yeux, leurs limitations trouvent principalement leur source dans la manière dont les abeilles sont exposées à la nourriture, y compris au sirop contenant le pesticide. En effet, exposer les abeilles à une quantité illimitée de nourriture de surcroît disponible en accès libre est sans rapport avec la manière dont des butineuses sont exposées aux sources naturelles de nectar et où une quantité énorme de travail doit être effectuée pour ne donner accès qu'à de très petits volumes de nectar. Autrement dit, le « prix » du nectar dans les fleurs naturelles est sans commune mesure avec celui du sirop délivré en laboratoire.

Des innovations technologiques mises au point récemment dans notre laboratoire autorisent maintenant la manipulation expérimentale du prix du sirop chez l'abeille et le bourdon. En effet, nous avons mis au point un nouveau dispositif de dosage robuste et pratique permettant de contrôler les quantités de sirop délivrées lors des visites à une « fleur » artificielle dotée d'un capteur. De plus, grâce à son automatisation poussée, la technologie est telle que des expériences s'étalant sur de longues périodes sont maintenant possibles. Le « prix » du sirop peut être manipulé avec la proportion de visites accompagnées par la distribution de sirop ainsi qu'avec le volume délivré. Plus le volume est petit, plus le prix et important. De même, moins il y a de fleurs qui contiennent du sirop, et plus le prix est important également. Dans une série d'expériences menées récemment, nous avons ainsi étudié l'effet du prix du sirop sur la consommation d'abeilles et de bourdons. Un effet spectaculaire du prix a été observé, tant sur la consommation que sur l'effort global fourni par les abeilles pour se procurer le sirop. Lorsque nous examinons maintenant l'influence du prix sur la toxicité non létale de divers néonicotinoïdes, nous constatons pour certains d'entre eux que celle-ci peut être affectée par le prix.

Si nos tests n'ont porté jusqu'à maintenant que sur la toxicité non létale, nos résultats laissent penser néanmoins que les DL50 pourraient également être affectées par le prix de la ressource en nectar et que les protocoles standards pourraient aboutir à des sur ou parfois aussi des sous-évaluations de ces DL50 en relation avec les conditions du milieu.

Effets de l'imidaclopride sur la production et l'étirage de cire chez l'abeille domestique *Apis mellifera intermissa* en conditions controlées

Toudert Fatima (1,2), Piou Vincent (2), Amrane Rachid (1), Treilhou Michel (2)

(1) *Department d'Agronomie, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou, Tizi-ouzou, Algérie – fatimtou79@yahoo.fr*

(2) *Equipe BTSB-EA 7417, Université de Toulouse, Institut National Universitaire Champollion, Place de Verdun, 81012, Albi, France - fatimtou79@yahoo.fr*

La wilaya de Tizi-Ouzou est une région montagneuse en Algérie, qui compte parmi les plus importantes zones apicoles du pays avec 108 950 colonies. Malheureusement, à l'instar des autres pays où les mortalités d'abeilles sont importantes avec 33,8 % pour les Amériques, 30 % pour l'Espagne, 26 % pour la Belgique, 28 % pour la Suède et 30 % pour l'Italie, l'Algérie enregistre pour sa part au moins 30 % de pertes. Les apiculteurs de la wilaya de Tizi-Ouzou, signalent ainsi des affaiblissements et des mortalités inhabituelles des colonies d'abeilles évaluées à 37 % en moyenne, en particulier aux niveaux des ruchers situés à proximité de zones agricoles où l'imidaclopride est très utilisé.

L'Imidaclopride est très toxique envers les abeilles : il a été montré qu'il peut affecter le comportement et la physiologie des insectes. L'objectif de la présente étude est un volet original qui n'a jamais été traité : il s'agit de la détermination des effets de l'ingestion chronique, d'un sirop contaminé à des doses sub-létales avec du « Confidor®Supra », sur le comportement d'étirage et de production de la cire par l'abeille domestique *Apis mellifera intermissa*. La cire est destinée à la construction des rayons au sein desquels le couvain sera élevé et où seront entreposées les provisions (miel, pollen, pain de miel). Sa production est donc cruciale pour le développement de la colonie.

Après avoir déterminé la DL50 de l'imidaclopride sur *A. mellifera intermissa*, nous avons testé trois doses sub-létales. Ces travaux ont permis d'enregistrer la mortalité, la consommation de sirop et la masse de la cire produite en fonction de la dose.

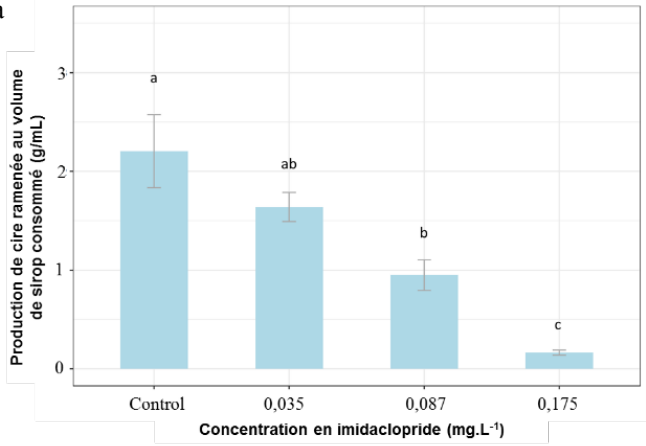


Figure 1. Rapport de la quantité de cire produite par la quantité de sirop consommée (moyenne ± SE), en fonction des concentrations d'imidaclopride administrées aux abeilles. Les différentes lettres indiquent que les ratios sont significativement différents entre les doses (analyse Posthoc, p ajusté <0,05)

Il ressort que la DL50 est de 37,4 ng par abeille de printemps âgée de 2 jours, ce qui est compatible avec les valeurs publiées pour *A. meliffera mellifera*. Comme le montre la figure 1, nous avons mis en évidence que les trois doses testées (0,175 mg.L^{-1}, 0,087 mg.L^{-1} et 0,035 mg.L^{-1}) ont un effet sur la consommation de sirop et la production de la cire. Les abeilles exposées à l'imidaclopride consomment moins de sirop et produisent moins de cire que les abeilles témoins. La diminution de la production de cire est clairement induite par l'exposition des abeilles à l'imidaclopride, ce qui aura un impact conséquent sur le développement des colonies et sur leurs productions. Il sera intéressant d'étudier les aspects physiologiques de cette diminution de la production de cire.

Mots clés : Imidaclopride, capacité cirière, abeille mellifère tellienne, *Apis mellifera intermissa*

Etude du devenir de la métribuzine (un herbicide) chez différent biotypes de morelle noire (Solanum nigrum)

Kilinc Özgür Kivilcim (1, 2), Laurent François (2)

1 : Université Süleyman Demirel, Isparta, Turquie
ozgur.kilinc@yahoo.fr

2 : UMR 1331 TOXALIM INRA-ENVT-INP EI Purpan-UPS. 180, chemin de Tournefeuille – BP 93173 F-31027 TOULOUSE

La métribuzine est un herbicide appartenant à la famille chimique des triazinones. Elle est utilisée en pré- ou post-levée pour lutter contre les adventices dans les cultures de pommes de terre. La molécule agit en inhibant la photosynthèse en se liant à la protéine D1 du photosystème II, inhibant ainsi le transfert des électrons nécessaire à cette photosynthèse. Toutefois, cette substance active n'est pas efficace, dans la plupart des cas, pour lutter contre la morelle noire, une solanacée comme la pomme de terre, et cause des pertes importantes de récolte, notamment en Turquie.
La tolérance à la métribuzine, l'absorption et la métabolisation de cet herbicide ont été étudiées sur des systèmes simplifiés en salle climatisée pour 4 biotypes différents de morelle noire récoltée sur des parcelles cultivées ou non. Nous avons évalué la tolérance des divers biotypes en considérant leur capacité d'adsorption de la métribuzine, le taux de transfert de la molécule vers les parties aériennes en distinguant feuillages (cible principale de l'activité) et tiges, puis en étudiant le métabolisme dans les différents organes. Ces analyses ont été réalisées en utilisant de la métribuzine radiomarquée au carbone 14 et à l'aide de diverses méthodes radiométriques (autoradiographie, radio-chromatographie HPLC, etc.).
Les biotypes issus de sols agricoles, ayant déjà subi des traitements de métribuzine, présentent une tolérance plus élevée que les biotypes issus de sols non cultivés. La capacité d'absorption racinaire de la métribuzine par la morelle noire est intense et le transfert vers les organes cibles élevé. Ce comportement est lié à la forte hydrophilie de cette molécule (Kow = 1,6). Toutefois, les études auto- radiographiques montrent une compartimentation des résidus de métribuzine dans le végétal avec une rétention de la radioactivité dans les tissus conducteurs. Les valeurs obtenues pour la concentration de métribuzine au niveau du tissu cible sont très différentes selon les biotypes étudiés, avec des différences nettes de la concentration critique au niveau des feuilles.
La métribuzine est rapidement métabolisée, en quelques jours, et peu de métribuzine est retrouvé dans les feuilles et les tiges. Cependant, nous montrons une métabolisation différentiée entre tissus racinaires et tissus aériens avec l'apparition dans les racines, aux côtés de divers résidus conjugués hydrophiles, d'un métabolite très lipophile, dans les feuilles uniquement des résidus conjugués apparaissent.
Conclusions :
La tolérance des biotypes issus de sols cultivés peut être mise en relation avec leur plus faible capacité de translocation de la molécule vers la cible tissulaire, les chloroplastes. Ceci peut être mis en relation d'une part avec la capacité très active de détoxication de l'herbicide au niveau racinaire et d'un potentiel de ségrégation racinaire et au niveau des tiges également remarquable (rétention dans les tissus vasculaires) réduisant ainsi fortement le transfert de la substance active vers ces chloroplastes.
Pour cet herbicide, vis à vis de la morelle noire, un traitement en post-levée avec la métribuzine pourrait s'avérer plus efficace par une atteinte plus directe de la cible cellulaire, par une pénétration foliaire, contournant ainsi la rétention et la métabolisation vasculaire (racines et tiges).

Mots clés : Métribuzine, Morelle noire, détoxication, transfert, tolérance

Effet de la formulation sur la cinétique de dissipation des résidus de pesticides

Majid Liliane (1,2), Hayar Salem (1,2,3), Zeitoun Rawan (1,3), Ghosn Mostafa (2), Sylvie Dousset (4)

(1) Université Libanaise, Ecole Doctorale des Sciences et Technologies (EDST-PRASE), Campus Universitaire Rafic Hariri, Hadath-Mont Liban, Liban – shayar@cyberia.net.lb; liliane.majed.lm@gmail.com

(2) Université Libanaise, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Protection des Plantes, Dekweneh-Beyrouth, Liban – ghosn91@gmail.com

(3) Environmental Health Research Lab (EHRL), Department of Chemistry and Biochemistry, Faculty of Sciences, Section V, Lebanese University, Nabatieh, Lebanon – rawan.zeitoun@gmail.com

(4) Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux, Université de Lorraine / CNRS, BP 70239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy, France - sylvie.dousset@univ-lorraine.fr

Ayant un rôle fondamental dans la dilution, la dispersion, l'adhésion sur la surface végétale, la stabilité et la dégradation des produits phytosanitaires, l'impact des « inertes » sur l'efficacité des pesticides ne peut pas être négligé. Les matières actives peuvent se trouver sur le marché sous différentes formulations. Il existe peu d'études sur le rôle de la formulation et le taux de résidus de pesticides notamment en viticulture. Ainsi l'objectif de cette étude est de comparer l'effet de la formulation de deux insecticides et d'un fongicide sur la dissipation de leurs résidus dans les fruits et les feuilles de vigne. Ainsi, sur une parcelle de vigne (3 dunums) un modèle factoriel 3x2 a été implémenté, où chaque plot formé de 14 plantations a été traité à la dose mentionnée sur l'étiquette de la formulation en occurrence et selon les BPA par un des produits suivant : Imidaclopride (SL 20 cc/hl), Imidaclopride (WDG 12,5 g/hl), Diflubenzuron (WP-Chine 40 g/hl), Diflubenzuron (WP-Europe 40 g/hl), Difénoconazole (EC-Chine 20 cc/hl), Difénoconazole (EC-Europe 20 cc/hl). Ces différentes modalités de traitements sont séparées les unes des autres par des zones tampons qui correspondent à des ceps traités mais non échantillonnés. Les échantillons de raisins et de feuilles ont été collectés tous les deux à trois jours pour déterminer leurs taux résiduels en pesticides. L'ensemble des extractions a été effectué selon la méthode QuEChERS EN 15662 et l'analyse a été réalisée en LC-MS-MS. Il n'y a pas de différence significative des teneurs en résidus entre les différentes formulations testées et pour les 3 matières actives étudiées. Dans le cas de l'application de l'Imidaclopride, la dissipation des résidus a été plus poussée dans le cas de la formulation en WDG (Granule à disperser dans l'eau) en comparaison avec la formulation SL (concentré soluble). Par ailleurs, les teneurs en résidus de pesticides dans les raisins étaient inférieures aux Limites Maximales de Résidus (LMR) fixées par la Commission Européenne pour l'ensemble des résultats obtenus. Dans le cas de l'Imidaclopride, le taux des résidus a été inférieur à la LMR (2 ppm) dès le 4 ème et 10 ème jour de l'application pour les formulations WDG et SL respectivement.

Mots-clés *: Viticulture, Résidus de pesticides, Formulation, SL, WDG, QuEChERS, LCMSMS*

Caractérisation des pesticides dans les légumes cultivés sous serres agricoles au Liban : Effet de la lumière et Suivi des volatils

Hamdache Samar (1, 2), Sleiman Mohamad (1), Jaber Farouk (2), Richard Claire (1)

(1) *Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, F-63000 Clermont-Ferrand, France- samar.hamdache@uca.fr*

(2) *Université Libanaise, Laboratoire d'Analyse de Pesticides et de Polluants Organiques, Commission Libanaise de l'Energie Atomique, B. P. 11- 8281, Riad El Solh ,1107 2260 Beyrouth, Liban*

Pour s'affranchir des conditions climatiques, une grande partie des cultures sont effectuées dans des serres agricoles. L'environnement protégé des serres stimule la croissance et la reproduction des ravageurs ce qui oblige les agriculteurs à traiter les plantes par les pesticides plus fréquemment que pour les cultures en plein champs. La pollution des sols, des cultures et de l'air par les phytosanitaires de ces espaces semi-clos sera donc plus importante que celle des atmosphères ouvertes. En plus des pesticides eux-mêmes, peuvent être présents dans les serres leurs produits de dégradation. Cette problématique des pesticides est particulièrement importante au Liban pour plusieurs raisons. C'est le premier consommateur de pesticides au Moyen Orient. Les serres agricoles y sont très répandues. Il y a un manque de contrôle sur les pratiques agricoles.

Un des objectifs de ce travail a été de caractériser l'air des serres et la contamination des légumes par les pesticides et leurs produits de dégradation après la pulvérisation. Dans ce contexte, nous avons suivi sur 6 jours l'évolution de la phase gazeuse et les quantités de pesticides présents dans les légumes dans une serre agricole au Liban Nord dans la région de Menyeh. Les produits de dégradation ont été identifiés après extractions et analyses des échantillons de légumes cultivés (tomates, concombres et poivrons verts). Des échantillons d'air ont été prélevés sur des tubes adsorbants puis analysés par désorption thermique et GC-MS. Un deuxième objectif a été de déterminer si la photochimie jouait un rôle dans la dégradation des pesticides.

Les analyses de la phase gazeuse n'ont permis de détecter aucun des pesticides pulvérisés (Thiophanate-méthyl, acétamipride, bifénazate, imidacloprid). Les terpènes, les alcanes et les aldéhydes ont été les principaux groupes de volatils détectés en phase gazeuse de la serre. Le suivi des abondances de ces volatils par GC-MS a montré que la pulvérisation des pesticides induit l'augmentation de leurs quantités en phase gazeuse. Dans les poivrons verts et les concombres, les quantités après 6 jours de pulvérisation de pesticide dépassaient largement les MRLs (Limite de résidu maximale) imposées pour chaque pesticide. Plusieurs produits de dégradation du bifénazate et du thiophanate-méthyl ont été détectés dans les concombres par HPLC-MS. Le rinçage de la peau des poivrons verts, des concombres et des tomates collectés indiquait l'existence de plusieurs photoproduits issus du bifénazate et du thiophanate-méthyl sur les poivrons et du bifénazate, du thiophanate-méthyl et de l'imidaclopride sur les concombres et les tomates. Cela démontre que des réactions photochimiques sont possibles même dans une serre agricole.

Parallèlement à ces suivis dans la serre, on a accordé une grande importance à la compréhension du comportement photochimique du bifénazate, un acaricide très peu étudié retrouvé dans de grandes quantités dans les légumes analysés. Le bifénazate subit une auto-oxydation dans l'eau et dans des solvants protiques, mais pas dans l'acétonitrile ou sur une surface apolaire. La photolyse du bifénazate a eu lieu dans toutes les matrices, mais à des vitesses très différentes. Même si le BIF- diazène est le principal produit, quel que soit le milieu, des produits mineurs sont spécifiques à chaque situation. Les expériences les plus intéressantes ont été réalisées sur la peau de poivrons verts. Les photo-produits formés sur ce support ont été trouvés dans l'eau, dans l'acétonitrile et sur la cire[1]. Ceci montre que la réactivité du bifénazate varie considérablement avec le milieu réactionnel d'un point de vue cinétique et analytique.

Cette étude peut contribuer à une meilleure prise en compte de la pollution dans une serre agricole. Les résultats obtenus démontrent la nécessité de mise en place de mesures de contrôle plus rigoureuses vis-à-vis de l'utilisation des pesticides dans les serres agricoles, spécifiquement au Liban.

Enfin, la réalisation d'études complémentaires pour mieux comprendre l'effet de la lumière et des saisons sur l'exposition des consommateurs et des agriculteurs sera essentielle.

Références:
1: *Hamdache, S.; Sleiman, M.; de Sainte-Claire, P.; Jaber, F.; Richard, C. Unravelling the Reactivity of Bifenazate in Water and on Vegetables: Kinetics and Byproducts. Sci. Total Environ. 2018, 636, 107–114.*
Remerciements:
Mme. Samar Hamdache remercie l'Union des Municipalités de la région de Menyeh, Liban Nord, pour leur financement .

Session 5 :

Evaluation de l'exposition et des impacts en santé humaine

Evaluation de l'exposition humaine aux résidus de pesticides à l'aide de bracelets en silicone

Joly L. (1a), Aerts R. (1b2a), Szternfeld P. (1a), Tsilikas K. (1a), De Cremer K. (1c), Castelain P. (1d), Aerts J.M. (2b), Van Orshoven J. (2a), Somers B. (2a), Hendrickx M. (1e), Andjelkovic M. (1a), et Van Nieuwenhuyse A. (1b2c)

(1a) Scientific Service Contaminants Organics and Additives

(1b) Scientific Service Health and Environment

(1c) Operational Directorate Food, Medicines and Consumer Safety

(1d) Scientific Service Toxicology

(1e) Scientific Service Mycology and Aerobiology, Sciensano, Brussels, Belgium – laure.joly@sciensano.be

(2a) Division Forest, Nature and Landscape, Department Earth and Environmental Sciences

(2b) Measure, Model & Manage Bioresponses (M3-BIORES), Division Animal and Human Health Engineering, Department of Biosystems (BIOSYST)

(2c) Environment and Health, Department of Public Health and Primary Care, University of Leuven (KU Leuven), Leuven, Belgium - raf.aerts@sciensano.be

Les pesticides et les substances actives biocides sont largement utilisés en agriculture, dans l'industrie ou directement par les particuliers. L'exposition aux résidus de pesticides (PRs) dans l'environnement, les aliments et l'eau peut constituer une menace potentielle pour la santé humaine. Le dépistage de ces PRs dans les denrées alimentaires, les aliments pour animaux ainsi que le suivi de l'exposition humaine à ces PRs jouent donc un rôle essentiel dans la protection de la santé publique.

Récemment, des auteurs comme O'Connell et al. (Environ. Sci. Technol. 2014, 48 (6), 3327-35) ont décrit des méthodes d'échantillonnage passif. Ce type de technologie contribuant à des mesures alternatives moins gênantes pour les volontaires a été testé dans des conditions de vie quotidienne réalistes.

Afin d'évaluer l'exposition humaine aux PRs, une étude transversale, prospective et non interventionnelle, dans laquelle nous avons testé l'aptitude de bracelets en silicone à faible coût disponibles dans le commerce a été menée sur un groupe de 30 volontaires (16 hommes et 14 femmes). Le protocole de cette étude a été examiné et approuvé par le comité d'éthique sociale et sociétale de l'université de Louvain (numéro de protocole SMEC G-2016 09 636).

Ces volontaires ont porté des bracelets de façon continue pendant 5 jours pendant toutes leurs activités quotidiennes. Dans le même temps, certains bracelets de contrôle ont été utilisés : 30 contrôles de l'environnement résidentiel extérieur, 4 contrôles de l'environnement professionnel, 8 contrôles de l'air « pur » (foret) et 6 bracelets nettoyés servant de blanc. Une méthode multi-résidus a été développée pour contrôler la présence ou l'absence d'environ 200 résidus de pesticides sur les bracelets. Les résidus de pesticides ont été extraits avec de l'acétate d'éthyle et quantifiés par une technique de chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS).

31 résidus de pesticides ont été détectés dont 15 résidus de pesticides (48 %) ont été détectés uniquement dans les bracelets portés et donc pas dans les contrôles environnementaux. Les résidus détectés comprenaient 16 fongicides (52 %), 8 insecticides (26 %), 2 herbicides (6 %), 3 dérivés de pesticides (10 %), 1 insectifuge (3 %) et 1 pesticide synergiste (3 %). 5 pesticides détectés n'étaient pas approuvés pour l'utilisation phytopharmaceutique dans l'UE.

Dans le même temps, une évaluation de l'alimentation des participants a été réalisée. Une analyse statistique a montré que le tabagisme et les habitudes alimentaires favorisant la consommation de légumes étaient

associés à des nombres plus élevés et à des concentrations cumulées plus élevées de résidus de pesticides dans les bracelets. Nos résultats suggèrent que l'environnement et l'alimentation ont contribué à l'exposition aux résidus de pesticides dans notre groupe d'étude.

Les résultats de cette étude suggèrent que les bracelets en silicone pourraient être des échantillonneurs passifs pratiques pour le dépistage de l'exposition d'une population à des résidus de pesticides.

Référence

Aerts et al., Environ. Sci. Technol. 2018 Jan 2;52(1):298-307. doi: 10.1021/acs.est.7b05039 Silicone Wristband Passive Samplers Yield Highly Individualized Pesticide Residue Exposure Profiles

Activation du récepteur *Pregnane X Receptor* humain et poisson zèbre par les pesticides

Garoche Clémentine (1), Grimaldi Marina (1), Creusot Nicolas (1), Boulahtouf Abdelhay (1), Bourguet William (2), Aït-Aïssa Selim (3), François Brion (3), Balaguer Patrick (1).

(1) Institut de Recherche en Cancérologie de Montpellier (IRCM), Inserm U1194, Université Montpellier 1, 34290 Montpellier, France

(2) Centre de Biochimie Structurale (CBS), CNRS, Inserm, Université de Montpellier, Montpellier, France.

(3) Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Unité Écotoxicologie in vitro et in vivo, Parc ALATA, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

Le récepteur humain *Pregnane X Receptor* (hPXR, NR1I2) est impliqué dans la biosynthèse, la distribution et le métabolisme de stéroïdes, d'acides biliaires et de xénobiotiques, parmi lesquels de nombreux pesticides. Quand des xénobiotiques se lient au hPXR, ce complexe forme un hétérodimère avec le récepteur X des rétinoïdes (RXR) et induit l'expression de gènes de détoxication comme les gènes codant pour les enzymes de phase I (CYP), de phase II (conjugaison) ou des protéines de transport (transporteurs de la famille ABC), résultant en une clairance des stéroïdes, des drogues et xénobiotiques par le foie et l'intestin (Timsit et al, 2007).
L'activation de hPXR a été associée à des interactions médicamenteuses, la perturbation endocrinienne, la chimiorésistance, la croissance et l'agressivité de cancers du côlon et du foie (Planque et al, 2016 ; Wang et al, 2011 ; Kodama et al, 2015 ; Pondugula et al, 2016).

Des études récentes ont révélé l'activité hPXR d'échantillons environnementaux de milieux aquatiques comme les effluents urbains et industriels, les eaux de surface et les sédiments de rivière (Creusot et al, 2011 ; Dagnino et al, 2012).
Comparativement au PXR humain, il apparaît que le PXR de poisson zèbre (zfPXR) est activé par un plus faible nombre de pesticides (Ekins et al, 2008 ; Krasowski et al, 2011 ; Milnes et al, 2008) et que certains d'entre eux ont une meilleure affinité pour zfPXR que pour hPXR, suggérant d'importantes différences entre les deux récepteurs. De plus, les rôles du PXR dans le métabolisme du poisson ne sont pas encore pleinement élucidés.

Dans ce contexte, nous avons cherché à caractériser les interactions entre les pesticides et le PXR chez l'homme et le poisson zèbre et à étudier le rôle de zfPXR dans le métabolisme du poisson. À cette fin, nous avons testé l'activité PXR d'échantillons environnementaux et de pesticides à l'aide de lignées cellulaires luminescentes exprimant soit hPXR soit zfPXR. Les pesticides les plus puissants ont ensuite été testés pour leur capacité à réguler l'expression des gènes cibles de PXR et à agir sur la prolifération cellulaire et la résistance aux médicaments dans ces cellules.

Ces travaux seront combinés à des approches de modélisation (zfPXR) et de cristallographie (hPXR) pour étudier les interactions structurelles des pesticides avec hPXR et zfPXR, et à une approche *in vivo* utilisant le poisson zèbre pour étudier les effets des pesticides sur les gènes régulés par PXR.

Dans l'ensemble, nos données permettent de mieux comprendre le rôle et les mécanismes d'action du PXR chez l'homme et le poisson zèbre et mettent en évidence des différences inter-espèces pour une meilleure évaluation des risques d'exposition aux pesticides pour la santé humaine et l'environnement.

Implication du zinc dans la modulation de la fonctionnalité des monocytes/macrophages humains induite *in vitro* par le zirame

Parny Mélissa (1, 2), Pipy Bernard (2), Treilhou Michel (1)

(1) Équipe EA 7417, BTSB, Université de Toulouse, CUFR Champollion, place de Verdun, 81012 Albi, France – melissa.parny@gmail.com, michel.treilhou@univ-jfc.fr

(2) UMR 152-Pharma-Dev, Université de Toulouse, CHU Rangueil, 1 Avenue Jean Poulhès, 31432 Toulouse, France – bernard.pipy@inserm.fr

Contexte et objectifs

La réponse immunitaire est le premier moyen de défense contre les pathogènes. Cependant, cette réponse peut être altérée par des produits phytosanitaires. Dans cette étude nous avons examiné les effets du zirame, un dithiocarbamate largement utilisé comme fongicide en agriculture. En arboriculture fruitière, ce pesticide cible les cloques, les tavelures et les *Stemphylioses* impliqués dans l'apparition des taches noires au niveau des pommiers, poiriers, pêchers et amandiers. Le zirame est également utilisé comme agent accélérateur dans la fabrication du latex. Plusieurs études ont montré que les utilisateurs de zirame présentaient des allergies, des irritations cutanées et des désordres immunitaires. Des études *in vitro* ont permis d'établir l'inhibition de l'activité des cellules natural killer (NK) et des lymphocytes T cytotoxiques (LTc) en présence du zirame[2,3] ainsi que l'inhibition de la production de TNFα par la lignée promyélocytaire humaine THP-1[4]. Sur des macrophages dérivés de monocytes humains (MDM), nous avons montré que le zirame inhibe les fonctions effectrices de ces cellules. Bien que le mécanisme d'action du zirame sur le système immuno-inflammatoire n'est pas clair, une étude récente a montré que le zinc de cette molécule jouait un rôle crucial dans la cytotoxicité du zirame sur les lymphocytes de rat[5]. Nous avons émis l'hypothèse que l'inhibition des fonctions des MDM induite par le zirame pourrait être partiellement médiée par le zinc présent dans cette molécule.

Méthodologie

Pour explorer le rôle du zinc dans l'inhibition de l'activité des MDM par le zirame, nous avons comparé l'effet du zirame, et du disulfirame associé ou non au zinc sur l'activité des MDM. En effet, le disulfirame est un dithiocarbamate analogue au zirame dépourvu, mais chélateur, du zinc. Cette molécule est utilisée en médecine humaine pour son effet antabuse et ses propriétés anticancéreuses. Dans l'Union Européenne, les normes résiduelles pour le zirame en arboriculture fruitière sont de l'ordre de 0,3 ppm[6] correspondant à 1 $\mu mol.L^{-1}$. Nous avons donc choisi de travailler à des doses de zirame et de disulfirame entre 0,01 à 10 $\mu mol.L^{-1}$. Les paramètres étudiés sur les MDM ont été : la mortalité cellulaire (évaluation du taux de lactate déshydrogénase (LDH), dans les milieux de culture), la fonction phagocytaire, l'hyperactivité oxydative (capacité de ces cellules à produire des radicaux libres oxygénés microbicides et pro-inflammatoires) et la production des cytokines/chimiokines.

Résultats et discussion

Nous avons montré que le zirame à 0,1 $\mu mol.L^{-1}$ augmente la phagocytose de la paroi de levure (*S. cerevisiae*) par les MDM alors qu'il l'inhibe totalement (92 %) à 10 $\mu mol.L^{-1}$. Le disulfirame n'a pas eu d'effet à 0,1 ni à 1 $\mu mol.L^{-1}$, cependant il a plus faiblement diminué la phagocytose des parois de levure que le zirame à 10 $\mu mol.L^{-1}$ (32,5 %). En ce qui concerne l'hyperactivité oxydative, le zirame n'a pas eu d'effet entre 0,01 à 1 $\mu mol.L^{-1}$. A 10 $\mu mol.L^{-1}$ le zirame a inhibé 97 % de l'hyperactivité oxydative (Fig.1A)

---

2 Taylor, TR et al. (2005). Persistent inhibition of human killer cell function by ziram and pentachlorophenol. Environ Toxicol 20, 418-24

3 Li, Q. et al. (2012). Effect of ziram on natural killer, lymphokine-activated killer, and cytotoxic T lymphocyte activity. Arch Toxicol 86, 475-81

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

5 Kanemoto-Kataoka, Y et al. (2017). Zinc is a determinant of the cytoxicity of Ziram, a dithiocarbamate fungicide, in rat thymic lymphocytes: possible environmental risks. Toxicol Res 18;6, 499-504

6 https://www.arvalis-infos.fr/file/galleryelement/pj/59/27/b5/57/choisirpdt_2013_1-actualites reglementaires5582384373729647989

alors que le disulfirame n'a pas eu d'effet (Fig. 1B). La très faible toxicité du zirame à la dose 10 µmol.L^{-1} (8 %) n'explique pas l'effet inhibiteur observé puisque le disulfirame qui n'a pas d'effet sur l'hyperactivité oxydative des MDM présentait une cytotoxicité comparable à 10 µmol.L^{-1} (6 %). Fait intéressant, le traitement simultané du disulfirame à 10 µmol.L^{-1} avec du $ZnSO_4$ à 1 ou 10 µmol.L^{-1} a diminué la capacité du macrophage à produire des radicaux libres oxygénés (Fig. 1C). Par ailleurs l'étude de l'expression de gènes impliqués dans le stress oxydant nous a permis de voir que le disulfirame associé au zinc induisait l'expression de l'hème oxygénase, de la NADPH quinone 1, de la superoxyde dismutase et de la catalase de façon similaire à celle du zirame à 10 µmol.L^{-1} (données non montrées).

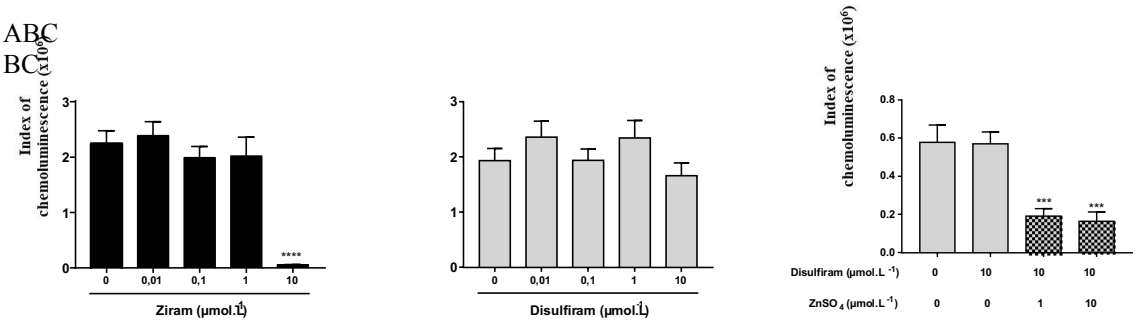


*Fig 1. Effets d'une exposition du zirame et du disulfirame associé ou non au zinc sur l'hyperactivité oxydative des MDM dérivés de monocytes humains. Les données correspondent à la moyenne ± SEM, n = 30. (***p<0.001 et ****p<0.0001)*

La figure 2A montre que le zirame à 10 µmol.L^{-1} a inhibé la production de TNFα induite par le LPS. Le disulfirame n'a quant à lui pas eu d'effet sur la production de TNFα quelles que soient les doses testées allant de 0,01 à 10 µmol.L^{-1} (Fig. 2B). Le traitement simultané du disulfirame à 10 µmol.L^{-1} avec du $ZnSO_4$ à 1 ou 10 µmol.L^{-1} a diminué la capacité du macrophage à produire du TNFα induite par le LPS (Fig. 2C). Ces résultats concernant la production des cytokines ont également été retrouvés pour les cytokines pro-inflammatoires IL-1β et l'IL-6 et pour la chimiokine pro-inflammatoire CCL2.

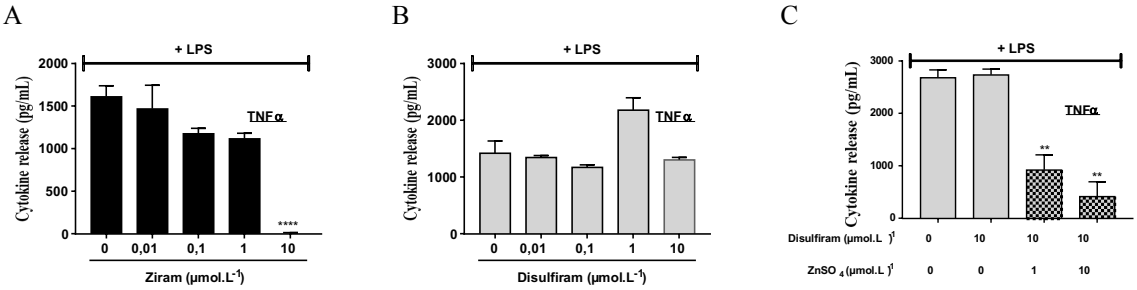


*Fig 2. Effets d'une exposition du zirame et du disulfirame associé ou non au zinc sur production de la cytokine pro-inflammatoire TNFα par les MDM stimulés au LPS. Les données correspondent à la moyenne ± SEM, n=3. (**p<0.01 et ****p<0.0001)*

Conclusion et perspectives

L'ensemble de ces résultats révèle qu'un fongicide appartenant à la classe des dithiocarbamates, le zirame, peut inhiber les fonctions des monocytes/macrophages à fortes doses et que cette inhibition serait au moins partiellement due au zinc contenu dans la molécule. Le zirame présente des effets immunomodulateurs qui pourrait avoir des conséquences sur les propriétés anti-infectieuses et anti-tumorales des monocytes/macrophages, cellules clés de l'immunité innée. Des études sont en cours pour préciser l'orientation phénotypique et fonctionnelle des macrophages et par conséquent de définir si une éventuelle exposition des professionnelles au zirame peut faire apparaitre des troubles immunitaires qui peuvent être à l'origine de certaines pathologies cancéreuses notamment.

