

**Siège social et site de Liège :**

Rue du Chéra, 200

B-4000 Liège

Tél : +32(0)4 229 83 11

Fax : +32(0)4 252 46 65

Site web : <http://www.issep.be>

**Site de Colfontaine :**

Zoning A. Schweitzer

Rue de la Platinerie

B-7340 Colfontaine

Tél : +32(0)65 61 08 11

Fax : +32(0)65 61 08 08

## ARRETE DE SUBVENTION

**Objectivation de l'exposition des populations aux pulvérisations de produits  
phytopharmaceutiques en Wallonie et des mesures de protection destinées à limiter cette  
exposition – Etude PROPULPPP**

### SYNTHESE

Rapport n°04460/2018

Mars 2019

**I. Ruthy**

Attachée

Cellule Environnement et Santé  
Direction des Risques Chroniques  
ISSEP

**S. Remy**

Responsable

Cellule Environnement et Santé  
Direction des Risques Chroniques  
ISSEP

**M. Veschkens**

Responsable

Direction des Risques Chroniques  
ISSEP

**B. Huyghebaert**

J-L. Herman

O. Pigeon

CRA-W

**B. Schiffers**

ULiège

**Ch.Frippiat**

C.Nadin

S.Bémelmans

ISSEP



## Contact

Pour toute information complémentaire, merci de prendre contact avec l'ISSeP avec les moyens et adresses mentionnés ci-dessous :

ISSeP (Institut Scientifique de Service Public)

Rue du Chéra, 200

B-4000 Liège

Tél. : +32 4 229 83 11

Fax : +32 4 252 46 65

Courriels :

[s.remy@issep.be](mailto:s.remy@issep.be)

[i.ruthy@issep.be](mailto:i.ruthy@issep.be)

Ce projet, coordonné par l'ISSeP, a été réalisé en partenariat avec le Centre Wallon de Recherches agronomiques (CRA-W) et l'Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech.

**Dr Bruno Huyghebaert, Ir Jean-Luc Herman,  
Dr Olivier Pigeon**

CRAW – Département Agriculture et Milieu naturel

**Pr Bruno Schiffers**

ULiège – Gembloux Agro-Bio Tech

Laboratoire de Phytopharmacie

## Table des matières

Avant-propos.....	3
Remerciements .....	4
1 Contexte et objectifs de l'étude PROPULPPP.....	5
2 Méthodologie générale.....	8
3 Discussions et conclusions générales.....	9
4 Perspectives.....	19
5 Bibliographie.....	21

## Avant-propos

Ce document constitue une synthèse de l'ensemble des quatre volets du projet PROPULPPP. Les rapports spécifiques de chaque volet sont disponibles en annexe, ainsi que les rapports relatifs aux analyses des pesticides réalisées par les laboratoires-partenaires du CRA-W et de l'ISSEP.

Ont collaboré au projet PROPULPPP, entre autres sur le terrain ou en laboratoire :

### ISSEP :

Olivier Lemièrre, Guy Gérard, Thomas Rollo, Yves Deswaef, Anne Galloy, Christophe Fripiat, Caroline Nadin, Stéphanie Bemelmans, Mathieu Veschkens, Léa Champon, Matthieu Hémar

### CRA-W :

Jean-Luc Herman, Bruno Huyghebaert, Olivier Pigeon, Nathalie Ducat, Sébastien Fourmanoir, Dimitri Villette

### ULiège (Agro-BioTech Gembloux)

Bruno Schiffers, Guillaume Bergiers

## Liste des rapports (annexes)

- Volet 1 – Rapport de l'ISSEP, Mars 2019, 53p
- Volet 2 – Rapport du CRA-W et ULiège, Mars 2019, 24p
- Volet 3 – Rapport de l'ISSEP, Mars 2019, 18p
- Volet 4 – Rapport de ULiège (AgroBioTech), Décembre 2018, 98p
- Analyse des matières actives, par LC-MS/MS, des échantillons récoltés et extraits par l'ISSEP- Rapport CRA-W - U10, Janvier 2019, 43p
- Préparative et analyse de pesticides par LC-MS/MS – Rapport ISSEP-DLA-CCO, Jan. 2019, 14p
- Evaluation des risques pour la santé – Rapport de l'ISSEP, Mars 2019, 40p

Ce rapport constitue le livrable final du projet PROPULPPP, ayant pour mission l'objectivation de l'exposition des populations wallonnes aux pulvérisations de produits phytopharmaceutiques et la recommandation des mesures de protection destinées à la limiter en bordure des champs traités.

Les avis, opinions et recommandations délivrés dans le cadre de ce rapport sont établis sur base des données scientifiques et techniques et d'informations disponibles. Dans la mesure du possible, leur source est clairement mentionnée. Certaines sont également reprises intégralement en annexe. Bien que l'ISSeP procède à une vérification minutieuse de leur fiabilité, il ne pourra être tenu responsable des erreurs susceptibles de les affecter.

Les avis, opinions et recommandations délivrés par l'ISSeP dans le cadre de ce rapport ne constituent qu'une aide à la décision fournie aux pouvoirs publics, et ne préjugent en rien de l'utilisation finale qui en sera faite.

## Remerciements

Cette étude, financée par un arrêté de subvention ministériel, a été menée en partenariat avec le Département Agriculture et Milieu naturel du CRA-W et le laboratoire de Phytopharmacie de l'ULiège-Agro-Bio Tech.

Les auteurs souhaitent remercier toutes les personnes des institutions partenaires qui ont participé de près ou de loin à sa réalisation. Ce projet n'aurait pas pu aboutir sans toutes les petites mains, de l'ISSeP, du CRA-W, de ULiège, qui ont œuvré sans faillir, parfois dès l'aube, parfois jusqu'au crépuscule, au milieu des champs ou aux laboratoires ou encore dans les ateliers. Merci beaucoup à vous tous.

Les auteurs remercient les membres du comité de suivi scientifique et technique du projet PROPULPPP pour leurs conseils scientifiques et leur soutien durant tout le projet : Anne Galloy, Christophe Fripiat, Caroline Nadin, Guy Gérard, Mathieu Veschkens (ISSeP), Bruno Huyghebaert, Jean-Luc Herman, Olivier Pigeon, Nathalie Ducat, Alain Delvaux, Gilles Rousseau, Bernard Weickmans (CRA-W), Bruno Schiffers (ULiège-Agro-Bio Tech), Sven Abras, Renaud Baiwir (Cabinet du Ministre Di Antonio), François Paulus, Denis Godeaux, Christine Cuvelier, Philippe Delaunois, Olivier Miserque, Olivier Cappellen (SPW-DGO3), Vincent Dehon (PWRP), Laurence Janssens (CODER-CRP), Pieter Spanoghe, Michael Houbraken (UGent), Vincent Van Bol, Bram Vancompernelle (SPF-Santé publique), Bernard Decock (FWA), Maité Defourny (FUGEA), Lionel Delvaux, Xavier Delwarte (IEW).

Enfin, un tout grand merci aux agriculteurs, aux directeurs des écoles, aux riverains, aux représentants des communes qui ont coopéré à ce projet soit en communiquant leur programme d'applications, soit en acceptant l'installation des capteurs dans leur cour, leur jardin, leur commune.

# 1 Contexte et objectifs de l'étude PROPULPPP

L'utilisation des produits phytopharmaceutiques (communément appelés « pesticides »<sup>1</sup>) est une réalité indéniable dans nos campagnes. Cependant, il y a une volonté collective à mieux encadrer leur usage et à diminuer leur recours de par, entre autres, l'évolution de la lutte chimique vers la lutte intégrée (rendue obligatoire aujourd'hui) et les divers « Plans d'action » mis en place au niveau fédéral ou régional comme le National Action Plan (NAPAN), le Plan Wallon de Réduction des Pesticides (PWRP I, 2013 ; PWRP II, 2018) ou encore le plan ENVleS. Les risques liés à l'emploi de ces produits (substances actives et formulations) sont évalués avant leur mise sur le marché (Règlement (CE) 1107/2009) et une autorisation ne sera délivrée que si ces risques sont jugés « acceptables » pour la santé humaine, pour l'environnement. Néanmoins, comme toutes les substances actives (S.A.) ont diverses propriétés biologiques et un certain niveau de toxicité et d'écotoxicité, et que les quantités appliquées à chaque saison sont loin d'être négligeables (environ 7000 tonnes vendues annuellement en Belgique), on ne peut exclure que les pesticides aient potentiellement un impact sur la santé des opérateurs ou des consommateurs, mais aussi sur l'environnement (Martin *et al*, 2008 ; Ferragu *et al*, 2010 ; ESFA, 2014). Ils sont donc légitimement au centre des préoccupations des citoyens, et spécialement des riverains qui habitent à proximité des zones d'utilisation.

