

RePP'Air - Comprendre les mécanismes de transferts de produits phytosanitaires dans l'air pour une appropriation par la profession agricole

Prévost L.¹, Chrétien E.², Pallarès C.², Bockstaller C.³, Bedos C.⁴, Pierlot F.^{1,3}, Klinghammer A.¹, Zaffagni J.¹, Soulé E.⁵, Mamy L.⁴, Bonnot K.⁴, Benoit P.⁴

¹ Chambre régionale d'agriculture Grand Est - Complexe agricole du Mont Bernard - Route de Suippes – F-51000 Châlons-en-Champagne

² ATMO Grand Est - 5, rue de Madrid – F-67300 Schiltigheim

³ INRAE, UMR Université Lorraine-INRAE, Agronomie et Environnement Nancy-Colmar, 28 rue Herrlisheim, F-68000 Colmar

⁴ Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon

⁵ Scara, F-10700 Arcis sur Aube

Correspondance : laetitia.prevost@grandest.chambagri.fr

Résumé

Le projet RePP'Air vise à mieux appréhender les processus de transferts de produits phytosanitaires dans l'air via la mise en place d'un réseau de 7 dispositifs de mesures sur des espaces agricoles français, associé à des enquêtes de pratiques agricoles sur chaque site. Après 4 années d'étude, le projet RePP'Air a permis de mieux comprendre les mécanismes influençant les transferts dans l'air, sensibiliser la profession, de façon à ce que le secteur agricole soit d'approprié ce sujet et les leviers d'actions existants pour limiter les risques de transfert. Des pistes de travail à approfondir ont également été identifiées. La richesse de ce projet réside aussi dans son partenariat inédit entre les acteurs agricoles, les acteurs de l'air, de la recherche agronomique et de l'enseignement agricole qui a permis d'avancer sur cette thématique d'intérêts partagés.

Mots-clés : mesures, pratiques agricoles, volatilisation, dérive

Abstract : The RePP'Air project: Understanding the mechanisms of transfer of plant protection products in the air for an appropriation by the farming community

The RePP'Air project aims to better understand the processes of transfer of plant protection products in the air through the implementation of a measurement device on 7 sites in France, associated with surveys of agricultural practices on site. After 4 years of study, the RePP'Air project made it possible to better understand the mechanisms influencing the transfers in the air, to sensitize the farmers and farmers organisations, so that the agricultural sector appropriates this subject and the existing levers of action. Prospects for further work were also identified. The richness of this project also lies in its unprecedented partnership between agricultural actors, air actors, agronomic research and vocational schools, which has enabled progress to be made on this topic of shared interest.

Keywords: measurements, agricultural practices, volatilization, drift

Introduction

La problématique de l'agriculture et de la qualité de l'air, bien qu'assez récente pour le secteur agricole, fait l'objet d'une forte actualité. Derrière l'appellation agriculture et qualité de l'air, il convient de distinguer des polluants pour certains réglementés pour les concentrations dans l'air (PM10, PM2.5, etc.) et d'autres

qui ne le sont pas, comme les produits phytosanitaires, et dont le niveau de maturité des connaissances scientifiques n'est pas le même. Si des leviers d'actions pour limiter certaines émissions sont aujourd'hui bien documentés (ADEME, 2019), le champ relatif aux émissions de produits phytosanitaires dans l'air est moins connu. Les références existantes portent essentiellement sur la réduction de la dérive lors du traitement (Alves *et al.*, 2020 ; Doruchowski *et al.*, 2014 ; Hiltz *et al.*, 2013 ; Chechetto *et al.*, 2013) et sont beaucoup moins nombreuses en ce qui concerne la volatilisation (Guiral *et al.* 2016 ; Ruthy *et al.*, 2019 ; Vermeulen *et al.*, 2019 ; Bedos *et al.*, 2019 ; Bedos *et al.*, 2020). Aujourd'hui, la situation s'accélère avec une volonté certaine d'avancer sur la problématique au niveau national. Il est donc primordial de disposer de connaissances techniques et scientifiques pour appréhender les processus de pertes des produits dans l'air et pouvoir accompagner la profession agricole vers des solutions limitant les risques tout en garantissant leurs productions.