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

Mots-clés : *pesticides, monocytes/MDM, dithiocarbamates, zirame, disulfirame*

Evaluation des risques pour les riverains lors de pulvérisations de pesticides

Remy Suzanne (1), Ruthy Ingrid (1)

(1) Institut Scientifique de Service Public, 200 Rue du Chéra, 4000 Liège. Belgique – s.remy@issep.be

Introduction

Dans les zones agricoles, les phénomènes de dérive durant la pulvérisation ou les phénomènes de volatilisation à partir du sol ou de la végétation peuvent être une source d'exposition aux phytopharmaceutiques (PPP) non négligeable pour les personnes résidant dans le voisinage des cultures traitées (Inserm, 2013)[7]. L'objectif de cette étude était de calculer les risques liés aux pesticides en bordure de champ lors d'épisodes de pulvérisations de pesticides réalisés selon les bonnes pratiques agricoles. Un focus de l'impact du facteur d'absorption dermique sur le risque total est présenté.

Méthode

Durant la période de mai à aout 2018, des prélèvements de substances actives (SA) dans l'air et via les dépôts sur des capteurs passifs au sol ont été collectés en bordure de champs lors de 7 applications de pesticides réalisées selon les bonnes pratiques agricoles (grandes cultures : froment, pomme de terre, maïs). Les échantillons ont été prélevés à des distances croissantes de la bordure du champ traité (à 1 m, 6 m, 10 m, 25 m, 50 m) et durant les 48 h qui ont suivis le début des pulvérisations (après 2 h, 12 h, 24 h et 48 h). Au total, pour l'ensemble des pulvérisations, des données ont été obtenues pour 19 substances actives. Les risques pour la santé ont été calculés sur base des équations et des paramètres préconisés par le modèle de l'EFSA utilisé lors de l'agréation des substances actives au niveau européen. Les risques sont calculés à la fois à l'aide du facteur d'absorption dermique par défaut et du facteur d'absorption dermique spécifique de la substance dans la formulation pulvérisée.

Résultats et discussion

En bordure immédiate du champ (à 1 m), l'indice de risque calculé pour 4 SA sur 19 (metobromuron, prosulfocarbe, cymoxanil, terbuthylazine) est nettement supérieur à 1, signifiant que le risque d'effet toxique n'est pas à exclure. En utilisant les valeurs d'absorption dermique spécifiques des SA, l'indice de risque est supérieur à 1 pour 3 SA sur 19 (metobromuron, prosulfocarbe, terbuthylazine).

A 6 m et à 10 m de la bordure du champ, 2 SA (metobromuron, prosulfocarbe) et 1 SA (prosulfocarbe) respectivement présentent encore un indice de risque supérieur ou proche de 1 lorsque ce sont les facteurs d'absorption dermiques par défaut du modèle qui sont utilisés. A ces distances, plus aucun dépassement n'est observé lorsque ce sont les facteurs d'absorption dermique spécifiques qui sont utilisés. A 25 m et à 50 m de la bordure du champ, les indices de risque passent sous le seuil de 1.

Les risques calculés sont essentiellement attribuables à l'exposition, par voie cutanée et par inhalation, à la dérive de pulvérisation qui a lieu durant les 2 heures qui suivent l'application. La part du risque attribuable à la dérive de pulvérisation par rapport au risque total diminue légèrement en fonction de la distance mais reste toujours importante.

Conclusions

[7] INSERM (2013). Pesticides. Effets sur la santé. Synthèse et recommandations. Expertise collective. INSERM, 2013

L'évaluation des risques réalisée à l'aide du modèle de l'EFSA et des données de terrain en bordure de champ lors de pulvérisations indiquent que les risques pour la santé ne peuvent être exclus à moins de 10 m de la bordure du champ. Sur base de ces résultats il est recommandé d'éviter de pulvériser à une distance inférieure à 10 m en bordure de milieu de vie de la population. L'utilisation d'un facteur d'absorption dermique spécifique de la SA versus par défaut influence considérablement vers le bas les valeurs risques calculées.

Effets de pesticides sur la santé de l'utilisation sur les maraîchers de Santa, Cameroun

Abdulai A.N. (1) et Tarla D.N. (1)

(1) Département de Protection des Végétaux, Faculté d'Agronomie et de Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun. Correspondance: hassannkuh@yahoo.com

Ce travail montre les principaux problèmes de santé résultant de l'utilisation de pesticides en agriculture par les maraîchers de la communauté de Santa du nord-ouest du Cameroun. Cette communauté est connue pour son haut niveau d'activités de maraîchage tout au long de l'année. Les travaux ont été effectués de novembre 2013 à février 2014. Santa est situé dans la division Mezam de la région Nord-Ouest du Cameroun et est situé à 5,83 ° de latitude nord et à 10,15 ° de longitude est. Les villages de Santa qui ont participé à ces travaux de recherche incluent : Mbei, Ndzong, Bamok, Akum, Awing, Ntaren, des parties de Babajou et Pinyin. Les données ont été obtenues à l'aide de questionnaires structurés qui ont été administrés à 120 maraîchers utilisant des pesticides. La plupart des agriculteurs interrogés à Santa ont signalé des problèmes de santé après l'utilisation courante de pesticides. Les symptômes les plus fréquemment signalés par les personnes interrogées étaient les troubles de l'estomac 42 (24 %), les brûlures de la peau 31 (18 %), le catarrhe 28 (16 %) et les douleurs thoraciques 17 (10 %). Les céphalées 14 (11 %) et la toux 13 (10 %) ont été moins fréquemment signalées. Cinquante-cinq (55 %) des agriculteurs n'ont pas porté de vêtements de protection lors de la pulvérisation. Leurs principales raisons étaient qu'ils ne pouvaient pas les payer (24 %), pensaient que ce n'était pas nécessaire (17 %), qu'ils n'étaient pas disponibles 2 (2 %) et qu'ils prenaient beaucoup de temps 2 (2 %). Ceux qui portaient des vêtements de protection ont indiqué les différents vêtements : respirateurs, gants, pantalons, bottes et chemises à manches longues. Parmi les personnes qui ont eu des problèmes de santé avec l'utilisation de pesticides, 33 (28 %) ont indiqué qu'elles étaient allées à l'hôpital, 57 (48 %) les ont manipulées elles-mêmes et 2 (2 %) ont bu de l'huile ou du lait pour résoudre le problème. La majorité des agriculteurs (96 %) dépendaient de l'application de pesticides pour lutter contre les organismes nuisibles. Les ingrédients actifs les plus couramment utilisés étaient la cyperméthrine et le diméthoate contre les insectes, le mancozèbe et le maneb contre les champignons et le gramoxone contre les mauvaises herbes. La cause possible de ces problèmes de santé pourrait être due au fait qu'ils ne suivaient pas à la lettre les règles et réglementations liées à l'utilisation des pesticides : par exemple, beaucoup d'entre eux (55 %) ne possédaient pas tous les vêtements de protection nécessaires. En ligne avec les conclusions d'Amuoh (2010), qui a mené une étude sur les estimations des risques pour la santé des utilisateurs de pesticides des producteurs de fruits et de légumes au Cameroun, et qui a révélé des effets similaires sur la santé des agriculteurs. Cela explique les effets sur la santé que les agriculteurs subissent en raison de l'utilisation de pesticides dans leurs exploitations. Ceci est attribué à l'insuffisance des services de vulgarisation et de formation. La lutte antiparasitaire intégrée est recommandée pour ces agriculteurs. Cela peut être facilement obtenu en organisant les agriculteurs en petits groupes d'agriculteurs où ils sont formés et peuvent échanger leurs connaissances et leurs expériences.

Mots clés : Santé, Pesticides, Maraîchers, Légumes, Santa (Cameroun).

Diminution de l'exposition des agriculteurs par l'amélioration de leurs pulvérisateurs : Démarche de co-construction avec les acteurs de terrain

Gallien Marc (1), Perrin Jean Luc (2), Grimbuhler Sonia (3)

(1) Direccte de Normandie Prévention Agricole, Cité Administrative- 2 rue Saint Sever, 76032 ROUEN CEDEX

(2) Université de Bourgogne, Institut Universitaire de Technologie, Pôle Licences Professionnelles, 1, Allée des Granges Forestier, 71100 Chalon-sur-Saône

(3) UMR ITAP, Univ Montpellier, Irstea, Montpellier SupAgro, Montpellier, France

Les pulvérisateurs, machines complexes, évoluent, intègrent de nouvelles technologies et deviennent plus performants. Assurer une pulvérisation efficace tout en préservant au maximum l'environnement et l'opérateur, suppose que l'on exploite au mieux les possibilités de son matériel. Il est souvent considéré que la réduction des expositions passe avant tout par l'amélioration des équipements dès la phase de conception. C'est en effet nécessaire mais pas suffisant pour prévenir les expositions professionnelles. Le choix des équipements contribue lui aussi très largement à cette prévention. Cette question est importante pour la qualité des traitements, la préservation de l'environnement, mais elle est de surcroit une obligation de la part des employeurs. Rappelons que ceux-ci doivent : « mettre à disposition de leurs salariés des équipements appropriés ou convenablement adaptés aux travaux à réaliser ». La question du choix est donc fondamentale. Aujourd'hui, nous ne disposons pas d'outils permettant d'objectiver ces choix de manière claire sur les questions de réductions des expositions.
Dans la logique de conception, un constructeur doit prendre en compte les exigences de la directive machine, dans laquelle ont été introduites des dispositions spécifiques aux équipements de pulvérisation. Pour s'y aider il peut recourir à la norme qui lui donne des pistes de solutions techniques. *A priori* les utilisateurs doivent trouver sur le marché des équipements « conformes ». Seulement dans la réalité, sur le terrain, les « combinaisons » possibles pour « concevoir » son pulvérisateur font que les utilisateurs s'y perdent parfois. Ils priorisent les questions de performance et de protection de l'environnement et mettent au second plan les enjeux de de santé et de sécurité au travail ». Améliorer la conception des pulvérisateurs en tenant compte des situations de travail et Aider les agriculteurs à mieux formaliser leurs choix, c'est assurément les aider dans la réduction de leur exposition. Lors des inspections de pulvérisateurs, le nombre de défauts sur un pulvérisateur varie d'aucun à 28, avec une moyenne de 4,8 défauts détectés.

L'objectif de cette présentation vise à contribuer à la réduction de l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques lors de la préparation de la bouillie au nettoyage/entretien du matériel par l'amélioration de la conception des pulvérisateurs et du choix des pulvérisateurs en tenant compte de l'activité réelle des agriculteurs. En positionnant au cœur du projet les acteurs concernés : les agriculteurs et les constructeurs de pulvérisateurs, cela a permis de mieux comprendre les besoins et les contraintes de tous les acteurs, en tenant compte des situations réelles de travail. Les écarts entre le prescrit et le réel ont ainsi été étudiés.
Deux populations ont été étudiées : 15 agriculteurs normands et les constructeurs ou concessionnaires de pulvérisateurs
La méthodologie employée s'articule autour des points suivants :

- Identification des critères essentiels sur la qualité de la pulvérisation et sur la sécurité du travailleur et de l'environnement à partir d'entretiens exploratoires en situations réelles de travail ;
- Analyse des besoins et des contraintes des constructeurs dans leur entreprise et des agriculteurs dans leur exploitation par des entretiens ;
- Analyse de l'existant des messages de prévention MSA, firmes, normes, règlementations ;
- Mesure des impacts en termes de réduction des expositions, par des essais de terrain à l'aide de traceurs fluorescents et des enquêtes de terrain auprès 15 agriculteurs normands ;
    - Essais sur le terrain avec traceurs fluorescents, afin de montrer les phases exposantes, les zones du corps exposées et les organes du matériel souillés. Les observations ont été filmées systématiquement ;

    - Analyse de l'accessibilité des différents organes du pulvérisateur ainsi qu'une analyse des postures et de l'activité à l'aide du logiciel CAPTIV. Les contraintes physiologiques ont été mesurées.
- Auto-confrontation, présentation des résultats aux agriculteurs et validation par les agriculteurs et les constructeurs ;
- Construire un message de prévention clair avec les acteurs de terrain, et d'un cahier des charges afin d'améliorer la conception des pulvérisateurs en tenant compte de l'activité réelle ;
- Proposition d'une formation aux constructeurs, concessionnaires, préventeurs et agriculteurs à partir des besoins des opérateurs.

Résultats : Les critères de choix des équipements et de la conception de pulvérisation sur des questions de santé et de sécurité au travail ont été étudiés en situation réelle de travail. Des écarts entre le prescrit et le réel ont pu être identifiés, comme la modification des pulvérisateurs, une utilisation des différents organes des pulvérisateurs pour s'aider à incorporer les produits dans la cuve lors de la préparation de la bouillie, ainsi que des mésusages lors des traitements et lors du nettoyage du matériel. Des aberrations de conception des pulvérisateurs tels que l'accessibilité aux filtres, à l'orifice de remplissage, à la préparation de la bouillie sous la rampe souillée ont pu être constatés …
Lors d'échanges avec les utilisateurs et les constructeurs, les premiers ont du mal à formaliser leur choix d'équipement et leurs besoins, les enjeux de santé et de sécurité au travail sont peu présents, « de toute façon le matériel est aux normes ». Les critères de choix en matière de réduction de l'exposition sont assez peu déterminés et pris en compte lors de l'achat mais aussi lors de la conception des pulvérisateurs.
Des mesures de prévention ont été identifiées, afin de limiter les expositions des opérateurs. Ces messages de prévention acceptables (savoir choisir, c'est savoir se protéger) permettant la réduction de l'exposition des produits phytopharmaceutiques ont été co-construits avec les différents acteurs, à partir de l'analyse de l'activité et de la validation par les agriculteurs et les concepteurs lors des auto-confrontations.
Ce travail a permis :

- aux Concepteurs du matériel agricole de prendre en considération les besoins des agriculteurs lors des phases de traitement : de la préparation de la bouillie au nettoyage du matériel, et de se rendre compte de l'importance des retours d'expérience de terrain.
- aux Agriculteurs de comprendre les contraintes des constructeurs et concessionnaires.

Ces résultats permettront la construction d'une formation des agriculteurs et des différents acteurs de prévention qui entourent les agriculteurs, ayant pour objectif de réduire leur exposition lors de l'utilisation du matériel de pulvérisation.

Mots Clés : *Exposition des agriculteurs, analyse de l'activité, pulvérisateur, message de prévention*

Session 6 :

Approches Paysagères et territoriales du devenir et de l'impact des pesticides

L'entretien des fossés comme levier pour limiter la contamination des eaux par les pesticides

Dagès Cécile (1), Bailly Jean-Stéphane (2), Dollinger Jeanne (1), Lagacherie Philippe (1), Voltz Marc (1)

(1) LISAH, Univ. Montpellier, INRA, IRD, SupAgro, 2 place Pierre Viala 34060 Montpellier, France, Montpellier – cecile.dages@inra.fr

(2) LISAH, AgroParisTech, 2 place Pierre Viala 34060 Montpellier, France, Montpellier

Le constat désormais récurrent de la contamination des eaux superficielles et souterraines, notamment par les pesticides (Commissariat Général au Développement Durable, 2011) a conduit à de nouvelles réglementations pour reconquérir la qualité des eaux (Directive Cadre Européenne sur l'eau 2000/60, Grenelle de l'Environnement 2007). Leur mise en œuvre suppose de concevoir des modes de gestion agricole (changement de pratiques, limitation des usages) et paysagère (haies, terrasses, fossés, zones humides...) pour limiter les impacts sur la qualité des eaux. Parmi les infrastructures paysagères, les fossés sont largement répandus dans les paysages agricoles. Initialement creusés pour différents usages selon les régions (drainage des eaux excédentaires, maîtrise du ruissellement et de l'érosion des sols), les réseaux de fossés jouent un rôle important mais encore insuffisamment pris en compte dans l'analyse et la gestion de la contamination des eaux par les pesticides. A cet effet une méthodologie de diagnostic des réseaux de fossés en fonction des conditions de milieu a été développée afin de fournir aux gestionnaires des masses d'eau le moyen i) d'évaluer les différents impacts (rétention, infiltration) des fossés dans la contamination des eaux et ii) d'identifier les modes de gestion les plus adéquats.
Les travaux présentés ici ont été menés, dans le cadre d'un projet co-financé par l'AFB et d'une thèse financée par l'INRA, et s'appuyant sur l'observatoire OMERE (www.obs-omere.org), des observations de fossés sur les bassins versant de Roujan (Hérault, OMERE), de la Morcille (Beaujolais) et du Ruiné (Charentes) à partir desquels une typologie des fossés a été établie, sur des expérimentations au laboratoire notamment pour déterminer les propriétés de sorption des substrats de fond de fossés, ainsi que sur des explorations numériques de rétention dans les fossés selon leurs propriétés et pour différentes crues contaminantes. Ils montrent :
- La rétention des pesticides à l'échelle d'un fossé est très variable, de 0,5 à 99 %. Elle dépend, en plus de la nature de la molécule pesticide, des caractéristiques physiques du fossé, et de la végétation et des résidus (litière, cendres) consécutifs aux pratiques d'entretien (curage, fauche, désherbage chimique, brûlis). Pour des molécules hydrophobes (telles le diuron et le chlorpyrifos), la rétention est la plus élevée en présence d'un fort taux de matière organique et de cendres dans le fossé, tandis que pour une molécule hydrophile comme le glyphosate, la rétention est plus importante dans les fossés incisés dans des sols à texture fine et avec cendres. En outre, la sorption augmente avec la taille de la section des fossés. Ainsi, pour augmenter la rétention, il faut préconiser des fossés larges, entretenus par brûlis ou fauchage.
- L'évolution du fossé suite à une pratique (repousse végétale, décomposition de la matière organique…) différant selon la pratique et la saison, le taux de rétention évolue également dans le temps. Aucune pratique ne s'est ainsi révélée être systématiquement supérieure aux autres, ce qui incite à combiner plusieurs pratiques dans le temps. Ainsi, une stratégie d'entretien consistant à brûler les fossés en hiver et faucher tardivement, en fin d'été, permettrait probablement d'optimiser la capacité de rétention des fossés sur l'ensemble de l'année.
- La localisation au sein du bassin versant des fossés présentant la meilleure capacité de rétention a également un effet sur la qualité des eaux arrivant à la rivière. Les résultats actuels indiquent que la localisation des fossés à forte capacité de rétention sur l'aval du réseau est plus efficace que celle sur l'amont.
- L'ensemble de ces résultats et la méthode ayant permis de les obtenir ont alimenté deux guides méthodologiques. Ils proposent aux gestionnaires une grille d'analyse pour i) établir un diagnostic de la capacité de rétention des fossés à partir de descripteurs facilement observables, et ii) identifier des pistes pour améliorer le rôle de rétention des fossés via leur entretien et via leur localisation dans le paysage.

Les apports cognitifs et méthodologiques de ces travaux posent les bases d'évaluations de scénarios de gestion des réseaux de fossés à l'échelle du paysage et à l'échelle annuelle.

Il convient désormais d'intégrer le devenir des pesticides (dégradation et transfert vers les nappes et l'air) et de mieux prendre en compte l'évolution à long terme des propriétés des fossés (e.g. dynamiques de communautés végétales post-entretien). Ces travaux, couplés à l'évaluation d'autres fonctions, telles que celles d'assainissement agricole ou de corridor écologique, permettront à terme d'évaluer le bouquet de services écosystémiques rendus par les fossés.

Modélisation de l'effet de la configuration paysagère et des pratiques culturales sur la dispersion et le dépôt des pesticides utilisés en agriculture

Djouhri Meriem (1), Loubet Benjamin (2), Benoit Pierre (2), Mamy Laure (2), Bedos Carole (2)

(1) LISAH, Univ. Montpellier, INRA, IRD, SupAgro, 2 place Pierre Viala 34060 Montpellier, France, Montpellier – meriem.djouhri@inra.fr

(2) ECOSYS, INRA-AgroParisTech-Université Paris-Saclay 78850 Thiverval-Grignon (France)

Dans la perspective de répondre à l'enjeu mondial de la sécurité alimentaire et avec l'apparition des produits de synthèse, les systèmes de cultures se sont orientés vers une intensification de l'utilisation des intrants [1], causant ainsi la contamination de l'environnement et le déclin de la biodiversité. Durant et après leur application, les pesticides sont transférés vers l'atmosphère, contribuant ainsi à l'expansion du périmètre de contamination au-delà de la zone de traitement [2].
Cette étude, menée dans le cadre du projet RESCAPE, vise à évaluer par le biais de la modélisation, l'influence des pratiques agricoles et de la configuration paysagère sur la contamination des zones non cibles en analysant l'impact de ces facteurs sur la volatilisation des pesticides, la dispersion atmosphérique et les dépôts secs.
Trois modèles ont été couplés via un script R : 1) Thetis [3] qui fournit la turbulence atmosphérique dans la zone simulée, 2) Volt'Air-Veg [4,5,6] qui fournit le taux de volatilisation à partir de la culture traitée (ici le blé) et 3) Moddas [7] qui estime la dispersion atmosphérique de pesticides dans la zone simulée en deux dimensions (verticale et sous le vent de la parcelle traitée). Le dépôt gazeux de pesticide en aval de la parcelle traitée a quant-à-lui été calculé par une approche de transfert résistif à l'aide d'un script R. Les scénarios sont basés sur les données disponibles dans la zone d'étude du projet RESCAPE (Zone Atelier Plaine et Val de Sèvre, Chizé).
Des fenêtres paysagères ont été sélectionnées dans le cadre du projet, parmi lesquelles diverses configurations paysagères ont été définies pour cette étude de modélisation. Les emplacements d'un champ traité (blé) et d'un écosystème non cible situé sous le vent du champ traité ont été identifiés. En analysant les pratiques agricoles locales, 15 pesticides ont été sélectionnés. Plusieurs facteurs ont été pris en compte : la disposition et les caractéristiques du couvert végétal, les facteurs pédoclimatiques, les caractéristiques physico-chimiques des pesticides et la variabilité de la période d'application, afin de reproduire les facteurs d'influence réels. L'accent a également été mis sur l'effet des haies sur la dispersion atmosphérique en analysant l'effet de leur dimension (taille), densité, position (vent en aval/amont du champ traité) et de leur distance par rapport au champ traité.
En couplant les trois modèles, nous avons démontré l'effet prépondérant de deux facteurs sur la dispersion atmosphérique et les dépôts de pesticides dans la zone non ciblée. Les caractéristiques des composés et des périodes de traitement jouent un rôle de premier ordre sur le taux de contamination. Les haies ont par ailleurs un effet d'accroissement de l'énergie cinétique turbulente en aval de celles-ci qui impacte la concentration atmosphérique de pesticides et donc la quantité déposée sur les zones non cibles.
Dans cette étude, seul le dépôt gazeux après volatilisation a été pris en compte. Pour obtenir des quantités de dépôt plus précises sur les écosystèmes non cibles, il conviendra d'intégrer la contribution de la dérive. Par ailleurs, une analyse de sensibilité concernant les caractéristiques de la haie (hauteur, largeur, porosité) est également nécessaire pour accroître la précision de nos résultats ainsi que l'étude de l'interception du composé par la haie. Par ailleurs, la contribution de sources multiples de pesticides dans la même fenêtre paysagère, en lien avec le fait que plusieurs parcelles de la fenêtre paysagère soient traitées et la prise en compte de toutes les directions du vent doivent également être prises en compte afin de mieux décrire la réalité.

Mots clés : Dispersion atmosphérique, déposition gazeuse, volatilisation, pesticides, paysage.

Remerciements : Les auteurs remercient l'équipe du projet Rescape (projet financé par ONEMA, APR ECOPHYTO « Pesticides » 2014 (MAAF DGER)) ; *C. Pelosi, C. Bertrand* et *C. Fritsch* pour la

coordination scientifique et financière du projet Rescape, *V. Bretagnolle* (manager de la zone Atelier Plaine et Val de Sèvre « ZA PVS », CNRS-CEBC, Beauvoir sur Niort) pour les pratiques agricoles ainsi que la cartographie de l'occupation du sol. Le premier auteur remercie également Montpellier Université d'excellence pour le financement de sa bourse de doctorat.

Références :

1. Özkara, A., Akyil, D. & Konuk, M. Pesticides, Environmental Pollution, and Health. *Environ. Heal. Risk - Hazard. Factors to Living Species* (2016). doi:10.5772/63094
2. Aubertot, J. N. *et al.* Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. 64 (2005). doi:10.1111/j.1365-294X.2008.04048.x
3. Foudhil, H., Brunet, Y. & Caltagirone, J. P. A fine-scale k - ε model for atmospheric flow over heterogeneous landscapes. *Environ. Fluid Mech.* **5**, 247–265 (2005).
4. Garcia, L. *et al.* Modeling pesticide volatilization: Testing the additional effect of gaseous adsorption on soil solid surfaces. *Environ. Sci. Technol.* **48**, 4991–4998 (2014).
5. Personne, E. *et al.* SURFATM-NH3: A model combining the surface energy balance and bi-directional exchanges of ammonia applied at the field scale. *Biogeosciences* **6**, 1371–1388 (2009).
6. Lichiheb, N., Personne, E., Bedos, C. & Barriuso, E. Adaptation of a resistive model to pesticide volatilization from plants at the field scale: Comparison with a dataset. *Atmos. Environ.* **83**, 260–268 (2014).
7. Loubet, B. Modélisation du dépôt sec d'ammoniac atmosphérique à proximité des sources. Université Paul Sabatier-Toulouse III, (2000).

PESHMELBA : modéliser le devenir des pesticides dans des paysages agricoles en intégrant l'influence des éléments du paysage

Rouzies Emilie (1), Barachet Christine (1), Morel Thierry (2), Lauvernet Claire (1), Carluer Nadia (1)

(1) IRSTEA, Centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua, CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex – emilie.rouzies@irstea.fr

(2) CERFACS 42 avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 01– thierry.morel@cerfacs.fr

La contamination des eaux de surface dans les petits bassins agricoles en France menace l'équilibre de la faune et la flore aquatique. C'est pourquoi, outre la limitation de l'usage de pesticides, la réduction de leurs transferts depuis la parcelle où ils sont appliqués jusqu'à la rivière fait partie des actions à mettre en place. Cependant, ces transferts dépendent de très nombreux paramètres : le climat, le type de sol, les pratiques agricoles. L'organisation du paysage joue également un rôle très important (en particulier présence/absence de zones tampons) car les transferts de pesticides sont fortement influencés par les discontinuités qui peuvent limiter ou accélérer leurs transferts hydriques. Les bandes enherbées contribuent par exemple à diminuer le ruissellement et à augmenter l'infiltration, ralentissant et atténuant ainsi les transferts de solutés vers les cours d'eau. Au contraire, d'autres discontinuités (fossés, routes) peuvent accélérer de tels transferts.

Dans l'objectif de proposer la mise en place de solutions correctives de type zones tampons, telles que les bandes enherbées, les haies, les fossés ou les zones tampons humides artificielles, la modélisation permet de tester et comparer différents scénarios d'aménagement à moindre coût. Ce type d'outil facilite largement les échanges avec les acteurs de terrain pour la mise en place de plans d'action pertinents et notamment l'implantation de zones tampons à l'échelle du bassin versant, en illustrant de façon à la fois pédagogique et quantifiée les effets sur les transferts.

Il existe déjà des modèles de devenir des pesticides à l'échelle de la parcelle, à base empirique ou physique ; toutefois à l'échelle du bassin versant, les modèles ne permettent en général pas de représenter de façon flexible l'influence d'éléments du paysage.

L'objectif du projet PESHMELBA (PESticides et Hydrologie : Modélisation à l'EcheLle du BAssin versant, Rouzies et al., sous presse) est de développer un modèle distribué du transfert de l'eau et du devenir des pesticides qui prend en compte explicitement la présence et l'agencement spatial d'infrastructures clés du paysage. Grâce à sa structure modulaire, le modèle permet d'inclure, de supprimer ou de modifier facilement des éléments du paysage. À terme, PESHMELBA constituera ainsi un outil exploratoire visant à tester différents scénarios de solutions correctives. À ce titre, le modèle pourra s'intégrer dans des processus de concertation autour de la localisation spatiale d'infrastructures paysagères pour optimiser l'organisation du bassin versant et permettre une meilleure gestion des ressources en eau.

Le modèle PESHMELBA se base sur un maillage qui intègre les hétérogénéités du paysage, composé d'éléments surfaciques et linéaires permettant de rendre compte de la diversité structurelle d'un paysage. Une description des connexions entre éléments est également fournie avec l'analyse du paysage. Le modèle est ensuite appliqué sur ce maillage original. Il se compose d'un ensemble de modules inter-connectés dans l'espace et dans le temps qui permettent de représenter un processus ou un ensemble de processus sur chaque élément donné. Ces modules se basent sur des modèles pré-existants ou développés dans le cadre du projet. L'ensemble est couplé pour obtenir un modèle spatialisé à l'échelle du bassin versant grâce au coupleur OpenPALM (Fouilloux et Piacentini, 1999), qui permet un couplage dynamique et une gestion adaptée des aspects spatiaux et temporels.

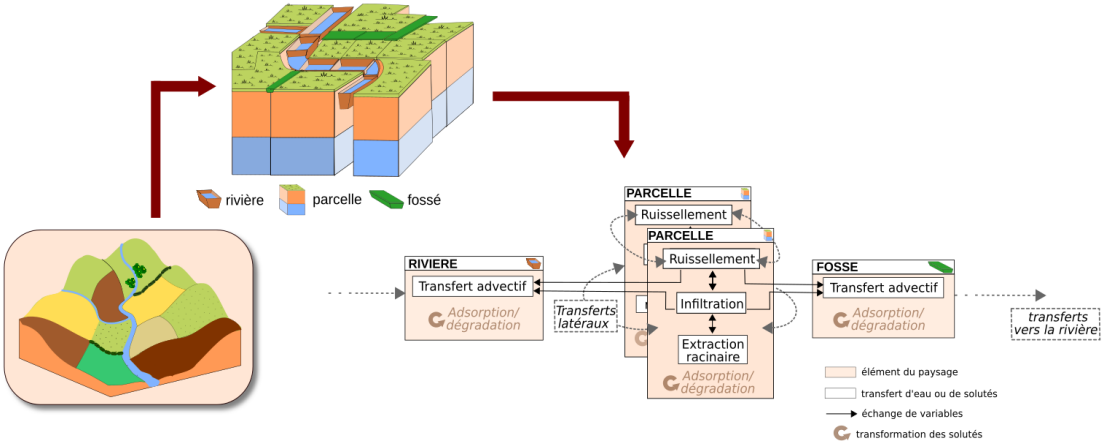


Figure 1: Exemple de la démarche adoptée pour l'application du modèle PESHMELBA sur un versant composé de plusieurs parcelles, fossés et d'une rivière (adapté de (Rouzies et al., 2019))

PESHMELBA intègre pour l'instant les écoulements verticaux (variablement saturés) et latéraux (saturés) dans le sol, le ruissellement de surface sur les parcelles, les transferts dans les fossés et les cours d'eau, ainsi que les processus de transfert (convection-diffusion) et dissipation (adsorption-dégradation) des pesticides. Les bandes enherbées et les haies ou haies sur talus ont également été implémentées. La représentation du devenir des métabolites d'une substance active donnée est également possible.

Les tests menés sur un versant inspiré du bassin de la Fontaine du Theil (Bretagne) sont encourageants (Rouzies et al. sous presse), démontrant la faisabilité et l'intérêt de PESHMELBA pour des tests de scénarios simple. Dans cette étude, nous proposons d'évaluer l'outil à l'échelle du bassin versant et sur des données réelles, sur le bassin de la Fontaine du Theil. Les premiers tests s'avèrent prometteurs pour représenter le devenir des pesticides dans un paysage agricole complexe.

Références

Fouilloux, A., Piacentini, A. (1999) : The PALM project: MPMD paradigm for an oceanic data assimilation software. In: Euro-Par 1999 - Parallel Processing: 5th International Conference, Proceedings. (Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 1999, 1685 LNCS:1423-1430)

Rouzies, E., Lauvernet, A., Barachet, C., Morel, T., Branger, F., Braud, I., Carluer, N. (sous presse). From agricultural catchment to management scenarios: a modular tool to assess effects of landscape features on water and pesticide behavior. Science of the Total Environment

Modélisation intégrée du devenir des pesticides dans les paysages agricoles

Voltz Marc (1), Bedos C. (2), Crevoisier D. (1), Fabre J.C. (1), Loubet B. (2), Chataigner M. (1), Bankwal P. (2), Barriuso E. (2), Benoit P. (2), Brunet Y. (3), Casellas E. (4), Chabrier P. (4), Chambon C. (2), Dagès C. (1), Douzals J.P. (5), Drouet J.L. (2), Lafolie F. (6), Mamy L. (2), Moitrier N. (6), Personne E. (2), Pot V. (2), Raynal H. (4), Ruelle B. (5), Samouelian A. (1), Saudreau M. (7)

[1], *UMR LISAH, Univ. Montpellier, INRA, IRD, SupAgro, Montpellier, France*

[2] *INRA, UMR ECOSYS INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Thiverval-Grignon, France.*

[3] *INRA, UMR ISPA, Bordeaux Sciences Agro, INRA, Bordeaux, France*

[4] *INRA, UR Mathématiques et Informatique Appliquées, Toulouse, France*

[5] *IRSTEA, UMR ITAP IRSTEA, SupAgro, Montpellier, France*

[6] *UMR EMMAH, INRA, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Avignon, France*

[7] *INRA, UMR PIAF, INRA, Université Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand, France*

L'utilisation des pesticides en agriculture entraîne une contamination de la plupart des compartiments des écosystèmes (sol, eau, air) comme en témoignent les différents monitoring mis en place. Pour estimer le risque de contamination de ces compartiments et identifier les moyens de limiter cette contamination, il est nécessaire de développer une approche de modélisation qui décrive complètement les dynamiques et les voies de transfert des pesticides depuis l'échelle de la parcelle jusqu'à l'échelle du paysage, intégrant l'ensemble des compartiments. Jusque-là, le plus souvent, les approches de modélisation sont partielles car se focalisant chacune sur des dynamiques et compartiments spécifiques comme la dispersion atmosphérique d'une part, le transport par ruissellement de surface d'autre part ou encore la percolation vers les nappes souterraines.