L'étude EXPOPESTEN avait pour objet la mesure dans l'air ambiant de plusieurs pesticides auxquels est exposée la population générale. La campagne de mesure s'est déroulée entre mai 2015 et mai 2016. Au terme de celles-ci, les résultats obtenus indiquent la présence de nombreux pesticides dans l'air ambiant, que ce soit en ville ou à la campagne. Des concentrations en pesticides sont détectées tout au long de l'année avec toutefois une saisonnalité prononcée : peu élevées en hiver, très importantes au printemps et plus modérées en été et automne (ISSeP, 2018). Cependant, les résultats d'EXPOPESTEN qui concernent la population générale ne présagent pas des risques pour les populations les plus exposées situées en bordure de champs. Or, l'exposition à proximité des lieux d'utilisation est bien plus importante suite aux phénomènes de dérive durant la pulvérisation et de volatilisation à partir du sol ou de la végétation par la suite (Inserm, 2013 ; Airparif, 2007).

Pour cette raison, le Service Public de Wallonie a décidé de financer un projet dénommé PROPULPPP ayant pour finalité « l'objectivation de l'exposition des populations aux pulvérisations de produits phytopharmaceutiques (ou PPP) en Wallonie et des mesures de protection destinées à limiter cette exposition ». Ce projet, réalisé en 2018, a été coordonné par l'ISSeP (Institut Scientifique de Service Public), en partenariat avec le Centre Wallon de Recherches agronomiques (CRA-W) et le Laboratoire de Phytopharmacie de Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège).

Les phénomènes de dérive, durant la pulvérisation et directement après, de même que ceux liés à la volatilisation post-application peuvent être une source d'exposition aux pesticides pour les personnes résidant dans le voisinage des cultures traitées. Selon les conditions météorologiques et les techniques d'application, une fraction plus ou moins importante (25 à 75%, voire 90% dans certaines situations) des pesticides appliqués se retrouvera dans l'air (der Werf & Zimmer, 1998; Bedos *et al*, 2002; Ravier *et al*, 2005 ; Jensen & Olesen, 2014) et pourra être transportée à plus ou moins longue distance. A terme, les aérosols et les pesticides associés aux particules en suspension

---

<sup>1</sup> Pesticides=produits phytopharmaceutiques (PPP) + biocides (définition complète sur [www.fytoweb.be](http://www.fytoweb.be))

vont se déposer à la surface du sol ou des objets situés dans un voisinage plus ou moins proche de l'émission. Le dépôt ne se fait donc pas toujours immédiatement dans les minutes qui suivent l'application et/ou à courte distance du point d'émission (Siebers *et al*, 2003 ; Houbraken *et al*, 2015a ; van den Zande *et al*, 2018).

Ces dernières années, un certain nombre de modèles, comme entre autres le « German Model » (Lundehn *et al.*, 1992), le « UK POEM » (*Predictive Operator Exposure Model*, [www.pesticides.gov.uk](http://www.pesticides.gov.uk)), « BREAM » (*Bystander and Resident Exposure Assessment Model*, Anon., 2011) et celui de l'EFSA (2014) ou encore BROWSE Project (Butler Ellis *et al*, 2017), ont été développés pour appréhender les risques de contamination encourus d'une part lors des opérations de pulvérisation par l'opérateur (*operator*) et le passant (*bystander*) et d'autre part après la pulvérisation par le travailleur rentrant dans la parcelle (*worker*) et la population se trouvant dans l'environnement plus ou moins immédiat de la zone d'émission (*resident*). Dans ces modèles, les sources et voies d'exposition retenues pour les personnes qui vivent, travaillent ou vont à l'école à proximité d'une zone traitée sont les suivantes :

- l'exposition par inhalation et par voie cutanée due à la dérive de pulvérisation au moment de l'application du produit ;
- l'exposition liée aux dépôts des gouttelettes de dérive de pulvérisation ;
- l'exposition liée aux pesticides présents dans l'air (vapeurs, aérosols, particules) après l'application, dans les heures et les jours qui suivent ;
- la contamination orale par transfert main-bouche ou objet-bouche pour les enfants ;
- l'exposition par entrée dans les cultures traitées.

La législation européenne impose, quant à elle, la protection des « groupes vulnérables ». Elle entend par là « les travailleurs et habitants fortement exposés aux pesticides sur le long terme ». Lors de la transposition de la Directive 2009/128/CE du Parlement et du Conseil européens du 21 octobre 2009, aucune mesure n'a été prévue pour protéger la population de la dérive des pulvérisations. Seuls les lieux publics et les « publics sensibles » ont été pris en compte, partiellement seulement pour ces derniers, puisqu'aucune mesure n'est prise au-delà de la limite foncière des parcelles fréquentées par ce public dit sensible. Actuellement, la législation wallonne impose aux cultivateurs le respect de bandes tampons pour la protection des eaux (la règle générale impose 6 m de zone non traitée le long d'un cours d'eau), mais aucun texte ne prévoyait (jusqu'en juin 2018) une distance à respecter entre les lieux de vie de la population et la limite de la zone d'application des pesticides.

Dans le contexte de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, même si les effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine sont de manière théorique pris en compte lors de l'agrément des produits en fonction de l'exposition (qui sert de base au calcul du risque), un certain nombre d'« accidents » sont rapportés par la presse et signalés dans diverses études qui semblent indiquer que l'exposition des populations riveraines de parcelles agricoles a été probablement sous-estimée.

Il est donc nécessaire d'agir, à la fois pour déterminer l'exposition réelle et pour protéger les populations qui vivent ou travaillent en bordure de parcelles agricoles. La déclaration de politique régionale du 25 juillet 2017 stipule d'ailleurs : « La Wallonie s'engagera résolument dans une

politique forte de prévention santé-environnement, afin de limiter au maximum les risques pour la santé humaine dus aux actions portées à l'environnement ».

En l'absence de données scientifiques précises sur l'exposition des populations riveraines, et donc l'effet sur la santé des produits phytopharmaceutiques, le principe de précaution oblige à mettre en place des mesures pour parvenir à une application compatible avec le développement durable en réduisant les risques et les effets des pesticides sur la santé humaine et sur l'environnement. Le Plan Wallon de Réduction des Pesticides (PWRP) prévoit d'ailleurs en son point 2.7.1. de « réduire l'impact du traitement d'une parcelle sur les surfaces non-cibles, en ce compris les habitations privées ». En date du 14 juin 2018, le Gouvernement Wallon a adopté un arrêté modifiant l'arrêté du 11 juillet 2013, relatif à une application des pesticides compatible avec le développement durable. Les mesures prises dans ce texte sont destinées à assurer une meilleure protection des publics vulnérables qui vivent et travaillent en bordure de parcelles agricoles. Elles visent à rendre obligatoires certaines pratiques limitant les dérives de pulvérisation. Ces mesures pourraient être revues ultérieurement en fonction des conclusions des études portant sur le sujet.

Les mesures obligatoires se basent à la fois sur les bonnes pratiques agricoles, les usages en vigueur dans les régions et pays voisins et le principe de précaution. Elles sont les suivantes (AGW de 14 juin 2018<sup>2</sup>):

- l'obligation d'utiliser, sur tout le territoire wallon, un matériel d'application adéquat bien réglé et en bon état, qui réduit la dérive de minimum 50% ;
- l'interdiction de démarrer les opérations d'application de produits phytopharmaceutiques si le vent a une vitesse supérieure à 20 km/h (soit 5,56 m/s) ;
- l'interdiction de pulvériser pendant les heures de fréquentation de certains lieux (cours de récréation et espaces habituellement fréquentés par les élèves dans l'enceinte des établissements scolaires et des internats ; espaces habituellement fréquentés par les enfants dans l'enceinte des crèches, des infrastructures d'accueil de l'enfance), à moins de 50 mètres de la limite foncière de ces lieux ;
- l'interdiction d'appliquer des produits phytopharmaceutiques dans et à proximité (à moins de 10 mètres ou 50 mètres sans que cette interdiction s'applique au-delà de la limite foncière) des lieux fréquentés par le public ou des groupes vulnérables (aires de jeux, aires de pic-nic, hôpitaux, maisons de santé, maisons de repos...).

Néanmoins, nonobstant l'adoption de ces mesures réglementaires, la Région Wallonne a souhaité disposer de données factuelles permettant d'objectiver le risque « riverains » vis-à-vis des pesticides épanchés en vue de décider des meilleures mesures de protection. L'objectivation des recommandations pour réduire l'exposition des populations en bordure des champs constitue l'objectif principal de l'étude PROPULPPP et passe par la rencontre de plusieurs objectifs spécifiques, à savoir :

---

<sup>2</sup> Arrêté du Gouvernement wallon modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 11 juillet 2013 relatif à une application des pesticides compatible avec le développement durable et modifiant le Livre II du Code de l'Environnement, contenant le Code de l'Eau et l'arrêté de l'Exécutif régional wallon du 5 novembre 1987 relatif à l'établissement d'un rapport sur l'état de l'environnement wallon (M.B. 28.06.2018).