Le projet RePP'Air s'inscrit dans ce contexte, initié en 2017 pour une période de 4 ans, soutenu par le CASDAR et porté par la Chambre régionale d'agriculture Grand Est et 25 partenaires : 8 Chambres d'agriculture régionales et départementales, 6 Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQAs), 2 UMR INRAE, INERIS et 8 lycées agricoles¹. RePP'Air vise à mieux comprendre les mécanismes de transfert de produits phytosanitaires dans l'air grâce à un dispositif expérimental inédit, et dont l'objectif est d'apporter des connaissances nouvelles à valoriser auprès du secteur agricole.

Pour répondre à ces objectifs, le projet s'appuie sur 7 sites expérimentaux répartis dans 6 régions de France métropolitaine aux contextes pédoclimatiques variés. Sur ces sites, différents systèmes agricoles sont suivis : grandes cultures, viticulture, arboriculture, polyculture-élevage, et des sites "mixtes" comme par exemple grandes cultures-arboriculture (Figure 1).



Figure 1 : Carte des sites expérimentaux suivis dans le cadre de RePP'Air

¹ Chambre régionale d'agriculture de Bretagne, Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine, Chambre d'agriculture de Charente, Chambre régionale d'agriculture Centre-Val de Loire, Chambre d'agriculture du Cher, Chambre régionale d'agriculture Auvergne-Rhône-Alpes, Chambre d'agriculture de la Drôme, ATMO Grand Est, Air Breizh, Air Pays de la Loire, ATMO Nouvelle-Aquitaine, Lig'Air, ATMO Auvergne-Rhône-Alpes, INRAE, INERIS, Lycées agricoles d'Obernai-Erstein, de Metz-Courcelles-Chaussy, Le Rheu, Briacé, L'oisellerie d'Angoulême, Subdray, MFR d'Anneyron, ALPA-IS4A.

Les produits phytosanitaires peuvent être émis vers l'atmosphère pendant l'application par dérive aérienne des gouttelettes de pulvérisation ; ou en post application par volatilisation depuis la surface traitée, que cela soit la plante ou le sol ; et enfin par érosion éolienne (l'incidence de cette dernière reste probablement en dessous de 1 % de pertes en France). Une fois émis vers l'atmosphère, les produits vont subir des réactions chimiques, être transportés et se déposer soit par dérive sédimentaire (lorsque l'on parle des gouttelettes de pulvérisation), soit par dépôts gazeux ou humides. Ils contribuent alors à une éventuelle contamination d'écosystèmes non cibles. Il faut noter que la temporalité des processus de dérive et de volatilisation est très différente : la dérive a lieu pendant l'application alors que la volatilisation peut durer plusieurs jours à quelques semaines après l'application. Par ailleurs, l'état des composés diffère : le composé sera sous forme de gouttelettes voire de gaz lors de l'application puis essentiellement de gaz voire sous forme particulaire après l'application. Ainsi, les concentrations que l'on observe en un lieu donné et ponctuellement dépendent des processus d'émission, de devenir et de transport dans l'atmosphère, de dépôt, ainsi que de la configuration spatiale locale en aval de la parcelle traitée.