Cette communication présente un projet collaboratif pour la modélisation du devenir des pesticides qui rassemble sept unités de recherche, soit une vingtaine de chercheurs et ingénieurs, pour développer un modèle intégré du devenir des pesticides à l'échelle du paysage. Ce modèle intégré vise à prédire les concentrations en pesticides dans le sol, l'eau et l'air ainsi que les échanges dans et entre les différents compartiments sous l'influence conjointe de l'organisation spatio-temporelle des paysages et des pratiques agricoles à l'échelle d'un bassin versant. A terme il est escompté que le modèle puisse être utilisé pour évaluer et raisonner des stratégies de gestion des paysages cultivés en termes de contamination des ressources en air, eau et sol et d'exposition des organismes.

Le principe fondamental de cette démarche collaborative n'est pas de développer un nouveau modèle à partir d'une copie blanche mais de réutiliser les approches de modélisation déjà développées dans chaque groupe de recherche et de les coupler via des plateformes de modélisation et simulation conçues pour faciliter la modélisation des agroenvironnements (plateformes OpenFLUID, SolVirtuel et RECORD). Cette communication présente les principes de la modélisation intégrée des pesticides à l'échelle du paysage qui est actuellement en cours de développement, et plus particulièrement les choix retenus pour i) la représentation spatiale des paysages agricoles (objets spatiaux, propriétés et connectivité spatiale), ii) les principaux processus considérés (distribution entre sol, culture et atmosphère ; transferts dans le sol et à la surface ; équilibres physico-chimiques ; émission vers l'atmosphère par volatilisation et dérive ; dispersion atmosphérique de la fraction volatile ; déposition gazeuse ; …) et iii) leur couplage spatio-temporel. Un des enjeux clés est de réussir le couplage à l'échelle du paysage de la modélisation de la dispersion atmosphérique avec la modélisation mise en œuvre pour la modélisation des processus hydrologiques, et de représenter les échanges à l'interface surface/atmosphère à cette échelle. Les premiers résultats obtenus sur un paysage cultivé modèle seront présentés.

Evaluation d'une méthodologie d'estimation du risque de contamination des eaux en contexte volcanique tropical

Campan Pauline (1), Samouelian Anatja (2), Crevoisier David (2), Voltz Marc (2)

(1) UMR LISAH, Univ Montpellier, INRA, IRD, Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala 34060 Montpellier, France – pauline.campan@inra.fr

(2) UMR LISAH, Univ Montpellier, INRA, IRD, Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala 34060 Montpellier, France – anatja.samouelian@inra.fr – david.crevoisier@inra.fr – marc.voltz@inra.fr

Contexte et objectif

Au niveau national, l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES) évalue, entre autres, l'efficacité et les risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires et délivre les autorisations de mise sur le marché de ces produits. Cependant, la procédure d'homologation de l'usage des pesticides en contexte antillais se base actuellement sur des scénarios d'évaluation du risque de contamination des eaux de surface et souterraines construits à partir des caractéristiques agronomiques, pédologiques et climatiques typiques des zones tempérées européennes (FOCUS 2000, 2001). Ces scénarios ne sont donc pas représentatifs du contexte Antillais et l'estimation du risque de contamination des eaux est donc fortement incertaine.

Dans le cadre d'une convention de recherche avec l'ANSES, huit scénarios agropédoclimatiques représentatifs de la diversité climatique et pédologique du milieu volcanique antillais et des aires de production des deux principales cultures, banane et canne à sucre, ont été développés (Voltz et *al*., 2015). Les spécificités agropédoclimatiques des DOM nécessitent également le développement d'une nouvelle approche de modélisation. A cet effet, un modèle de transfert d'eau et de soluté, WATSFAR, a été conçu, permettant d'estimer simultanément les concentrations en produits phytosanitaires dans les eaux de percolation et de ruissellement, en prenant notamment en compte la forte infiltrabilité des sols et l'existence du transfert préférentiel (Saison et *al*., 2008). Le modèle de transfert et les huit scénarios agropédoclimatiques sont regroupés au sein de l'outil de simulation de risque de contamination TROPHY (Voltz et *al*., 2015 ; Crevoisier et *al*, 2019). Les scénarios établis correspondent au 80ème percentile des chroniques climatiques disponibles en Guadeloupe. Les simulations de TROPHY ont donc pour objectif d'estimer des majorants des concentrations observables dans 80 % des situations.

L'objectif principal de cette communication est de présenter une première évaluation de la capacité du modèle TROPHY à estimer les risques de contamination des eaux superficielles et souterraines par les pesticides pour les scénarios agropédoclimatiques bananiers établis en Guadeloupe sur andosol et nitisol. Pour cela, la démarche suivie comprend : i) une analyse de sensibilité de TROPHY à l'échelle d'un cycle cultural de banane (8 mois) sur andosol selon les propriétés physico-chimiques des molécules (coefficient de distribution K_d et durée de demi-vie DT50), et ii) la comparaison des concentrations simulées par TROPHY avec un jeu de données expérimentales de ruissellement et de percolation acquis à l'échelle parcellaire (Ponchant e*t* al., 2019).

Méthode

Les simulations sont effectuées pour quatre molécules (Asulam, Difénoconazole, Glyphosate et Métolachlore) actuellement utilisées pour le traitement des parcelles bananières en Guadeloupe, aux propriétés physico-chimiques contrastées (K_d variant de 0,7 à 209 L/kg et DT50 de 3 à 130 jours). L'analyse de sensibilité du modèle a été réalisée pour dix couples K_d/DT50, avec le K_d variant de 0,1 à 510 L/kg et la DT50 de 1 à 545 jours. Puis, a été simulé le risque de contamination des eaux de ruissellement et de percolation sur 10 ans pour les scénarios agropédoclimatiques de banane sur andosol et nitisol. Dans le cadre de ce travail, le risque est caractérisé i) par la concentration moyenne calculée à 30 cm de profondeur pour les deux mois suivant l'épandage dans l'eau de percolation et ii) par la concentration maximale journalière de ces mêmes 2 mois dans le ruissellement pour chacune des 10 années de simulation, afin de se rapprocher au mieux des conditions expérimentales. Ces indicateurs de risque de contamination des eaux sont comparés aux concentrations mesurées *in situ* dans la percolation et le ruissellement pour les mêmes molécules, durant 2 mois après épandage sur des parcelles correspondant aux scénarios agropédoclimatiques.

Résultats/Discussion

L'analyse de sensibilité montre que la modélisation représente bien l'impact des propriétés physico-chimiques des molécules sur les processus de percolation et de ruissellement. Dans un contexte de forte pluviométrie et de sol très infiltrant, le bilan de masse de soluté entrainé en percolation sur la saison culturale augmente significativement pour des molécules dont la DT50 est élevée (> 70 jours) et le K_d faible (< 3 L/kg) (type Métolachlore). Les molécules persistent dans le profil de sol sans être trop fortement adsorbées à la phase solide et sont donc disponibles pour la percolation. Le bilan des molécules exportées par ruissellement est d'environ 4 ordres de grandeur moins important que celui de la percolation. On note une augmentation de la contribution du ruissellement pour une gamme de molécules moins sensibles à la percolation, à savoir pour des molécules dont la DT50 et le K_d sont élevés (respectivement > 70 jours et compris entre 3 et 240 L/kg).

La simulation des flux d'eau effectuée avec TROPHY montre que la percolation est majoritaire, ce qui est en accord avec les observations mesurées sur le terrain. Une forte variabilité interannuelle des concentrations simulées dans la percolation sur l'ensemble des 10 ans de simulation est observée, notamment sur andosol pour l'asulam (pouvant atteindre 15 ordres de grandeur), molécule la plus mobile et la moins persistante et pour la difénoconazole (jusqu'à 7 ordres de grandeur), substance la plus adsorbée et la plus persistante. La variabilité interannuelle des concentrations dans le ruissellement, bien que moindre comparée à la percolation, reste significative pour l'asulam sur nitisol notamment (variation de 3 ordres de grandeur). Pour les molécules mobiles et peu persistantes (comme l'asulam), la variabilité des concentrations simulées s'explique en partie par l'intervalle de temps entre l'épandage et la première pluie. Pour les molécules plus persistantes, il peut être supposé que la variabilité soit conditionnée par l'intensité et la durée de chaque évènement percolant, mais cette hypothèse reste à vérifier. Les comparaisons des simulations effectuées sur une période de 10 ans avec les données expérimentales révèlent un fonctionnement cohérent du modèle, en accord avec les propriétés physico-chimiques des molécules. Les concentrations simulées et observées sont du même ordre de grandeur dans la percolation et le ruissellement, confirmant l'importance du transfert préférentiel dans les sols guadeloupéens et un risque de contamination important des eaux souterraines. TROPHY majore les concentrations observées dans la percolation pour 2 molécules sur 4 pour l'andosol et pour 3 molécules sur 4 pour le nitisol, soit pour 62 % des situations. Pour le ruissellement, TROPHY majore les concentrations observées pour 2 molécules sur 4 pour l'andosol et pour l'ensemble des 4 molécules pour le nitisol, soit pour 75 % des situations. Dans l'ensemble, TROPHY est donc protecteur de l'environnement mais à environ 68 %, contre 80 % requis par le choix des scénarios climatiques. Deux principales raisons peuvent expliquer les écarts rencontrés. Premièrement, l'évaluation actuelle a été réalisée avec des propriétés K_d/DT50 standards, déterminées principalement en contexte tempéré. Les particularités des sols volcaniques tropicaux, l'humidité et la température ont un impact considérable sur les processus de sorption et de dégradation, et donc sur les paramètres K_d et DT50. Il est donc nécessaire de poursuivre l'évaluation de TROPHY avec des propriétés physico-chimiques estimées en contexte volcanique tropical. Deuxièmement, la période de simulation de 10 ans ne rend pas compte de toute la variabilité des intervalles de temps entre l'épandage et la première pluie observée expérimentalement et doit donc être étendue.

Conclusion/perspectives

Globalement, l'outil TROPHY d'estimation du risque de contamination des eaux par les pesticides en milieu volcanique tropical donne des résultats satisfaisants et en accord avec les propriétés physico-chimiques des molécules. La validation du modèle doit être poursuivie et approfondie pour l'ensemble des scénarios agropédoclimatiques guadeloupéens, en considérant notamment les propriétés physico-chimiques des molécules estimées en contexte volcanique tropical et une période de simulation plus longue de l'ordre de 20 ans.

Références

Crevoisier, D., Fernandez-Bayo, J., Boivin, A., Duboisset, A., Fostier, J., Rudi, G., Samouelian, A., Voltz, M. 2019. TROPHY un outil d'évaluation des risques de contamination des eaux souterraines et superficielles par les produits phytosanitaires en milieu volcanique antillais. XLIXème congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides – 21-24 mai 2019, Montpellier.

FOCUS. 2000. « FOCUS Groundwater Scenarios in the EU Review of Active Substances ». *Report of the FOCUS Working Group on Groundwater Scenarios, EC Document Reference SANCO/321/2000-Rev.2*, 122.

FOCUS. 2001. « FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC ». *Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/4802/2001-rev.2*, 245.

Ponchant, L., Samouelian, A., Andrieux, P., Bajazet, T., Nannette, J.-B., Négro, S., Nazaire, R., Schmitt, C., Voltz, M. 2019. 2019. Analyse des risques de transferts de pesticides en sols et systèmes de culture tropical antillais. XLIXème congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides – 21-24 mai 2019, Montpellier.

Saison, C., Cattan, P., Louchart, X., Voltz, M., 2008. Effect of spatial heterogeneities of water fluxes and application pattern on Cadusafos fate on banana-cultivated Andosols. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(24), pp. 11947-11955.

Voltz, M., Crevoisier, D., Fernandez-Bayo, J.-D., Libres, A., Samouelian, A., Chovelon, G., Negro, S., Huttel, O., 2015. Rapport final (version 31 août 2015) – Convention de Recherche et Développement n°2012-CRD-03 ANSES/INRA – Développement d'un outil de prédiction des concentrations dans les eaux souterraines et superficielles pour les produits phytosanitaires destinés aux DOM. Montpellier : INRA, 117 pp.

Une évaluation multicritère des performances socio-économiques et environnementales d'exploitations viticoles bordelaises dans le cadre de la transition agroécologique

Aouadi Nawel (1), Macary Francis (1), Alonso-Ugaglia Adeline (2), Delière Laurent (2, 3), Roby Jean-Philippe (4)

(1) *Irstea-ETBX, 33612 Cestas-Gazinet, France*

(2) *SAVE, Bordeaux Sciences Agro, INRA, Univ. Bordeaux, 33140 Villenave d'Ornon, France*

(3) *UE Vigne Bordeaux, INRA, 33140 Villenave d'Ornon, France*

(4) *EGFV, Bordeaux Sciences Agro, INRA, Univ. Bordeaux, 33140 Villenave d'Ornon, France*

L'évolution de la productivité en agriculture, pour répondre aux besoins alimentaires de la croissance démographique, et celle de la nécessaire protection qualitative des fruits dans le cas des vignobles et des vergers notamment, s'est faite durant quasiment un demi-siècle par l'usage massif et souvent excessif de produits phytosanitaires, outre celui des fertilisants. L'objectif était la lutte contre les cryptogames et les ravageurs des plantes et la gestion de la concurrence des adventices préjudiciables au niveau de production agricole. Ces pesticides, faciles à utiliser et très efficaces, ont été appliqués durant cette période de façon systématique suivant des recommandations, généralement à l'encontre de considérations agronomiques et écologiques.

Leur usage excessif trouve ses conséquences dans la contamination des écosystèmes et particulièrement les hydrosystèmes et les sols. Les transferts des pesticides d'origine agricole essentiellement depuis les parcelles d'épandage vers les cours d'eau, sont connus. La toxicité des molécules pour les utilisateurs, les consommateurs, et les milieux biotiques est désormais avérée. Les pesticides ont ainsi des effets délétères (directs et indirects) pour de nombreux organismes non cibles des milieux récepteurs. Malgré toutes les actions de politiques publiques mises en œuvre pour réduire leurs usages, les constats de la pollution des milieux aquatiques régulièrement publiés suite aux synthèses des différents acteurs sur le terrain (Agences de l'eau, Agences Régionales de santé) présentent un bilan très lourd de cette situation récurrente depuis les dernières décennies.

Les résultats de la consultation nationale sur la problématique environnementale dans le cadre du Grenelle de l'Environnement ont été traduits, en ce qui concerne la protection des milieux naturels, dans la loi n° 2009-967 de programmation, avec un objectif de réduction significative (initialement de moitié) des quantités de produits phytopharmaceutiques en dix ans. La loi a ciblé prioritairement la protection des 500 captages les plus menacés par les pollutions diffuses. Ces dispositions ont été mises en œuvre dans le cadre du Plan Interministériel français Ecophyto.

Une telle orientation politique en vue de passer d'un système global productiviste à un système plus durable nécessite de profondes mutations dans les pratiques de protection phytosanitaire et de façon plus globale de production. Fin 2012, le Ministre en charge de l'Agriculture a lancé le projet agroécologique pour la France en ciblant le retour de l'agronomie au cœur des processus, en relation avec la prise en compte de l'Écologie afin de valoriser au mieux les agroécosystèmes. Le plan Ecophyto a été renforcé afin d'aboutir à la réduction attendue des pesticides.

Le projet de recherche PhytoCOTE qui a débuté mi-2015 pour une période de quatre ans, est une émanation du groupe "Pesticides" du LabEx COTE de l'Université de Bordeaux. Il a pour objectif de mettre en œuvre des travaux de recherche dans une démarche originale d'intégration, relatifs à l'usage des pesticides dans les agrosystèmes notamment en viticulture, à leurs transferts dans les écosystèmes connexes, à la bioaccumulation et à leur toxicité potentielle dans le continuum écosystème agricole - écosystème estuarien ; ainsi que l'évaluation des effets de changements de pratiques par modélisation de différents scénarii.

Les multiples approches scientifiques de ce projet justifient une intervention pluridisciplinaire (agronomie, chimie environnementale, hydrobiologie, écologie, écotoxicologie, socio-économie).

Concernant plus particulièrement l'axe agronomique présenté dans ce papier, les travaux visaient en premier lieu à caractériser les pratiques agricoles / viticoles et particulièrement la pression anthropique phytosanitaire sur des parcelles viticoles de la zone d'étude située dans le Blayais (rive droite de l'estuaire de la Gironde). L'analyse des modes de conduite agricole (conventionnel, agrobiologie, agroécologie…) et celle du comportement décisionnel des agriculteurs face aux choix des traitements ont pour but d'anticiper la capacité des viticulteurs à changer leurs pratiques, voire modes de conduite dans le futur.

Une évaluation des performances socio-économiques et environnementales d'une quarantaine d'exploitations viticoles professionnelles a été conduite par une analyse multicritère pour l'aide à la décision (modèles de la famille ELECTRE) sur la base de sept critères pondérés : la rentabilité économique de l'exploitation viticole, le risque d'écotoxicité des produits utilisés, la pression exercée par l'usage des pesticides, le degré de mise en œuvre des pratiques agroécologiques, la qualité de la pulvérisation phytosanitaire par rapport aux impacts sur les écosystèmes, la charge de travail viticole, la complexité du système de production.

Les premiers résultats montrent un niveau de performance supérieur pour les exploitations qui assurent une bonne maîtrise des intrants phytosanitaires et des pratiques agroécologiques, sans pour autant à ce stade avoir intégré tous les aspects d'une démarche agroécologique. Une simulation des scénarii de changements des pratiques (intensification des pratiques agroécologiques, baisse de la pression phytosanitaire…) est en cours de finalisation. Ces travaux feront l'objet d'une démarche de valorisation et de transfert auprès des acteurs professionnels (agriculteurs-viticulteurs-conseillers) afin de pouvoir aboutir à une tendance forte de diminution significative des usages de pesticides dans le vignoble.

Mots-clés *: PhytoCOTE - Pesticides - Viticulture - Bordelais - Evaluation multicritère - Performances socio-économiques et environnementales - Transition agroécologique*

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

Références :

Altieri, M. A. (1995) Agroecology: *The Science of Sustainable Agriculture (2nd ed.*). Westview Press, 448 p.

Aouadi, N., Macary, F. (2018) *Multiple Criteria Decision Aiding method to assess vine production systems performances concerning pesticides and health near Bordeaux metropole*, 88th Meeting of the EURO Working Group on Multiple Criteria Decision Aiding (EWG-MCDA) 27-29th September 2018, Lisbonne.

Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchiane, M., Tittonell, P. (2011) *Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge* - European Journal of Agronomy - Vol. 34, n° pp. 197-210.

MAAF (2012) *Agricultures, produisons autrement : projet agro-écologique pour la France*, Ministère en charge de l'agriculture, 16 p.

MAAPRAT-MEDD (2011) *Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture*, Ministères en charge de l'agriculture et de l'écologie, 116 p.

MAP (2008) *Plan Ecophyto 2018 de réduction des usages de pesticides 2008-2018*, Ministère de l'agriculture et de la pêche, 21 p.

MEDDTL (2010) Le Grenelle de l'Environnement. *Loi Grenelle 2. Mode d'emploi. Ce que dit la loi*, Ministère français de l'Ecologie du Développement Durable des Transports et du Logement, 11 p.

Formation Zones Tampons : limiter les transferts de contaminants

Morbois Chloé (1), Carluer Nadia (1), Achard Anne-Laure (1), Liger Lucie (1), Tournebize Julien (2), Ouvry Jean-François (3), Pierlot Frédéric (4), Billy Claire (5), Dubaele Hélène (5)

(1) Irstea ,5 rue de la Doua, 69100 Villeurbanne – chloe.morbois@irstea.fr, nadia.carluer@irstea.fr

(2) Irstea , 1 Rue Pierre Gilles de Gennes, 92160 Antony

(3) AREAS, 2 Avenue Foch, 76 460 Saint-Valéry-en-Caux

(4) Chambre d'agriculture Grand Est, 9 Rue de la Vologne. 54 520 Laxou.

(5) Agence Française de la Biodiversité, 5, square Félix Nadar, 94300 Vincennes.

Le Groupe Technique "Intégration des Zones Tampons dans la gestion des bassins versants" (GTZT) a été créé en 2011, et est co-animé par l'Agence Française de la Biodiversité (AFB) et Irstea. Sa mission première était centrée sur la mise à disposition d'outils à portée opérationnelle destinés à (i) mieux comprendre le fonctionnement et l'intérêt des zones tampons et (ii) fournir des éléments de méthodologie pour permettre leur implantation efficace dans les bassins versants dans l'objectif de protection des eaux vis-à-vis des pollutions diffuses d'origine agricole. Ses travaux ont notamment abouti à la rédaction d'un guide sur la typologie des Zones Tampons donnant une vision exhaustive de la problématique d'implantation de celles-ci à l'échelle d'un BV, et à la construction d'un site Web abordant les différentes connaissances, méthodes, outils et étapes nécessaires pour mettre en place des zones tampons (http://zonestampons.onema.fr/). Pour accroitre la diffusion de ces connaissances et faciliter leur appropriation par les acteurs de terrain, les membres du GTZT ont décidé de développer une formation spécifique.

En effet, l'offre de formation existante aborde les thématiques bassins versants, captages, écoulements profonds. Son étude met cependant en lumière des lacunes dans le domaine des zones tampons (écoulements de surface et de proche subsurface). La formation développée vise un public varié (animateurs territoriaux, conseillers agricoles, membres de bureaux d'étude) : un format adapté doit être trouvé pour diffuser au mieux les connaissances à un public hétérogène.

Dans la recherche d'une conformation optimale, le « blended-learning », articulant formation à distance et formation en présentiel, offre une alternative très intéressante. En effet, il s'agit souvent de la meilleure modalité de formation lorsque celle-ci recouvre des sujets très techniques qui nécessitent une partie en présentiel, tout en permettant aux apprenants et aux intervenants d'organiser au mieux leur temps.

La formation proposée par le GTZT comprend une partie à distance, étalée sur 3/4 mois, composée de 2 modules de e-learning (1 et 2), une partie en présentiel sur 2 jours (module 3) et un retour d'expérience à distance (module 4).

1) **Le module 1** (optionnel) de formation à distance (e-learning), s'étale sur environ 5 h. Ce module, qui sera ouvert à tous a deux objectifs principaux :

   a. Permettre à un public large de se familiariser avec des notions de base sur les différentes composantes de l'écoulement, les processus à l'œuvre dans le devenir et le transfert des principaux contaminants en milieu agricole (N, P, MES et pesticides), les différents types de zones tampons et les conditions et contaminants pour lesquels elles sont adaptées.

   b. Permettre aux personnes qui veulent s'inscrire à l'ensemble de la formation de disposer des connaissances et compétences nécessaires pour suivre la formation. Une première formation en présentiel a en effet montré une grande hétérogénéité dans les pré-acquis des apprenants.

2) **Le module 2** (obligatoire) en e-learning également, s'étale sur 7 h. Il est basé sur des retours d'expérience et des exercices « cas pratiques ». Il s'agit d'acquérir les compétences nécessaires à la réalisation d'un pré-diagnostic sur un bassin versant ou une AAC, afin de tirer au mieux profit de la formation en présentiel qui suit. Les exercices se feront en groupes, afin de favoriser les échanges, le partage entre les apprenants ainsi

que le réseautage à moyen terme. L'inscription à cette formation sera soumise à la réussite à un test : en cas d'échec, le suivi du module 1 sera rendu obligatoire.

3) **Le module 3** en présentiel sur 2 jours. Celui-ci aura pour objectifs de se familiariser avec les outils disponibles pour le dimensionnement des différents types de zones tampons, et la réalisation d'un diagnostic sur le bassin versant test choisi. Il s'agira du bassin versant de la Gimond (69), qui présente différents types d'écoulement à risque pour les transferts de contaminants, une problématique double azote/pesticides, et sur lequel un diagnostic poussé des écoulements a été réalisé. Le débriefing en salle après la visite de terrain permettra de confronter les points de vue, les propositions d'implantation de zones tampons, et de discuter des avantages et inconvénients des différentes solutions proposées.

4) **Le module 4,** sous forme de classe virtuelle de 2 h, 3 mois minimum après la fin du module 3. Ce retour d'expérience sera proposé aux apprenants, pour permettra de croiser leurs expériences, de discuter des difficultés éventuelles rencontrées sur le terrain et de favoriser le réseautage.

Cette formation a pour objectifs de fournir les connaissances et de développer les compétences permettant (i) de réaliser un diagnostic des risques de contamination par des contaminants agricoles sur un bassin versant ou une AAC, (ii) d'identifier les enjeux, et (iii) de proposer un ensemble de solutions correctives pertinentes, en s'appuyant sur des zones tampons bien choisies, positionnées, et dimensionnées.

La formation « Zones Tampons : limiter les transferts des contaminants » permettra d'assurer une montée en compétences des différents acteurs du terrain, et de favoriser un socle de connaissances et savoirs faire communs, entre des acteurs dont les enjeux et postures diffèrent parfois.

Recueil des résumés des posters

Session 1 :

Usage des pesticides : diagnostic et leviers de réduction

Modélisation des dépôts au sol et de la rétention des pesticides sur la culture de l'artichaut dans le contexte tunisien

Bahrouni Hassouna (1), Allagui Asma (1, 2), Chaabane Hanène (3), Khemira Mohsen (1), Ben Abdallah Mohamed Ali (1)

(1) Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts - Université de Carthage, INRGREF, BP 10 Rue Hedi Karray 2080 Ariana Tunisie – bahrouni.hassouna@iresa.agrinet.tn; moso.yoya@gmail.com, benabdallah.mohamedali@iresa.agrinet.tn

(2) Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem – Université de Sousse, ISA-CM B.P. 47 4042 Chott Mariem Tunisie - asmaallagui3988@gmail.com

(3) Institut National Agronomique de Tunisie - Université de Carthage, INAT, 43, av Charles Nicolle - 1082 Tunis. Tunisie – phytiatrie_pro@yahoo.fr

Pour améliorer la production agricole, la lutte antiparasitaire est nécessaire et il est inévitable d'utiliser les pesticides. Cependant, l'utilisation de ces produits est accompagnée d'une forte pollution des différents compartiments de l'environnement, surtout pour une pulvérisation fine particulièrement recommandée pour les fongicides. Lors du traitement phytosanitaire de l'artichaut, de grandes quantités de pesticides sont perdues dans l'atmosphère, avec des effets négatifs sur la santé humaine, l'écosystème et le revenu des agriculteurs. Ces quantités dépendent largement de la configuration du pulvérisateur et des facteurs météorologiques. Des essais de pulvérisation ont été conduits en Tunisie sous des conditions contrôlées, en soufflerie, et sur terrain pour mesurer la fraction de pesticides retenue par l'artichaut et celle déposée sous la plante. Le matériel utilisé est un pulvérisateur à pression de liquide à jet projeté équipé de buses à fente 110°, classique et antidérive, pour deux calibres et deux pressions de travail. La formulation employée est à base d'un traceur fluorescent, la Brillant SulfoFlavine (BSF). La mesure des dépôts a été effectuée sous des conditions météorologiques qui étaient contrôlées en soufflerie et réelles sur le terrain.

Les résultats obtenus ont permis de modéliser la rétention sur les feuilles de l'artichaut ainsi que les dépôts sous la plante en fonction du type de buse, de son calibre, de la pression de travail et de la vitesse du vent. Ils montrent que les paramètres-machine type de buse, calibre et pression ont un impact significatif aussi bien sur la rétention des pesticides que sur les quantités perdues dans l'environnement. Dans nos conditions de travail, la combinaison buse antidérive - calibre 02 - pression 3 bars assure la meilleure rétention et le niveau de pollution environnementale le moins élevé.

Mots clés : Rétention des pesticides, dépôt au sol, artichaut, modélisation, paramètres-machine, conditions météorologiques.

Intervention ergonomique dans le cadre du projet Trajectoires : Comprendre les freins et leviers à la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires chez les viticulteurs de cœur d'Hérault.

Biencourt Mélanie (1), Grimbuhler Sonia (2)

(1) *IRSTEA,361, rue Jean-François Breton 34196 Montpellier, melanie.biencourt@irstea.fr*
(2) *IRSTEA,361, rue Jean-François Breton 34196 Montpellier, sonia.grimbuhler@irstea.fr*

Contexte

Dans le contexte environnemental actuel, il apparaît primordial de diminuer l'utilisation de produits phytosanitaires potentiellement dangereux pour les populations, les agriculteurs et l'environnement. Le plan Ecophyto, initié en France dès 2008 à la suite du Grenelle de l'Environnement, avait pour objectif de réduire de 50 % l'utilisation des produits phytosanitaires dans un délai de dix ans. Le résultat a finalement été moins concluant que prévu puisque le NODU « usages agricoles » (i.e., NOmbre de Dose Unitaire pour les usages agricoles, indicateur mis en place pour suivre l'évolution de l'utilisation de produits phytosanitaires) a augmenté de 5,8 %[8] entre la période 2011-2012-2013 et la période 2012-2013-2014 et de 9,4 % entre 2013 et 2014[9]. L'objectif initial n'ayant donc pas été atteint dans les temps impartis, le plan Ecophyto 2 est instauré depuis 2016 afin de poursuivre cet objectif[10]. Ainsi, on peut noter entre 2015 et 2016, une diminution de 2,6 % des quantités de substances actives (QSA) classées « cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction » (CMR) de catégorie 1[11].

Dans le cadre de ce plan national, différents projets ont été mis en place, dont le projet Trajectoires, sur lequel porte notre travail.

Objectif : Le projet Trajectoires vise à identifier les freins et leviers à la réduction de produits phytopharmaceutiques auprès d'agriculteurs de différents domaines agricoles (viticulture, riziculture, oléiculture et arboriculture) de quatre territoires (Beaujolais, Alpilles, Camargues et Cœur d'Hérault). C'est dans ce contexte que nous menons une intervention en ergonomie, sur une population plus ciblée puisque nos enquêtes de terrain se font auprès des viticulteurs du territoire Cœur d'Hérault. Nous mettons au cœur de notre travail l'activité des viticulteurs pour identifier et comprendre quels peuvent être, sur le terrain, les freins potentiels à un changement des pratiques que ce soit au niveau technique ou organisationnel. L'approche ergonomique est une approche centrée facteur humain qui s'intéresse à l'activité de travail et dont l'objectif est d'allier sécurité, santé et performance.

Méthodologie :

Dans un premier temps, un état de l'art est réalisé sur l'utilisation des produits phytosanitaires mais aussi sur des travaux de psychologie sociale et cognitive sur la résistance au changement et les attitudes.

Ensuite, une analyse des processus techniques et des tâches est menée afin d'avoir une représentation de l'activité de travail théorique des viticulteurs.

Suite à ces recherches préalables, des observations sont faites auprès d'une dizaine de viticulteurs du secteur cœur d'Hérault. Lors de cette phase d'observations exploratoires sur le terrain, nous pouvons confronter le travail dit prescrit (i.e., le travail tel qu'il devrait être fait) à l'activité réelle (i.e., comment le travailleur effectue réellement son travail). Cette démarche permet de mettre en avant un certain nombre de

[8] En moyenne triennale glissante

[9] Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, (2015) Note de suivi, Tendances du recours aux produits phytopharmaceutiques de 2009 à 2014.

[10] Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt et Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, (2015) Plan Ecophyto 2

[11] Ministère de la transition écologique et solidaire et Ministère de l'Agriculture et de l'alimentation, (2017) Note de suivi 2017, Ecophtyto réduire et améliorer l'utilisation des phytos.

différences, afin d'inviter le travailleur à verbaliser sur sa pratique pour comprendre pourquoi le travail prescrit ne peut être effectué tel qu'il devrait l'être.
Suite à ces premières observations exploratoires, un pré-diagnostic permet de cibler de façon plus précise les points importants à mettre en avant pour faciliter le changement des pratiques des viticulteurs. Des nouvelles observations plus ciblées auprès de ces mêmes viticulteurs et auprès d'autres viticulteurs de cœur d'Hérault sont ensuite mises en place ainsi que des focus group avec allo/auto confrontation vidéo.
Résultats attendus :
Au vue de l'état d'avancement actuel, certains aspects de l'ordre organisationnel semblent pour l'instant privilégiés pour expliquer un certain nombre de freins aux changements des pratiques :

- Les formations actuelles semblent globalement peu utiles et mal perçues du point de vue des viticulteurs.
- Les sources d'informations qu'elles soient sur des nouvelles réglementations, nouvelles techniques pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires etc. sont très nombreuses. La question se pose alors de savoir dans quelle mesure les viticulteurs y ont accès et comment traitent-ils ces informations abondantes ?
- Les différentes institutions et les services/aides qu'elles proposent sont assez peu connus des viticulteurs (e.g., ils ne connaissent pas toujours les aides financières qui existent pour acheter du matériel plus sécurisant pour eux).
- Les médias apparaissent, suite aux premiers terrains comme un levier potentiel dans l'évolution des représentations et attitudes que peuvent avoir les viticulteurs vis-à-vis des produits phytosanitaires et des effets néfastes qu'ils peuvent avoir sur la santé notamment.

Perspectives

Les remontées du terrain, favorisées par différentes méthodes (focus group, entretiens, analyse de l'activité etc.) nous aiderons à mieux comprendre et à mettre en avant un certain nombre d'éléments. Ce qui nous permettra de proposer un ensemble de préconisations et pistes d'actions qui seront co-construites avec les viticulteurs, premiers concernés par les évolutions des pratiques agricoles.

Remerciements :
Action Pilotée par le ministère de l'Agriculture et de l'alimentation et le ministère de la transition écologique et solidaire, avec l'appui financier de l'Agence française pour la biodiversité dans le cadre de l'APR « Résistances et pesticides », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribuées au financement du plan Ecophyto.

Mise au point sur les traitements chimiques appliqués en cultures maraîchères en Tunisie et calcul des indices de risque

Chaabane Hanène (1), Miladi Leila (2), Bahrouni Hassouna (3), Grünberger Olivier (4)

(1) INAT, Laboratoire Bioagresseurs Protection Intégrée en Agriculture, Département Santé Végétale et Environnement, Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie

(2) Société Agronomic Land, Cité Ennasr, Tunisie

(3) INRGREF, Laboratoire de Génie Rural, Institut National de Recherches en Génie Rural Eaux et Forêts, BP 10, rue Hédi Karray El Menzah 4, Tunis, Tunisie

(4) IRD, UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro) , Bat 24, 2 place Pierre Viala 34060 Montpellier, France

En Tunisie, les cultures maraichères occupent une place importante dans le secteur agricole vue la diversité des espèces cultivées et les modes de production. Cependant, ces cultures se trouvent face à l'attaque de plusieurs bioagresseurs et nécessitent des moyens de traitement phytosanitaire. Les agriculteurs interviennent principalement par voie chimique et rarement par les méthodes préventives et/ou curatives biologiques. Divers rapports et constats antérieurs ont montré que les agriculteurs ne respectent pas les Bonnes Pratiques Phytosanitaires (BPP) et ignorent les effets secondaires des pesticides.