- Evaluer l'exposition aux pesticides des populations riveraines des champs cultivés dans les 48h suivant l'application et à plus long terme (quelques semaines);
- Evaluer la manière dont l'exposition varie en fonction de l'éloignement à la source;
- Evaluer l'influence réelle sur l'exposition de paramètres de pulvérisation et de la présence d'une barrière physique en bordure de champ;
- Vérifier, par des mesures, que les modèles prédictifs d'exposition, entre autres employés lors de l'approbation des substances, permettent de couvrir raisonnablement le risque 'Riverains'.

## 2 Méthodologie générale

Le programme de travail du projet PROPULPPP comprend quatre volets expérimentaux :

1. Mesures de l'évolution de la teneur en PPP dans l'air en bordure de champ (entre 0 et 50 m) à différents temps (2h à 48h après l'application), via la mise en place d'un site expérimental ;

Ce volet consiste en la réalisation d'un plan d'expériences général pour mesurer, quantitativement et qualitativement, les pesticides dans l'air (dérive et volatilisation, vapeur et particules) en bordure de champs cultivés et traités selon la législation wallonne. Ses objectifs spécifiques sont l'évaluation de l'exposition aux pesticides des populations riveraines des champs cultivés dans les 24h/48h après l'application, l'évaluation de l'influence réelle de la présence d'une barrière physique et l'évaluation de la manière dont l'exposition varie en fonction de l'éloignement à la source.

2. Analyse approfondie de la dérive sédimentaire (aspect quantitatif), sur un site expérimental ;

Ce volet vise à fournir des données et informations complémentaires afin de mieux comprendre les paramètres qui influencent la dérive (application matinal, conditions météorologiques, buses anti-dérive, écrans de protection, distance,...), par le recours à un traceur hydrosoluble détectable par spectrophotométrie ou fluométrie et la réalisation de bilans massiques de la dérive. Les essais de ce volet se sont focalisés sur la dérive sédimentaire au moment de l'application ou directement après. Des essais en laboratoire et en « wind tunnel » ont permis de caractériser la porosité et l'efficacité anti-dérive d'un écran<sup>3</sup> (barrière).

3. Mesure de l'exposition à plus longue distance de l'application (> 100 m) et à plus long terme ;

Ce volet porte sur la mesure de l'exposition aux pesticides dans des zones éloignées des parcelles traitées. Les phénomènes susceptibles d'engendrer cette exposition peuvent durer de quelques jours à quelques semaines (voire plus). Ces mesures 'à plus longue distance' et 'plus longue durée' sont complémentaires des essais menés dans le volet 1, qui étudie la dispersion des pesticides depuis le champ traité à courte distance et à court-moyen terme.

---

<sup>3</sup> L'écran artificiel (barrière), utilisé dans le projet PROPULPPP (volets 1 et 2), est constitué d'une double couche de filet de protection (anti-insectes) transparent (50 gr/m<sup>2</sup>) de la marque HOWITEC Netting, d'une hauteur de 2 m.

4. Mesures de l'exposition dans des sites spécifiques riverains de champs (cours d'écoles et jardins de particuliers).

Ce volet concerne l'évaluation des expositions dans des situations « à risque ». L'exposition environnementale par contact et par inhalation est évaluée sur base de données de mesure sur des collecteurs, dans l'air extérieur (et à l'intérieur des écoles), chez des riverains et dans des lieux de vie des enfants (école et/ou crèche). L'évaluation de la contamination des surfaces à l'intérieur et à l'extérieur des écoles, avant et après la saison de pulvérisation, a également été réalisée via la collecte des poussières au sol dans les classes et sur les jeux extérieurs.

Ces essais se sont déroulés en Wallonie de mars à début septembre 2018. Les volets 1, 2 et 3 ont été menés à Gembloux sur des parcelles du CRA-W et le volet 4 dans diverses communes du Brabant Wallon et de la province de Namur.

### 3 Discussions et conclusions générales

La dérive et le transfert des PPP dans l'atmosphère sont gouvernées par des phénomènes complexes et qui sont largement étudiés. Il est néanmoins indispensable de bien définir les différents types de dérive qui peuvent être générés pendant et après l'application. Plusieurs voies de transfert des PPP vers l'atmosphère sont connues (Figure 3.1) : (a) directe, pendant l'application ou directement après ; (b) indirecte, en post-application :

- la dérive est généralement définie comme la fraction de pulvérisation qui au moment de l'application n'atteint pas la cible visée (définition de l'Observatoire des Résidus des Pesticides, France, *in* Guiral *et al*, 2016). Les pertes directes dans l'air peuvent se présenter sous forme d'aérosols<sup>4</sup> et en phase vapeur. Deux types de dérive sont identifiés :
  - la dérive sédimentaire (*particle or droplet drift*) : mouvement des gouttelettes de pulvérisation ou des particules solides de pesticides en dehors de la zone traitée au moment de l'application ou directement après, suivi de leur dépôt à proximité de la zone traitée (Guiral *et al*, 2016 ; omafra, Canada<sup>5</sup>).
  - la dérive gazeuse (*vapor drift*) : mouvement des vapeurs de pesticides en dehors de la zone traitée (évaporation des gouttelettes pulvérisées au moment de l'application) (omafra, Canada ; Zivan *et al*, 2016). Cette dérive est aussi appelée 'dérive aérienne' (airborne drift) : fraction du composé partant vers l'atmosphère au moment de l'application (Guiral *et al*, 2016).
- les pertes en post-application, parfois nommées dérive secondaire (*secondary drift*) (Zivan *et al*, 2017). Il s'agit de pertes de PPP par volatilisation depuis les surfaces traitées (sol/plante) et/ou par érosion éolienne. Dans le cadre de cette étude, la distinction entre la volatilisation depuis le sol et depuis le couvert végétal n'a pas été faite. Cette dernière est plus rapide et

---

<sup>4</sup> On définit les aérosols comme des suspensions de particules solides ou liquides dans l'air ambiant. Les aérosols liquides sont constitués de gouttelettes en suspension. Les aérosols solides sont constitués de particules solides mises ou remises en suspension

<sup>5</sup> Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales, Ontario, Canada <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/11-001.htm#intro>

plus intense (Lichiheb, 2014 ; Bedos *et al*, 2002, van den Berg *et al*, 1999). Les pertes en post-application se présentent, presque majoritairement, sous forme gazeuse, voire particulaire.

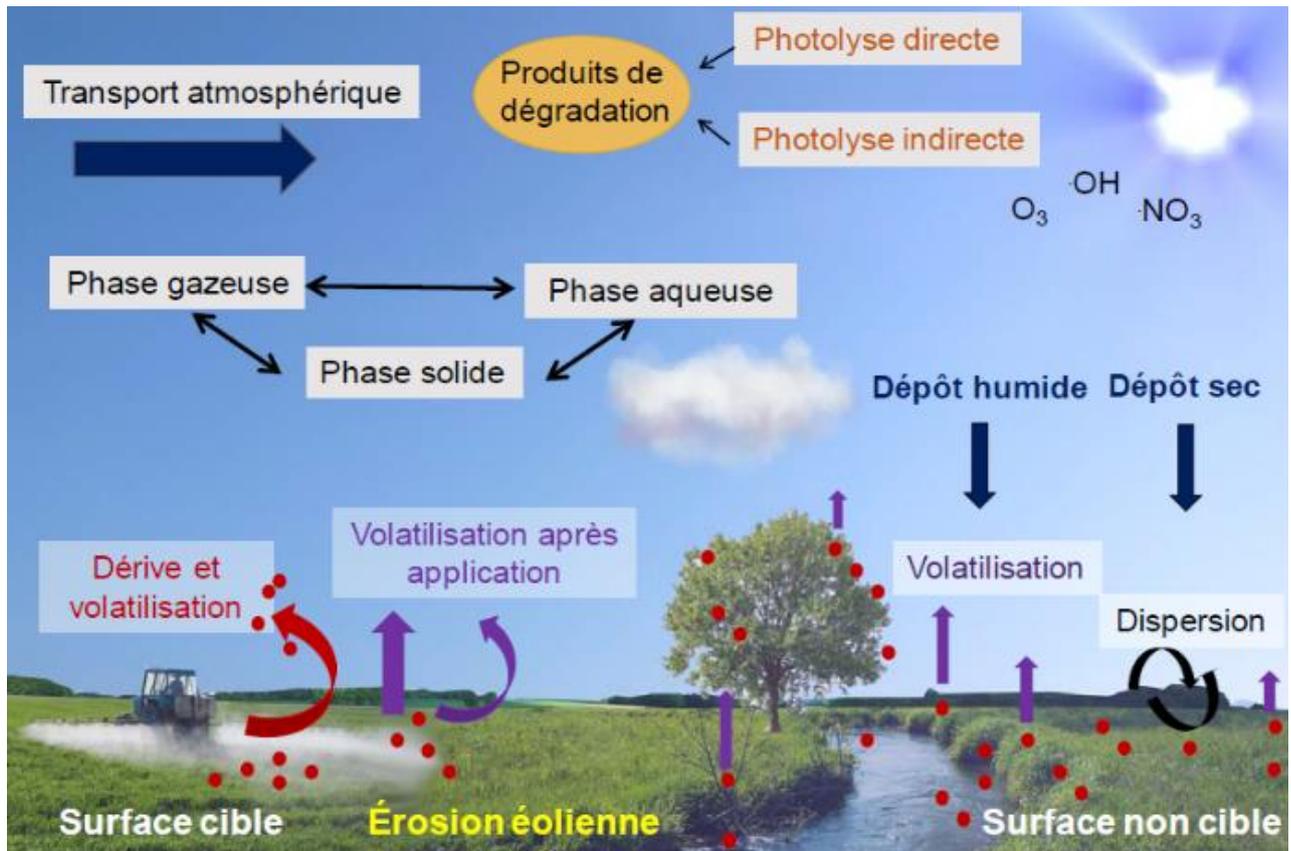


Figure 3.1: Schématisation du devenir des pesticides dans l'atmosphère (Socorro, 2015)