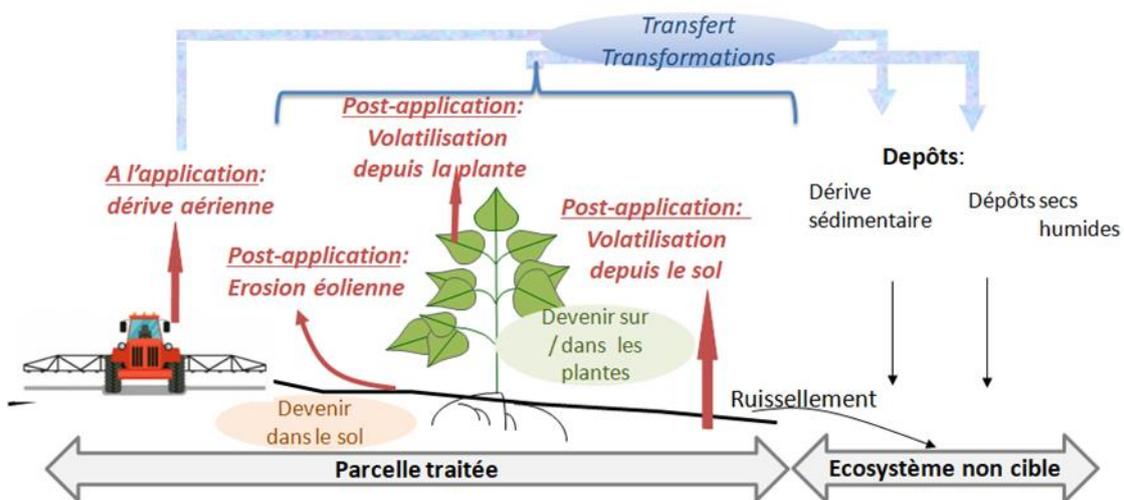


Figure 2 : Processus d'émission vers l'atmosphère (source : INRAE)

1. Un dispositif expérimental harmonisé

1.1 Les mesures

1.1.1 Méthode de mesure

Dans le cadre du projet RePP'Air, des campagnes de mesure de produits phytosanitaires dans l'air ont été réalisées par les AASQAs selon un protocole harmonisé entre 2017 et 2019 sur un minima de 20 semaines par an pour chaque site. (Figure 3). Ces mesures ont permis d'enrichir la base de données nationale Phytatmo², et permettent de compléter l'expertise des AASQAs sur leur territoire, qui s'appuie sur des mesures en produits phytosanitaires depuis 2001 pour certaines régions en France.

Un préleveur moyen débit (partisol avec un débit de 1 m³ /h ; Figure 4), conforme à la norme AFNOR (ISO X43-058), a été utilisé. Il était doté d'une tête de prélèvement sans coupure granulométrique.

Le préleveur est équipé d'une cartouche comprenant un filtre en fibres de quartz (diamètre 47 mm) destiné à recueillir les composés sous leur forme particulaire, et une mousse PUF (polyuréthane) piégeant les composés sous leur forme gazeuse (Figure 4).

² <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-de-donnee-de-surveillance-de-pesticides-dans-lair-par-les-aasqa-a-partir-de-2002/>

1.1.3 Sélection des sites de mesure

Les sept sites de mesures étaient constitués de sites historiques des AASQAs ou de sites expérimentaux des chambres d'agriculture de façon à disposer de différents systèmes agricoles : grandes cultures, viticulture, arboriculture, polyculture-élevage, et des sites "mixtes" comme par exemple grandes cultures-arboriculture. Le Tableau 1 indique pour chaque site l'occupation du sol dans un rayon de 5 km.

Tableau 1 : Occupation du sol pour chaque site dans un rayon de 5 km autour du préleveur

Site	Système agricole	Pourcentage dans un rayon de 5 km autour du site				
		Vignes	Vergers	Grandes cultures	Zone urbaine	Autre
Centre-Val de Loire	Arboriculture/Grandes cultures	0	22	27	3	48
Auvergne-Rhône-Alpes	Arboriculture/Grandes cultures	0	21	56	5	18
Pays de la Loire	Viticulture	41	0	11	4	44
Grand Est - Alsace	Grandes cultures	0	0	66	8	26
Grand Est - Lorraine	Polyculture-élevage	0	2	53	2	43
Bretagne	Polyculture-élevage	0	0	48	5	47
Nouvelle-Aquitaine	Viticulture-Grandes cultures	16	0	18	13	53

1.2 Les enquêtes de pratiques agricoles

Des enquêtes de pratiques agricoles ont été réalisées durant les trois campagnes de suivi ayant eu lieu en 2017, 2018, 2019 et pour chaque site, afin de comparer les pratiques aux données de mesures dans l'air. Ces enquêtes se sont déroulées dans un rayon de 1 km autour du préleveur d'air installé sur chacun des sites. Le choix de ce rayon constituait le bon compromis entre la faisabilité technique (notamment en zone viticole) et la surface suffisante pour expliquer les mesures. Elles portaient sur les pratiques couvrant l'ensemble de la période de traitement (produits, dose, date, matériel, ...).