Ce travail dresse l'état des lieux des traitements chimiques en cultures de tomate, de pomme de terre et de fraise et tente de comprendre les pratiques adoptées par les agriculteurs. Pour cela, une série d'enquêtes a été réalisée entre 2013 et 2017 (selon la culture) pour évaluer les problèmes phytosanitaires associés à ces cultures ainsi que les produits de protection des plantes appliqués. Les résultats obtenus confirment les constats antérieurs et le non-respect des BPP notamment du point de vue dosage des produits et port des Equipements de Protection Individuelle (EPI).

Quelle que soit la culture, la famille chimique des dithiocarbamates apparait en tête de liste des fongicides utilisés. Pour les insecticides de synthèse, les organophosphorés ainsi que les pyréthrinoides de synthèse sont largement utilisés par les agriculteurs. Dans le cas des herbicides, les triazinones et les acides aminés dominent par rapport aux urées substituées.

De plus, nous avons calculé les indices de risque, santé et/ou environnement selon le modèle Canadien IRPeQ. Cet outil nous a permis de classer les substances actives et/ou les préparations commerciales selon le risque encouru. Ce classement constituera un outil d'aide au choix des pesticides minimisant ainsi le risque pour la santé et/ou l'environnement. Du point de vue toxicologique, et quelle que soit la culture, les fongicides méfonoxam et chlorothalonil présentent le risque le plus élevé avec respectivement des valeurs de l'IRT = 2304 et 2352,2. D'autre part, le spinosad apparait comme étant le moins toxique pour l'opérateur avec un IRT = 100.

L'ensemble des informations récoltées (préparations commerciales homologuées, doses, IRE et IRS) a été regroupé dans une base de données destinée principalement aux agriculteurs, premiers utilisateurs des produits phytosanitaires, pour une meilleure gestion des pesticides. La base de données sera hébergée sur le site du Laboratoire de Recherche Bioagresseurs et Protection Intégrée en Agriculture, sur le site de l'INAT : (http://www.inat.tn/fr/structures-de-recherche/laboratoire-de-recherche/laboratoire-de-recherche-bio-agresseur-et-0).

Mots clés : Produits phytosanitaires, IRPeQ, IRE, IRT, base de données.

Inventaire des pesticides et leurs impacts sur l'environnement par le calcul de l'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) dans la plaine du Gharb -Amont de la Merja Zerga- Zone RAMSAR au MAROC

El Bouzaidi Hind (1), Hafiane Fatimazahra (1), El Idrissi Yahya (1), Fekhaoui Mohammed (1)

[1]*Mohammed 5 University, Faculty of Science, Scientific Institute, Biologic Department, RABAT/ MOROCCO, hind.elbouzaidi89@gmail.com*

La zone du Gharb (amont de la Merja Zerga dite zone humide Ramsar depuis 1980) est une zone d'activité agricole très importante, ce qui pourrait l'exposer au risque de contamination et de pollution à la fois de l'air, des eaux et du sol, ainsi qu'elle mettra en péril le système écologique de la zone.

Par ailleurs, l'inventaire et l'analyse des résultats des enquêtes menées au niveau de 100 exploitations bien ciblées, couvrant une superficie de 555 ha et complétés par une enquête auprès de 71 revendeurs de pesticides, ont permis d'une part, de révéler le fort recours aux pesticides en quantité (13,6 kg/ha), et d'autre part, de constater que l'itinéraire technique des cultures à haute valeur ajoutée n'exercent pas forcément une forte pression phytosanitaire sur l'environnement.

En outre, les données collectées nous ont aidés à évaluer par calcul d'indicateur (IFT) la pression sur le milieu tout en analysant les pratiques agricoles propres à chaque culture. Ainsi, les résultats de l'enquête montrent que le bananier est la culture qui subit le plus de traitement phytosanitaire enregistrant un IFT de 38, quant à la consommation totale des pesticides recensés, les orangers ont pris la part du lion par rapport aux autres cultures pratiquées dans la région de l'étude.

Mots clés : Maroc, pratiques agricoles, pesticides, indicateur de fréquence de traitement (IFT), environnement, zone humide.

Spatialisation de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques agricoles en Wallonie (Belgique) et études écologiques géographiques

Habran Sarah (1), Phillipart Christelle (1), Veschkens Mathieu (1), Remy Suzanne (1)

(1) ISSeP, Institut Scientifique de Service Public, 200 rue du Chéra, 4000 Liège, Belgique – s.habran@issep.be

L'analyse du lien entre l'environnement et la santé est devenue une préoccupation de santé publique. Afin d'évaluer l'exposition de la population aux pollutions et nuisances environnementales, les pouvoirs publics wallons souhaitent un développement d'outils d'identification des zones géographiques pour lesquelles on observe une surexposition ou une multi-exposition aux substances toxiques et aux nuisances environnementales.

Dans ce cadre, le développement d'un indicateur spatialisé de la charge en produits phytopharmaceutiques (PPP) est requis pour mieux évaluer la potentielle exposition de la population aux PPP agricoles. En effet, la question des risques liés à l'émission annuelle de ces produits dans l'environnement constitue un sujet de préoccupations environnementales et sanitaires. Chaque année, d'importantes quantités de PPP sont appliquées à travers la Région wallonne (Belgique) par l'intermédiaire des exploitations agricoles et d'autres activités publiques ou privées. Les voies d'exposition aux PPP sont l'ingestion, l'inhalation et le contact cutané. De nombreux PPP sont présents dans l'air ambiant wallon, en ville ou à la campagne mais les zones agricoles sont plus touchées (projet EXPOPESTEN, 2018). Contrairement à l'exposition par l'alimentation et l'eau, l'exposition aérienne est tributaire des usages des pesticides dans l'environnement plus ou moins proches des lieux de vie des populations.

Les données d'entrée pour la construction de l'indicateur sont d'une part les quantités de substances actives et de produits commerciaux estimées pour les différents types de culture par le réseau d'information comptable agricole wallon, et d'autre part, le parcellaire agricole wallon qui localise l'emprise des parcelles agricoles exploitées ainsi que la culture principale qui y est effectuée. La spatialisation des données d'utilisation de PPP sur le parcellaire en fonction du type de culture a permis d'obtenir la carte de la charge en PPP agricoles en Wallonie. Les traitements sont réalisés dans ArcGIS 10.6. L'indicateur représente la quantité moyenne en PPP appliqués sur les parcelles agricoles wallonnes durant 3 années de culture (2015, 2016 et 2017), et est exprimé en kg par hectare.

Sur base de cet indicateur, les populations potentiellement les plus exposées aux PPP agricoles dans l'air et via les dépôts pourront être identifiées par analyse spatiale, en ciblant notamment des publics vulnérables spécifiques tels que les résidents, les écoles, les crèches et/ou les zones de loisirs. De même, l'ampleur des zones concernées par les mesures de prévention réglementaires (bandes tampons, restrictions horaires, etc.) récemment ou prochainement adoptées par les pouvoirs publics pourra être évaluée. En parallèle, des études écologiques géographiques seront menées pour analyser les disparités spatiales de certaines pathologies potentiellement liées à l'exposition aux PPP agricoles.

Comportement des agriculteurs concernant l'utilisation des pesticides dans le bassin versant de l'Oued Zarga (Béjà, Tunisie)

Marzougui Sarra (1), Chaabane Hanène (2), Khammassi Messaad(1) , Khriji Oussama (1), Souissi Thouraya (2)

(1) National Institute Of Field Crops

(2) INAT, Laboratoire Bioagresseurs Protection Intégrée en Agriculture, Département Santé Végétale et Environnement, Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie

Afin d'augmenter le rendement, tous les agriculteurs protègent leurs cultures à l'aide des pesticides. Toutefois, ces dernières années, l'utilisation abusive des pesticides a créé des problèmes environnementaux et a menacé la santé des agriculteurs. Il est important de passer en revue les pratiques agricoles des agriculteurs et leurs connaissances en matière de pesticides pour comprendre les risques possibles. L'objectif de ce travail est de collecter des données sur l'utilisation et les connaissances des agriculteurs en matière de pesticides afin d'identifier les risques environnementaux.

La présente étude a été réalisée dans la zone du bassin versant de l'Oued Zarga, le plus grand bassin versant de Tunisie. L'information a été recueillie à partir d'entrevues en personne avec 50 agriculteurs au cours des trois saisons 2016-17, 2017-18 et 2018-19. Les zones cultivées et les molécules de pesticides, utilisées par les agriculteurs étudiés pendant trois ans, sont représentées sur trois cartes à l'aide du programme Q-Gis.

L'enquête révèle que la majorité des agriculteurs (76 %) possèdent de petites parcelles (9 à 10 ha) et que la plupart d'entre eux (64 % des agriculteurs étudiés) n'ont suivi aucune formation agricole. Les agriculteurs sont conscients des avantages du système de culture intercalaire, puisque 62 % des agriculteurs interrogés utilisent la rotation bisannuelle. Les principales cultures cultivées dans cette région sont le blé dur, l'orge, le féverole et l'avoine fourragère.
Les agriculteurs de ce bassin versant se plaignent de la rouille et de la septoriose en raison de l'humidité élevée et de la température moyenne à la fin janvier. Ils sont également confrontés au problème de la résistance du brome (Bromus diandrus) et du ray-grass (Loluim rigidum) aux herbicides. Ce type de ravageurs explique les utilisations élevées du triazole comme le tebuconazole et l'époxiconazole comme fongicide et sulfonylurée, l'aryloxyphénoxypropionate (FOP), les triazines, les triazolopyrimidines et les benzothiadiazones, comme herbicides.

Concernant le comportement des agriculteurs vis-à-vis de l'environnement, tous les agriculteurs interrogés respectent la dose recommandée de chaque pesticide et respectent les conditions climatiques de traitement (notamment le vent). Cependant, la majorité d'entre eux (84 %) mélangent plusieurs catégories de pesticides et déclarent utiliser l'eau du bassin versant (3 %) et des sources naturelles d'eau (79 %) pour préparer le mélange de pulvérisation. En ce qui concerne le nettoyage des bassins de traitement, 82 % des agriculteurs ont répondu à l'appel pour effectuer cette opération du côté de la culture cultivée. L'enquête révèle également que 72 % des agriculteurs brûlent des conteneurs vides de pesticides ; ceci est dû à l'absence d'une bonne chaîne de collecte des conteneurs vides considérés comme des déchets dangereux.
Cette enquête révèle le manque de sensibilisation et de connaissances sur l'utilisation sécuritaire des pesticides, qui menacent leur santé. En fait, l'enquête révèle le comportement malsain des agriculteurs, comme l'utilisation d'une combinaison de protection inadéquate (76 %), le fait de ne pas nettoyer leur combinaison après les traitements (52 %) et le fait de fumer pendant le traitement (66 %).
A la fin, cette étude montre l'influence du niveau d'éducation des agriculteurs, le manque de formation et l'absence de l'organisme de vulgarisation sur le comportement d'utilisation des pesticides.

Mots-clés : pesticides, mauvais usage, agriculteurs, bassin versant, environnement, santé, environnement

L'état des pesticides obsolètes au Cameroun

Tarla DN (1, 2), Tchamba NM (3), Fontem DA (1, 4), Tanga G (5), Baleguel PN (2) & Baleguel DP (2)

[1]*Department of Plant Protection, FASA, University of Dschang, Cameroo,* **divine.tarla@univ-dschang.org**

[2]*Yaounde Initiative Foundation, Nkolbisson, Yaounde, Cameroon*

[3]*Department of Forestry, FASA, University of Dschang, Cameroon*

[4] *Colorado Springs, Colorado, USA*

[5]*Department of Biochemistry, Faculty of Science, University of Dschang.*

Les pesticides deviennent obsolètes ou périmés et indésirables quand ils ne peuvent plus être utilisés pour leur but, à cause d'une interdiction en raison de leur persistance dans l'environnement et/ou parce qu'ils sont périmés, détériorés ou non homologués. Les pesticides obsolètes (PO) présentent non seulement un danger pour la santé publique mais ils peuvent aussi contaminer les ressources naturelles et faire obstacle au développement socio-économique. Le but de cette étude était de procéder à une gestion durable des PO au Cameroun. Les objectifs spécifiques étaient d'inventorier les PO et les emballages vides de pesticides (EVP) au Cameroun, de faire une évaluation des risques environnementaux (ERE) pour la gestion rationnelle des PO, de conduire des bioessais des insecticides, et de faire un dosage des pesticides d'après l'outil de décision FAO. Une méthode à double entrée a été utilisée pour l'inventaire : la campagne déclarative (utilisant des formulaires d'enregistrement) et la méthode d'inventaire direct (à travers des visites systématiques). Les facteurs de risques ont été calculés pour chaque magasin. Les échantillons d'insecticides ont été collectés et leur efficacité a été évaluée sur les moustiques (aspersions intradomiciliaires), vecteurs du paludisme et les mouches noires (*in vivo* et *in situ*), vecteurs de l'onchocercose. Les formulations de pesticides ont été analysées à l'aide du HPLC, et la AAS à flamme confirmée par ICP-OES. Pendant l'inventaire, 31 045 kits ont été distribués et 543 formulaires ont été remplis pendant la campagne déclarative, tandis que 353 magasins ont été visités lors des inventaires directs donnant un total de 210047,1 kg et 309 521,0 litres de PO. Ainsi, un total de 519 681,1 kg de produits a été inventorié. Pour les EVP, 23926 sachets et 32 431 récipients ont été inventoriés. La ERE a révélé 138 magasins et 57 sols contaminés donnant un total de 195 sites contaminés dans tout le pays. En outre, 50 % des magasins ont été trouvés près des sources d'eau. La campagne nationale de sauvegarde et de sécurisation a ciblé les magasins à haut risque et les produits sauvegardés ont été transportés au magasin central d'Edea. Les échantillons d'insecticides se sont montrés très efficaces contre les moustiques et les mouches noires. L'analyse chimique des matières actives des formulations a révélé une conformité acceptable. Les produits chimiques évalués pourraient être reformulés pour leur utilisation pendant qu'une méthode de gestion durable des produits sauvegardés. Cette étude souligne la nécessité d'un contrôle régulier de la qualité des pesticides, d'un laboratoire national fonctionnel, ainsi que la formation d'experts nationaux sur la gestion des déchets pesticides pour assurer un environnement sain.

Mots clés : pesticides obsolètes, inventaire, emballages vides de pesticides, bioessais, vecteurs, environnement, Cameroun.

Session 2 :

Devenir des pesticides dans l'environnement : observation et diagnostic

Application de la géomatique à l'identification des zones vulnérables à la pollution aux pesticides : Cas du bassin versant de la Marahoué (Côte d'Ivoire)

Akpo Sylvain Kouakou (1), Tiangoua Koné (1), Lacina Coulibaly (1), Issiaka Savané (2)

(1) Unité de Recherche en Biotechnologie et Ingénierie de l'Environnement du Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 02 BP 801 Abidjan 02, Abidjan, Côte d'Ivoire, sylvain.akpo@yahoo.fr

(2) Laboratoire Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 02 BP 801 Abidjan 02, Abidjan, Côte d'Ivoire, sylvain.akpo@yahoo.fr

L'économie de la Côte d'Ivoire est essentiellement basée sur l'agriculture. Cette agriculture, dominée par les cultures de rentes, utilise une importante quantité de pesticides sur la plupart des spéculations. La présence de certains des pesticides utilisés en agriculture a été signalée dans plusieurs forages et dans la chaîne trophique, ce qui impacte fortement la santé des populations. Le risque de pollution aux pesticides est accentué, entre autres, par les mauvaises pratiques agricoles et la mauvaise utilisation des pesticides. Pour illustrer cela, la présente étude avait pour objectif d'analyser les risques potentiels de pollution des eaux de surface du bassin versant de la Marahoué (BVM) par les pesticides à l'aide de la géomatique et de paramètres agro-environnementaux.

Le choix du BVM réside dans le fait que c'est un espace hautement agricole avec différents types de spéculations agricoles, cacao, canne à sucre et coton. L'établissement des plantations à proximité des cours d'eau et l'abondance de nappes de fissures dans ce bassin versant augmentent la vulnérabilité de ses ressources en eau. Cette situation pose un problème de fourniture en eau potable des milieux ruraux et hypothèque le développement desdits milieux.

L'approche méthodologique adoptée a consisté à établir des cartes de vulnérabilité aux pesticides à travers une analyse spatiale combinant les données de terrain, les données cartographiques et des images satellitaires. Les données de terrain ont été acquises par enquête à l'aide de questionnaire sur les pratiques de pesticides, les surfaces emblavées et les itinéraires techniques. Les images satellitaires étaient celles de Landsat 7 ETM+. Un Modèle numérique d'altitude (MNA) a également été utilisé. Une carte pédologique au 1/500000 (zone Nord-Ouest et Sud-Ouest) éditée par l'ORSTOM a servi pour la caractérisation de la sensibilité du milieu. Quant aux données pluviométriques, elles ont été acquises auprès des structures d'encadrement des paysans.

Les résultats préliminaires montrent une variabilité du niveau de risque élevé avec des proportions en superficie du bassin concernées de 31,5 %, 25,1 %, 16,6 % et 14,5 % respectivement en 1998, 2000, 2002 et 2005. Les zones hydrographiques renfermant les plus grands risques étaient constituées des bassins versants élémentaires du Béré, Foumbou, Obia, Marahoué Central 1 et 2.

Ce travail a montré que le risque potentiel de dégradation de la qualité des ressources en eaux dans le BVM est réel. Par ailleurs, les cartes thématiques produites et les zones à risque identifiées permettraient de mieux orienter la politique d'agriculture durable dans ledit bassin et de prendre des dispositions afin de contrôler l'application des pesticides. Il serait toutefois souhaitable d'approfondir ces connaissances sur les aspects concernant l'étude des niveaux de contamination du sol et le devenir des résidus de pesticides par l'analyse régulière d'échantillon de sol et d'eau (puits, forage et ruisseaux) dans les zones présentant le risque élevé de contamination.

Mots clés : Géomatique –Pesticides – Zones vulnérables – Pollution – Bassin versant Marahoué

Photo dégradation de deux pesticides commerciaux par le dioxyde de titane : étude d'élimination compétitive.

El Mouraille Nadia (1), Belmouden Moustapha (1), Aitichou Yahia (1)

(1) *Materials, Photocatalysis and Environment Team, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, B.P. 8106 Cite Dakhla, Agadir, Morocco*

L'agriculture dans la région Souss Massa au Maroc représente un important levier économique. En effet, le domaine agricole de la région du Souss Massa représente 13 % du PIB. Cette région s'oriente avant tout dans l'exportation de produits maraîchers et d'agrumes. Ainsi, cette région dispose de plusieurs stations de conditionnement des produits agricoles. Le conditionnement des agrumes est une phase indispensable avant commercialisation. Cette activité comporte de nombreuses étapes qui peuvent être qualifiées de simples telles que le nettoyage, l'application de cire, le calibrage ou le triage selon la qualité et la couleur de l'agrume. Ces stations utilisent, dans ces étapes, des volumes importants d'eau. Les eaux ainsi utilisées sont polluées par plusieurs composés. Entre autres, on trouve des pesticides. Le traitement de ces eaux est nécessaire et complexe.

Parmi les méthodes non conventionnelles de traitement des eaux polluées, la photocatalyse hétérogène a été utilisée pour traiter plusieurs polluants tels que les pesticides. Pour évaluer l'efficacité de la photocatalyse à base de TiO_2, comme traitement alternatif de ces polluants (Mythose et Imidaclopride), il est nécessaire de connaître l'adsorption par le catalyseur choisi.

Dans la première partie de ce travail, nous avons étudié l'élimination de chacun des pesticides seul par le système UV / TiO_2 / O_2. Nous étudions l'influence de la concentration initiale des pesticides et du pH du milieu. Les résultats obtenus ont montré que le pourcentage éliminé diminuait à mesure que la concentration augmentait de 5 mg/L à 60 mg/L. L'effet du pH est variable. Le Mythose se dégrade mieux à pH acide et aucune influence n'est observée pour un pH supérieur à 6. En revanche, l'Imidaclopride présente un maximum d'élimination à pH = 6 correspondant au pH de zéro charge de TiO_2. Pour les deux pesticides, on constate que le processus de dégradation photocatalytique suit une cinétique de réaction de premier ordre représentée par le mécanisme de Langmuir-Hinshelwood.

Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons étudié la photodégradation compétitive entre les deux composés. Nous avons noté un effet inhibiteur de chaque pesticide sur l'élimination de l'autre composé. Cela indique, dans un premier temps, une compétition d'adsorption influant sur la photodégradation du composé.

A propos d'une méthode cartographique d'identification d'espaces potentiellement pollués par les pesticides. Le cas de l'agriculture intra-urbaine à Yaoundé (Cameroun)

Branchet Perrine (1,2), Borrell-Estupina Valérie (2), Sebag David (3), Ngounou Ngatcha Benjamin (4), Ndam Jules Remy (5), Fenet Hélène (2), Gonzalez Catherine (1), Cadot Emmanuelle (2)

(1) *Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel, IMT Mines Alès, Université de Montpellier*

(2) *HydroSciences Montpellier, IRD, CNRS, Université de Montpellier*

(3) *Normandie Univ, UNIROUEN, UNICAEN, CNRS, M2C, Rouen, France*

(4) *Département des Sciences de la Terre, Facultés des Sciences, Université de Ngaoundéré, Cameroun*

(5) *Département des Sciences de la Terre, Facultés des Sciences, Université de Yaoundé 1, Cameroun*

Introduction. Une fois appliqués sur les cultures, les pesticides peuvent être dispersés dans tous les compartiments environnementaux (eau, sol, air) et pénétrer dans les organismes (animaux et végétaux) (Barbash, 2014). Dans les cas les plus extrêmes de la volatilisation, jusqu'à 90 % de la dose appliquée peuvent être dispersés dans l'atmosphère (Bedos *et al.*, 2002).

Le ruissellement est un facteur de diffusion des pollutions dans les eaux de surface. Les eaux de ruissellement peuvent drainer une large gamme de contaminants dépendamment du contexte local (occupations du sol, activités anthropiques sources de pollution, etc.) et contribuent à impacter la qualité des rivières. De fait, les surfaces agricoles traitées aux pesticides peuvent, en fonction des conditions climatiques et des types de culture, être qualifiées de « sources critiques de pollution », c'est-à-dire contribuant à l'export de pesticides hors de la parcelle via le ruissellement (Doppler *et al.*, 2014). La littérature démontre que ce processus peut être majeur parmi les autres processus de transfert de la contamination vers les rivières (Zhang *et al.*, 2018). Nous avons conduit un diagnostic environnemental de la contamination du bassin versant de la Méfou autour de Yaoundé qui a mis en évidence la présence, parfois en quantités importantes, de différents types de pesticides (Branchet et al., 2018). En milieu urbain et périurbain où l'on observe une intrication étroite entre les zones de culture et les espaces résidentiels, la question de l'exposition indirecte des populations en raison de la proximité des zones potentiellement polluées par les pesticides se pose.

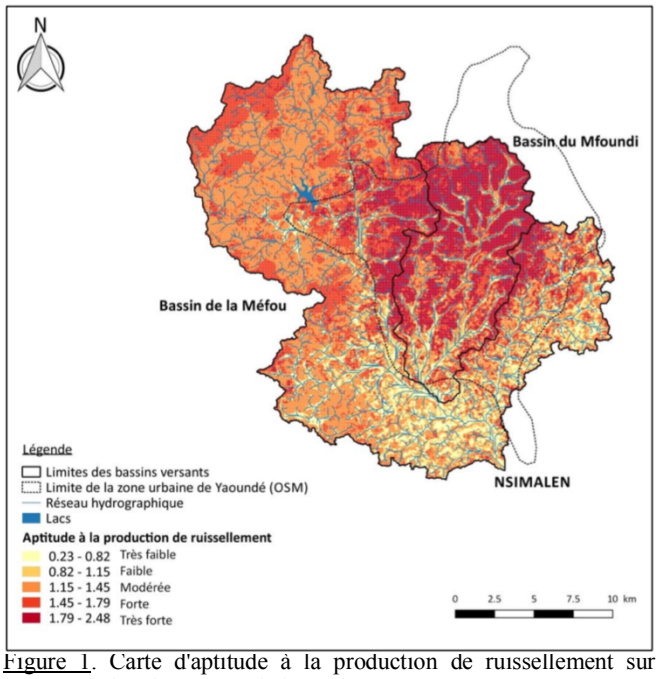


Figure 1. Carte d'aptitude à la production de ruissellement sur l'amont du bassin versant de la Méfou.

Méthodologie. Afin d'identifier ces zones prioritaires ou critiques qui seraient les plus touchées par l'accumulation de ruissellement pollué, nous avons développé une approche cartographique à partir de la méthode IRIP (Indicateur de Ruissellement Intense Pluvial) (Dehotin *et al.*, 2015). Cette approche spatialisée permet d'identifier des zones susceptibles de produire, de transférer et d'accumuler le ruissellement à partir de la combinaison de différentes cartes rendant compte tant du relief (MNT : Modèle Numérique de Terrain), des caractéristiques du sol que de

l'occupation du sol. La méthode générale repose sur la construction de cartes de scores en fonction de plusieurs critères favorisant le processus de ruissellement. Elle a été appliquée sur plusieurs bassins versants, notamment en Cévennes (France), au Nord Cameroun et en Amazonie (Équateur) (Borrell Estupina *et al.*, 2014; Cadot *et al.*, 2016).

Résultats. L'addition des scores des cartes d'aptitude de la topographie, de la nature du sol et de l'occupation du sol permet de construire la carte de production de ruissellement (Figure 1). Le bassin est modérément à fortement ruisselant, en particulier au niveau de la zone urbaine par rapport à la partie avale plutôt marécageuse. Plus de la moitié de la surface du bassin versant du Mfoundi est propice à une très forte production de ruissellement. Cette carte découpée avec les parcelles agricoles indique que 17 % des parcelles sont identifiées comme très fortement productrices de ruissellement dont 9 % se trouvent dans la zone urbaine de Yaoundé. Ces parcelles représentent donc des zones potentiellement sources de contaminations par les pesticides en considérant leur aptitude à ruisseler, et donc à lessiver les sols. La carte d'accumulation produite sur la zone d'étude (Figure 2) permet d'identifier que les zones avales au sud et sud-ouest du bassin possèdent une aptitude forte à très forte d'accumulation du ruissellement.

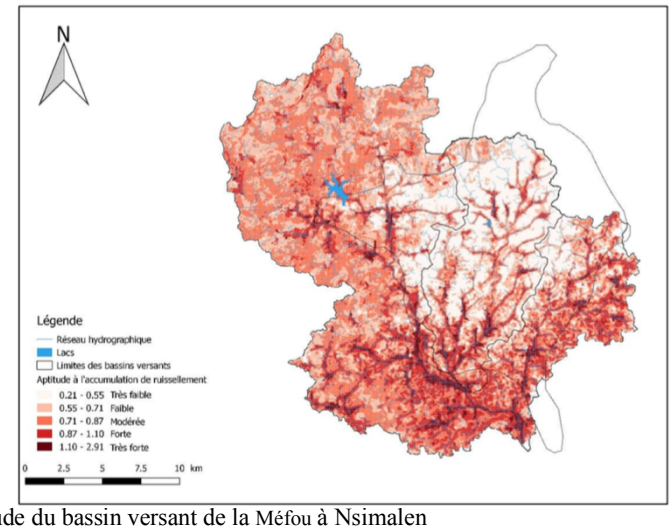


Figure 2. Carte d'aptitude du bassin versant de la Méfou à Nsimalen à accumuler le ruissellement

Discussion. Cette méthode présente des cohérences globales avec le terrain, visibles grâce à la superposition d'images satellites et des cartes de production et d'accumulation de ruissellement.
La carte de production de ruissellement peut être utilisée comme un outil de prise de décision pour mettre en place des mesures de gestion au niveau des parcelles. Sur les parcelles les plus ruisselantes, il pourrait être envisageable de vérifier que des pesticides sont utilisés et, le cas échéant, de réduire, de limiter en saison pluvieuse, voire de supprimer l'utilisation de ces produits, si cela est possible. La carte d'accumulation, construite en prenant en compte les parcelles agricoles, focalise les zones d'accumulation de ruissellement potentiellement polluées sur certaines zones de cours d'eau, en particulier en aval du Mfoundi et le long de la Méfou. De façon intéressante, la partie au sud-est possède une capacité modérée à forte d'accumulation alors qu'il s'agit d'une zone principalement urbaine. Elle soulève des questionnements relatifs à la contamination des eaux de surface (rivières urbaines) par les pesticides potentiellement présents dans les eaux de ruissellement, mais aussi des quartiers les plus exposés à ces produits.

Références.

Barbash, J.E., 2014. 11.15 - The Geochemistry of Pesticides, in: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), Treatise on Geochemistry (Second Edition). Elsevier, Oxford, pp. 535–572.
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, 21–33. https://doi.org/10.1051/agro:2001003
Borrell Estupina, V., Rousseau, M., Gueye, A., Cadot, E., 2014. Produits Phytosanitaires et Ruissellement : Méthodologie pour une caractérisation de l'impact environnemental.
Branchet P., Cadot E, Fenet H, Sebag D, Ngatcha BN, Borrell-Estupina V, Ngoupayou JRN, Kengne I, Braun JJ, Gonzalez C. Polar pesticide contamination of an urban and peri-urban tropical watershed affected by agricultural activities (Yaoundé, Center Region, Cameroon). Environ Sci Pollut Res Int. 2018;25(18):17690-17715. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1798-4
Cadot, E., Borell Estupina, V., Rousseau, M., Sebag, D., 2016. Impact environnemental de la diffusion de produits phytosanitaires par ruissellement : deux exemples contrastés en Europe et en Afrique. Dyn. Environnementales 36 (2015), 182–197.
Doppler, T., Lück, A., Camenzuli, L., Krauss, M., Stamm, C., 2014. Critical source areas for herbicides can change location depending on rain events. Agric. Ecosyst. Environ. 192, 85–94. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.003
Zhang, X., Luo, Y., Goh, K.S., 2018. Modeling spray drift and runoff-related inputs of pesticides to receiving water. Environ. Pollut. 234, 48–58. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.032
Dehotin, J., Breil, P., Braud, I., de Lavenne, A., Lagouy, M., Sarrazin, B., 2015. Detecting surface runoff location in a small catchment using distributed and simple observation method. J. Hydrol. 525, 113– 129. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.051

ClimaVista – EToPhy web : un outil pour gérer l'impact des pratiques phytosanitaires agricoles sur la santé de l'applicateur et l'environnement

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

(1) EcoClimaSol, Immeuble MIBI, 672 Rue du Mas Verchant, CS 37777, 34967 Montpellier Cedex 02, France – j.caubel@ecoclimasol.com

(2) CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, Université de Montpellier, 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier Cedex 5, France – legrusse@iamm.fr

(3) UMR GRED, IRD, Université Paul Valéry Montpellier 3, Site Saint Charles, Rue du Professeur Henri Serre, 34090 Montpellier, France.

L'emploi des produits phytosanitaires pose des problèmes de pollution diffuse et de santé publique. Les plateformes web de gestion des risques agro-climatiques ClimaVista® Agro, dédiée aux grandes cultures (https://agro.climavista.com/), et Wine, dédiée à la vigne (https://vigne.climavista.com/), proposent désormais deux services d'évaluation des risques des pratiques phytosanitaires agricoles : **EToPhy Simulateur** et **EToPhy Analyses**. Ces services en ligne sont le fruit d'un travail collaboratif dans le cadre du projet GESPPEIR[12] (Gabriac et al. 2018) entre le CIHEAM-IAMM, développeur initial du logiciel EtoPhy[13] (Juan et al. 2018), et ECOCLIMASOL, développeur et administrateur des plateformes ClimaVista®. Ils reposent sur le calcul d'un Indicateur de **R**isque pour la **S**anté de l'**A**pplicateur (**IRSA**) et d'un **I**ndicateur de **R**isque de **T**oxicité pour l'**E**nvironnement (**IRTE**) liés à l'application de produits phytosanitaires à l'échelle des parcelles agricoles. Ces services s'adressent aux professionnels impliqués dans la gestion des produits phytosanitaires, et aux agriculteurs et coopératives désireux d'améliorer leur performance environnementale et sanitaire et de communiquer sur leur capacité à gérer les risques liés à leur utilisation de pesticides.

EToPhy Simulateur permet d'évaluer la toxicité d'un produit en fonction des doses homologuées et de le substituer si possible par un produit moins nocif. Il se présente sous la forme d'un simulateur de recherche par nom de produit, nom de matière active, ou pour une problématique donnée de cible sur une culture. Il offre un grand nombre de fonctionnalités telles que le calcul de l'IRSA et l'IRTE des matières actives et des produits pour différentes cultures et doses d'application, l'accès aux sous-indicateurs de l'IRSA et l'IRTE (toxicités chronique et aiguë, impacts éco-toxicologiques sur les organismes vivants non cibles, etc.), l'accès à la fiche produit et aux phrases de risque issues de plusieurs sources de données telles que Footprint, et la possibilité de comparer les IRSA et IRTE des produits contenant la même matière active.

EToPhy Analyses fournit l'IRSA, l'IRTE et l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) pour chaque intervention enregistrée via le cahier d'enregistrement des interventions culturales disponibles sur ClimaVista®. Il permet aussi d'analyser les pratiques phytosanitaires et d'améliorer la performance environnementale et sanitaire à venir en comparant les indicateurs calculés sur la base des interventions enregistrées selon différentes modalités (graphiques et export).

En adhérant à la démarche d'analyse "EToPhy", l'utilisateur s'inscrit dans un axe prioritaire du plan Ecophyto II, à savoir "Evaluer et maîtriser les risques et les impacts". Des services de suivis et de prévisions

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

[13] Logiciel EToPhy dépôt APP n° IDDN.FR.001.060017.000.D.C.2011.000.31500

météorologiques et culturaux viennent compléter les services de gestion intégrée des pratiques agricoles sur les plateformes ClimaVista® Wine et Agro.

Mots clés *: pratiques phytosanitaires, évaluation des risques, santé, environnement*

Références bibliographiques

Gabriac D., Ramarohetra J., Nembrot I., Arredondo S.J., Bromblet L., Abarca F., Louvet S., Caubel J., Boulanger J.-P., Mghirbi O., Trabelsi M., Mandart E., Fabre J., Le Grusse P. (2018). ClimaVista : une plateforme web pour une meilleure gestion intégrée des pratiques agricoles. In: GFP (France). Métrologie des pesticides et évaluation des risques pour l'homme et pour les milieux naturels. p. 71. 48ème Congrès du GFP, 2018/05/30-2018/06/01, Limoges (France). Communication par affiche.

Juan G., Barataud F., Billy C., Bouchet L., Carpentier A., Gouy V., Le Hénaff G., Voltz M. (2018). Référentiel sur les outils de la recherche pour réduire les pollutions de l'eau par les pesticides. Rapport final, convention INRA-AFB. 180 p.