Trois types de capteurs ont été utilisés dans l'étude PROPULPPP, chacun collectant l'une et/ou l'autre fraction des PPP transférés dans l'atmosphère en dehors de la zone ciblée lors du traitement :

- les capteurs passifs horizontaux collectent les dépôts issus de la dérive sédimentaire (dérive immédiate). Ils sont posés sur le sol ou sur des supports surélevés par rapport à la végétation.
- les capteurs passifs verticaux peuvent collecter les dépôts (aérosols solides) issus de la dérive sédimentaire (en zone proche de la source émettrice) mais aussi les aérosols liquides (« brouillard de PPP ») et sans doute une fraction de la phase vapeur.
- les capteurs actifs 'Air' (échantillonneur à pompe aspirante) collectent les pesticides associés aux matières particulaires (aérosols fins) et à l'état gazeux (vapeur).

Lors des essais *in situ* du volet 4, des prélèvements sur les surfaces à l'extérieur et à l'intérieur des écoles ont été réalisés. A l'aide de collecteurs en coton, les sols des classes et les jeux extérieurs ont été 'nettoyés' en avril et en juin, couvrant ainsi une grande partie de la saison culturale. Les pesticides contenus dans ces poussières ont ensuite été analysés.

Des différents essais réalisés dans le projet PROPULPPP durant le printemps et l'été 2018, plusieurs enseignements peuvent être tirés.

## Effet des moyens techniques (buses et barrières anti-dérive)

L'utilisation de buses anti-dérive permet de réduire concrètement et significativement la dérive sédimentaire. En moyenne et comparativement à une buse classique sans réduction de dérive, les essais menés (volet 2) montrent qu'une buse 50 % permet de diviser par deux la dérive et une buse 75 % la divise par trois. Ce rabattement important de la dérive est observé sur les 10 premiers mètres jouxtant la parcelle pulvérisée. Au-delà, la dérive résiduelle est toujours inférieure à 0,5 % quel que soit le type de buses de pulvérisation utilisé. L'effet positif de leur utilisation sur la réduction de dérive n'a pas toujours été observé au niveau du volet 4. Les résultats confirment que les conditions météorologiques (direction et vitesse du vent) semblent influencer l'efficacité des buses anti-dérive.

L'installation d'un écran (barrière)<sup>6</sup> en bord de parcelle permet de réduire majoritairement la dérive sédimentaire des pesticides. La barrière est davantage efficace dans les zones proches du champ (6 m) où dans 67 % des observations, la quantité de pesticides mesurées dans la zone avec la barrière est inférieure à celle dans la zone sans barrière. Dans les 10 mètres à partir de la barrière, cette dernière a permis de réduire la quantité de pesticides dans environ 50 % des cas. Les taux de réduction (rabattement) mesurés entre les configurations sans barrière et avec barrière sont très variables (réduction très faible (< 5%) à totale (100 %)), mais majoritairement (> 50 % des cas) ils ne dépassent pas 50 % (volet 1). Les résultats du volet 2 conduisent au même constat. Le total cumulé des pourcentages de dérive<sup>7</sup> observés à toutes les distances, pour l'ensemble des essais, pour les essais du matin et ceux de l'après-midi, montre une diminution globale de la dérive grâce à la présence d'un écran de l'ordre de  $\approx$  25 %. L'effet se marque nettement jusqu'à une dizaine de mètres. Au-delà, les modalités avec ou sans écran ne se distinguent plus l'une de l'autre.

La barrière est plus efficace dans les deux premières heures qui suivent l'application où une réduction est mesurée dans 70 % des observations avec des taux de réduction majoritairement > 40 % (volet 1). La barrière continue, cependant, à réduire la quantité de pesticides transférés dans l'air, dans les 12 h qui suivent la pulvérisation (65 % d'observations positives mais avec un taux de réduction plus faible, essentiellement 10 à 20 %, voire 40 %). Au-delà (après 12 heures), l'effet positif se réduit. Dans moins d'un cas sur deux, une réduction est observée et souvent avec de faibles % de réduction, essentiellement 10 %-20 %)

Les tests réalisés en tunnel à vent indiquent, comme attendu, que lorsque la porosité de l'écran diminue, la vitesse du vent en aval diminue également et l'interception des gouttes de pulvérisation augmente. Les deux phénomènes peuvent être antagonistes. Lorsque la porosité est trop faible (ex : mur), le flux d'air saute l'obstacle et la réduction de dérive est faible. Un écran d'une porosité de 36 % et d'une hauteur de 2 m donne de bons résultats en termes de réduction de dérive selon De Schampheleire *et al.* (2009). Dans le cadre du projet PROPULPPP, l'écran utilisé, haut de 2 m, présentait une porosité de 60 %, permettant une réduction de vitesse du vent de 21 %.

Ainsi, le recours à des moyens techniques (buses anti-dérive et installation d'un écran) permettent de lutter concrètement et pratiquement contre la dérive en bordure immédiate du champ (< 10 m) et durant la période qui suit directement la pulvérisation (dans les 2 heures, voire les 12 heures qui suivent l'application).

---

<sup>6</sup> Filet 'anti-insectes' en double couche, hauteur de 2 m.

<sup>7</sup> % de dérive = le rapport entre la quantité de S.A. collectée par unité de surface et la dose appliquée de S.A. (quantité pulvérisée à l'hectare).

## Effet de la distance

Les dépôts mesurés sur les collecteurs passifs horizontaux diminuent avec l'éloignement de la zone de pulvérisation, conformément à ce qui était attendu. Cette diminution est particulièrement marquée sur les premiers mètres (volets 1 et 4). Selon les S.A., les quantités déposées sont de l'ordre de quelques dizaines de ng/m<sup>2</sup> à quelques dizaines de µg/m<sup>2</sup> (voire quelques mg/m<sup>2</sup>). Le Tableau 3.1 présente les quantités cumulées sur les capteurs passifs horizontaux sur les 48 h qui suivent la pulvérisation pour les 5 S.A. les plus utilisées en Wallonie (selon les données '2016' de DAEA, SPW).

**Tableau 3.1: Dépôts mesurés au sol pour les 5 S.A. les plus utilisées en Wallonie en 2016 - Quantités totales déposées pendant les 2 jours qui suivent l'application à 10 et 50 m en bord du champ**

<b>Quantités déposées sur les capteurs passifs horizontaux durant les 48 heures qui suivent l'application (µg/m<sup>2</sup>) à 10 et 50 m du bord du champ</b>				
S.A. (classées selon la quantité utilisée en 2016 en Wallonie, source : DAEA)	zone <u>sans</u> barrière		zone <u>avec</u> barrière	
	à 10 m	à 50 m	à 10 m	à 50 m
Glyphosate (H)	14	5,5	6,4	12,5
Prosulfocarbe (H)	1470	611	922	505
Cymoxanil (F)	94	15,5	85	39,5
Flufenacet (H)	18,5	4,4	13	3,6
Terbutylazine (H)	28	6,2	21	9,9

H : herbicide ; F : fongicide

Les résultats des échantillons collectés sur les collecteurs passifs verticaux, permettant de collecter les pesticides présents dans l'air (vapeur/gouttelettes et aérosols) entre 50 cm et 1 m du sol, montrent des variations irrégulières, généralement décroissantes, en fonction de la distance (volet 1). Dans le Tableau 3.2, sont reprises les quantités cumulées sur les 48h qui suivent l'application sur les capteurs verticaux pour les 5 S.A. les plus utilisées en Wallonie (selon les données de 2016' de la DAEA, SPW). Ce constat pourrait s'expliquer par un phénomène de stagnation/mélange des pesticides mis en suspension dû aux conditions météorologiques (entre autres, vent faible à nul et de direction parfois changeante). Les résultats des observations des essais dans les écoles (volet 4), montrent que les quantités de PPP collectées sur des panneaux après 10 semaines en bordure de champ et dans le fond de la cour (30 à 40 m du champ) diffèrent peu.