Évaluation des indices de risque des principaux insecticides utilisés pour lutter contre le charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* sur la base du modèle de l'indicateur de risque des pesticides pour le Québec (IRPeQ)

Chihaoui-Meridja Sabrine (1), Chaabane-boujnah Hanène (1), Suma Pompeo (2), Abess Khaled (3), La Pergola Alessandra (2), Chermiti Brahim (3)

(1) Institut national agronomique de Tunisie, INAT, Tunisie

(2) Université de Catane (DI3A), Catane, Italie

(3) Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Sousse, Tunisie

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer les risques des principaux insecticides utilisés pour lutter contre le charançon rouge du palmier (CRP) *Rhynchophorus ferrugineus*, à l'aide de l'indicateur de risque des pesticides Québec (IRPeQ). Les données sur les insecticides étudiés ont été collectées à partir des bases de données spécialisées, à savoir Agritox, Extoxnet et PANdb. Les insecticides utilisés pour lutter contre le CRP ont été classés en fonction de 3 indices de risque : indice de risque toxicologique de la substance active (IRT), indice de risque sur la santé (IRS) et indice de risque sur l'environnement (IRE). Le calcul de l'IRT a permis de catégoriser les substances actives sur la base de leur toxicité, indiquant que le plus toxique est le fénitrothion et que le moins toxique est l'emamecin benzoate. Le calcul d'IRS a révélé que le chlorpyrifos organophosphoré éthyle, fréquemment pulvérisé sur les palmiers infestés dans les zones urbaines, a un IRS très élevé, tandis que le thiamétoxame appartenant à la famille des néonicotinoïdes a le IRS le plus bas. L'étude de l'IRE a montré que tous les insecticides considérés ne présentaient aucun risque pour les oiseaux et qu'ils présentaient un risque élevé d'exposition par voie orale pour les abeilles, d'autant plus que la période de traitement contre le CRP coïncide généralement avec le pic de leur activité.

Mots-clés : Charançon rouge du palmier, IRPeQ, indice de risque toxicologique, indice de risque sur la santé, indice de risque environnemental

TROPHY un outil d'évaluation des risques de contamination des eaux souterraines et superficielles par les produits phytosanitaires en milieu volcanique antillais

Crevoisier David (1), Fernandez-Bayo Jesus (1), Boivin Arnaud (2), Duboisset Arnaud (2), Fostier Julien (2), Rudi Gabrielle (1), Samouelian Anatja (1), Voltz Marc (1)

(1) LISAH, Univ. Montpellier, INRA, IRD, SupAgro, Montpellier, 2, place Pierre Viala 34060 Montpellier – david.crevoisier@inra.fr ou marc.voltz @inra.fr

(2) ANSES, 14 rue Pierre et Marie Curie, 94701 Maisons-Alfort Cedex – arnaud.boivin@anses.fr ou arnaud.duboisset@anses.fr

L'évaluation des risques pour l'environnement réalisée préalablement à une possible mise sur le marché des produits phytosanitaires (PP) est conduite avec des outils élaborés pour décrire le devenir des pesticides dans un contexte de modèles et des scénarii agropédoclimatiques visant à couvrir l'ensemble des régions agricoles majeures de l'Union Européenne (voir démarches FOCUS e.g. SANCO, 2003). La mise en œuvre des simulations, et notamment le choix des cultures de remplacement, et l'interprétation des résultats dans le contexte des DROM sont réalisés sur la base de documents guides et selon l'approche du « risk envelope » (Sanco 2011). La question de la nécessité de scénarios spécifiques au contexte tropical se pose, tout comme celle suscitée par le recours à des données décrivant le comportement des pesticides dans les milieux tempérés. Des solutions ont pu être dégagées pour éluder la deuxième question (Ahehehinnou, 2011). Par ailleurs, un référentiel des connaissances utiles à l'évaluation sur les milieux et les cultures concernées est disponible (DGAL, 2009). Toutefois le problème posé par le choix des modèles et scénarii utilisés pour les DROM demeure. S'il existe des travaux récents sur le transfert des produits phytosanitaires dans l'environnement des DROM (e.g. Saison *et al*., 2008 ; Charlier et al., 2009 ; Mottes, 2013), aucun outil spécifique à ces régions, associant modélisation et scénarii *ad hoc*, n'est actuellement disponible pour estimer les concentrations prévisibles dans l'environnement (PEC : predicted environmental concentrations). L'analyse de la spécificité et de la complexité des phénomènes en jeu montre que cette lacune ne pourra être comblée sans développement de solutions *ad hoc* nouvelles (Ahehehinnou, 2011 ; Duboisset *et al*., 2011).

Cette communication présente ainsi un nouvel outil logiciel permettant d'estimer les concentrations en PP dans les eaux dans le contexte tropical antillais (Voltz *et al*., 2015). Cet outil est nommé TROPHY et pourrait constituer une solution alternative aux modèles et scénarios Européen FOCUS utilisés jusqu'à présent par défaut pour les usages de PP spécifiques aux DROM, après avoir fait l'objet d'une étape additionnelle de paramétrage et d'évaluation. Nous en détaillons les spécificités en comparaison des approches FOCUS standards. La démarche et outils FOCUS distinguent l'évaluation des risques de contamination en fonction des eaux de surface (ESU) et des eaux souterraines (ESO) (FOCUS, 2012 ; SANCO, 2014). Les différences portent à la fois sur les scénarios élaborés et les paramètres et principes de modélisation suivis. Dans l'approche développée ici nous avons choisi par souci de cohérence et de simplification de la démarche d'évaluation d'estimer simultanément les contaminations dans les ESU et dans les ESO, en développant des scénarios communs et une modélisation de transfert unique couplant la simulation du ruissellement et de la percolation dans les sols. Sur le plan des mécanismes de transfert, cela est justifié par la dépendance générique entre les processus de percolation vers les nappes et les processus de ruissellement et par l'existence simultanée des deux types de processus dans les conditions tropicales (e.g. Saison et al., 2008). Ce choix permet par ailleurs d'avoir une approche intégrée des situations agro-pédo-climatiques dans les DOM. Toutefois il est nécessaire d'indiquer que ce choix d'unification des démarches d'évaluation a rendu plus délicat le développement et la calibration des scénarios puisqu'une contrainte de cohérence entre démarches ESU et ESO est ajoutée. Les scénarios développés en commun pour ESU et ESO reprennent les principes des scénarios FOCUS, aux niveaux 3 et 4 (step 3 et 4) pour la démarche ESU (FOCUS, 2012) et aux niveaux 2 et 3 (step 2 et 3) pour la démarche ESO (SANCO, 2014).

La démarche suivie repose ainsi sur des approches de modélisation et des scénarios de pire–cas voulus les plus réalistes. En termes de scénarios nous avons distingué huit situations agropédoclimatiques correspondant au croisement des deux cultures les plus représentées aux Antilles française, à savoir banane

et canne à sucre, avec les principaux types de sols d'origine volcanique sur lesquels elles sont cultivées, andosol, ferralsol, nitisol et vertisol. On notera que l'approche de modélisation de transfert développée est originale par rapport aux modèles FOCUS par i) le couplage de la simulation des flux de percolation et ruissellement, ii) la représentation du ruissellement, iii) l'introduction de processus spécifiques aux situations tropicales étudiées tels que l'interception de la pluie par le couvert végétal et la variabilité de transfert engendrée par un mode de plantation en rang et iv) le pas de temps horaire des données climatiques utilisées afin de rendre compte de la rapidité des processus de transfert en milieu tropical humide (e.g. Cattan *et al.,* 2006 ; Charlier et al., 2009). Pour les transferts dans le sol, l'approche proposée est principalement de nature mécaniste et est comparable en cela aux approches développées par les modèles PEARL (Leistra et al., 2001) et MACRO (Stenemo et Jarvis, 2010), qui sont couramment utilisés dans les démarches FOCUS pour la simulation des transferts par percolation ou par drainage artificiel des sols (FOCUS, 2012 ; SANCO, 2014). Ce choix d'une approche mécaniste est motivé par l'absence d'une diversité de jeux de données expérimentaux sur les transferts de pesticides dans les sols dans les DROM, qui permettraient de calibrer des approches plus empiriques. L'option de modélisation du ruissellement adoptée est à bases physiques et repose sur la simulation du refus à l'infiltration par le modèle de percolation. Outre la description des scénarios et du principe de modélisation, la communication présentera les résultats de la calibration du modèle de transfert sur des données expérimentales de percolation d'un insecticide, le cadusafos, sur colonnes de sol représentatives des sols antillais, ainsi que les résultats d'une analyse de risque de contamination effectuée avec le logiciel. Ce modèle après calibration additionnelle pourrait être utilisé dans l'évaluation.

Références citées

Ahehehinnou, D. (2011). Amélioration des procédures d'évaluation des risques environnementaux liés aux usages agricole de phytosanitaires dans les DOM. Master 2 Santé Publique et risques environnementaux Université Paris Descartes EHESP 59 p.

Cattan, P., Cabidoche, Y.-M., Lacas J.G., Voltz M., 2006. Effects of tillage and mulching on runoff under banana (Musa spp.) on a tropical Andosol. Soil and Tillage Research, (1), p.38-51.

Charlier, J.-B., Moussa R., Cattan P., Cabidoche Y.-M., Voltz M. 2009. Modelling runoff at the plot scale taking into account rainfall partitioning by vegetation: application to stemflow of banana (Musa spp.) plant. Hydrol. Earth Syst. Sci., 13(11), p.2151-2168.

DGAL, 2009. Référentiel cultures tropicales. Rapport interne DGAL.

Duboisset, A., Ahehehinnou D., Carpentier, P., Roulier S. et V. Poulsen (2011). L'évaluation du devenir dans l'environnement des produits phytopharmaceutiques destinés aux cultures tropicales en région d'Outre-mer. XXXXIème congrès du Groupe Français des Pesticides – 25-27 mai 2011, ORLEANS

FOCUS (2012). "FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC". Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/4802/2001-rev.2. 245 pp. Updated version 2012.

Leistra M, van der Linden AMA, Boesten JJTI, Tiktak A, van den Berg F (2001) PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil- plant systems—descriptions of the processes in FOCUS PEARL v 1.1.1. Alterra, Green World Research, WageningenMottes, 2013

Saison, C., Cattan, P., Louchart, X. et Voltz, M., 2008. Effect of spatial heterogeneities of water fluxes and application pattern on Cadusafos Fate on Banana Cultivated Andosols. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(24), 11947-11955.

SANCO (2003) FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC. Report of the FOCUS working group on surface waters Scenarios. Document Reference SANCO/4802/2001-r.2. P 14-15

SANCO (2014). Assessing Potential for Movement of Active Substances and their Metabolites to Ground Water in the EU. Sanco/13144/2010, version 3, 10 October 2014

SANCO (2011) Guidance document on the preparation and submission of dossiers for plant protection products according to the "risk envelope approach" SANCO/11244/2011 rev. 514 March 2011.

Stenemo F, Jarvis NJ (2010) Users guide to MACRO 5.2, a model of water flow and solute transport in macroporous soil. Swedish University of Agricultural Sciences, Stockholm

Etude de la contamination de l'atmosphère par les pesticides dans une zone agricole

Decuq Céline (1), Bedos Carole (1), Benabdallah Rachid (1), Esnault Baptiste (1), Durand Brigitte (1), Gautier Jean-Luc (2), Bretagnolle Vincent (2), Bertrand Colette (1), Fritsch Clémentine * (3), Benoit Pierre (1), Pelosi Céline* (1)

(1) *UMR 1402 ECOSYS, INRA-AgroParisTech-Université Paris-Saclay 78850 Thiverval-Grignon – celine.decuq@inra.fr*

(2) *UMR 7372 Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, CNRS – Université de La Rochelle – UsC INRA, 79360 Villiers en Bois – vincent.bretagnolle@cebc.cnrs.fr*

(3) *UMR 6249 Chrono-Environnement, CNRS – Université Bourgogne Franche-Comté – UsC INRA, 16 route de Gray 25030 Besançon cedex – clementine.fritsch@univ-fcomte.fr*

** les auteurs ont contribué également à la supervision des travaux*

L'objectif général des projets Rescape et PING, dans lesquels s'insère cette étude, porte sur l'évaluation de l'impact des caractéristiques du paysage (composition et structure) et des pratiques culturales (en particulier des applications de pesticides) sur la résistance des paysages agricoles aux transferts de pesticides dans l'environnement. La contribution du compartiment atmosphérique à la dissipation des pesticides à l'échelle du paysage est encore mal connue. L'objectif de ce volet du projet est donc d'évaluer cette contribution en mesurant la contamination de l'atmosphère pour une gamme de composés actuellement utilisés pour la protection des cultures. Trente et une molécules ont été sélectionnées dans le projet, d'après plusieurs critères dont leur potentiel d'émission vers l'atmosphère et leur utilisation sur la zone d'étude (site LTER "Zone Atelier Plaine et Val de Sèvres" (ZAPVS), 46°11′N - 0°28′W).
Des prélèvements d'air ont été effectués ponctuellement en mai 2018, période sujette à des traitements dans la Zone Atelier (ZA), sur deux fenêtres paysagères de 1 km² distantes de 1 km l'une de l'autre, l'une à dominante de surfaces cultivées en agriculture biologique (AB) (68 % des parcelles agricoles en AB) et l'autre à dominante de surfaces cultivées en agriculture conventionnelle (AC) (98 % des parcelles agricoles en AC). La récolte des eaux de pluie a également été effectuée une fois par semaine de mars à novembre 2019 au niveau d'un point central de la ZAPVS, dans la forêt (46°08'N - 0°25'W). Une mise au point de la chaîne analytique préalable a été réalisée sur la base d'une étude bibliographique menée sur (a) l'analyse multi résidus en pesticides (b) la SBSE (Stir Bar Sportive Extraction), technique d'extraction sélectionnée pour la quantification des pesticides dans les eaux de pluie. La démarche s'est basée sur la mise en place de plans d'expérience. Une partie des trente et une substances actives recherchées a pu être quantifiée dans l'air. Nous présenterons ces résultats ainsi que les concentrations en pesticides dans les échantillons d'eau de pluie.

Remerciements :
Projets Rescape (financement ONEMA, APR ECOPHYTO « Pesticides » 2014 (MAAF DGER)) et PING (financement Métaprogramme SMaCH INRA 2017) ; la Zone Atelier Plaine & Val de Sèvres (CNRS-CEBC, Beauvoir sur Niort ; V. Bretagnolle, J.L. Gautier) ; M. Deschamps (INRA Ecosys).

Contamination des sargasses par la chlordécone : l'autre défi des échouages aux Antilles

Devault Damien A. (1), Massat Félix (2), Dupuy Laetitia (1), Lambourdière Josie (1), Ménez Florence (3), Maridakis Clio (4), Hervé Vincent (5), Anne Péné-Annette (6), Trouillefou Malika (1), Dolique Franck (1), Lopez Pascal-Jean (1)

(1) Unité Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques (BOREA),Université des Antilles, MNHN, Sorbonne Université, Université de Caen Normandie, CNRS, IRD, damien.devault@univ-antilles.fr, pascal-jean.lopez@mnhn.fr, franck.dolique@univ-antilles.fr, laetitia.dupuy@univ-antilles.fr, malika.trouillefou@univ-antilles.fr, josie.lambourdiere@mnhn.fr

(2) La Drôme Laboratoire, 37 avenue de Lautagne - BP 118 Valence – fmassat@ladrome.fr

(3) Laboratoire Caribéen de Sciences Sociales LC2S - UMR CNRS 8053 B.P. 7209 97275 Schœlcher Cedex (Martinique) – florence.menez@gmail.com

(4) ADEME Martinique, Zone D Activite du Manhity, Lamentin (Le) 97232, France – clio.maridakis@ademe.fr

(5) Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology, Karl-von-Frisch-Straße 10, 35043 Marburg, Allemagne – vincent.herve@mpi-marburg.mpg.de

(6) EA 929 AIHP-GEODE, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Campus de Schœlcher, BP 7207 97275 Schœlcher Cedex Martinique - anne.pene-annette@martinique.univ-ag.fr

Les échouages de sargasses (*Sargassum fluitans* et *natans*) observés depuis 2011 sur les côtes africaines et caribéennes constituent une question complexe impliquant écologie, santé publique et économie et présentant des répercussions multiples pour l'ensemble des territoires insulaires et continentaux concernés. Les sargasses sont des algues brunes, qui font l'objet d'une grande variété de valorisation à l'échelle mondiale (300 millions de tonnes, dont 7 millions de tonnes de sargasses) tirant notamment parti de leur importante proportion d'alginate (jusqu'à 40 % du poids sec de la sargasse en fonction des espèces). Néanmoins, la valorisation des sargasses implique de connaître leur concentration en contaminants potentiels, et particulièrement pour les sargasses échouées dont la disponibilité au ramassage est le corollaire des nuisances les plus évidentes (émanation d'hydrogène sulfureux, comblement des milieux et des zones portuaires). A cette fin, deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées (début août 2018 et mars 2019) sur une trentaine de sites en Martinique et Guadeloupe. Les analyses réalisées sur les sargasses ont permis de caractériser leurs concentrations en chlordécone, ses métabolites mais également en métaux et métalloïdes.

Dans les zones côtières contaminées par la chlordécone, délimitées par des périmètres d'interdiction de pêche, les organismes marins sont connus pour bioaccumuler ce polluant à des vitesses variables ; la sargasse est elle aussi sujette à ce phénomène. Les résultats obtenus révèlent cependant en Guadeloupe et en Martinique une assez forte hétérogénéité de la contamination, même au sein de prélèvements réalisés à courte distance. Les sargasses aux concentrations élevées peuvent ainsi voisiner des sargasses peu ou pas contaminées. La concentration en chlordécone peut localement dépasser plusieurs centaines de µg/kg de MS. Pour les éléments chimiques analysés, les concentrations sont faibles à l'exception de l'arsenic dont la valeur médiane est de l'ordre de 78 mg/kg de MS et relativement similaire pour les deux départements : les sargasses, connues pour bioaccumuler cet élément chimique naturellement présent dans l'eau de mer, abordent le littoral antillais avec des teneurs qui nécessitent une attention particulière. A ce jour, les procédés industriels de compostage permettent la valorisation d'une fraction des sargasses collectées par la mise sur le marché de compost local normé. La partie restante des algues collectées étant stockée, les résultats de cette étude aideront à préconiser des aménagements potentiels des sites concernés pour que les sargasses soient une ressource intéressante pour les Antilles, par exemple comme pratique d'enrichissement des terres.

Caractérisation spatiale de la vulnérabilité des ressources naturelles et gestion des risques de pollution diffuse liés aux pratiques phytosanitaires agricoles

Grimene Chaima (1,2), Mghirbi Oussama (1,3), Louvet Samuel (2), Le Grusse Philippe (1,3)

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

(2) Société ECOCLIMASOL, 672 Rue du Mas de Verchant 34000 Montpellier

(3) UMR GRED, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5

Face à l'augmentation massive de l'utilisation des produits phytosanitaires en agriculture, et aux conséquences de dégradation des ressources naturelles, les politiques actuelles en France, sont orientées vers des initiatives de diminution de l'usage de ces produits tout en assurant une transition agro-écologique des exploitations agricoles. Certes, malgré tous les efforts politiques déployés pour réduire l'utilisation des pesticides tel que le plan Ecophyto I, la France se situe parmi les principaux pays consommateurs de pesticides dans le monde et le premier au niveau européen avec une consommation de plus de 66 600 tonnes par an et une augmentation du niveau de consommation de 12 % entre 2014 et 2016 (Guichard et al., 2017). Il y a donc un grand intérêt de développer des outils d'aide à la décision innovants d'analyse et de gestion des risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires à différentes échelles spatiales (parcelle, exploitation, bassin versant).

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude porte sur l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité des ressources naturelles face à la pollution phytosanitaire diffuse d'origine agricole au niveau du bassin versant de la Gimone à l'ouest de la France. Cette étude vient compléter les travaux scientifiques déjà réalisés sur les risques des produits phytosanitaires (Le Grusse et al, 2014 ; Mghirbi, 2016 ; Kanj, 2018) et apporter une démarche innovante en combinant l'analyse agronomique et géomatique pour élargir les échelles d'étude et d'intervention afin de réduire les risques de pratiques phytosanitaires agricoles sur la santé publique et l'environnement. La démarche adoptée dans ce travail de recherche s'inscrit dans un processus de construction d'une intelligence territoriale (Girardot, 2004 ; Bertacchini, 2012). Cette approche territoriale mobilise plusieurs outils géographiques, agronomiques et de télédétection afin d'aboutir à la construction d'un système d'information territorial qui permet de recueillir et de formaliser un maximum d'informations géo-localisées sur toutes les unités spatiales (parcelle, exploitation et bassin versant) pour agir sur la pollution diffuse d'origine agricole. La méthodologie de ce travail est basée sur la caractérisation physique du milieu naturel dans le but d'établir la répartition spatiale de la charge polluante en fonction des pratiques phytosanitaires à l'échelle des parcelles agricoles, et des structures spatiales existantes dans le milieu (surfaces en eau, prairies, forêts, habitats, etc.) au niveau d'un bassin versant. Nous utilisons des indicateurs de pression phytosanitaires, de risque potentiel et des indicateurs de vulnérabilité du milieu face à la pression agricole exercée sur les ressources naturelles pour estimer le risque réel de pollution phytosanitaire diffuse en interaction avec les différents éléments des écosystèmes du territoire. Nous tenons alors à définir trois enjeux principaux pour l'étude de la vulnérabilité : les ressources en eau, la biodiversité dans les forêts et la santé humaine. Nous procédons dans un premier temps à la gestion spatiale de risque des produits phytosanitaires sur une échelle parcellaire à l'aide des indicateurs de risques « potentiels » sur la santé humaine et sur l'environnement (IRSA[14] et IRTE[15]) calculés par le logiciel EToPhy[16] (Le Grusse et al., 2014 ; Mghirbi et al., 2015). Dans un deuxième temps, nous remontons à l'échelle territoriale en traitant les paramètres de vulnérabilité du milieu naturel face à la pollution diffuse (pédologie, pente, profondeur des nappes, pluviométrie, etc.) tout en tenant compte de la proximité des ressources naturelles (cours d'eau, forêts, etc.) et des habitats aux parcelles agricoles traitées. Les

[14] IRSA : Indicateur de Risque sur la Santé Applicateur.

[15] IRTE : Indicateur de Risque de Toxicité sur l'Environnement.

[16] Logiciel EToPhy dépôt APP n° IDDN.FR.001.060017.000.D.C.2011.000.31500 : ce logiciel est développé par l'équipe de recherche du CIHEAM-IAM de Montpellier.

paramètres de vulnérabilité sont par la suite pondérés par rapport à leur contribution au risque potentiellement généré au niveau des enjeux étudiés (ressources en eau, biodiversité, santé humaine) afin d'avoir une note de vulnérabilité globale pour chaque enjeu étudié.

Cette démarche méthodologique basée sur la spatialisation du risque de la pollution phytosanitaire diffuse permet d'aboutir à la détermination de la vulnérabilité des ressources naturelles en fonction du niveau de risque des pratiques phytosanitaires sur l'environnement, à l'échelle du bassin versant, par la mise en relation des données d'exposition aux polluants dans les différents composants du territoire (eaux, sols, organismes vivants) avec des effets biologiques, biophysiques et pédologiques (pente, lixiviation, dégradation, etc.). Le risque réel est alors exprimé en fonction des notes de vulnérabilité multipliées par les notes de risque potentiel. Cette approche d'analyse spatiale est un outil d'aide à la décision qui répond aux attentes des différents acteurs de terrain, afin d'améliorer leur réflexion sur les plans d'action possibles à mettre en place au niveau des zones vulnérables géo-localisées via des techniques de cartographie de risques permettant de produire une typologie des zones risquées et de forte vulnérabilité (Cornélis et Billen, 2001 ; Propeck-Zimmermann et al., 2002 ; Mghirbi et al., 2018). La production de cartes de risques combinant vulnérabilité du milieu et pratiques permet de prioriser les zones d'intervention. Ces informations sont transmises aux acteurs et aux gestionnaires du territoire étudié, accompagnées de propositions de plans d'action de réduction des risques de la pollution diffuse liés à l'utilisation des pesticides à l'échelle du bassin versant. Les propositions sont présentées sous forme des scénarios portant sur des alternatives en termes de produits phytosanitaires et d'infrastructures agro-écologiques (bandes enherbées, zones tampons, etc.) au niveau du bassin versant. L'ensemble des leviers proposés seront discutés lors de séances participatives avec les différentes parties prenantes sur le territoire étudié, afin de développer des stratégies concertées de gestion des risques de la pollution diffuse liés aux pratiques phytosanitaires agricoles.

Mots clés : *Gestion de risques, vulnérabilité, indicateurs, pratiques phytosanitaires, pollution diffuse, cartographie.*

Références bibliographiques

Bertacchini Y. (2012). Between information and communication process, the territorial intelligence, as a network concept & a framework to shape local development. *International Journal of Humanities and Social Science,* 2(18), 242-247.

Cornélis B., Billen R. (2001). La cartographie des risques et les risques de la cartographie. In: Hupet p. (ed.). Risque et systèmes complexes: les enjeux de la communication. Bruxelles: PIE-Peter Lang. p. 207-222. (Non-prolifération, vol. 2). http://orbi.ulg.be/bitstream/2268/22150/1/Liv%20Hupet.pdf

Girardot J.J. (2004). Intelligence territoriale et participation. In "Tic & Territoires : quels développements", Lille, Enic et Cies.

Guichard L., Dedieu F., Jeuffroy M-H., Reau R., Savini I. (2017). Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. Cahiers Agricultures, 26: 14002.

Kanj F. (2018). Outils et méthodes pour une politique territoriale de gestion raisonnée des pratiques agricoles : Cas d'application dans la région de la Béquaa au Liban. Thèse de doctorat en Géographie et Aménagement de l'espace. Université Paul Valéry Montpellier 3 (France). 378 p.

Le Grusse P., Mandart E., Bouaziz A., Le Bars M., Bord J.-P., Fabre J. (2014). Gestion de la toxicité en zone Ramsar (TRam) : rapport final. 68 p. Rapport scientifique du Programme Pesticides : Programme Évaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides. APR Pesticide 2009. http://isidoredd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Temis/0083/Temis-0083209/22276_A.pdf

Mghirbi O., Ellefi K., Le Grusse P., Mandart E., Fabre J., Ayadi H., Bord J.-P. (2015). 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.

Mghirbi O. (2016). Résilience des exploitations agricoles face au changement des pratiques phytosanitaires : conception d'outils de gestion des risques liés aux pesticides – cas du bassin versant

de l'étang de l'or en France. Thèse de Doctorat en Géographie et Aménagement de l'Espace. Université Paul Valéry- Montpellier 3 (France). 352 p.

Mghirbi O., Bord J.-P., Le Grusse P., Mandart E., Fabre J. (2018). Mapping for the management of diffuse pollution risks related to agricultural plant protection practices: case of the Etang de l'Or catchment area in France. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 14117-14137.

Propeck-Zimmermann E., Ravenel L., Saint-Gérand T. (2002). Cartographie des risques technologiques majeurs : nouvelles perspectives avec les SIG. Mappemonde, 65(1), 17-21.

Dynamique spatiale des concentrations des pesticides dans les eaux de surface et les sédiments d'un agro-hydrosystème tropical : cas du bassin versant du Béré en Côte d'Ivoire

Koné Tiangoua (1), Eba Mian Germain (1), Akpo Kouakou Sylvain (1), Ouattara Petemangnan Jean Marie (1), Coulibaly Sandotin Lassina (1), Coulibaly Lacina (1)

(1) Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire, tiangoua.kone@yahoo.fr.

L'utilisation intensive et extensive des substances chimiques dangereuses en agriculture présente des problèmes environnementaux et sanitaires majeurs, à savoir la détérioration de la qualité des sols, la dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines, la perturbation des écosystèmes aquatiques et leurs effets sur la santé humaine. En Côte d'Ivoire, le bassin versant du Béré (BVB), sous-bassin du Bassin Versant de la Marahoué a été identifié par une étude de simulation numérique comme étant une zone à haut risque potentiel de pollution des eaux de surface par les pesticides.

La présente étude s'est donc proposée d'évaluer la contamination des eaux de surface dans le BVB par les pesticides à partir d'une approche analytique en vue d'appréhender l'exposition des populations quant à l'usage de ces eaux.

Pour ce faire, 17 échantillons d'eaux et de sédiments ont été recueillis d'amont en aval du fleuve Béré en période de crue de septembre 2016. Après une extraction Liquide-Liquide, une analyse directe par la méthode de chromatographie liquide haute performance (HPLC) a permis de faire la détection quantitative et/ou l'identification des polluants de pesticides dans les différents échantillons. Enfin, les résultats des analyses ont été traités avec les logiciels Microsoft Excel et ArcGIS.

Les concentrations des pesticides détectés dans les eaux et les sédiments échantillonnés dans le fleuve Béré variaient respectivement entre 0 - 290,41 µg/kg et 0 - 807,01 µg/kg. La majorité de ces concentrations dépassaient largement la limite de qualité environnementale de 0,5 µg/L ou µg/kg admise par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Ce sont les concentrations des pesticides de la famille des triazines et des urées qui étaient les plus concentrées dans les échantillons d'eau et de sédiments. Les matières actives de la famille des triazines les plus détectées étaient les herbicides de simazine (< 1392 µg/L) et de prometryne (< 1267,61 µg/L). Les stations de Somokoro et Tondolo de la Sous-préfecture de Sarhala, Gona (Mankono) et Bambalouma (Kongasso) étaient celles qui enregistraient les concentrations les plus élevées de triazines et d'urées. La tendance globale des concentrations des pesticides détectés était à la hausse (2,4 %) de l'amont vers l'aval du BVB.

Cette étude a montré que les eaux et les sédiments du fleuve Béré sont pollués par les pesticides. Cette pollution est due essentiellement à l'usage d'herbicides pour le désherbage des parcelles agricoles au détriment des techniques manuelles ou motorisées. Ainsi, le BVB reste un agro-hydrosystème vulnérable au transfert des pesticides vers les eaux de surface.

Mots clés : Agro-hydrosystème – Pesticides – Herbicides – Pollution – Eaux de surface

Influence de l'utilisation des pesticides sur la qualité des ressources en eau dans le département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire).

Orou Kotchi Rodrigue (1), Ahoussi Kouassi Ernest (2), Tie Yro Hyacinthe (3), Tanoh Adjoua Germaine (4), Soro Tanina Drissa (5) et Soro Nagnin (6)

(1) Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire, orourodrigue@gmail.com / orourodrigue@yahoo.fr

(2) Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

(3) Département de l'Environnement et de la Prévention des Risques, Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement durable, 20 BP 650 Abidjan 20, Côte d'Ivoire.

(4) Laboratoire des Sciences du Sol, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

(5) Laboratoire du Génie de l'Eau et de l'Environnement, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, 02 BP 150 Daloa 02, Côte d'Ivoire

(6) Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

L'étude de la qualité des ressources en eau est un outil efficace pour évaluer le niveau de contamination des eaux. Plusieurs auteurs ont eu recourt aux méthodes telles que la comparaison des teneurs des matières actives des pesticides obtenues aux normes de l'OMS pour évaluer la qualité des eaux. Dans cette étude nous proposons une approche autre que celles qui sont traditionnellement utilisées. Cette approche repose sur l'Indice de Contamination Pesticides (ICP) et Indice d'Altération Pesticides (IAP). Les paysans du département d'Agboville utilisent les pesticides pour améliorer leur rendement agricole sans toutefois connaitre les effets sur la qualité des ressources en eaux. La présente étude a pour objectif principal d'évaluer le niveau de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines du département d'Agboville par l'utilisation des pesticides. Vingt-quatre (24) échantillons dont dix-huit (18) pour les eaux de surface et six (6) pour les eaux souterraines ont été réalisés en saison sèche et en saison pluvieuse. Le dosage au laboratoire a permis d'obtenir les concentrations des matières actives des pesticides dans les eaux. L'analyse statistique des données hydrochimiques et les indices de contamination (Indice de Contamination Pesticides : ICP et Indice d'Altération Pesticides : IAP) sont les différentes méthodes utilisées pour atteindre notre objectif. L'ordre d'abondance des matières actives détectées dans les eaux échantillonnées est glyphosate > glyphosate sel d'isopropylamine > deltamethrine > chlorpyrifos-éthyl > thiamethoxam > dichlorodiphényltrichloroéthane. Seules les concentrations de glyphosate en saison pluvieuse ont une moyenne supérieure à 0,1 µg/L tandis qu'en saison sèche, elle est inférieure à 0,1 µg/L. Le DDT n'a pas été détecté dans les eaux échantillonnées dans les deux saisons. Les valeurs moyennes de l'ICP (ICP > 2) montrent que les eaux sont de qualité moyenne et selon les valeurs moyennes de l'IAP ces eaux sont de bonne qualité (IAP > 0,5 µg/L). Les eaux de surface sont plus exposées à la contamination des pesticides que les eaux souterraines et la contamination est plus marquée en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Les matières actives des herbicides ont été détectées dans toutes les cultures et celles des insecticides ont été détectées dans les plantations de cacao et maraîchères. Ce travail constitue une base importante et une alerte à l'endroit des autorités compétentes pour la gestion et fabricants des pesticides. Les fabricants doivent ajouter des récipients gradués pour permettre aux paysans de mieux jauger les produits à utiliser afin d'éviter le sous-dosage ou surdosage. Il faut d'une part encourager et vulgariser l'économie circulaire

en agriculture et d'autre part contrôler la commercialisation des produits phytosanitaires afin de réduire la contre bande.

Mots-clés : Indices de qualité, contamination, ressources en eau, pesticides, Agboville.

Suivi des eaux de drainage en contexte très argileux

Pierlot Frédéric (1)(2), Schott François-Xavier (1), Maillet Mezeray Julie (3), Laflotte Alexandre (4)

(1) *Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est, service Innovation Recherche Développement, 9, rue de la Vologne 54520 LAXOU*

(2) *Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE) UMR Université de Lorraine, INRA, 2, rue av Forêt de Haye 54500 VANDOEUVRE-LES-NANCY*

(3) *BAYER SAS, 16 rue Jean Marie Leclair 69009 Lyon Vaise, France*

(4) *Centre Recherche et Développement de la Bouzule, ENSAIA – Université de Lorraine 54280 Laneuvelotte*

Le transfert de polluants d'origine agricole vers les eaux peut être à l'origine de la dégradation et de la non-conformité des masses d'eau vis-à-vis de la réglementation mais également d'autres impacts sur le milieu (i.e : atteinte à la biodiversité et autres effets non-intentionnels).
Le drainage agricole est une voie de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux et a été étudié depuis de nombreuses années. Cet aspect « transferts via le drainage » recouvre de multiples contextes pédoclimatiques et les sols très argileux sont très peu étudiés car ils ne représentent qu'une part très faible de la surface agricole nationale. Cependant, ces sols dont la teneur en argile est supérieure à 40 % sont essentiellement situés en région Grand Est et ont des caractéristiques physiques (fentes de retrait en été, imperméabilité de certains horizons…) et chimiques (taux de matière organique potentiellement plus élevé, capacité d'échange, pH …) particulières. Le comportement de ces sols vis-à-vis des produits phytosanitaires nécessite de ce fait d'être étudié pour affiner le conseil agronomique auprès des agriculteurs concernés pour comprendre et limiter les transferts de substances actives vers les eaux.

Notre étude repose donc sur le suivi du site historique de la Bouzule (département 54 en région Grand Est), longtemps secteur de référence en contexte de sol drainé très argileux mais dont le suivi a été stoppé au début des années 2000.

Le dispositif consiste à la mise en place du suivi de 3 parcelles contigües drainées travaillées comme une seule parcelle agricole en présentant des caractéristiques de sol différentes :

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface (O-20 cm) des sols faisant l'objet des suivis.

Sols	PI-I	Argiles	Limons	Sables	CEC	Carbone
		----------	%	----------	me/100g	%
limoneux (Sol brun lessivé) parcelle A	6,2	24,2	48,0	8,5	14,2	1,4
argileux (Pélosol) parcelle B	7,3	51,7	35,7	3,9	22,1	1,3
Argilo-limoneux (Sol brun intermédiaire). Parcelle C	7,2	47,6	38,7	8,3	26,3	1,9

Chaque sous-parcelle possède un réseau de drainage distinct et l'ensemble des eaux de drainage est collecté distinctement en bas de parcelle avec un suivi du débit de chaque réseau de drainage. Un suivi de la pluviométrie locale a également été mis en place pour permettre de relier les événements climatiques avec les épisodes de drainage et ainsi qualifier la réponse de chaque type de sol à la pluie. Des prélèvements assujettis au débit sont ainsi réalisés sur chaque réseau de drainage et sont analysés par un laboratoire

indépendant accrédité COFRAC, ce qui permet de faire un lien entre les pratiques de traitements et les transferts de substances actives mesurés.

La première campagne de mesure permet donc de faire un état des lieux concernant la réponse hydraulique du réseau de drainage de chaque type de sol aux événements pluvieux et les transferts associés concernant l'historique des pratiques réalisées sur la parcelle et les pratiques annuelles (application de iodosulfuron-méthyl sodium et mesosulfuron methyl sodium en mars 2019).

Les résultats de ce site pourront ainsi servir de référence par rapport aux transferts de pesticides en sol drainé très argileux.

Analyse des risques de transferts de pesticides en sols et systèmes de culture tropical antillais

Ponchant Lise (1), Samouelian Anatja (2), Andrieux Patrick (1), Bajazet Thierry (1), Nannette Jean-Baptiste (1), Négro Sandrine (2), Robin Nazaire (1), Schmitt Chloé (1&2), Voltz Marc (2)

(1) ASTRO Agrosystèmes Tropicaux, INRA, 97170 Petit-Bourg, (Guadeloupe), France – lise.ponchant@inra.fr

(2) UMR LISAH, Univ Montpellier, INRA, IRD, 2, place Pierre Viala 34060 Montpellier anatja.samouelian@inra.fr

Contexte et objectif

La contamination des écosystèmes antillais par les pesticides est avérée et documentée par des observations disponibles dans l'ensemble des compartiments eau, sol, végétation et animaux. Pour autant, peu de travaux ont jusqu'ici étudié la variabilité des mécanismes de dispersion des produits phytosanitaires en fonction des contextes agropédologiques du milieu volcanique tropical. Ainsi l'évaluation du risque de contamination des eaux en fonction des types de sol et des systèmes de cultures reste imprécise. L'objectif de cette étude est d'analyser pour une diversité de situations agropédoclimatiques représentatives du contexte agropédoclimatique Antillais, et de produits phytosanitaires actuellement utilisés : i) les risques de transfert par ruissellement et percolation, ainsi que ii) les formes de transferts majoritaires en distinguant les phases dissoutes et particulaires.

Méthode

L'approche méthodologique repose sur le suivi *in situ* sur parcelle de 16 m² ou 32 m², suivant le motif cultural de la canne et de la banane, du devenir des matières actives après application au sol d'un cocktail de 7 matières actives (glyphosate, difénoconazole, asulam, fosthiazathe, mésotrione, 2,4-D, métolachlore) ayant des propriétés de sorption et temps de demi-vie contrastés. Les applications ont été réalisées pour 3 systèmes agropédologiques distincts (Andosol/Banane ; Nitisol/Banane et Ferralsol/Canne). Les modalités Andosol et Ferralsol comprennent à chaque fois deux sites distincts. Sur la durée de l'expérimentation (entre 2 et 3 mois suivant les sites) le dispositif expérimental s'attache à : i) quantifier les volumes ruisselés et drainés à 30 cm de profondeur, ainsi que la charge en MES, et ii) à l'analyse des concentrations en matières actives dans le sol et dans les eaux de ruissellement et de drainage. Quand cela est possible les analyses ont été faites sur la phase dissoute et particulaire (> 0,7 µm).

Résultats et discussion

Sur la durée des essais, les suivis confirment les propriétés drainantes des sols volcaniques tropicaux. Suivant les sites, les taux de ruissellement sont compris entre 0,1 et 9 %, alors que les taux de drainage sont compris entre 34 et 72 %. On observe la plus grande variabilité pour les taux de ruissellement des sites implantés sur Andosols et Ferralsols. En effet plusieurs sites représentent ces modalités, et on observe ici une variabilité liée à des conditions locales au moment de la conduite de l'essai (état de surface, variation des conditions topographiques et climatiques). La gamme moyenne de charges en MES est comprise respectivement pour les eaux de ruissellement et drainage entre 0,08 et 0,95 g/L et entre 0,07 et 0,18 g/L. Les quantités de MES exportées sont plus importants dans les eaux de drainage en relation avec les fortes capacités d'infiltration des sols.

La dissipation des matières actives dans les sols (DT50) permet d'identifier deux groupes de molécules : un groupe avec une dissipation rapide, durée inférieure à 10 jours (fosthiazate, asulam, 2,4D), et un autre avec une durée plus importante entre 20 et 50 jours (difénoconazole, glyphosate). Par rapport aux bases de données de la littérature acquises pour d'autre contexte (PPDB, SIRIS, EFSA, Agritox) on obtient des durées proches des gammes basses des valeurs de références, ce qui est sans doute à relier à l'influence de températures moyennes plus élevées en milieu tropical. Seul le difénoconazole et le fosthiazate présentent des valeurs plus faibles, quels que soient les sites. A noter que pour un même site on observe une dissipation très variable en fonction de la nature des molécules. A contrario pour une même molécule on observe peu de variabilité entre les sites.

Dans l'ensemble, les concentrations en matières actives dans les eaux de ruissellement et de drainage diminuent après l'application, mais selon des cinétiques différentes suivant les matières actives. Une généralisation du comportement de risque de contamination est toutefois fragile car les cinétiques de suivis reposent sur un nombre de sites restreint par combinaison agropédoclimatique. Toutefois on observe, comme attendu, que les molécules de faible rétention présentent une dynamique de transfert plus rapide vers les eaux. Mais il semble apparaître un effet seuil entre rétention et temps de demi-vie qui devra être interprété plus finement à l'aide d'outils de modélisation. Par ailleurs pour une matière active considérée, aucune différence significative entre les gammes de concentrations analysées dans les eaux de ruissellement et de drainage n'est observée. Ce résultat indique que les processus de transfert de contaminant entre drainage et ruissellement sont proches. Les transferts par drainage s'identifient donc à des transferts rapides de types préférentiels, en cohérence avec la forte porosité des sols volcaniques antillais. Les bilans d'exportation par matière active montrent enfin des pertes par ruissellement très inférieures aux pertes par drainage du fait des faibles taux de ruissellement constatés. Ceci indique un risque accru de transfert de contaminant vers les eaux souterraines, quelle que soit la modalité agropédologique choisie. A noter toutefois que le terme de drainage observé correspond au flux au bas des 30 premiers centimètres du sol.
Les concentrations en matières actives sur la phase particulaire montrent une dynamique proche de celles observées pour la phase dissoute, avec une diminution progressive au cours du temps. La contribution particulaire à l'exportation est variable suivant les types d'écoulements, elle est plus importante pour les transferts par ruissellement entre 1 à 70 % par rapport au drainage où elle représente entre 0.1 à 10 %. Le difénoconazole est la molécule la plus mobilisée par voie particulaire, entre 15 % et 70 % dans le ruissellement et entre 3 % et 10 % dans le drainage, en accord avec un coefficient de sorption élevé. La contribution du transfert particulaire semble plus importante pour les Andosols, en lien avec un taux de ruissellement et une teneur en matière active sur les MES importants pour ces situations.

Conclusion

L'expérimentation menée a permis d'acquérir des références de dispersion des pesticides dans les eaux et les sols pour un ensemble de molécules actuellement utilisées sur une diversité de situations agropédoclimatiques représentatives des Antilles.
L'étude a montré que l'ensemble des situations présente des taux de drainage bien supérieurs aux taux de ruissellement. Par ailleurs l'analyse conjointe des dynamiques de concentrations des matières actives dans les eaux de drainage et de ruissellement après application permet d'identifier des conditions de transferts par drainage qui s'apparentent à des transferts rapides proches, voire similaires, aux transferts préférentiels.
En termes de risque de transfert, on analyse des pertes par ruissellement très inférieures aux pertes par drainage, ce qui par conséquent indique un risque accru de transfert de contaminants vers les eaux souterraines. Cette conclusion est toutefois à moduler du fait de la profondeur d'investigation de l'étude.
Concernant la contribution du transfert particulaire à la dispersion des pesticides, celle-ci reste très restreinte par rapport à la phase dissoute. Par ailleurs concernant la dissipation des molécules dans le sol, les résultats acquis sont proches des limites basses des valeurs de références issues des bases de données telles que PPDB.

Le digital au service du diagnostic parcellaire

Vergonjeanne Hélène (1), Junger Anaïs (1), Royal Aurélie (1)

(1) *Syngenta, 1, avenue des près, 78286 Guyancourt – helene.vergonjeanne@syngenta.com*

Afin de prévenir les contaminations de l'eau par voie diffuse et particulièrement par ruissellement, le diagnostic parcellaire ainsi que la localisation précise de la parcelle au sein d'une aire d'alimentation de captage apportent des informations précieuses aux prescripteurs. Il permet de donner à l'agriculteur des conseils appropriés tant sur l'aménagement de la parcelle, que sur les techniques culturales et les stratégies de désherbage à favoriser en fonction de la vulnérabilité.

Pour des raisons de coûts et de temps, il est impossible d'effectuer des diagnostics sur l'ensemble des parcelles d'un territoire. Partant de ce constat, Syngenta a développé deux outils complémentaires utilisant la digitalisation et la modélisation. Il s'agit d'une nouvelle approche de diagnostic en deux temps ayant pour objectif de faciliter et d'accélérer le travail du conseiller pour préconiser à l'agriculteur des solutions pratiques.

Quali'H2O Territoire, est une plateforme digitale permettant une phase préliminaire de priorisation des parcelles les plus vulnérables. Il s'agit d'un outil cartographique permettant de visualiser les aires d'alimentation de captages prioritaires ainsi que leurs périmètres de protection. Il fait par ailleurs appel à de la modélisation pour évaluer le potentiel de ruissellement des parcelles. Sur ce dernier critère, en fonction de la distance des parcelles au réseau hydrographique, de la longueur et de l'inclinaison de la pente, les parcelles sont classées en quatre niveaux de sensibilité.
Quali'H2O 2.O est un outil de diagnostic du ruissellement parcellaire, disponible sur tablette et smartphone sous Android. Il permet de classer les parcelles en fonction de leur vulnérabilité au ruissellement en prenant en compte des critères plus approfondis tels que le type de sol, sa profondeur, la configuration et la protection des points d'eau de la parcelle. Il permet également de faire des préconisations grâce à des menus déroulants liés aux paramètres entrés, mais aussi de laisser libre court à l'expertise individuelle du conseiller. A l'issue du diagnostic, un rapport est édité automatiquement et transmis par le conseiller à l'agriculteur. Il comprend des photos et schémas enregistrés sur le terrain par le conseiller.

L'application Quali'H2O 2.0 a été utilisée en 2017 et 2018 avec succès sur des parcelles de trois bassins versants. Ceci a permis de tester la fiabilité de l'approche cartographique et sa cohérence avec l'outil de terrain, mais aussi de celle de l'application et de son intérêt réel. La plateforme numérique Quali'H2O Territoire comporte à ce jour un peu plus de 400 aires d'alimentation de captages prioritaires et a été utilisée dès cette année pour orienter les réflexions pour des stratégies de désherbage différenciées.

Les outils Quali'H2O Territoire et Quali'H2O 2.0 sont destinés à être mis à disposition des prescripteurs afin d'orienter les diagnostics terrain et de mieux appréhender les stratégies de protection des cultures pour des pratiques plus durables.

Pollutions ponctuelles : une appli pour prévenir les risques

Vigouroux Ronan (1), Vergonjeanne Hélène (2), Garde Philippe (2), Coudreuse Sylvain (3), De-Paepe Isabelle (3), Lagriffoul Arnaud (4), Goffart Pascal (5)

(1) *UIPP, 2, rue Denfert-Rochereau 92660 Boulogne- rvigouroux@uipp;net*

(2) *Syngenta, 1 av.des près, 78286 Guyancourt-helene.vergonjeanne@syngenta.com, philippe.garde@syngenta.com,*

(3) *BASF France, Pôle Padu 69130 Ecully-sylvain.coudreuse@basf.com,isabelle.de-paepe@basf.com, DE SANGOSSE, Bonnel - CS 10005 - 47480 Pont-du-Casse-lagriffoula@desangosse.com, Bayer S.A.S. 16 rue Jean-Marie Leclairc - 69266 Lyon cedex09-pascal.goffert@bayer.com*

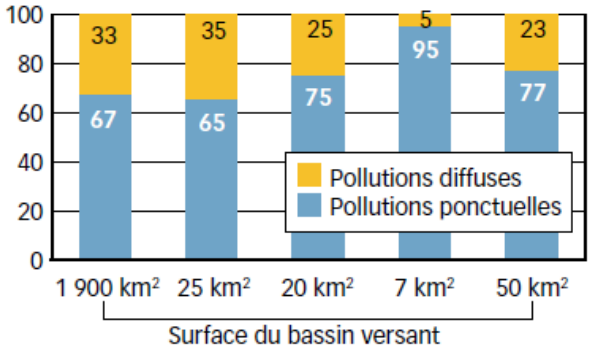
Les contaminations de l'eau par les substances phytopharmaceutiques (phytos) peuvent être consécutives à l'application des produits sur les parcelles (pollutions diffuses) mais aussi, pour une bonne part, à des pollutions ponctuelles dues à des accidents de manipulation ou à des mauvaises pratiques avant, pendant et après les traitements. Au-delà de l'application stricte de la réglementation, sensibiliser les agriculteurs sur ces sujets demeure difficile. C'est en partant de ce constat qu'est née, à l'initiative de l'UIPP, l'application OptiPhytO, une application ouverte à tous les conseillers et techniciens, utilisable sur smartphones et tablettes.

Pollutions ponctuelles, plus de la moitié des contaminations de l'eau

Il existe peu d'études sur la provenance comparée des contaminations de l'eau par les pesticides agricoles. En Allemagne, des mesures ont été effectuées dans les années 2000 sur plusieurs bassins versant en Hesse. Elles montrent que les pollutions ponctuelles contribuent entre 60 et 95 % à la contamination des bassins versants par les produits phytopharmaceutiques.

Fig. 1 : Enquête agricole sur cinq bassins versants

Part relative des sources de pollutions (diffuses et ponctuelles) par les produits phytosanitaires. Étude de l'université de la Hesse (Allemagne, années 2000).



La même étude montre qu'après sensibilisation et changements de pratiques sur la vidange et le nettoyage du pulvérisateur au champ les contaminations ont pu être réduites de plus de 60 % sur l'ensemble des bassins étudiés.

Partant de ce constat, il apparait essentiel de sensibiliser les agriculteurs à cette thématique et de pouvoir leur proposer des solutions concrètes.

Un nouvel outil pour sensibiliser les agriculteurs ?

Il nous a semblé qu'il fallait un outil à même de redynamiser le travail de sensibilisation des agriculteurs et des techniciens, tout en recueillant des données qui permettraient de donner une image synthétique au niveau national, département ou d'un bassin versant. Une équipe régionale de l'UIPP, engagée sur un projet

de bassin versant avec les partenaires locaux, a proposé de créer une application smartphone pour faire, en moins de 30 minutes et de manière innovante, le tour de ces questions avec l'agriculteur. Un tel outil doit être simple à mettre en œuvre, si l'on veut qu'il soit largement utilisé. Ainsi est née l'application OptiPhytO.

OptiPhytO, prévenir les pollutions ponctuelles

Il s'agit d'une application utilisable en ligne ou hors ligne sur PC, smartphone et tablette (Android ou Ios). Elle permet de diagnostiquer les pratiques de l'agriculteur sur les étapes les plus à risque lors de l'utilisation des produits phytos avant, pendant et après le traitement. A l'issue de l'enquête, l'agriculteur reçoit par e-mail un rapport simple et pragmatique lui expliquant comment se situent ses pratiques vis-à-vis du respect de la réglementation d'une part et des bonnes pratiques d'utilisation d'autre part.

L'objectif est que l'agriculteur puisse prendre le recul nécessaire sur ses pratiques et de le sensibiliser au risque de pollutions ponctuelles. Chaque conseiller pourra ensuite apporter ses propres préconisations afin d'accompagner son client dans sa démarche de progrès.

De l'individuel au collectif : que faire des résultats ?

Tous les acteurs impliqués localement sur la qualité de l'eau, par exemple sur un même bassin versant ou une aire de captage, pourront collecter individuellement les données via cette application. Celles-ci seront agrégées de façon anonyme à l'échelle du territoire afin de donner un aperçu détaillé des pratiques et d'affiner si nécessaire des plans d'action collectifs ou individuels. A une échelle plus large, l'UIPP souhaite valoriser les résultats agrégés afin de mieux décrire les équipements, les pratiques, les marges de progrès et inscrire ainsi cette action dans une volonté d'avancer conjointement vers des solutions réalistes et efficaces, en ligne avec ses engagements dans le cadre du Contrat de Solutions pour une transition agro-écologique.

Qui peut utiliser OptiPhytO ?

Tout groupe ou acteur de l'agriculture travaillant à la prévention des contaminations de l'eau peut avoir accès à l'application gratuitement. La seule condition sera de respecter la confidentialité individuelle des personnes enquêtées. Ceci se fera au travers d'une convention signée avec l'UIPP et à titre gratuit. La demande doit en être faite auprès des interlocuteurs régionaux adhérents à l'UIPP ou au niveau national en adressant la demande à l'adresse suivante : optiphyto@uipp.net.

Session 3 :

Techniques de monitoring, analyses et remédiation

Gestion des effluents phytosanitaires : développement d'un procédé de décontamination des emballages vides de pesticides *via* un bio-détergent

Ben Salem Asma (1), Chaabane Hanène (2), Lahbib Nada (2), Salghi Rachi (3), Fattouch Sami (1)

(1)Laboratoire de biochimie alimentaire et moléculaire, Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie (INSAT), Université de Carthage, Centre urbain du Nord, BP 6761080, Tunis Cedex 1080, Tunisie

(2)Laboratoire de bioagresseur et de protection intégrée en agriculture, Département de la protection des végétaux et de l'environnement, Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), Université de Carthage, 43, rue Charles Nicolle Mahrajène, Tunis 1082, Tunisie

(3)Laboratoire d'ingénierie environnementale et de biotechnologie, ENSA, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc

Les enjeux sanitaires, environnementaux et socio-économiques liés à l'utilisation massive de produits phytosanitaires présentent une préoccupation pour l'ensemble des acteurs intervenants dans les filières agricoles ainsi qu'environnementales. Face au nombre important d'acteurs concernés par l'usage des pesticides et les différents intérêts de chacun, nous sommes face à une situation de complexité pour gérer les pollutions diffuses d'origine agricole. C'est pourquoi, le développement de dispositifs agro-environnementaux visant à la réduction et la gestion de l'usage des pesticides ainsi que les effluents phytosanitaires s'est avéré indispensable.

Dans ce contexte, la dégradation biotique des insecticides organophosphorés (OPs), en particulier le chlorpyriphos (CP) et le diméthoate (DIM), a suscité un intérêt pour leur utilisation à des fins de décontamination. En effet, l'objectif de cette étude était d'utiliser le potentiel dégradant de deux souches bactériennes dans le développement d'un procédé de décontamination des emballages vides de produits phytosanitaires (EVPP). Ces deux souches ont été précédemment isolées à partir d'un sol tunisien ayant reçu des traitements répétés par les deux insecticides OPs (CP et DIM) depuis plus de cinq ans. Ces deux isolats bactériens ont été également caractérisés comme appartenant aux genres *Enterobacter* et *Serratia.*

Les cinétiques d'hydrolyse du CP et du DIM en absence ou en présence des deux souches bactériennes isolées, *Enterobacter cloacae* et *Serratia rubidaea*, ont montré le potentiel dégradant de ces deux souches telluriques. Un taux de dissipation du chlorpyriphos de 13 % a été obtenu en milieu aqueux sans bactéries au bout de 2 heures tandis que les taux étaient d'environ 36 % et 46,7 % en milieu aqueux ensemencé par *Enterobacter cloacae* et *Serratia rubidaea*, respectivement. Le diméthoate a également été dissipé efficacement avec des taux voisins de 74,7 % et 77,3 % au bout de 2 heures en présence de *Serratia rubidaea* et *Enterobacter cloacae,* respectivement, contre 68,6 % dans la solution aqueuse utilisée comme contrôle.

D'autre part, ces deux souches bactériennes ont été utilisées pour la première fois dans la formulation d'un bio-détergent. Ce bio-détergent a été testé afin de décontaminer les emballages vides des deux OPs (chlorpyriphos et diméthoate). Ainsi, les résultats obtenus ont démontré leur efficacité. En effet, une réduction significative des résidus de pesticides dans les conteneurs présente une étape clé dans l'élimination appropriée des conteneurs de pesticides utilisés. La comparaison de cette nouvelle méthode avec celle recommandée par la FAO, notamment le triple rinçage à l'eau, a révélé que les teneurs en résidus dans les effluents de rinçage étaient inférieures à celles issues du triple rinçage.

En conclusion, cette étude a permis de développer un nouveau procédé de décontamination des EVPP. Ceci facilite le déclassement de ce type de déchets en déchets non dangereux permettant ainsi de les gérer dans un circuit de recyclage de plastique ordinaire.

Mots-clés : *Bactéries, Bio-détergent, organophosphorés, effluents phytosanitaires, emballages vides de pesticides, gestion*

Mesure de la rétention des pesticides par imagerie rapide

Boukhalfa Hassina Hafida (1), Belhamra Mohamed (1)

(1) Université Mohamed khider – Biskra, Bp 145 RP 07000, BISKRA, Algérie– hassinaboukhalfa@gmail.com

L'étude de la rétention de pulvérisation doit prendre en compte les propriétés de surface de la cible et le comportement des gouttes lors de l'impact. Le but de cette expérience est de combiner simultanément une méthode conventionnelle basée sur le dosage d'un marqueur pour quantifier la rétention et la méthode d'imagerie pour observer le comportement des gouttelettes lors de l'impact et obtenir la contribution individuelle de chaque impact des gouttelettes sur la rétention effective.
Les mesures ont été effectuées avec une caméra rapide couplée à un rétro éclairage LED. La taille et la vitesse des gouttes ont été définies par analyse d'image. Les types d'impact des gouttes ont été déterminés par l'opérateur. Les essais ont été réalisés avec une buse Teejet 11003 montée sur une rampe mobile à la vitesse de 2 m/s. Deux agents tensioactifs (Break-Thru S240® et LI700®) ont été pulvérisés sur des feuilles d'orge coupées (0,3 cm²) au stade BBCH12 et comparés aux pulvérisations d'eau. Des proportions de volumes relatifs ont été calculées au sein d'une échelle d'énergie.
Après la pulvérisation, les feuilles échantillons ont été lavées dans une solution tampon pour quantifier le traceur fluorescent et donc le volume effectif de bouillie retenu par la feuille.
Le couplage de ces deux approches offre une compréhension approfondie de la façon dont les divers résultats d'impact contribuent à la rétention de pulvérisation par une feuille et le mode d'action des adjuvants sur le comportement des gouttelettes.

Mots-clés : *pulvérisation, rétention, spectrofluorimétrie, ombroscopie.*

La collection Pesticide Explorer - Dépistage et quantification rapides des résidus de pesticides à l'aide d'une solution complète de LC-MS/MS

Sales Susanne (1), T. Yang Charles (2), Reymond Marc (3), Giacalone Alain (3), Godula Michal (1)

(1) Thermo Fisher Scientific, Dreieich, Allemagne - susanne.sales@thermofisher.com

(2) Thermo Fisher Scientific, San Jose, California, USA

(3) Thermo Fisher Scientific, Villebon sur Yvette, France

Les pesticides sont des agents chimiques ou biologiques destinés à contrôler, éliminer ou repousser les plantes ou les animaux considérés comme nuisibles. Bien que les pesticides présentent des avantages tels que l'amélioration de la productivité et la protection contre les pertes de récoltes, certains pesticides présentent également des inconvénients, tels que la toxicité potentielle pour l'homme et d'autres espèces. En raison de l'utilisation généralisée de produits chimiques agricoles dans la production alimentaire et du contrôle difficile de la chaîne alimentaire internationale, les gens sont exposés à de faibles concentrations de résidus de pesticides par leur alimentation. L'identification et la quantification des résidus de pesticides dans les aliments et les produits alimentaires constituent donc un élément important du contrôle alimentaire de routine. L'analyse systématique des résidus de pesticides demeure l'une des tâches les plus difficiles en spectrométrie de masse.

Leur diversité chimique, le nombre de pesticides potentiellement utilisés (> 1100) et le large éventail de matrices sont les principaux défis de leur analyse. Pour l'analyse des pesticides, il est donc nécessaire de disposer de méthodes multiples fiables et validées, utilisant les derniers développements techniques.

Nous vous présentons ici la Thermo Scientific™ Pesticide Explorer™ Collection ; une solution complète pour l'analyse de ~600 résidus de pesticides par chromatographie liquide avec spectrométrie de masse quadripolaire (LC-MS/MS).

L'analyse a été réalisée sur un système Thermo Scientific™ UltiMate™ UltiMate™ 3000 RSLC HPLC couplé à un spectromètre de masse Thermo Scientific™ TSQ Quantis™. La séparation chromatographique a été réalisée sur une colonne Thermo Scientific™ Accucore aQ™ C18 Polar Endcapped LC. La procédure d'extraction QuEChERS a été appliquée à tous les échantillons examinés. Le poireau, représentant un légume à forte teneur en pigment, a été choisi comme matrice pour la validation.

La méthode a été testée selon les exigences de la norme SANTE11945/2015. Les paramètres analytiques tels que la linéarité, la spécificité, la LD, la LOQ, la précision et l'exactitude ont été évalués en utilisant le logiciel Thermo Scientific TraceFinder™ 4.1. Le résultat de la validation a montré des résultats satisfaisants puisque des LOQs ≤ 10 µg/kg ont été atteints pour un grand nombre des ~600 composés cibles dans le poireau. Les valeurs RSD pour la plupart des composés étaient inférieures à 20 %.
La méthode a permis de mesurer ~ 600 composés en seulement 15 min. Les performances de la majorité des composés cibles sont conformes aux exigences réglementaires européennes. La méthode est disponible pour faciliter le transfert de méthode.

Effet de l'incorporation de charbon actif pour limiter le transfert de Chlordécone dans les sols

Louis-Thérèse Julian (1), Samouelian Anatja (2), Lagacherie Manon (2), Voltz Marc (2), Yacou Christelle (1), Gaspard Sarra (1)

(1) Laboratoire Covachim, EA 3592 Université des Antilles et de la Guyane, BP 250, 97157 Pointe à Pitre, Guadeloupe, France

(2) UMR LISAH, Univ Montpellier, INRA, IRD, 2, place Pierre Viala 34060 Montpellier

Contexte et objectif

En contexte Antillais l'utilisation massive de Chlordécone (CLD) entre les années 1972-1978 et 1982-1993 pour lutter contre le charançon du bananier a conduit à une contamination chronique et durable de l'écosystème. En effet malgré des épandages anciens de la CLD les niveaux de contamination des écosystèmes et de la chaine trophique restent élevés (Cabidoche et al., 2009 ; Gourcy et al., 2009), des eaux (Crabit et al., 2016 ; Della Rosa et al., 2017), et des organismes vivants (végétaux/animaux) (Coat et al., 2006). Récemment, la cartographie de la contamination des sols par la CLD à l'échelle de la Guadeloupe a été affinée par une approche couplant données historiques d'occupation du sol sur la période d'utilisation de la CLD et analyses de la qualité des cours d'eau comme révélateur de contamination des sols (Rochette et al., 2018). Par ailleurs il a été montré que la contamination des végétaux par contact direct entre le sol pollué et les organes souterrains est la voie de contamination privilégiée pour les racines et tubercules cultivés sur les sols contaminés (Achard et al., 2007, Cadiboche et Lesueur-Jannoyer, 2012). L'ensemble de ces éléments souligne bien l'importance de mécanismes de mobilisation de la CLD des sols vers les autres compartiments de l'écosystème. Dans ce contexte il est proposé d'étudier l'utilisation d'adsorbant éco-compatible pour limiter le transfert de la Chlordécone depuis les sols vers les eaux ou les plantes cultivées. Du fait de leur grande surface spécifique, les biochars et charbons actifs possèdent une grande capacité à adsorber les polluants organiques ou inorganiques (Durimel et al, 2008 ; Cabrera et al, 2011 ; Altenor et al, 2009 ; Yacou et al, 2018). L'objectif de cette étude est de quantifier l'impact de l'incorporation de charbon actif dans un sol contaminé pour limiter le transfert de la CLD vers la solution du sol. A notre connaissance peu de travaux ont été réalisés sur ce sujet. Nous proposons ici une démarche expérimentale pour identifier les évolutions des propriétés d'adsorption des sols suite à l'incorporation de charbons actifs possédant des propriétés texturales et chimiques différentes.

Méthode

Les tests sont effectués à partir de 5 charbons actifs commerciaux différents (CACOMC1, CACOMFC2, CACOMFIL3, CACARS38, CAPICS23) et d'un charbon préparé à partir de biomasse et de deux sols, Andosol et Nitisol, caractéristiques des agroécosystèmes typiques des zones contaminées. Les charbons actifs utilisés possèdent une surface généralement supérieure à 900 m2/g et une distribution de pores caractérisée par la présence à la fois de micro et méso-pores.

Les expérimentations batch sont conduites pour des modalités charbons et sol et de mélange de charbon et sol en proportion équivalente. Les expérimentations sont conduites à partir de solutions de CLD à 50 µg/l marquée au C14. L'adsorption et la désorption sont analysées successivement. Dans un premier temps l'adsorption est quantifiée après un équilibre de 24 h (Kd_{ads}), ensuite la désorption (Kd_{des}). Suivant les limites de quantification la désorption peut faire l'objet d'un cycle de désorption.

Résultats et discussion

Les analyses actuellement en cours de réalisation permettront de proposer une évolution des propriétés de rétention en fonction d'un gradient entre charbon, mélange de sol & charbon, et sol. Il est attendu des résultats contrastés selon les différentes modalités expérimentales et les propriétés texturales et chimiques des charbons utilisés. Ces premiers tests permettront d'étudier l'effet de l'incorporation de charbon dans les sols. Par la suite une analyse plus complète reposant sur la détermination d'isothermes et de cinétiques de sorption et désorption sera menée afin d'avoir une détermination plus fine des mécanismes de sorption/désorption.

Références :

Achard R., Cabidoche Y-M, Caron A., Nelson R., Duféal D., Lafont A., Lesueur-Jannoyer M. 2007. Contamination des racines et tubercules cultivés sur sol pollué par la chlordécone aux Antilles. Les Cahiers du Pram 45-50.

Altenor S, Carene B, Emmanuel E, Lambert J, Ehrhardt JJ, and S. Gaspard (2009), Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbons prepared by chemical activation, Journal Hazardous Materials, 165, (1-3) 1029-1039

Cabidoche, Y. M., Achard, R., Cattan, P., Clermont-Dauphin, C., Massat, F., & Sansoulet, J. (2009). Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution*, *157*(5), 1697–1705. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.12.015

Cabidoche, Y.M., Lesueur-Jannoyer M., 2012. Contamination of Harvested Organs in Root Crops Grown on Chlodecone-Polluted Soils. Pedosphere 22(4), 562-571

Cabrera A., Cox L., Spokas K.A., Celis R., Hermosín M.C., Cornejo J., Koskinen W.C. 2011. Comparative sorption and leaching study of the herbicides fluometuron and 4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid (MCPA) in a soil amended with biochars and other sorbents J. Agric. Food Chem., 59, pp. 12550–12560

Coat, S., Bocquene, G., & Godard, E. 2006. Contamination of some aquatic species with the organochlorine pesticide chlordecone in Martinique. Aquatic Living Resources 19, 181–187.

Crabit, A., Cattan, P., Colin, F. and Voltz. M., 2016. Soil and River Contamination Patterns of Chlordecone in a Tropical Volcanic Catchment in the French West Indies (Guadeloupe). Environmental Pollution 212, 615–626. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.055.

Della Rosa P. Jannoyer M. Mottes C., Plet J. Bazizi A. Arnaud L. Jestin A. Woignier T. Gaude M. et Cattan P., 2017. Linking current river pollution to historical pesticide use : insights for territorial management ? Science of total environment 574 (1232-1242)

Durimel A., Altenor S., Miranda-Quintana R., Dumesnil P., Jauregui-Haza U., Gadiou R., Gaspard S. 2013. pH dependence of chlordecone adsorption on activated carbons and role of adsorbent physico-chemical properties Chemical engineering journal, 229, 239-249.

Gourcy, L., Baran, N., & Vittecoq, B. 2009. Improving the knowledge of pesticide and nitrate transfer processes using age-dating tools (CFC, SF6, 3H) in a volcanic island (Martinique, French West Indies). Journal of Contaminant Hydrology 108, 107–117.

Rochette R., Andrieux P., Bonnal V., et Cattan P. 2017. Contamination des bassins versants de la Guadeloupe continentale par la chlordécone : Actualisation des connaissances et cartographie des zones à risque de contamination. Rapport Final 89p.

Yacou, C., Altenor, S., Carene, B., Gaspard, S. 2018. Chemical structure investigation of tropical Turbinaria turbinata seaweeds and its derived carbon sorbents applied for the removal of hexavalent chromium in water. Algal Research, 34, pp. 25-36.

L'analyse des pesticides et des contaminants anioniques polaires par un nouveau flux de travail IC-MS/MS à échantillon unique, multi-analytique, robuste et sensible au résultat.

Pigozzo Fausto (1), Fussell Richard (2), Guo Qilei (3), Yingchen Li (3), Blay David (4), Giacalone Alain (4) and Tao Bo (3)

(1) *Thermo Fisher Scientific, Strada Rivoltana, Milan, Italie*

(2) *Thermo Fisher Scientific, Stafford House, Hemel Hempstead, UK*

(3) *Thermo Fisher Scientific, Wangjing Lize Middle Street, Beijing, Chine*

(4) *Thermo Fisher Scientific, Avenue du Québec, Villebon, France*

Cette présentation fournit des informations sur le développement et la validation d'un nouveau flux de travail intégré « de l'échantillon aux résultats » pour la quantification fiable et sensible des pesticides anioniques polaires et des contaminants dans les aliments. Le flux de travail est basé sur l'utilisation de colonnes d'échange d'ions de grande capacité avec suppression de l'éluant de la post-colonne couplées à un spectromètre de masse à triple quadripôle à haute sensibilité (IC-MS/MS). Cette évolution est importante parce que les pesticides anioniques polaires et les contaminants tels que le glyphosate, le perchlorate, le chlorate et d'autres contaminants semblables sont souvent présents sous forme de résidus dans les aliments, mais ne sont pas toujours inclus dans les programmes de surveillance de la sécurité alimentaire, simplement parce qu'ils ne se prêtent pas à des méthodes multi-analystes génériques plus classiques.