**Tableau 3.2: Dépôts collectés sur les capteurs passifs verticaux pour les 5 S.A. les plus utilisées en Wallonie en 2016 – Quantités totales collectées pendant les 2 jours qui suivent l'application à 10 et 50 m en bord du champ**

<b>Quantités interceptés par les capteurs passifs verticaux durant les 48 heures qui suivent l'application (µg/m<sup>2</sup>) à 10 et 50 m du bord du champ</b>				
S.A. (classées selon la quantité utilisée en 2016 en Wallonie, source : DAEA)	zone <u>sans</u> barrière		zone <u>avec</u> barrière	
	à 10 m	à 50 m	à 10 m	à 50 m
Glyphosate (H)	2,3	0,85	0,9	1,5
Prosulfocarbe (H)	3206	822	1135	660
Cymoxanil (F)	154	32	198	65
Flufenacet (H)	17,5	1,6	4,9	0,96
Terbutylazine (H)	31	3	12,9	9,6

H : herbicide ; F : fongicide

Les mesures via les capteurs actifs 'air' (fraction gazeuse et particulaire de la dérive) ne montrent pas de tendance nette à la diminution des concentrations de pesticide dans l'air en fonction de la distance au champ. Souvent, les capteurs situés à 6 m du champ présentent les concentrations les plus élevées (Tableau 3.3). Mais ce n'est pas une généralité. Dans les 2 h qui suivent l'application, les concentrations maximales sont parfois mesurées à 10 m ou 25 m du champ (volet 1).

**Tableau 3.3: Concentrations mesurées dans l'air pour les 5 S.A. les plus utilisées en Wallonie en 2016**

S.A. (classées selon la quantité utilisée en 2016 en Wallonie, source : DAEA)	PROPULPPP (volet1) - Air - Zone sans barrière (X) – Été 2018				EXPOPESTEN - Air ambiant (éch. 14 jours; 28/05/2015-26/05/2016)	
	Concentration 6 m, 0-24h	Concentration 50 m, 0-24h	Concentration 6 m, 0-48h	Concentration 50 m, 0-48h	Gamme (min - max)	Moyenne ± SD
ng/m <sup>3</sup>						
Glyphosate (H)	non étudié via les capteurs actifs 'Air'				non étudié	
Prosulfocarbe (H)	695,6	11,8	404,6	42,6	0,11 - 3,14	0,52 ± 0,63
Cymoxanil (F)	3,25	0,34	6,1	0,42	0,04 - 0,97	0,22 ± 0,21
Flufenacet (H)	0,21	0,18	0,14	0,13	non étudié	
Terbutylazine (H)	0,48	1,9	0,3	2,9	0,05 - 0,45	0,14 ± 0,08

Les résultats montrent aussi que le transport des pesticides dans l'air bien au-delà des zones proches des champs traités est bien observé (volet 3). Des concentrations en cymoxanil, de l'ordre de 0,5 ng/m<sup>3</sup> équivalentes à celles observées à 50 m du champ, ont été mesurées sur des capteurs situés à plus d'un kilomètre du champ traité. Les résultats de l'étude EXPOPESTEN ont indiqué que les concentrations en pesticides dans l'air ambiant sont de l'ordre du ng/m<sup>3</sup>. Dans les localités agricoles, telle que Gembloux, des mesures supérieures à 1 ng/m<sup>3</sup> ont été observées régulièrement (ISSeP, 2018).

On constate donc une réduction forte des dépôts dans les 10 premiers mètres, par rapport à la bordure du champ sur les capteurs passifs horizontaux et même verticaux, dépôts liés au phénomène de dérive sédimentaire. Au-delà de 10 m, la dispersion des pesticides dans l'environnement semble davantage régie par la volatilisation (avec des concentrations en PPP plus élevées sur les capteurs passifs verticaux et sur les capteurs actifs 'Air' éloignés du champ), phénomène de dérive gazeuse et, sans doute aussi déjà de pertes post-application. Le risque d'exposition par inhalation devient donc prépondérant par rapport au risque d'exposition par voie cutanée.

### Effet du temps

La diminution des concentrations en pesticides en fonction du temps depuis la pulvérisation est bien observée pour les collecteurs passifs, essentiellement pour les capteurs horizontaux (dépôts). La diminution des dépôts est principalement marquée dans les premières heures qui suivent l'application (h+2). Par la suite, les teneurs continuent à décroître mais de manière moins significative, les quantités captées restant non négligeables (de plusieurs centaines de ng/m<sup>2</sup> à plusieurs dizaines de µg/m<sup>2</sup>). Le Tableau 3.4 présente les dépôts sur les capteurs passifs horizontaux sur les 2 premières heures et le jour suivant (24-48h) la pulvérisation pour les 5 S.A. les plus utilisées en Wallonie. L'analyse des dépôts au cours du temps indique que, plus de 80 % de la quantité totale (collectée sur 48 h) se dépose durant le premier jour qui suit la pulvérisation. Plus on s'éloigne du champ traité, plus le rapport entre la quantité déposée pendant les deux premières heures qui

suivent l'application et celle déposée pendant toute la durée de l'essai est petit (volet 1). Dans l'un des essais *in situ* (volet 4), aucune substance active n'a été détectée sur les capteurs placés au sol dans les deux premières heures suivant l'application, mais 24 heures après les substances pulvérisées ont été détectées sur la quasi-totalité des collecteurs placés au sol.

**Tableau 3.4: Dépôts mesurés au sol pour les 5 S.A. les plus utilisées en Wallonie en 2016 – Quantités déposées pendant les 2<sup>ières</sup> heures qui suivent l'application et le jour suivant à 10 m du bord du champ**

Quantités déposées sur les capteurs passifs horizontaux à 10 m du bord du champ ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) durant les 2 premières heures qui suivent l'application et la journée suivante (J+1)				
S.A. (classées selon la quantité utilisée en 2016 en Wallonie, source : DAEA)	zone <u>sans</u> barrière		zone <u>avec</u> barrière	
	0-2h	24-48h	0-2h	24-48h
Glyphosate (H)	14	non détecté	6,1	non détecté
Prosulfoarbe (H)	734,5	87,9	340,2	49
Cymoxanil (F)	5,2	6,1	5,4	9,5
Flufenacet (H)	16	0,53	9,9	0,8
Terbuthylazine (H)	22,3	1,3	13,4	1,9

H : herbicide ; F : fongicide

Dans l'air (phase particulaire et phase gazeuse, via les capteurs actifs), la diminution des pesticides en fonction du temps n'est pas généralisable. Certaines S.A. présentent des pics de concentrations bien au-delà des deux premières heures après la pulvérisation. La majorité des concentrations mesurées dans l'air ne l'est pas nécessairement immédiatement après la pulvérisation. En zone rapprochée du champ traité (0 à 10 m), les concentrations en pesticides dans l'air sont plus élevées durant les 12 premières heures qui suivent l'application. Plus on s'éloigne du champ traité, plus il arrive que les concentrations élevées se retrouvent dans les pas de temps 12-24h et 24-48h. Cette observation pourrait s'expliquer par la dispersion progressive des pesticides présents en suspension dans l'air, sous forme gazeuse, voire particulaire, en dehors de la zone cible.

De manière analogue pour les collecteurs verticaux (qui captent, entre autres, les aérosols), on constate que les quantités collectées durant les pas de temps 12-24h et 24-48h peuvent être plus importantes que pendant les premiers pas de temps (0-2h, 2-12h). Les conditions météorologiques (vent faible à nul favorisant la stagnation des produits dans l'air ; vent élevé favorisant, ensuite, la dispersion) peuvent en partie expliquer ces observations.

Ainsi, globalement, la quantité de pesticides collectés (sur les dépôts et dans l'air), en bordure de champ diminue en fonction du temps écoulé depuis la pulvérisation mais cette réduction n'est pas généralisable. En effet, on a observé, dans plusieurs des essais réalisés, que les quantités mesurées sur les collecteurs (au sol ou verticaux) sont plus importantes après 24 h et/ou 48 h que directement après l'application. Cette observation se marque aussi très nettement sur les capteurs actifs 'Air' (vapeurs de pesticides).

### Effet des paramètres physico-chimiques

Les résultats des essais sur le site expérimental et des essais *in situ* ne permettent pas de lier explicitement la quantité de PPP mesurée dans l'air et la pression de vapeur de la substance active. Le nombre d'essais réalisés dans ce projet n'est pas suffisamment important pour pouvoir tirer des

conclusions fiables sur la relation entre volatilisation et pression de vapeur. D'autant plus que les adjuvants et les types de formulation affectent la pression de vapeur 'initiale' de la S.A. (Butler Ellis *et al*, 2010b ; Houbraken *et al*, 2015a ; Houbraken *et al*, 2015b). Dès lors, il est difficile d'évaluer la volatilité réelle des produits formulés (Houbraken *et al*, 2018). De plus, la liste et les teneurs individuelles des co-formulants entrant avec les S.A. dans la composition des produits commerciaux, bien que fournies aux autorités compétentes, est confidentielle (secret industriel).