L'introduction de la méthode QuPPe (Quick Polar Pesticides) (1), couramment utilisée, a constitué un grand pas en avant, mais elle représente toujours un défi analytique pour les laboratoires presque dix ans plus tard. L'absence d'une étape de séparation liquide et/ou d'une étape de nettoyage en phase solide entraîne des « extraits sales » contenant de fortes concentrations de matrices co-extractibles, ce qui rend difficile la séparation et la quantification précise des analytes dans les extraits QuPPe. Les analystes tentent d'atténuer ces problèmes en utilisant des étalons internes étiquetés et en analysant un seul extrait un certain nombre de fois à l'aide de différentes colonnes chromatographiques de faible capacité avec diverses conditions d'élution pour maximiser la couverture des analytes.

L'approche de flux de travail IC-MS/MS permet d'agréger des méthodes distinctes en une seule analyse, ce qui améliore la productivité, tandis que les colonnes d'échange d'ions à haute capacité peuvent supporter des charges d'échantillons plus élevées, ce qui permet d'analyser des concentrations inférieures d'analytes polaires dans les matrices plus difficiles mais pertinentes, comme les produits de poireaux et de céréales.

Matériels et méthodes

L'extraction des échantillons était basée sur une modification de la méthode QuPPe. Après hydratation à l'eau, les échantillons ont été extraits avec du méthanol. L'extrait de l'échantillon a été placé dans un congélateur pendant 15 minutes, puis centrifugé (8000 tr/min, pendant 8 minutes) et une aliquote du surnageant est passée par une cartouche de prétraitement d'échantillon de 2,5 mL, Dionex™ OnGuard™ II RP. Enfin, l'extrait a été filtré à l'aide d'un Thermo Scientific™ Nalgene™ Nalgene™ 25 mm Syringe Filters, PES, 0,2 µm suivi d'une dilution (10 fois avec de l'eau désionisée) afin de permettre la détermination IC-MS/MS.

L'instrument et les composants de séparation du flux de travail comprennent : un système Dionex™ Integrion™ HPIC™ HPIC™, équipé d'un générateur d'éluant électrolytique et d'une cellule de conductivité couplé à un Thermo Scientific™ Dionex™ AS-AP Autosampler et Thermo Scientific™ TSQ Altis™ Triple Quadrupole Mass Spectrometer. La séparation a été réalisée à l'aide d'un Thermo Scientific™ Dionex™ Dionex™ IonPac™ AS19-4 µm Guard, 2 × 50 mm couplé à un Thermo Scientific™ Dionex™ Dionex™

IonPac™ AS19-4 µm Analytical, une colonne 2 × 250 mm avec élution des analytes anioniques polaires par gradient d'hydroxyde de potassium. Un suppresseur d'anions à régénération dynamique ADRS 600 (2 mm) est installé après que la colonne ait converti le KOH en eau et avant que le flux d'éluant n'entre dans un détecteur de conductivité et un spectromètre de masse connectés en série. Le modificateur de solvant acétonitrile fourni par une pompe auxiliaire, via une jonction en T entre la cellule de conductivité et le spectromètre de masse, aide à une désolvatation plus efficace et augmente généralement la réponse de la plupart des analytes de 3-4 fois. Le volume d'injection de l'extrait nettoyé était de 25 µL. Le contrôle du système, l'acquisition et le traitement des données ont été effectués à l'aide de Thermo Scientific™ Chromeleon™ Chromatography Data System.

La réponse a été très différente pour les différents composés. La plage dynamique linéaire était excellente sur la plage testée, 4-200 ng/g d'analyte dans la matrice. L'approche d'étalonnage par appariement matriciel avec étalons internes (MMS+LIS), si disponible, et l'approche d'étalonnage par extraction matricielle (MES) sans utilisation d'étalons internes ont produit des résultats équivalents pour le poireau et de meilleurs résultats que l'étalonnage par appariement matriciel sans étalons internes (MMS) à 5 ng/g et 10 ng analyte/échantillon. En utilisant l'EEM, les taux de récupération apparents se situaient généralement entre 80 et 100 %, avec une répétabilité associée généralement < 15 %, pour le chlorate, le perchlorate, le glufosinate, le N-acétylglufosinate, le 3-MPPA, le glyphosate, l'AMPA, le N-acétyl-AMPA, le Fosetyl-Al, l'acide phosphonique, l'éthéphon et HEPA, en une seule analyse. En outre, les rapports ioniques MS/MS, la stabilité du temps de rétention, la récupération et la précision des données étaient conformes aux critères de performance de la norme EU SANTE/11813/2017 (2).

Les résultats démontrent qu'un flux de travail basé sur IC-MS/MS peut surmonter les problèmes rencontrés avec les méthodes précédentes d'analyse des pesticides polaires. Le PCSI Dionex ne contient pas de métal, de sorte qu'aucun problème de chélation des métaux n'a été signalé avec les systèmes CLHP conventionnels. Les taux de récupération plus faibles observés avec l'approche d'étalonnage du SMM ne reflètent pas la performance de quantification de l'IC-MS/MS.

Références

(1) Anastassiades, M.; Kolberg, D. I.; Benkenstein, A.; Eichhorn, E.; Zechmann, S.; Mack, D.; Wildgrube, C.; Sigalov, I.; Dork, D.; Barth, A. Quick method for the analysis of numerous highly polar pesticides in foods of plant origin via LC-MS/MS involving simultaneous extraction with methanol (QuPPe-method), version 10.0; http://www.eurl-pesticides.eu/userfiles/file/EurlSRM/meth_QuPPe-PO_EurlSRM.pdf (accessed Jan 21, 2019).

(2) SANTE/11813/2017, Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticides residues analysis in food and feed, https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2017-11813.pdf (accessed Dec 29, 2018).

Méthode alternative d'analyse d'herbicides dans les eaux souterraines : vers le développement de biocapteurs.

Surribas Anaïs *(1), Noguer Thierry (1), Barthelmebs Lise (1)

*(1) Université de Perpignan Via Domitia, Biocapteurs-Analyses-Environnement, 66860 PERPIGNAN France ; Laboratoire de Biodiversité et Biotechnologies Microbiennes, USR 3579 Sorbonne Universités (UPMC) Paris 6 et CNRS Observatoire Océanologique, 66650 Banyuls-sur-Mer – *anais.surribas@etudiant.univ-perp.fr*

L'agriculture intensive pratiquée en France depuis les années 1960 est basée sur une mécanisation des techniques culturales mais aussi sur l'utilisation de produits phytosanitaires, qui, appliqués sur les surfaces cultivées peuvent contaminer les nappes phréatiques par lessivage et les rivières par ruissellement. Ces phénomènes, accentués en automne lors de fortes pluies, peuvent ainsi provoquer une contamination ponctuelle des sources destinées à la production d'eau potable.

Pour pouvoir distribuer une eau potable respectant les valeurs limites réglementaires et ainsi assurer la bonne santé du consommateur, les pesticides sont contrôlés par des méthodes chromatographiques qui sont certes très sensibles, mais restent complexes et onéreuses et ne permettent pas de réaliser des analyses haute-fréquences, ni sur le terrain.

Afin de pouvoir effectuer un suivi régulier de la qualité de l'eau, il serait souhaitable d'utiliser une méthode d'analyse alternative aux méthodes classiques. L'objectif de ma thèse consiste à proposer un système analytique compact et complet pour une détection rapide, adaptée au terrain, avec un coût bien inférieur aux méthodes utilisées actuellement, afin de détecter certains herbicides retrouvés en période de fortes pluies dans les ressources en eau. La limite de détection devra être en dessous de la norme de potabilité correspondant à la valeur seuil de 0,1 µg/L par produit phytosanitaire.

Le principe de ce système de détection repose sur la technologie des biocapteurs. Ces outils analytiques offrent une solution alternative intéressante pour une application haute fréquence à des matrices environnementales, notamment pour l'analyse de produits phytosanitaires. Les biocapteurs sont composés d'un élément de reconnaissance biologique appelé biorécepteur, intégré à un élément physique, le transducteur, capable de traduire le phénomène de reconnaissance biologique en un signal directement quantifiable.

Aucun biocapteur spécifique n'ayant été encore développé pour les herbicides ciblés, nous devons sélectionner les biorécepteurs à utiliser, qui pourront être un anticorps, une protéine ou encore un aptamère. Nous utilisons comme transducteurs des électrodes sérigraphiées en carbone afin de réaliser une mesure électrochimique. Le principe de cette technique est basé sur le transfert de charges électriques entre le milieu réactionnel qui contient les réactifs électrochimiquement actifs et l'électrode sur laquelle les biorécepteurs sont immobilisés. L'amplitude du courant mesuré sera proportionnelle à l'interaction entre le biorécepteur et l'herbicide cible. Les biocapteurs développés seront caractérisés pour leur spécificité, leur sensibilité, leur limite de détection, ainsi que leur robustesse et leur adaptabilité sur le terrain.

Un tel dispositif permettrait une meilleure gestion de la qualité de l'eau, par exemple en interrompant le prélèvement des ressources pendant les courts épisodes de contamination sans avoir à mettre en place des solutions complexes et coûteuses de traitement.

Session 4 :

Efficacité ou impacts des pesticides sur les organismes végétaux et animaux

Impact des pesticides sur l'activité microbienne de dénitrification dans les eaux souterraines

Michel Caroline (1), Baran Nicole (2), André Laurent (1,3), Joulian Catherine (1)

(1) *BRGM, Direction Eau Environnement et Ecotechnologies, 3 avenue Claude Guillemin 45060 Orléans cedex c.michel@brgm.fr; l.andre@brgm.fr; c.joulian@brgm.fr*

(2) *BRGM, Direction des Laboratoires, 3 avenue Claude Guillemin 45060 Orléans cedex n.baran@brgm.fr*

(3) *Université d' Orléans, CNRS, BRGM, UMR 7327 Institut des Sciences de la Terre d'Orléans, 45071 Orléans, France*

Les aquifères représentent un écosystème sensible et stratégique, qui doit être protégé (EU 2006). Les microorganismes des aquifères, de par leurs fonctions, contribuent à la fourniture d'un ensemble de services écosystémiques, comme la dégradation des contaminants et le cycle des nutriments (Griebler and Avramov 2015), notamment celui de l'azote. Ils participent ainsi au bon état qualitatif des nappes d'eau. Il est donc important d'établir si ces services écosystémiques sont altérés par la présence de polluants, en particulier les pesticides qui peuvent migrer dans les sols, vers les nappes d'eaux souterraines. Outre les pesticides et contaminants utilisés, il est aussi primordial d'étudier les molécules filles issues de la dégradation des molécules mères. En effet, dans certains cas, la concentration de ces molécules filles est plus importante que celles des molécules mères. Leur présence est très souvent le résultat d'une dégradation continue des molécules mères présentes au niveau du sol. A ceci s'ajoute le fait que leur dégradation est limitée et/ou que ces métabolites peuvent être plus hydrophiles.

Dans les sols et les eaux de surface, de nombreuses études ont démontré un certain nombre d'effets secondaires des pesticides sur les communautés microbiennes en termes de composition et de fonctions (King et al., 2016 ; Zhang et al., 2016). En effet, la présence de pesticides a un impact sur l'abondance microbienne, la présence ou l'absence d'espèces microbiennes à travers, par exemple, la sélection de celles capables de dégrader les pesticides, l'expression de certains gènes principalement liés au cycle de l'azote (nitrification, dénitrification), et la diversité des activités enzymatiques liées aux cycles P, C, S N. Ces impacts peuvent être positifs ou négatifs et dépendent (1) de facteurs physicochimiques comme le type de sol, la concentration en pesticides, la coexistence avec d'autres pesticides ou d'autres contaminants, la présence de matière organique, la biodisponibilité qui varie en fonction de la (bio)dégradabilité/persistance et des processus d'adsorption/désorption de chaque pesticide), et (2) de facteurs biologiques tels que la structure de la communauté microbienne ou les processus microbiens actifs lors des études. Il a également été démontré que dans certains cas, les métabolites issus de la transformation biologique ou physico-chimique ont un impact plus important que la molécule mère (Sardar and Kole, 2005). Les communautés microbiennes impliquées dans le cycle de l'azote, et notamment la communauté dénitrifiante, semblent particulièrement impactées en présence de pesticides.

Très peu d'études ont par contre été réalisées sur l'impact des pesticides sur les communautés microbiennes dans les eaux souterraines (Mauffret et al., 2017). Pourtant, la co-existence de nitrate et de pesticides dans de nombreux aquifères pose la question de l'impact des pesticides sur la communauté dénitrifiante. En effet, même si cette communauté n'est pas intentionnellement ciblée par les pesticides, l'activité de dénitrification pourrait néanmoins être affectée par la présence de ces molécules. Un impact négatif des pesticides sur la dénitrification entrainerait alors une accumulation de nitrate dans les eaux souterraines.

L'objectif de ce travail est ainsi d'étudier l'impact des pesticides sur l'activité de dénitrification dans les eaux souterraines. Pour cela, des essais en batch (conditions anoxiques) ont été réalisés au laboratoire à partir de prélèvements d'eaux souterraines dans des piézomètres dans un bassin hydrogéologique historiquement soumis à une importante pression agricole (André et al., 2011). De par l'historique du site, les eaux de certains piézomètres présentent des teneurs relativement élevées en nitrate (60-90 mg/L). L'impact de 2 pesticides (S-métolachlore et propiconazole) et de leurs molécules filles (ESA-Métolachlore et 1, 2, 4 triazole, respectivement) sur l'activité de dénitrification a été testé à 2 concentrations, 2 et 10 µg/L. L'impact des pesticides a été étudié en suivant les paramètres suivants : activité de dénitrification (dosage nitrate, nitrite, N_2O), biodiversité bactérienne, biomasse bactérienne, abondance des gènes *narG* et *napA* codant des nitrates réductases.

Les résultats de plusieurs séries de batch réalisés sur des eaux à différentes dates montrent que le S-métolachlore n'a pas d'effet sur la dénitrification aux 2 concentrations testées. Par contre l'ESA-métolachlore (principalement à 10 µg/L), le propiconazole et le 1, 2, 4 triazole (aux 2 concentrations testées) ont un impact sur l'activité de dénitrification. Cet impact peut, en fonction de la date du prélèvement de l'eau souterraine, correspondre à une activation ou à un ralentissement de la cinétique de dénitrification. L'analyse de la biodiversité bactérienne des eaux du site montre qu'elle varie temporellement pour un même piézomètre, ce qui suggère que la composition de la communauté microbienne de l'aquifère influence la nature de l'impact des pesticides sur la dénitrification.

Le projet est cofinancé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et le BRGM.

Références:

André L, Pauwels H, Dictor M-C, Parmentier M, Azaroual M (2011) Experiments and numerical modelling of microbially-catalysed denitrification reactions. Chem Geol 287: 171-181

EU (2006). Directive 2006/118 of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. Official Journal of the European Union L372: 1-19.

Griebler C, Avramov M (2015) Groundwater ecosystem services: a review. Freshwater Sci 34(1): 355-367

King R, Brain R, Back J, Becker C, Wright M, Djomte V, Scott W, Virgil S, Brooks B, Hosmer A, Chambliss C (2016) Effects of pulsed atrazine exposures on autotrophic community structure, biomass, and production in field-based stream mesocosms. Environ Toxicol Chem 35: 660-675

Mauffret A, Baran N, Joulian C (2017) Effect of pesticides and metabolites on groundwater bacterial community. Sci Tot Environ 576: 879-887.

Sardar D, Kole R (2005) Metabolism of chlorpyrifos in relation to its effect on the availability of some plant nutrients in soil. Chemosphere 61: 1273–1280.

Zhang M, Xu Z, Teng Y, Christie P, Wang J, Ren W, Luo Y, Li Z (2016) Non-target effects of repeated chlorothalonil application on soil nitrogen cycling: the key functional gene study. Sci Tot Environ 543: 636-643.

Evaluation de la toxicité aigue d'un pesticide (oberonr) sur un poisson *Gambusia Affinis* : paramètres de lethalite et activité de l'acétylcholinestérase

Bengrait Meriem, Habes Dehbia, Soltani Noureddine

Laboratoire de Biologie Animale Appliquée
Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar
23000-Annaba (Algérie)

Le spiromesifen est un insecticide/acaricide appartenant à une nouvelle classe de pesticides dérivés de l'acide tectronique spirocyclique considérés comme des inhibiteurs de la synthèse des lipides. Il est largement utilisé en Algérie pour lutter contre les insectes et les acariens ravageurs des cultures. Les moustiques sont généralement contrôlés par des insecticides conventionnels. La lutte biologique est une alternative à la lutte chimique. Plusieurs espèces de poissons ont été utilisées dans la lutte biologique contre les moustiques dont la plus connue est *Gambusia affinis* (Baird & Girard, 1845). La présente étude, en continuité avec les travaux antérieurs, vise à évaluer en conditions de laboratoire les risques écotoxicologiques de ce pesticide à l'égard de cet agent de lutte biologique de référence. Une formulation commerciale de ce produit (Oberon® 240 SC) a été testée à différentes concentrations (4, 8, 12 et 16 µg matière active/L) additionnées à l'eau d'élevage des poissons adultes durant la période de repos sexuel durant une exposition de 96 h. Les concentrations létales de l'Oberon en exposition aigüe ont été déterminées (Mâles : CL_{50} = 102 µg/L et CL_{90} = 316,6 µg/L ; Femelles : CL_{50} = 138,6 µg/L et CL_{90} = 589,2 µg/L). Les effets sub-létaux (Mâles : CL_{10} = 0,28 µg/L et CL_{25} = 0,96 µg/L ; Femelles : CL_{10} = 1,63 µg/L et CL_{25} = 3,36 µg/L) ont été par la suite envisagés sur un biomarqueur de neurotoxicité l'acétylcholinestérase. Les résultats montrent que les mâles de cette espèce de poisson sont plus sensibles que les femelles et que l'activité de l'acétylcholinestérase est inhibée par l'Oberon. Ce pesticide est susceptible de présenter des effets secondaires sur ce poisson culiciphage non ciblés.

Mots clés : Pesticides, Spiromesifen, Poisson, *Gambusia affinis*, Toxicité, Acétylcholinestérase.

Effets des pesticides sur l'activité natatoire des larves d'huître creuse (*Magallana gigas*) exposées au stade embryo-larvaire

Bringer Arno (1), Dubillot Emmanuel (1), Prunier Grégoire (1), Clérandeau Christelle (2), Lerebours Adelaïde (1), Thomas Hélène (1)*, Cachot Jérôme (2)*

(1) Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs), UMR 7266, CNRS-Université de La Rochelle, 2 rue Olympe de Gouges, F-17042 La Rochelle Cedex 01, France.

(2) Université de Bordeaux, Laboratoire EPOC, UMR 5805, F-33600 Pessac, France.

** contribution égale*

Dans le cadre du projet AQUAECOs (Amélioration de la QUAlité Environnementale dans les zones COnchylicoles) porté par le Comité Régional de la Conchyliculture (CRC17) et le Parc Naturel Marin (AFB), nous étudions l'effet des pesticides sur les zones de productions conchylicoles des Pertuis-Charentais. Le modèle d'étude utilisé est l'huître creuse (*Magallana gigas*). Dans le début des années 2000, des relations avaient commencé à se faire entre les apports terrigènes (pesticides notamment) et les mortalités importantes de bivalves dans les secteurs conchylicoles placés aux débouchés de fleuves/estuaires. Dans les Pertuis-Charentais, des pics de concentrations sporadiques mais significatifs d'herbicides ont été enregistrés en sortie de Seudre, dans certaines zones de production du Bassin de Marennes Oléron ou au débouché des canaux de marais littoraux (au sud de la Charente). Des mesures effectuées en estuaire de Charente ont porté sur les molécules suivantes : le métolachlore, le glyphosate et son métabolite, l'AMPA. Jusqu'à onze molécules sont parfois détectées simultanément dans le Bassin de Marennes Oléron, représentant des concentrations de près de 20 $\mu g.L^{-1}$ de pesticides (2004). Avec près de 130 000 tonnes d'huitres creuses produites et commercialisées en France chaque année, le secteur conchylicole charentais représente le premier bassin de production français (22 % de la production nationale). L'activité induit aux alentours de 25 000 emplois directs et son chiffre d'affaires annuel est d'environ 300 M€ (l'essentiel étant réalisé dans le secteur de Marennes-Oléron).

Afin de comprendre le potentiel impact des pesticides sur l'huître creuse, des expositions préliminaires ont été réalisées sur des embryons d'huître, durant 24 h, afin d'ensuite analyser le comportement de nage des larves (éclos durant les 24 h d'exposition). Les expositions ont été réalisées en conditions contrôlées de laboratoire. Les embryons sont obtenus par fécondation à partir de géniteurs matures provenant d'écloserie (France Naissain, Vendée). Ces embryons sont ensuite dispatchés en microplaques 24-puits suivants différentes conditions. De l'eau de mer filtrée à 0,2 µm est utilisée pour les expositions. Les microplaques sont ensuite placées en étuve à 24 °C durant 24 h. Après incubation, les microplaques sont récupérées et placées sous microscope (ZEISS Axio Observer Z1, x10) afin d'enregistrer le déplacement des larves (vidéos de 2 min) sous chaque condition d'exposition. Les vidéos sont ensuite convertis et analysées avec ImageJ (Software 1.51) grâce à un plugin de tracking permettant de capturer et d'enregistrer les déplacements de chaque larve présente sur la vidéo. Dans cette étude nous avons retenus la variable : vitesse maximale enregistrée ($\mu m.s^{-1}$).

Pour nos premières expositions, nous avons testés des pesticides retrouvés de manière constante dans l'environnement marin : le Glyphosate et sa solution commerciale (RoundUp), l'Isoproturon et le Chlorothalonil. Le Glyphosate (herbicide) est mesuré à hauteur de 0,1 jusqu'à 0,85 $\mu g.L^{-1}$ au niveau de la Charente et jusqu'à 1,3 $\mu g.L^{-1}$ en sortie de Seudre. Au niveau de la Sèvre-Niortaise et du Marais Poitevin on retrouve des valeurs maximales mesurées pour l'Isoproturon (herbicide, inhibiteur de la photosynthèse) de 2,67 $\mu g.L^{-1}$ et de 0,18 $\mu g.L^{-1}$ pour le Chlortoluron (herbicide).

Les premiers résultats nous montrent peu d'effets du Glyphosate sur le comportement de nage des larves d'huîtres creuses après 24 h d'exposition. Sa solution commerciale, le RoundUp, quant à elle semble entrainer une diminution de la vitesse maximale de nage enregistrée en lien avec l'augmentation des concentrations. On retrouve le même effet en exposant les embryons au Chlorothalonil avec une diminution, plus légère, de la vitesse mesurée.

Par la suite, quatre nouvelles molécules de pesticides, présentes dans les Pertuis-Charentais, ont été sélectionnées pour des expositions embryo-larvaires d'huîtres creuses : le Nicosulfuron (herbicide), le Chlotholuron (herbicide), la Boscalid (fongicide) et la Cypermethrine (insecticide). Les trois premiers ont pu être testés à différentes concentrations : 0,01 $\mu g.L^{-1}$; 0,1 $\mu g.L^{-1}$; 1 $\mu g.L^{-1}$ et 10 $\mu g.L^{-1}$. Les concentrations

mesurées dans l'environnement des Pertuis-Charentais (au niveau de la Charente, Seudre et Sèvre-Niortaise) sont comprises entre 0,01 et 1 $\mu g.L^{-1}$ pour ces trois pesticides. Le comportement de nage des larves a été enregistré et la vitesse maximale a été comparée entre les différentes conditions d'exposition.
Ces résultats vont permettre de mieux appréhender les effets toxicologiques des pesticides les plus retrouvés, ces dernières années, dans les Pertuis-Charentais, sur les stades précoces de développement de l'huître creuse.

Effet répulsif des extraits du thym *Thymus vulgaris* et du ricin *Ricinus communis* sur l'acarien *Tetranychus urticae* (*Acari, Tetranychidae*)

Bouharroud R. (1), Hormatallah A. (2), El Assri M. (2) et Mokrini F. (1)

[1]*Institut National de la recherche Agronomique, Centre Régional d'Agadir, Maroc*

[2]*Institut Agronomique & Vétérinaire Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir, Maroc*

Au Maroc, la culture de tomate occupe une place très importante dans le contexte socio-économique national. Néanmoins, la culture de tomate est sujette à diverses attaques de bio agresseurs, dont l'acarien *Tetranychus urticae*. Afin de respecter les exigences sanitaires, des cahiers des charges sont imposés par les marchés importateurs en matière de gestion des pesticides et le respect de leurs LMRs. Pour ainsi éviter les phénomènes de résistance, des nouvelles méthodes alternatives basées sur la recherche de produits « bio-insecticides » d'origine végétale sont testées. C'est dans ce cadre que les extraits de *Thymus vulgaris* L et *Ricinus communis* L ont été testés pour leurs effets acaricides sur les adultes de *Tetranychus urticae* Koch dans les conditions de laboratoire.

Après macération dans le solvant (éthanol ou méthanol), les extraits sont obtenus par évaporation à l'aide de l'évaporateur rotatif. Pour chaque extrait, des concentrations de 80 %, 20 %, 10 %, 2 % et 1 % ont été préparées pour les tests biologiques selon la méthode « choice test ». Les résultats obtenus ont montré que pratiquement tous les extraits testés manifestent des effets répulsifs sur les adultes de l'acarien mais de façon variable. L'extrait éthanolique de *T.vulgaris* a pu enregistrer l'indice de répulsion le plus grand, de l'ordre de 34 % pour la concentration la plus élevée (80 %) mais les extraits qui ont causé des effets répulsifs importants sont ceux issus des graines de *R.communis* pour les deux solvants puisqu'ils sont efficaces dès la concentration de 2 %.

Mots clés : *Thymus vulgaris*, *Ricinus communis*, *Tetranychus urticae*, choice test, éthanol, méthanol.

Comparaison de la détoxication de la métribuzine par deux espèces d'Amarante.

Kilinc Özgür Kivilcim (1, 2), Laurent François (2)

1 : Université Süleyman Demirel, Isparta, Turquie, ozgur.kilinc@yahoo.fr

2 : UMR 1331 TOXALIM INRA-ENVT-INP EI Purpan-UPS. 180, chemin de Tournefeuille – BP 93173 F-31027 TOULOUSE

La métribuzine, un herbicide triazinone, est enregistrée en Turquie pour le contrôle de différentes adventices, mono et dicotylédones dans les cultures de pomme de terre en application de pré- ou de post-levée. Dans les 30 dernières années, son utilisation principale a été comme herbicide de post-levée pour le contrôle des dicotylédones. La pomme de terre est l'une des cultures vivrières les plus couramment cultivées en Turquie, et l'Amarante réfléchie (*Amaranthus retroflexus*) est l'une des adventices les plus courantes en Turquie, en particulier dans les champs de pommes de terre de la région de Niğde (centre Turquie). L'Amarante réfléchie a été contrôlée avec succès par une application précoce de métribuzine jusqu'à l'année 2000. Au cours des cinq dernières années, le contrôle de A. *retroflexus* mais aussi de *A. hybridus* avec la métribuzine appliquée en post-levée n'a pas été satisfaisant chez certains cultivateurs. La résistance aux triazines a été rapportée dans plus de 20 pays pour des biotypes de plus de 58 espèces, et dans la majorité des cas, la résistance était due à la modification de la protéine D1 du centre réactionnel PSII de la photosynthèse. Mais ceci n'a jamais été démontré pour la métribuzine. En raison de ces récents échecs de lutte et d'une utilisation probablement excessive de la métribuzine, la tolérance à cet herbicide était suspectée. Les objectifs de cette étude étaient d'étudier et de déterminer la base de cette tolérance et de comparer la réponse à la métribuzine de différents biotypes de *A. retroflexus* et *A. retroflexus*.
La capacité de pénétration de la métribuzine par les racines et son transfert vers les feuilles, l'organe cible, dans les deux adventices ont été comparés en utilisant de la métribuzine ^{14}C. Cette étude fait apparaitre qu'une intense pénétration est possible par les racines et un faible transfert vers les espaces cibles. Après les analyses radio-HPLC, au niveau des racines, des tiges et des feuilles uniquement des métabolites de métribuzine ont été identifiés 15 jours après traitement.
Les valeurs obtenues pour la concentration de métribuzine au niveau des feuilles sont très différentes dans des biotypes étudiés. Les biotypes ayant déjà subi des traitements de métribuzine bénéficient d'une tolérance élevée dont nous montrons qu'elle est associée à une capacité très active de détoxication de l'herbicide et d'un potentiel de ségrégation racinaire et de tige. La tolérance comparée des 2 espèces est en cours de détermination.

Mots-clés : Métribuzine, *Amaranthus retroflexus spe*, *Amaranthus hybridus spe*, métabolisation, tolérance.

Détermination des pesticides dans les moules, huîtres, sédiments et l'eau des Pertuis Charentais – Etude Pilote

Lerebours Adélaïde (1), Parinet Julien (2), Receveur Justine (3), Jezequel Ronan (3), Thomas Hélène (1)

(1) Université de La Rochelle, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle – adelaide.lerebours@univ-lr.fr

(2) Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), 14 rue Pierre et Marie Curie, 94701 Maisons Alfort – julien.parinet@anses.fr

(3) Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE), 715 rue Alain Colas, 29218 BREST – Ronan.Jezequel@cedre.fr

Les pertuis charentais, zone de transition entre l'océan atlantique et le continent forment un écosystème littoral unique et favorable à la conchyliculture. La baie de l'aiguillon compte parmi les deux plus grands producteurs de moules en France avec 8000 tonnes de moules produites par an. Le bassin de Marennes d'Oléron est le premier bassin de production française d'huîtres creuses avec près de 130 000 tonnes d'huîtres produites chaque année. Cependant ce secteur est menacé par d'importantes mortalités annuelles depuis 2008. Les causes de ces mortalités seraient multi-factorielles impliquant des facteurs biologiques et chimiques dont les pesticides mais elles restent aujourd'hui à élucider.

Un des objectifs du projet AQUAECOs (Amélioration de la QUAlité Environnementale en zones Conchylicoles) porté par le Comité Régional de la Conchyliculture (CRC17), l'agence pour la biodiversité (AFB) et la région Nouvelle-Aquitaine vise à connaître l'influence des pesticides sur la qualité environnementale des Pertuis Charentais et la santé des moules et des huîtres, espèces sentinelles d'un intérêt économique majeur. Dans le cadre de ce projet, un suivi spatio-temporel d'un an couplant analyses chimiques et biologiques est prévu. Il permettra de connaître les niveaux de contamination aux pesticides dans l'eau, les sédiments et les organismes ainsi que leurs effets sur la santé des organismes. Afin de sélectionner les 10 pesticides les plus pertinents pour ce suivi, une étude pilote, large spectre, a pour but de déterminer le plus grand nombre de pesticides retrouvés dans les 3 matrices ciblées. Les résultats feront l'objet d'une comparaison avec ceux issus d'une revue de la littérature qui a permis d'identifier les pesticides retrouvés les plus fréquemment au niveau des bassins versants de la Sèvre, de la Charente et de la Seudre. Les résultats de l'étude pilote large spectre feront l'objet de la présentation.

Les échantillons biologiques de moules, d'huîtres, d'eau et de sédiments au niveau des sites majeurs de production conchylicole et influencés par les estuaires de la Sèvre, la Charente et la Seudre ont été collectés en janvier 2019. Les pesticides contenus dans les tissus biologiques ont été extraits par la méthode QuECHERS (Quick, Easy, Cheap, Efficient, Rugged and Safe). Ceux contenus dans les sédiments ont été extraits par incubation au bain à ultra sons. Les molécules contenues dans les extraits issus des tissus biologiques et des sédiments ainsi que dans l'eau ont ensuite été isolées par la méthode d'extraction SBSE (Stir Bar Sorptive Extraction) pour l'analyse en TD-GC-MS/MS. La méthode permet l'analyse de 30 pesticides apolaires. Une partie des extraits issus de la méthode QuECHERS est conservée et analysée en LC_HRMS/MS à l'aide du kit LC Multiresidue Pesticide Kit (Restek) permettant l'analyse de 200 molécules polaires. Les méthodes incluent un grand nombre de molécules non mesurées jusqu'à présent dans les Pertuis Charentais et celles les plus fréquemment mesurées sur les bassins versants et les plus toxiques vis-à-vis des larves de bivalves commercialisées.

Cette étude large spectre innovante permet de mieux comprendre le devenir d'un grand nombre de pesticides dans les différents compartiments de l'environnement et de mettre en lumière les plus importants vis-à-vis de leur toxicité chez les bivalves. Cette étude pilote génère de nouvelles données essentielles pour les scientifiques, les professionnels des filières conchylicoles et les acteurs locaux dont le CRC17 et l'AFB.

Enquête de suivi sur les résidus de pesticides dans les raisins de table et évaluation des risques pour l'homme au Liban

Sandikly Nahid (1, 3), Hayar Salem (1, 2) et Millet Maurice (3)

[1]*Université Libanaise, Ecole Doctorale, EDST-PRASE, Campus Universitaire Rafic Hariri, Hadath - Liban – sandikly.nahid@hotmail.com*

[2]*Université Libanaise, Faculté des Sciences Agronomiques, Dépt. Protection de Cultures, Dekwaneh - Liban – shayar@cyberia.net.lb*

[3]*Université Strasbourg, Institut de chimie et procédés pour l'énergie, l'environnement et la santé (ICPEES), CNRS UMR 7515, 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex, France - mmillet@unistra.fr*

Au Liban, l'analyse de 588 échantillons de raisins de table frais a été effectuée par campagne d'échantillonnage en 2012 pour détecter la présence de pesticides dans 3 régions agricoles majeures différentes : la vallée de la Bekaa, Baalbeck-Hermel, et le Nord Liban. Les analyses ont été effectuées par chromatographie en phase liquide couplée à une spectrométrie de masse (LC-MS/MS) après une procédure d'extraction multi-résidus efficace, sûre et économique (QuEChERS). Les résultats ont été évalués selon les limites maximales de résidus (LMR) pour chaque pesticide, conformément aux règlements de l'UE. Des résidus de pesticides supérieurs aux LMR ont été détectés dans 18,45 % des échantillons et 81,55 % contenaient des résidus en dessous de la LMR, tels que Thiophanate-méthyl, Cyperméthrine, Difénoconazole, Acétamipride, et Tétraconazole. Sur les 220 pesticides étudiés, 44 ont été détectés (54,5 % de fongicides, 41 % d'insecticides et 4,5 % d'herbicides et acaricides), dont le Cyprodinil, l'Azoxystrobine, le Thiophanate-méthyl, le Difénoconazole, la Cyperméthrine, et le Carbendazime étaient les principaux résidus de pesticides. Les résidus de pesticides les plus fréquemment trouvés appartiennent aux familles chimiques Triazole, Strobilurine, et Benzimidazole, où 68,2 % sont systémiques, et 31,8 % ont des modes d'action de contact. Evidemment, aucun des pesticides organochlorés n'est présent dans les échantillons de raisins de table libanais. L'échantillonnage de la production montre la présence de résidus de pesticides : 59 % dans la vallée de la Beka, 24,9 % au Nord Liban, et 16,1 % à Baalbeck-Hermel. Lors de l'évaluation du risque d'exposition de l'homme aux résidus de pesticides, des études ont montré que : 7 sont probablement cancérogènes, 2 mutagènes, 15 perturbateurs hormonaux suspectés, 13 toxines pour le développement ou la reproduction, et 5 sont des neurotoxines. Sur la base des résultats ci-dessus sur la prévalence des résidus de pesticides dans les raisins de table, le Ministère Libanais de l'Agriculture a réussi à interdire 18 pesticides afin de réduire le risque potentiel pour la santé des consommateurs, où ils sont malheureusement encore autorisés en Europe. La nécessité d'une surveillance régulière des résidus de pesticides, puis d'une sensibilisation des agriculteurs à des pratiques plus sûres en matière de pesticides, en particulier la nécessité de respecter les intervalles de pré-récolte recommandés, est fortement préconisée.