Par exemple, la clomazone, substance active la plus volatile des produits étudiés dans ce projet, ne figure pas dans le trio de tête en termes de concentrations totales dans l'air mesurées pendant les 2 jours de mesures (volet 1). La formulation du pesticide permet d'expliquer cette position, non attendue, dans le classement. En effet, comme d'autres S.A. présentant un risque important de volatilisation (Wienhold et Gish, 1994), la clomazone est encapsulée (formulation CS : capsule suspension). Cette technique réduit très fortement la volatilité (Schreiber *et al*, 2015 ; Schreiber *et al*, 2016).

La dégradation atmosphérique, mesurée par la  $DT_{50}$  dans l'air, est aussi un facteur à prendre en compte dans le transport des pesticides sur de longues distances. Récemment, il a été montré que la durée de vie atmosphérique des pesticides est sous-estimée, détermination basée sur leur réactivité en phase gazeuse. Or, les pesticides semi-volatils s'adsorbent sur les particules atmosphériques. Ces pesticides peuvent, dès lors, être relativement persistants et transportés sur de longues distances (Socorro *et al*, 2016).

### Effet des conditions météorologiques

Vu le caractère local et difficilement extrapolable des conditions météorologiques, vu la volonté de travailler en conditions réelles et donc la difficulté de la répétabilité des essais, et de surcroît, vu le nombre limité d'essais, la généralisation de la prise en compte des conditions météorologiques s'avère délicate. Les essais du volet 2 montrent que, contrairement à ce qui était attendu, la dérive a été moins importante l'après-midi que le matin (conditions théoriquement moins favorables à la dérive). On s'attendait à avoir des conditions différentes qui impacteraient les résultats. L'effet n'a pas été ce qui était prévu. Il est donc difficile de donner une explication sur base d'un essai. Néanmoins, le choix du moment de la pulvérisation est important (tant pour l'efficacité du traitement que pour limiter la dérive). Les bonnes pratiques agricoles s'accordent à conseiller une pulvérisation en matinée ou en soirée. En effet, les conditions agronomiques idéales de pulvérisation sont une hygrométrie élevée (> 60 %) et une température relativement moyenne ( $\pm 12^\circ \text{C}$ ). Il faut aussi ajouter un vent nul à faible. Ces conditions permettent aux gouttes de conserver leur taille initiale. En conséquence, les gouttes sédimentent plus rapidement sur la cible. Ce qui améliore la qualité du dépôt de pulvérisation et l'efficacité du traitement. Ces conditions sont souvent observées au lever du soleil. Lorsque la température augmente et donc que l'humidité relative baisse, l'évaporation de l'eau des gouttelettes de pulvérisation est plus rapide, diminuant leur diamètre, ce qui favorise leur transport par le vent (qui souvent augmente en cours de journée).

Le bilan climatique saisonnier de l'IRM de l'été 2018 classe cette saison en très anormale (pour les précipitations) à exceptionnelle (pour les températures) (IRM, 2018). Ces conditions climatiques, qui risquent de se reproduire de plus en plus fréquemment, sont, sans doute, l'un des éléments ayant favorisé le transport des pesticides pulvérisés sur les parcelles étudiées sur de longues distances (observations faites dans les essais des volets 3 et 4).

## Omniprésence et diversité des S.A.

L'examen des S.A. mesurées au niveau des collecteurs passifs (horizontaux et verticaux) ou des capteurs actifs (pompes à air) montre la diversité des PPP rencontrés mais aussi l'omniprésence de certaines substances dans notre environnement pendant les périodes de pulvérisation, y compris plusieurs substances qui ne sont plus approuvées. En effet, les analyses multi-résidus (screening) des capteurs passifs verticaux installés durant 10 semaines dans les écoles et chez les riverains (essais *in situ*) ont mis en évidence un nombre élevé de S.A. Les résultats sont globalement comparables entre les sites mais en réalité ce ne sont pas les mêmes S.A. qui contribuent le plus à la contamination (Tableau 3.5). Les résultats plus élevés des riverains sont, en partie, imputables aux panneaux installés chez des riverains qui habitent à proximité de vergers.

**Tableau 3.5: Récapitulatif des mesures obtenues à l'aide de capteurs passifs verticaux placés dans les écoles (cour) ou chez les riverains (jardin)**

	Sites des écoles	Sites riverains
Nombre de localisations analysées	12	10
Nombre total de S.A. identifiées	111	109
Nombre moyen de S.A. par localisation	49	58
Dépôt cumulé moyen par localisation ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )	101,4	178,8
Nombre de S.A. présentes dans 100% des analyses	16	17
Nombre de S.A. qui ont un dépôt > 1 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	11	15

Cette omniprésence des S.A. avait déjà été épinglée dans l'étude EXPOPESTEN (Tableau 3.6). Ainsi, à Gembloux, la station située dans le centre du village, 22 S.A. différentes ont été mesurées sur l'ensemble de l'année culturale. C'est à Gembloux que la plus grande concentration totale en pesticides a été observée attribuable en grande partie au chlorothalonil (ISSeP, 2018).

**Tableau 3.6: EXPOPESTEN: Nombre de pesticides différents mesurés à des concentrations supérieures à leur LOQ, moyennes des concentrations totales mesurées ainsi que la concentration maximale mesurée dans les sites d'échantillonnage 'Station de typologie agricole' entre le 28 mai 2015 et le 26 mai 2016 (ISSeP, 2018)**

Localité d'échantillonnage & Typologie de la station		Total des pesticides mesurés dans l'air ambiant		
		Nb pest. (46 S.A. recherchées)	Moyenne $\pm$ SD ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	Max ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )
Gembloux	Agricole mixte (grandes cultures)	22	2,02 $\pm$ 4,26	18,76
Louvain-la-Neuve	Agricole mixte (grandes cultures)	23	2,34 $\pm$ 3,55	14,24
Dour	Agricole (pomme de terre)	23	2,22 $\pm$ 2,07	6,53
Tinlot	Agricole (maraîchage)	20	2,43 $\pm$ 2,87	12,11
Oupeye	Agricole (vergers)	28	4,20 $\pm$ 4,26	12,76

L'analyse des dépôts sur les surfaces à l'intérieur (sol des classes) et à l'extérieur (jeux dans la cour) des écoles confirme la présence récurrente de nombreuses S.A. dans l'air ambiant et à proximité des champs cultivés, avec une nette augmentation entre avril et juin. La contamination dans les classes est bien principalement attribuable aux PPP mais le risque lié à l'usage des biocides et autres dans les locaux devrait être mieux évalué. Le nombre de S.A. à usage non agricole dans les dépôts collectés sur les jeux extérieurs est logiquement beaucoup moins important que pour les sols de classe,

respectivement 8 % (tant en avril qu'en juin) et, 19 % (avril) et 12 % (juin) du nombre total de S.A. identifiés (volet 4).

Une des écoles suivies se situe à côté d'un champ de froment référencé en cultures biologiques. Bien qu'en quantités moindres, de nombreuses S.A., non agréées en bio, collectées via les capteurs passifs et la pompe à air ou encore retrouvées sur les jeux extérieurs et dans les classes ont été quantifiées.

### Evaluation des risques pour la santé

L'évaluation des risques pour la santé a été réalisée avec le modèle de l'EFSA (2014) utilisé au niveau européen pour l'agrément des S.A. et au niveau du Service Public Fédéral pour l'agrément des produits phytopharmaceutiques. Ce modèle permet de calculer les risques pour les opérateurs, travailleurs, passants et riverains lors de l'application des PPP.

Les risques chroniques pour les riverains sont calculés sur base des équations de l'EFSA, en utilisant les données de terrain (quantités de ppp déposés et présentes dans l'air) collectées dans le cadre du projet et, sur base du calculateur EFSA directement avec les paramètres de pulvérisation.

Que les risques soient calculés avec le calculateur EFSA ou avec les données PROPULPPP, les résultats indiquent que les risques ne peuvent être exclus pour une ou plusieurs S.A. à 10 m.

Selon les résultats obtenus, les risques sont essentiellement attribuables à l'exposition à la dérive de pulvérisation dans les deux heures qui suivent le début de l'épandage. Les risques sont fournis par S.A. Les indices de risque par pulvérisation fournissent une image du risque total (cumulatif ?) des S.A. sans toutefois tenir compte des S.A. présentes dans l'environnement via d'autres épandages ou dans les lieux de vie.

Concernant l'estimation des concentrations dans l'air, le modèle peut être considéré comme sécuritaire bien que pour 2 S.A. la marge de sécurité était plutôt faible. En revanche, le modèle n'est pas particulièrement sécuritaire, voire pas assez, lors de l'estimation des dépôts sédimentaires en bordure de champ proche. Une explication pourrait être la vitesse du vent par défaut retenue par le modèle (9,2km/h) pour le calcul de la dérive.

Concernant le facteur d'absorption dermique, les valeurs communiquées par le SPF pour les S.A. étudiées dans PROPULPPP sont beaucoup plus faibles que la valeur par défaut préconisée par l'EFSA. Ce paramètre influence considérablement vers le bas les valeurs risques calculés.

Le modèle fournit des estimations d'exposition et des risques à des distances de 2-3m, 5m et 10m mais pas au-delà. Or dans PROPULPPP on a mesuré des résidus de pesticides dans l'air et des dépôts à des distances de 25 et 50m.