Mots-clés : Raisin de table, résidus de pesticides, LMR, LC-MS/MS, évaluation du risque.

Session 5 :

Evaluation de l'exposition et des impacts en santé humaine

Quels sont les dangers sanitaires des usages agricoles des pesticides autorisés en Algérie ?

Bettiche Farida (1, 3), Grunberger Olivier (2), Bengouga Khalila (1), Tahar Chaouche Souad (1), Chaib Warda (1), Mancer Halima (1), Belhamra Mohamed (3)

(1) Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Campus universitaire El Alia Nord, BP N° :1682, R.P 07000 Biskra, Algérie–farida.bettiche@gmail.com /bettiche.farida@crstra.dz

(2) LISAH, Univ. Montpellier, IRD, INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier, France–olivier.grunberger@ird.fr

(3) Laboratoire Diversité des écosystèmes et dynamiques des systèmes de production agricoles en zones arides« DEDSPAZA», Université Mohamed Khider-Biskra, Algérie–segmadz@yahoo.fr

Si les pesticides sont des produits utiles à la protection des cultures, ils sont également porteurs de dangers environnementaux et de santé. En Algérie, comme dans d'autres pays de la rive sud de la méditerranée, environ 200 ingrédients actifs de pesticides (IA), principalement d'origine organique de synthèse, sont utilisés dans la formulation d'environ 900 spécialités commerciales incluses dans l'Indice algérien des produits phytosanitaires agricoles édité en 2015. L'objectif du travail présenté est de déterminer les problèmes de santé pouvant être causés par les IA dont l'utilisation est autorisée dans l'agriculture en Algérie, en particulier en ce qui concerne les exploitants agricoles manipulant ces pesticides afin de minimiser leur utilisation. Il s'agit de repérer parmi ces molécules celles qui sont susceptibles de poser des problèmes en se basant sur les indices de risque et les problèmes de santé. Nous utilisons : 1) la classification toxicologique de l'OMS (2010) et 2) deux bases de données : Pesticide Properties DataBase (PPDB) et la Bio-Pesticides DataBase (BPDB). L'étude examine donc ces IA d'un point de vue toxicologique. Ensuite, une deuxième étape est de confronter la liste des produits aux usages des agriculteurs afin d'avoir une idée de l'importance de leur utilisation réelle en Algérie dans le contexte de deux systèmes de culture des régions arides (pomme de terre sous pivot et maraîchage sous serre).

Bien qu'ils soient autorisés en Algérie, 27 IA (17 %) des 157 pesticides organiques ne sont pas approuvés pour une utilisation agricole au niveau européen, dont sept insecticides (flufénoxuron, diazinon, dichlorvos, métidathion, bêta-cyperméthrine, fenpropathrine, propargite), neuf fongicides (Carbendazime, Manebe, Iprodione, Procymidone, Triforine, Ethaboxam, Bitertanol, Fluzilazole, Hexaconazole), quatre acaricides (bromopropylate, azocyclotine, cyhexatine, oxyde de fenbutatine) et sept herbicides (fluazifopbutyle, trifluraline, prométryne, linuron, cloquintocet-mexyle, méfenpyr diéthyle, Isoxadifen- éthyle).

Aucun IA n'est classé comme extrêmement dangereux (la) par l'OMS (2010) et seuls sept insecticides (4,5 %) sont classés comme très dangereux (Ib) : oxamyl, abamectine, dichlorvos, métidathion, bêta - cyfluthrine, téfluthrine et zêta-cyperméthrine. En outre, 30 % des IA sont classés comme moyennement dangereux (II), 18,5 % peu dangereux (III), 26 % peu susceptibles de présenter un risque aigu en utilisation normale (U) et 21 % ne sont pas répertoriés (NL).

Environ 44 %, 36 % et 30 % des 157 ingrédients actifs organiques autorisés peuvent provoquer une irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires, respectivement. En outre, plus de 27 % des IA peuvent avoir des effets sur la reproduction et / ou le développement. Aussi, 26 % des IA sont capables d'être des sensibilisants cutanés. Environ 10 % des IA sont neurotoxiques alors que 8 % sont perturbateurs endocriniens et 6 % inhibiteurs de cholinestérase. Seuls 5 et 3 % des IA sont cancérogènes et mutagènes, respectivement. Aussi, seuls les IA insecticides sont des inhibiteurs de cholinestérase, en particulier ceux appartenant aux familles chimiques des organophosphorés et des carbamates.

Il y environ 50 matières actives organiques de synthèse autorisées utilisées par les agriculteurs : 32 communément utilisées par les serriculteurs de Biskra et les agriculteurs qui cultivent des pommes de terre dans la région D'El Oued. Plus de 56 % de ces IA communs sont des fongicides et 41 % sont des insecticides. De plus, il y a 13 autres IA utilisés uniquement à Biskra et 16 IA utilisés uniquement à El Oued. Aucun herbicide n'a été signalé par les producteurs de serre au Ziban tandis que 7 sont répertoriés à El Oued.

L'étude met en avant quelques substances problématiques qui sont spontanément citées par les agriculteurs comme toxiques (méthomyl, endosulfan, zineb, amitraz, dicofol et thiocyclam-hydrogen-oxalate) qui nécessiteraient un examen plus approfondi des conditions de leurs usages. Elle pose le problème de la

transmission des informations aux agriculteurs, de la lenteur de la réactualisation de la liste de références et de la mise en place des interdictions et la nécessité de recommandations renforcées pour certains produits.

Mots-clés : Toxicité, pesticides, Index des produits phytosanitaires à usage agricole, PPDB, BPDB

Risques d'exposition des agriculteurs aux pesticides à Biskra – Algérie

Boukhalfa Hassina Hafida (1), Guehiliz Naoual (1), Deghnouche Kahramen (1)

(1) *Université Mohamed khider – Biskra, Bp 145 RP 07000, BISKRA, Algérie.*
hassinaboukhalfa@gmail.com

Les pesticides sont largement utilisés pour contrôler les mauvaises herbes, insectes, champignons et autres ennemis nuisibles aux cultures. Cependant, ces intrants chimiques peuvent atteindre aussi des zones non ciblées ainsi que l'homme via la dérive ou par exposition directe. D'une autre part, la présence de résidus de matières actives en quantités supérieures aux LMRs dans l'alimentation peut engendrer de nombreuses maladies et nuisances à la santé humaine. Pour diminuer ces risques, l'ensemble des législations ont pris des mesures strictes de sécurité alimentaire en imposant des normes bien définies. Ces normes exigent l'instauration de bonnes pratiques agricoles en diminuant, voire défendre l'utilisation de certains intrants chimiques. D'autres mesures sont indiquées pour assurer une utilisation responsable ou la bonne pratique phytosanitaire, et ce aussi bien avant que pendant et après le traitement phytosanitaire. Le respect des doses prescrites et les bons calculs liés aux réglages des pulvérisateurs et aux quantités de bouillies sont parmi les plus importantes. Les produits phytopharmaceutiques peuvent donc être utilisés de manière plus sécurisée tant que les prescriptions d'utilisation sont respectées pour garantir la santé des hommes, des animaux et de l'environnement. En termes de santé, le premier concerné est l'applicateur. A tous les stades du traitement, il peut être exposé à des risques d'intoxication aiguë ou chronique. Se protéger efficacement pendant toutes les étapes du traitement, depuis la préparation de la bouillie jusqu'au nettoyage du pulvérisateur devient primordial. Dans ce contexte, nous avons essayé d'évaluer les risques d'exposition liés aux scénarios réalistes de déroulement des opérations d'application des produits de traitement des cultures par les agriculteurs de la région de Biskra. Une enquête réalisée auprès de 175 agriculteurs a fait révéler que 87 % des agriculteurs de la région traitent leurs cultures. La totalité des cultures sous serres sont traitées (56 agriculteurs) alors que seulement 39 % (22 agriculteurs) de ces agriculteurs connaissent ce que signifie un délai avant récolte (DAR). Sur les 22 agriculteurs qui connaissent les DAR seulement 9 agriculteurs le respectent. Parmi les enquêtés, 44 % cultivent des céréales. 67,53 % (52 céréaliculteurs) des agriculteurs traitent leurs céréales. 16 utilisent BRUMBY 80 EC et GRANSTAR 75 DF, 3 d'entre eux utilisent aussi DAMINE 600, deux autre utilisent DESORMONE LOURD D et 1 utilise BASAGRAN. Dix céréaliculteurs (19 % des céréaliculteurs qui utilisent des PPP) utilisent TAXOS, ZOOM, COSSACK OD, PALLAS 45 ODV, MUSTANG 360 SE et Chevalier mais ils se protègent par le port des EPI pendant la phase de préparation de la bouillie ainsi que pendant la phase de traitement. Ces derniers déclarent qu'ils respectent la dose prescrite. Parmi ces céréaliculteurs, 22 utilisent des fongicides sans port d'EPI pendant les deux phases de préparation de bouillie et de traitement, ils ont tous déclaré qu'ils utilisent des doses supérieures à la dose prescrite. Seulement deux agriculteurs ont déclaré avoir utilisé un insecticide en parallèle avec des herbicides (DURSBAN ou DECIS 25 EC). Ces derniers ont déclaré qu'ils mettent seulement des gants et des bottes pendant la préparation de leurs bouillies et qu'ils utilisent des doses d'insecticides supérieures aux doses prescrites. Afin d'affirmer ou infirmer que ces agriculteurs procèdent à des pratiques phytosanitaires qui les mettent en risques sanitaires avérés, nous avons utilisé leurs scénarios de traitements pour alimenter le modèle d'exposition des opérateurs britannique (UK) sous forme de tableaux Excel. Sur ce modèle les données sont regroupées en trois catégories, des valeurs à introduire impérativement (formulation, concentration en matière active), des valeurs sélectionnées par défaut ou modifiables par l'utilisateur (surface traitée/jour en fonction du scénario) et des valeurs invariables (durée de préparation). Les éléments du scénario de traitement sont : type de culture (basse, haute, serres), type de pulvérisateur (rampe de buses, à dos…), surface journalière traitée (ha), durée d'application (heures), type de formulation (liquide, solide), volume/ha et EPI portés (selon étiquette). Les sorties du modèle sont des quantités de matières actives aux quelles sont exposés les agriculteurs en fonction des scénarios de leurs pratiques phytosanitaires en milligramme de substance active par kilogramme de poids vif par jour. Ces valeurs d'exposition sont ensuite comparées aux valeurs toxicologiques de référence dans le cas d'exposition aux matières actives, l'AOEL (acceptable Operator Exposure Level). Les résultats obtenus révèlent que la totalité des agriculteurs qui traitent des cultures sous serres sont exposés à des quantités de matières actives qui dépassent l'AOEL. Ce dépassement de limites d'expositions est principalement lié au non respect des doses et à la négligence du port d'équipements de protection individuels. Peu de ces agriculteurs respectent

les DAR, ce qui peut avoir des conséquences sur les taux de résidus de pesticides dans leurs récoltes et risque de nuire à la santé des consommateurs. La céréaliculture à Biskra occupe la deuxième place après la phoeniciculture, nos résultats montrent que 72 % des enquêtés qui utilisent des traitements phytosanitaires sont exposés à des taux de pesticides qui dépassent l'AOEL de la matière active manipulée. Le dépassement de l'AOEL indique que l'opérateur encourt un risque sanitaire. La négligence du port des EPI et le non respect des doses d'application sont les principales causes du risque. L'étude doit être complétée par une enquête sur les problèmes de santé et malaises chez les opérateurs qui encourent un risque avéré afin de pouvoir sécuriser leurs pratiques phytosanitaires.

Mots-clés : *Pesticides, pulvérisation, risques d'exposition, opérateur, bonnes pratiques phytosanitaires.*

Procédure d'homologation des produits phytopharmaceutiques : Prise en compte de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques dans l'air – explication pour les promeneurs et riverains

Laurent Sonia (1), Maillet-Mezeray Julie (1)
sonia.laurent@bayer.com ; julie.mailletmezeray@bayer.com

(1) BAYER SAS, 16 rue Jean Marie Leclair 69009 Lyon Vaise, France

L'exposition aux produits phytopharmaceutiques dans l'air est prise en compte dans la procédure d'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) des produits phytopharmaceutiques. Cette prise en compte s'est renforcée depuis le 1 janvier 2016 avec la mise en place du nouveau guide d'évaluation des risques de l'EFSA (European Food Safety Authority). Cette évaluation est basée sur les situations les plus à risque. Elle est réalisée pour quatre catégories de personnes :

- L'opérateur/Applicateur, exposé pendant le mélange/chargement et pendant l'application.
- Le travailleur, exposé pendant le travail dans les champs traités.
- Le promeneur, une personne présente par hasard à proximité des zones de pulvérisation.
- Le riverain, habitant près d'une zone de pulvérisation et/ou un enfant venant jouer sur la zone traitée.

L'opérateur et le travailleur sont considérés comme portant a minima des équipements de protection individuelle. Le promeneur et le riverain sont, quant à eux, considérés comme ne disposant d'aucune mesure de protection, c'est-à-dire qu'ils sont directement en contact avec la pulvérisation. On considèrera également qu'ils peuvent être présents dans des lieux ayant reçu de la dérive de pulvérisation. Dans certains cas, comme celui des enfants, on prendra en compte l'exposition potentielle via des objets contaminés. Différents facteurs d'exposition sont donc considérés par le modèle EFSA (2016) utilisé pour les dossiers d'AMM. En effet, à chaque fois, seront pris en compte l'exposition à la dérive de pulvérisation pendant l'application, à la volatilisation après application ainsi qu'aux dépôts de pulvérisation sur des surfaces ayant reçu des embruns. Dans le cas du promeneur, l'exposition lors d'une entrée sur une parcelle en cours d'application ou récemment traitée est également intégrée. Différentes voies d'exposition sont donc considérées / estimées : l'exposition cutanée et respiratoire pour les promeneurs et riverains, ainsi que l'exposition orale pour l'enfant.
Le modèle d'exposition est basé sur le principe des « pires cas » en cumulant :

- Exposition directe 2h/j : exposition cutanée et par inhalation en étant placé à quelques mètres d'un pulvérisateur en marche, avec le vent dans le sens de la dérive vers la personne.
- Respiratoire durant 24h/j : avec un air contaminé à des doses importantes et avec un niveau d'inhalation important.
- Cutanée, via un contact de 2h/j : avec des végétaux (type pelouse) qui ont été fraichement recouverts d'un flux de pulvérisation à partir d'un champ proche.
- Pour les enfants, on ajoute également l'exposition orale sur la base d'un nombre important de gestes mains-bouches quotidiens, ainsi que d'objets portés à la bouche à partir de doigts contaminés.
- Exposition via l'entrée du riverain 1/4 d'heure/j dans un champ juste traité.

Les modélisations sont basées sur les situations les plus extrêmes en termes de durée et de conditions d'exposition.

Légende : Etude promeneur et riverain – représentation des distances à la culture.

Si l'exposition globale, calculée en additionnant ces différentes situations, ne répond pas aux marges de sécurité définies par la réglementation c'est-à-dire qu'elle dépasse des seuils toxicologiques quotidiens, alors la substance n'est pas autorisée. Selon les données d'Air Parif, l'exposition maximale d'un résident est environ 20 fois inférieure à l'exposition professionnelle elle-même déjà jugée sans risque (source : UIPP_ brochure santé 2018).

Pour chaque substance, les facteurs influençant leur présence dans l'air sont étudiés et caractérisés dans les dossiers d'autorisation de mise sur le marché à travers :

- La méthode d'analyse des résidus dans l'air.
- Les facteurs physico-chimiques : aptitude à la volatilisation en pulvérisation, volatilisation à partir des végétaux traités ou du sol (études en laboratoire et en plein air).
- La vitesse de dégradation dans l'atmosphère par l'ozone ou les UV notamment.
- La photolyse en milieu aqueux.

L'exposition globale prend alors en compte les spécificités de chaque molécule.
En complément de la modélisation, des évaluations spécifiques en conditions réelles sont systématiquement réalisées lors des réévaluations régulières européennes et nationales.

Session 6 :

Approches Paysagères et territoriales du devenir et de l'impact des pesticides

Exposition des sols agricoles et d'organismes non cibles aux pesticides : quelle influence de la mosaïque paysagère ?

Bertrand Colette (1), Daniele Gaëlle (2), Lafay Florent (2), Vulliet Emmanuelle (2), Bretagnolle Vincent (3), Zagatti Pierre (1), Pelosi Céline (1)*, Fritsch Clémentine (4)*

(1) *UMR 1402 EcoSys, INRA – AgroParisTech – Université Paris-Saclay, FR-78026 Versailles – colette.bertrand@inra.fr*

(2) *UMR 5280 Institut des Sciences analytiques, CNRS – Université de Lyon, FR-69100 Lyon – gaelle.daniele@isa-lyon.fr*

(3) *UMR 7372 Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, CNRS – Université de La Rochelle – UsC INRA, FR-79360 Villiers en Bois – vincent.bretagnolle@cebc.cnrs.fr*

(4) *UMR 6249 Chrono-Environnement, CNRS – Université Bourgogne Franche-Comté – UsC INRA, FR-25030 Besançon – clementine.fritsch@univ-fcomte.fr*

** Les auteurs ont contribué également à la supervision des travaux*

Les caractéristiques des paysages agricoles, mosaïques complexes formées d'un agencement de composantes semi-naturelles et anthropiques, peuvent influencer à la fois des processus biotiques et abiotiques, tels que la dynamique de populations d'organismes (ex. faune auxiliaire) et les transferts de polluants dans les différents compartiments de l'environnement. Pour caractériser de façon réaliste l'exposition des milieux et des organismes aux polluants, une évaluation spatialement explicite de cette exposition est donc indispensable. Mais à l'heure actuelle, peu d'études ont été conduites *in natura* dans ce domaine, et « l'écotoxicologie du paysage » (concept introduit par J. Cairns dans les années 90) reste une discipline très peu développée.

L'objectif de cette étude était d'étudier l'impact de pratiques culturales (i.e. traitements phytosanitaires) et de l'hétérogénéité du paysage (ex. proportion et agencement d'habitats semi-naturels tels que les haies) sur l'exposition des sols et d'organismes non cibles aux pesticides. En 2016, dans le cadre du projet RESCAPE, des échantillons de sol et de coléoptères carabiques ont été prélevés dans l'ouest de la France (site LTER "Zone atelier Plaine et Val de Sèvres", 46°11′N - 0°28′W) dans 60 fenêtres paysagères de 1 km². Ces fenêtres étaient réparties le long de gradients de densité de haies, de surface en prairie et de proportion de parcelles en agriculture biologique. Pour chaque échantillon, les résidus de 31 pesticides couramment utilisés sur la zone d'étude ont été recherchés.

Les premiers résultats montrent que plusieurs caractéristiques paysagères (telles que l'agrégation des prairies, ou l'imbrication et la juxtaposition des haies) influencent les profils d'exposition des sols. Les analyses concernant les carabes sont en cours : nous analyserons les liens entre la concentration de résidus de pesticides dans les animaux, les pratiques agricoles locales et la contamination des sols où ils ont été échantillonnés, et l'hétérogénéité du paysage alentour. Notre objectif est d'identifier les contextes paysagers "à risque" aux transferts de pesticides (c'est-à-dire les contextes paysagers où l'exposition des milieux et des organismes est importante), et les contextes paysagers "résistants". Une telle connaissance est une condition préalable pour proposer des outils de gestion du paysage qui permettraient d'améliorer la résistance et la résilience des agroécosystèmes aux pesticides, et faciliter ainsi la transition agroécologique.

Mots-clés : *Agroécosystème, Analyse multi-résidus, Carabes, Ecotoxicologie du paysage, Faune auxiliaire, Pesticides, Sols.*

« Printemps silencieux » sur l'île de la Réunion, un rapace endémique menacé par l'utilisation de pesticides

Coeurdassier Michael (1), Villers Alexandre (2), Augiron Steve (3), Sage Mickael (4), Couzi François-Xavier (3), Lattard Virginie (5), Fourel Isabelle (5)

(1) Laboratoire Chrono-environnement, UMR UFC/CNRS 6249 aff. INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, 25030 Besançon, France

(2) Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, Unité Avifaune migratrice, Station de Chizé, 79360 Villiers-en-Bois.

(3) SEOR, 13 Ruelle des Orchidées, 97440 Saint-André, La Réunion, France.

(4) Faune Recherche et Expertise, 25 Rue de la Grette, 25000 Besançon, France.

(5) USC 1233 RS2GP, VetAgro Sup, INRA, Univ Lyon, F-69280 Marcy l'Etoile, France.

Le Busard de Maillard *Circus maillardi* est un rapace endémique de l'île de la Réunion. Il est classé "en danger" par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature. Sur cette île, les rodenticides anticoagulants (RAs) sont largement utilisés pour lutter contre les rongeurs introduits, notamment les rats et les souris qui sont responsables de la transmission de la leptospirose à l'homme et de dégâts aux cultures de canne à sucre. Ces pesticides présentant un risque élevé d'empoisonnement secondaire pour les prédateurs de rongeurs, nous avons examiné si le busard de Maillard était exposé et potentiellement empoisonné par les RAs. Les concentrations hépatiques de 8 RAs ont été mesurées dans les carcasses de 58 busards collectées par le centre de soins de la SEOR entre 1999 et 2016. Nous avons considéré l'empoisonnement comme cause potentielle de la mort de l'individu lorsque la somme des concentrations hépatiques des RAs détectés dépassait 100 ng/g (Thomas et al. 2011). Les tendances spatiales et temporelles ainsi que l'influence de facteurs individuels et paysagers sur les concentrations en RAs ont été analysées. Des résidus de RAs ont été détectés dans 93 % des busards, 62 % des individus ayant des concentrations > 100 ng/g. Le difénacoum a été le plus fréquemment mesuré (73 % des cas positifs) alors que le brodifacoum et la bromadiolone présentaient les concentrations les plus élevées. Les nombres de busards exposés d'une part ou potentiellement empoisonnés d'autre part ont augmenté entre 1999-2016. Cette augmentation est particulièrement inquiétante dans le cas du brodifacoum, un des RAs les plus toxiques, puisque les empoisonnements potentiels sont passés de 0 cas pour la période 1999-2011 à 14 cas pour 2012-2016, période qui correspond à son utilisation en plein champ. Nous avons également mis en évidence que la composition du paysage influençait l'exposition aux RAs puisque les concentrations hépatiques augmentaient avec la proportion d'habitat urbain dans la commune de découverte du busard et qu'elles montrent un pic lorsque la surface de champs de canne à sucre atteint 25 % de la commune. Nous en concluons que les empoisonnements par les RAs utilisés de façon non raisonnée sont une menace majeure pour la viabilité de la population du busard de Maillard qui est estimée à 150 couples nicheurs et proposons plusieurs actions pour mieux comprendre et limiter leur exposition.

Exposition des micromammifères aux pesticides actuellement utilisés : différences entre espèces, rôle de l'habitat et du paysage

Fritsch Clémentine (1), Coeurdassier Michaël (1), Raoul Francis (1), Scheifler Renaud (1), Hardy Emilie M (2), Palazzi Paul (2), Schaeffer Charline (2), Bretagnolle Vincent (3), Appenzeller Brice (2) *, Pelosi Céline (4) *

(1) UMR 6249 Chrono-environnement CNRS - Université Bourgogne Franche-Comté Usc INRA, 16 route de Gray 25030 Besançon cedex– clementine.fritsch@univ-fcomte.fr

(2) Luxembourg Institute of Health, Dpt of Population Health, 29 Rue Henri Koch, 4354 Esch-sur Alzette, Luxembourg – brice.appenzeller@lih.lu

(3) UMR 7372 CEBC, CNRS – Université de La Rochelle, CEBC 79360 Chizé – vincent.bretagnolle@cebc.cnrs.fr

(4) UMR 1402 EcoSys, INRA – AgroParisTech – Université Paris-Saclay, RD 10 Route de St Cyr, 78026 VERSAILLES Cedex – celine.pelosi@inra.fr

** les auteurs ont contribué également à la supervision des travaux*

Il est difficile d'établir des liens directs entre l'utilisation des pesticides et les réponses de la faune sauvage en raison du grand nombre de facteurs interagissant (e.g. caractéristiques du paysage, pratiques agricoles, traits écologiques des organismes), ce qui rend les mesures de bioaccumulation *in natura* cruciales pour caractériser l'exposition de la faune non-cible et par la suite identifier les potentiels effets non-intentionnels et risques de cascade trophique. A l'heure actuelle, plus de 500 ingrédients actifs utilisés dans plusieurs milliers de formulations commerciales, appartenant à plus de 100 classes de modes d'action différents sont utilisés en agriculture. Pourtant les analyses multi-résidus (plus de 20 molécules) de produits phytopharmaceutiques actuellement utilisés (PPP) dans les sols sont extrêmement rares voire inexistantes sur la faune sauvage mis à part les études sur les problématiques néonicotinoïdes et abeilles domestiques/bourdons.

Dans le cadre du projet RESCAPE (APR ECOPHYTO 2014), des mesures de résidus de 69 PPP (molécules mères et métabolites ; fongicides, herbicides et insecticides) ont été réalisées dans des échantillons de poils de deux espèces de micromammifères sauvages, un omnivore le mulot sylvestre (*Apodemus sylvaticus*, n = 14) et un carnivore la musaraigne musette (*Crocidura russula*, n = 63). Les animaux ont été capturés avec des méthodes non-létales dans la zone atelier Plaine et Val de Sèvre, dans 45 fenêtres de 1 km^2 constituant des gradients paysagers (surfaces d'éléments semi-naturels boisés (haies, bosquets, etc – ESNB), de prairies et de parcelles en agriculture biologique (AB)), dans différents habitats (haies, cultures de céréales et prairies) en agriculture conventionnelle (AC) ou en AB au printemps 2016. Le paysage autour des sites de capture a été caractérisé en termes de composition (surface des différents types d'occupation du sol et diversité des habitats, surface en AB) et de configuration (agrégation des prairies, agrégation des parcelles en AB, connectivité et juxtaposition des ESNB, taille moyenne des parcelles).

Les dosages révèlent la présence de 22 à 40 molécules par individu. Les résultats montrent une ubiquité de l'exposition, puisque des résidus de PPP sont détectés chez tous les animaux quel que soit le type d'habitat ou de pratique agricole (AC ou AB).

Ils montrent également une exposition systématique à des cocktails de fongicides, herbicides et insecticides. Les molécules les plus détectées en termes de fréquence (plus de 80 % des individus) et/ou de concentrations ([C] > 10 ppb) sont les suivants : époxiconazole, cyproconazole, propiconazole, prochloraz, azoxystrobine, carbendazime (fongicides), imidaclopride, thiaclopride, TCPy, CI2CA, 3-PBA, ClCF3CA, cyperméthrine, acétamipride (insecticides), metolachlore, MCPA, 2, 4-D, pendiméthaline, dimethachlore, mécoprop, prosulfocarb, dichloprop, lenacil, boscalide, aclonifen, chlortoluron (herbicides).

Les analyses montrent des différences entre le nombre de molécules détectées, les concentrations et les profils d'exposition aux différentes molécules entre les deux espèces. Elles montrent également des

différences d'exposition en fonction des variables locales telles que l'habitat et les pratiques agricoles, mais aussi en fonction des caractéristiques du paysage.

Mots-clés : faune non-cible, analyse multi-résidus, méthode non-létale, pesticides actuellement utilisés.

La transition agroécologique passe par des versants agricoles suffisamment résilients

Le Hénaff Guy

AgrEaunome, 89 route de l'Europe (89 hent Europa), 22860 Plourivo. le-henaff.guy@orange.fr

Des progrès techniques et technologiques importants s'appliquent aux pratiques intra-parcellaires de protection des cultures. Mais nombreux sont les signaux qui militent en faveur de plus de mise en place de dispositifs et d'aménagements, plutôt extra-parcellaires, permettant de consolider la transition agroécologique des versants agricoles. Sur le plan protection des cultures, le recours aux produits phytosanitaires va continuer à se complexifier avec les retraits et les réexamens à venir et avec l'application des mesures de gestion et de protection à venir. Ces mesures en devenir sont la protection des zones non cultivées adjacentes, l'atténuation du ruissellement, la protection des riverains et des personnes présentes. Inscrites dans les avis de mise sur le marché (Anses[17]) ces mesures de gestion ne sont pas appliquées ou encore à l'étude. Elles découlent des procédures d'évaluation, qui évaluent les risques liés à l'emploi des produits phytopharmaceutiques. Ces évaluations conduiront à la mise en œuvre prochaine des mesures de gestion règlementaires permettant de rendre acceptables les risques suivant : entrainement des substances pesticides par ruissellement, toxicité pour les zones non-cultivées adjacentes (arthropodes non cibles et plantes non cibles), dérive atmosphérique, protection des riverains…

La gestion et l'aménagement des territoires ruraux devront prendre en compte l'intégralité des pollutions diffuses par les pesticides, malheureusement les mesures prises actuellement ne sont pas à la hauteur des enjeux pourtant largement connus et décris depuis 2005[18]. Les plans Ecophyto successifs sont d'ailleurs notoirement insuffisants sur les prises en compte des transferts de pesticides. Sur le plan des enjeux hydrologiques, il convient aussi de mettre en place des moyens afin de revisiter les aménagements hydrauliques et de réaménager les versants agricoles en modifiant si besoin les aménagements hydrauliques drastiques des « trente glorieuses » et d'après !, en adaptant la taille des parcelles aux conditions pédoclimatiques et bien sûr en remettant l'arbre et les arbustes au sein des agrosystèmes. Il devient en effet urgent de tenir compte des autres aménités liées aux écosystèmes qui doivent être dotés d'une plus grande résilience. Car aux enjeux de protection des cultures durables s'ajoutent de nombreuses études qui évoquent notamment la baisse inquiétante de la biodiversité, dont l'ensemble des pollinisateurs et les oiseaux, et la nécessité d'anticiper le réchauffement climatique. Il est donc logique que l'agriculture de demain envisage au moins une gestion différenciée des bords de champs et utilise encore plus les services écosystémiques des différents éléments du paysage. Nous devons collectivement lancer une dynamique permettant d'aller vers des territoires plus fragmentés et plus résilients. Certains territoires confrontés à des enjeux forts (qualité des eaux, érosion et coulées de boues, …) sont déjà en marche depuis quelques décennies grâce aux prises de décision locales : Breizh Bocage en Bretagne, hydraulique douce en Haute Normandie, prévention des coulées de boues en Alsace…Mais les pouvoirs publics, les acteurs économiques et l'ensemble des collectivités doivent prendre la véritable mesure des enjeux et donc le « taureau par les cornes ».

La production agricole aura besoin de plus d'espaces de biodiversité et de zones humides, herbacées, arbustives et arborées, dans des paysages agraires réorganisés avec nécessairement une vision globale. Agir dans les champs à travers de nouvelles pratiques culturales est souhaitable, mais c'est de plus en plus insuffisant vis-à-vis des changements globaux. Le monde agricole devra enfin prendre ses entières responsabilités notamment vis à vis des pollutions diffuses et du réchauffement climatique. Certes des actions locales donnent de l'espoir, mais si l'on parle beaucoup des success-story, elles sont hélas trop peu nombreuses et parfois trop technologiques et trop dépendantes des aides publiques. A ce jour, même le développement d'une agriculture biologique « XXL et écologiquement intensive » donne à réfléchir compte tenu des impacts environnementaux, de l'élevage notamment.

---

17 Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

18 Expertise scientifique collective Inra-Cemagref (décembre 2005)

Bougeons-nous, car les actions actuelles sont sans commune mesure avec les besoins à moyens et longs termes de résilience de l'ensemble de nos bassins versants viticoles et agricoles, les nécessaires mesures d'anticipation du changement climatique et les besoins de protection des populations qui résident en campagne.

Mots clés : transition agroécologique - protection des cultures - versants agricoles - territoires résilients - hydraulique douce

Bibliographie

Bauer F., Dyson J., Le Hénaff G., Laabs V., Lembrich D., Maillet-Mezeray J., Réal B., Roettele M., 2013 - Ruissellement/érosion – Bonnes pratiques agricoles pour réduire la pollution de l'eau par les produits de protection des plantes due au ruissellement et à l'érosion. Dépliant de TOPPS-PROWADIS, UIPP, Arvalis, Irstea, 16 p.

Catalogne C., Le Hénaff G., et al -2016. Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole. Rapport Irstea-ONEMA élaboré dans le cadre du Groupe Technique Zones Tampons. ONEMA - Irstea, 69 p.

Le Hénaff G., - 2016. Vers un impact raisonnable des pesticides : Des zones tampons intégrés dans des paysages résilients pour l'atténuation des transferts hydriques au sein des bassins versants. 46e congrès du Groupe Français des Pesticides, mai 2016, Bordeaux.

Le Hénaff G., - 2016. Des paysages résilients pour une gestion durable des pesticides. AFPP – 23e conférence du COLUMA, Dijon ; 6, 7 ET 8 Décembre 2016, 10 p.

Notes

Avec le soutien de :

INRA SCIENCE & IMPACT
irstea LA SCIENCE AU CŒUR DE L'ENVIRONNEMENT
IRD Institut de Recherche pour le Développement FRANCE
Montpellier SupAgro
UC Institut National Universitaire Champollion
MUSE MONTPELLIER UNIVERSITÉ D'EXCELLENCE
MUSE MONTPELLIER UNIVERSITY OF EXCELLENCE MONTPELLIER VINE & WINE SCIENCES
INVESTISSEMENTS D'AVENIR
MUSE MONTPELLIER UNIVERSITY OF EXCELLENCE KEY INITIATIVE WATERS
La Région Occitanie Pyrénées - Méditerranée
IM2E Institut Montpelliérain de l'Eau et de l'Environnement
FONDATION ROVALTAIN Pour un monde sans pollution
Cil CLUZEAU INFO LABO
ThermoFisher SCIENTIFIC
CEM