La durée d'exposition aux dépôts est limitée à deux heures dans le modèle. Or dans PROPULPPP, on a constaté que les dépôts sédimentaires continuent à se déposer et probablement s'accumuler dans les 12h, 24h voire 48h après la pulvérisation. La question de l'adéquation du temps d'exposition aux dépôts considéré par l'EFSA est posée. Une étude sur l'accumulation / dégradation des dépôts au cours du temps permettrait de répondre à cette question

A des distances et des temps supérieurs à ceux qui sont considérés dans les scénarios de l'EFSA, les quantités de pesticides liés à l'application sont beaucoup moindres qu'en bordure de champs mais les S.A. en provenance d'autres champs s'ajoutent. C'est ce qui explique en partie la détection de

nombreuses S.A. dans le volet 4 ou dans EXPOPESTEN (ISSeP, 2018). En réalité, particulièrement en milieu agricole, l'exposition est rarement limitée aux quelques S.A. épandues en bordure de propriété. Ces expositions multiples, bien réelles, ne sont cependant pas prises en compte par les modèles de type EFSA.

#### Les résultats PROPULPPP en regard des mesures adoptées par le gouvernement wallon (AGW 14/06/2018)

- obligation d'utiliser un matériel d'application adéquat bien réglé et en bon état, qui réduit la dérive de minimum 50%

Ainsi, l'utilisation de buses anti-dérive (50 %, 75 %) semble adéquate pour réduire l'exposition des riverains aux pesticides pulvérisés. Son effet est nettement positif dans les 10 premiers mètres, en bordure du champ traité, notamment sur la dérive sédimentaire.

- interdiction de pulvériser si la vitesse du vent est supérieure ou égale à 20 km/h.

Le nombre d'essais restreint et avec des conditions météorologiques intra et inter-essais variables ne permet pas de statuer sur ce point. Mais, selon les bonnes pratiques agricoles, il est recommandé de pulvériser par vent faible à modéré (10 km/h) et sans rafales (conditions idéales).

- interdiction d'appliquer des pesticides près des lieux sensibles (écoles, crèches...) pendant les heures de fréquentation de ces lieux, à moins de 50 m de leur limite foncière.

Il est évidemment pertinent de ne pas autoriser l'application de pesticides pendant les heures de fréquentation des lieux accueillant des publics sensibles, notamment pour éviter les impacts négatifs de la dérive immédiate, essentiellement la dérive sédimentaire (donc les dépôts).

Cette restriction semble moins pertinente pour l'exposition aux pesticides via la volatilisation et les dépôts 'verticaux', liés aux aérosols et à la phase vapeur.

Sur base des essais réalisés, à 50 m du bord du champ, avec les collecteurs passifs horizontaux, un taux d'abattement<sup>8</sup> supérieur à 90 % (calculé par rapport aux dépôts à 1 m cumulés sur les 48 h de mesures) est observé pour toutes les S.A. étudiées. Avec les collecteurs passifs verticaux, le constat est similaire excepté pour une S.A. où le taux d'abattement à 50 m calculé est de 64 %.

- interdiction d'appliquer des PPP dans et à proximité (à moins de 10 mètres ou 50 mètres sans que cette interdiction s'applique au-delà de la limite foncière) des lieux fréquentés par le public ou des groupes vulnérables.

Comme mentionné dans le paragraphe précédent, les mesures réglementaires relatives aux distances vis-à-vis des lieux publics permettent essentiellement de réduire l'exposition liée aux dépôts. Plusieurs résultats de l'étude ont montré que, via la phase gazeuse et particulaire, les pesticides peuvent parcourir de grandes distances dans l'air et que les populations s'exposent à un cocktail de S.A. Il a aussi été démontré que malgré la présence de murs, de haies, de route,...les dépôts étaient mesurés loin à l'intérieur des cours de

---

<sup>8</sup> Taux d'abattement (en %) =  $\frac{Pe - Ps}{Pe} \times 100$  où Pe est la valeur du paramètre à l'entrée et Ps, la valeur du paramètre à la sortie

récréation. Les S.A. se déposent sur les surfaces (dont les jeux d'enfants) durant la saison et on peut poser l'hypothèse qu'elles se déposent également progressivement dans les salles de classe, via le piétinement notamment.

- Bien que non reprise dans la nouvelle réglementation, la mise en place d'un écran entre les champs et les sites sensibles (écoles, crèches, hôpitaux, terrains de sport...) semble une voie efficace pour réduire l'exposition aux pesticides, essentiellement via la dérive sédimentaire. Les essais menés donnent des perspectives encourageantes. Cependant, ils sont en nombre insuffisant. De nouveaux essais avec des configurations différentes seraient nécessaires pour investiguer divers paramètres les que les types d'écrans, hauteurs et largeurs.

## 4 Perspectives

L'étude PROPULPPP a permis de collecter de nombreuses données, conduisant à des enseignements utiles afin de mieux cerner les voies d'exposition des riverains aux pesticides appliqués dans les champs. Cependant, les essais n'ont été menés que sur une saison culturale aux conditions météo particulières et ont visé un nombre limité de cultures, essentiellement les grandes cultures, alors qu'il est connu que les risques de dérive sont bien plus élevés en bordure des parcelles de vergers (combinaison de grands volumes épandus et d'une fréquence très élevée de traitements), ce que démontre d'ailleurs les quelques mesures effectuées chez des riverains.

Que cela soit pour les essais en site expérimental (volets 1 à 3) ou les tests *in situ* (volet 4), il serait intéressant d'approfondir l'étude en augmentant le nombre de sites (donc de culture) et multipliant le nombre de mesures dans le temps.

Il serait judicieux de rééditer le même type d'essai sur plusieurs saisons culturales. En effet, les conditions agronomiques et météorologiques varient, parfois fortement, d'une année à l'autre, et donc l'utilisation des PPP et aussi leur comportement dans l'air.

Il serait aussi intéressant de diversifier les types de cultures. Outre les grandes cultures, étudier l'exposition aux pesticides vis-à-vis des cultures fruitières (vergers), des cultures maraîchères ou encore des cultures non comestibles (cultures ornementales et sapins de Noël) serait pertinent.

Augmenter la durée d'échantillonnage, tant pour les capteurs actifs (pompes à air) que pour les collecteurs passifs (horizontaux et verticaux) apporterait de nombreuses données et de riches enseignements. Affiner les études en documentant mieux la dérive sédimentaire durant les 12 premières heures, en particulier durant la période allant de 2h à 12h afin de mieux cerner l'évolution temporelle de la dispersion des S.A. durant cette période. Il s'agira aussi de vérifier la dégradation des dépôts au cours du temps de manière à s'assurer que le temps d'exposition au dépôt (2h) considéré dans le modèle de l'EFSA est adéquat.

Réaliser des essais comparatifs en utilisant d'autres types d'écrans, naturels ou artificiels, permettrait de mieux en définir pratiquement l'efficacité vis-à-vis de la dispersion de pesticides.

*In fine*, la création d'un outil de surveillance des risques liés aux pesticides, par la mise en place d'un réseau de stations d'échantillonnage fixes et de stations mobiles. Ces dernières permettront, entre autres, de déterminer l'exposition aux PPP des populations les plus exposées et/ou les plus sensibles dans un rayon d'action d'émetteurs déterminés.

Au-delà du risque généré par la dérive pour les populations riveraines, il serait utile d'étudier davantage : (a) les risques pour les promeneurs qui empruntent les chemins de campagne et s'exposent sans le savoir ; (b) les effets de la dérive d'une multitude de S.A. sur la faune, notamment l'entomofaune utile, et la flore aux alentours des champs traités ; (c) des risques pour les cultures biologiques adjacentes (la contamination entraînant le déclassement de la récolte).

*Tableau 4.1: Quelques pistes d'actions futures soulevées suite au projet PROPULPPP*

Question de recherche	Action
Quelles sont les caractéristiques à recommander pour un écran en bord du champ permettant de réduire la dérive des PPP ?	Réaliser des essais comparatifs avec différents types d'écran : artificiel – naturel ; largeur-hauteur
La réglementation actuelle, orientée pour les grandes cultures, est-elle acceptable pour les vergers, les cultures maraîchères... ? Faut-il des règles complémentaires ou spécifiques ?	Réaliser des mesures en bordure de vergers de cultures ornementales / sapins de Noël de cultures maraîchères
Les résultats 'PROPULPPP' seront-ils les mêmes sur une autre saison culturale ? Estimation de l'exposition chronique aux PPP atmosphériques	Suivre plusieurs cultures durant plusieurs saisons
Diversité des S.A. dans les essais in situ, dans les classes, sur les jeux extérieurs. Ponctuel ou chronique ?	Réaliser des mesures sur les poussières 'in + out' dans plusieurs écoles situées dans des contextes différents.
Quelle est l'évolution des PPP dans l'air au cours du temps ? Analyser les tendances vis-à-vis, entre autres des mesures réglementaires prises	Réseau de surveillance des risques liés aux pesticides ENVIeS fiche-action I-3-1 ENVIeS fiche-action I-3-2
Les populations riveraines sont-elles effectivement plus exposées aux pesticides que la population générale non riveraine ?	Biomonitoring et évaluation de l'exposition de la de la population riveraine : écoles, particuliers... ENVIeS fiche-action III-1-4

## 5 Bibliographie

**AirParif**, (2007). Evaluation des concentrations en pesticides dans l'air francilien: campagne exploratoire

**Anon.** (2011). The development and validation of a bystander and resident exposure assessment model (BREAM). Department of Food and Rural Affairs (Defra). Final project report PS2005.

**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*, 21-33. DOI: 10.1051/agro:2001003

**Butler Ellis, M.C., Underwood, B., Peirce, M.J., Walker, C.T., Miller, P.C.H.,** (2010a). Modelling the dispersion of volatilised pesticides in air after application for the assessment of resident and bystander exposure. *Biosyst. Eng.* 107, 149–154

**Butler Ellis, M.C., Lane, A.G., O'Sullivan, C.M., Miller, P.C.H.,** (2010b). The determination of volatilization rate of fungicides in a field experiment. *Aspects of applied biology*, 99. Int. Adv. Pestic. Appl. 317–324

**Butler Ellis, C., van de Zande J., van den Berg F., Kennedy C., O'Sullivan C., Jacobs C., Fragkoulis G., Spanoghe P, Gerritsen-Ebben R., Frewer L. & Charistou A.** (2017). "The BROWSE Model for Predicting Exposures of Residents and Bystanders to Agricultural Use of Plant Protection Products : an Overview." *Biosystems Engineering* 154: 92–104. The BROWSE project is supported by the EU 7th Framework Programme, ref. 265307. Bystanders, Residents, Operators and Workers Exposure models for plant protection products. <https://secure.fera.defra.gov.uk/browse/index.cfm>

**De Schampheleire M., Baetens K., Nuyttens D., Spanoghe P.** (2008). Spray drift measurements to evaluate the Belgian drift mitigation measures in field crops. March 2008. *Crop Protection* 27(3-5): 577-589

**De Schampheleire M., Nuyttens D., Dekeyser D., Verboven P., Spanoghe P., Cornelis W., Gabriels D., Steurbaut W.,** (2009). Deposition of spray drift behind border structures. *Crop protection*, 28(12): 1061-1075.

**ESFA** (2008), Conclusion on the peer review of cymoxanil, EFSA Scientific Report, (2008) 167, 1-116

**ESFA** (2014). Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products. European Food Safety Authority . EFSA Journal 2014;12(10):3874, 55 pp., doi:10.2903/j.efsa.2014.3874

**Ferragu C., Tron I., Bompays S.** (2010). Pesticides et santé. Etat des connaissances sur les effets chroniques en 2009. Etude réalisée dans le cadre du Programme Régional Santé Environnement. Observatoire Régional de Bretagne, 2010

**Guiral, C., C. Bedos, B. Ruelle, C. Basset-Mens, J. P. Douzals, P. Cellier, and E. Barriuso.** (2016). Les émissions de produits phytopharmaceutiques dans l'air : Facteurs d'émission, outils d'estimation des émissions, évaluations environnementales et perspectives de recherche. Vincennes: Etude réalisée pour le compte de l'ADEME

**Houbraken, M., van den Berg, F., Butler Ellis, C. M., Dekeyser, D., Nuyttens, D., De Schampheleire, M., & Spanoghe, P.** (2015a). Volatilisation of pesticides under field conditions: inverse modelling and pesticide fate models. *Pest Management Science*, 72(7), 1309-1321. <https://doi.org/10.1002/ps.4149>

**Houbraken, M., Senave, D., Fevery, D., Spanoghe, P.,** (2015b). Influence of adjuvants on the dissipation of pyrimethanil, chlorpyrifos, and lindane on the solid/gas interface. *Chemosphere* 2015: 138, 357–363.

**Houbraken M., Senave D., López Dávila E., Habimana V., De Cauwer B., Spanoghe P.,** (2018). Formulation approaches to reduce post-application pesticide volatilisation from glass surfaces. *Science of The Total Environment*, Volume 633, 2018, Pages 728-737, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.186>.

**Inserm (dir.)**. (2013). Pesticides : Effets sur la santé. Rapport. Paris : Inserm, 2013, XII-1001 p. - (Expertise collective). - <http://hdl.handle.net/10608/4820>

**IRM 2018** : Bilan climatologique saisonnier, été 2018, Institut Royal Météorologique, 7p. [http://www.meteo.be/resources/climateReportWeb/bilan\\_climatologique\\_saisonnier\\_2018\\_S3.pdf](http://www.meteo.be/resources/climateReportWeb/bilan_climatologique_saisonnier_2018_S3.pdf)

**ISSeP** (2018). EXPOPESTEN. Volet 1 : Campagne de mesures des concentrations dans l'air ambiant en Wallonie de mai 2015 à mai 2016. Volet 2 : Biomonitoring des pesticides dans des populations d'enfants vivant dans des zones d'expositions aux pesticides contrastées. Rapport n°01323/2018. 181p.

**Jensen, P.K., Olesen M.H.** (2014). Spray mass balance in pesticide application: A review. *Crop Protection*. 61:23–31

**Lichiheb, N.** (2014). Volatilisation des pesticides depuis les plantes : approche expérimentale et modélisation, Thèse, AgroParisTech, 221 p.

**Lundehn, J.-R., Westphal, D., Kieczka, H., Löchler-Bolz, S., Maasfeld, W., Pick, E.-D.** (1992). Uniform principles for safeguarding the health of applicators of plant protection products (Uniform principles for operator protection); *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, No. 277, Berlin 1992

**Martin, S., Westphal, D., Erdtmann-Vourliotis, M. F. Dechet C. Schulze-Rosario F. Stauber H. Wicke G. Chester.** (2008). Guidance for Exposure and Risk Evaluation for Bystanders and Residents exposed to Plant Protection Products during and after Application. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 2008, Volume 3, Issue 3, pp 272–281. <https://doi.org/10.1007/s00003-008-0361-5>

**PWRP I**, 2013. Programme Wallon de Réduction des Pesticides 2013-2017

**PWRP II**, 2018. Programme Wallon de Réduction des Pesticides 2018-2022. [www.pwrp.be](http://www.pwrp.be)

**Ravier I., Haouisee E., Clément M., Seux R. , Briand O.** (2005). Field experiments for the evaluation of pesticide spray-drift on an arable crop. *Pesticide Science Management*, 61,728-736.

**Schreiber F, Avila L.A, Scherner A, Gehrke V.R, Agostinetto D.** (2015) Volatility of Different Formulations of Clomazone Herbicide. *Planta Daninha* 33 (2) 315 (2015) DOI: 10.1590/0100-83582015000200017

**Schreiber F, Avila L.A, Scherner A., da Silva Moura D.; Tellechea Martini A.** (2016). Volatility of clomazone formulations under field conditions. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v.15, n.3, p.271-280, jul./set. 2016 (ISSN 2236-1065) DOI: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v15i3.475>

**Siebers J, Binner R, Wittich KP.** (2003). Investigation on downwind short-range transport of pesticides after application in agricultural crops. *Chemosphere*. 2003 May; 51(5):397-407.

**Socorro, J.** 2015. Etude de la réactivité hétérogène de pesticides adsorbés sur des particules modèles atmosphériques : cinétiques et produits de dégradation. Thèse, Aix-Marseille Université.

**Socorro, J., A. Durand, B. Temime-Roussel, S. Gligorovski, H. Wortham, and E. Quivet.** (2016). "The persistence of pesticides in atmospheric particulate phase: An emerging air quality issue." *Scientific Reports* 6:33456. doi: 10.1038/srep33456

**van de Zande J.C., Michielsen J.M.G.P., Stallinga H. & Vanvelde P.** (2018). Potential exposure of residents to spray drift. *Aspects of Applied Biology* 137, pp 251-259.

**van den Berg, F., Kubiak, R., Benjey, W.G. et al.** (1999). Emission of Pesticides into the Air. *Water, Air, & Soil Pollution*, n° 115, pp. 195-218.

**van der Werf, H. M., Zimmer, C.** (1998). Un indicateur d'impact environnemental de pesticides basé sur un système expert à logique floue. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 34, 47-66.

**Wienhold B, Gish T.J.** (1994). Effect of Formulation and Tillage Practice on Volatilization of Atrazine and Alachlor. *Journal of Environmental Quality* 23(2)

**Zivan O, Segal-Rosenheimer M, Dubowski Y.** (2016). Airborne organophosphate pesticides drift in Mediterranean climate: the importance of secondary drift. *Atmos Environ*. 2016;127:155–162. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.12.003.

**Zivan O., Bohbot-Raviv Y., Dubowski Y.**(2017). Primary and secondary pesticide drift profiles from a peach orchard. *Chemosphere*. 177. 10.1016/j.chemosphere.2017.03.014.