2. Résultats

2.1 Métrologiques

2.1.1 Bilan des quantifications

Au cours du projet RePP'Air en 2017, 2018, et 2019, au total, entre 11 500 et 15 000 analyses ont été réalisées annuellement, une analyse correspondant à une mesure hebdomadaire pour une molécule. Selon les sites, 36 à 117 molécules ont été recherchées dans l'air. Selon les sites et les années, entre 9 et 30 substances actives ont été quantifiées.

Des fréquences de quantification par année et par site ont été calculées (Figure 5). Elles correspondent au nombre de substances actives quantifiées au moins une fois sur l'année sur le nombre de substances actives recherchées sur l'année, calculé pour chaque site et exprimé en pourcentage.

La médiane de ces fréquences de quantification se situe à 21 % et le maximum atteint une année sur un site est de 56 % ; ce taux s'explique par le fait que peu de molécules ont été recherchées (36) sur ce site, et que les molécules ciblées par cette recherche l'ont été de par leur profil considéré comme volatil (Figure 5).

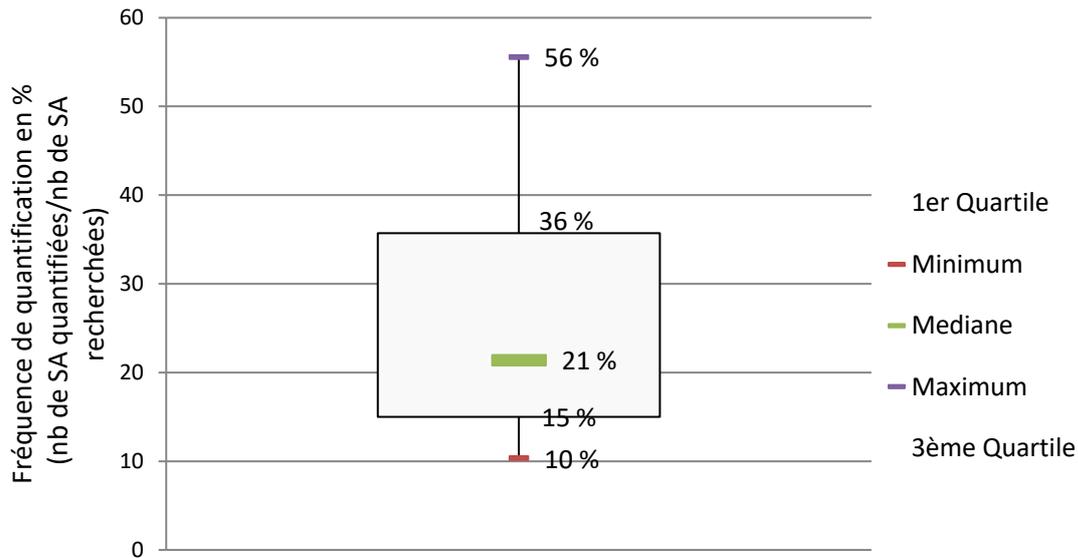


Figure 5 : Répartition des fréquences de quantifications pour les différents sites RePP'Air et pour chaque année 2017, 2018, 2019.

2.1.2 Profil annuel en fonction du système agricole

Les mesures réalisées durant les années 2017, 2018 et 2019 et sur les différents sites montrent une saisonnalité associée aux différents systèmes agricoles présents. La période de la fin du printemps à l'été présente des concentrations plus importantes de fongicides sur les sites viticoles et par rapport aux autres périodes de l'année, alors que sur les sites sous influence grandes cultures, les concentrations les plus importantes sont observées en période automnale par rapport aux autres périodes de l'année et il s'agit d'herbicides.

2.2 Lien entre mesures et pratiques

Les trois campagnes de mesures du projet RePP'Air ont permis de dresser un premier constat pour les sites étudiés : la majorité des molécules utilisées ne se retrouvent pas dans l'air (Figure 6).

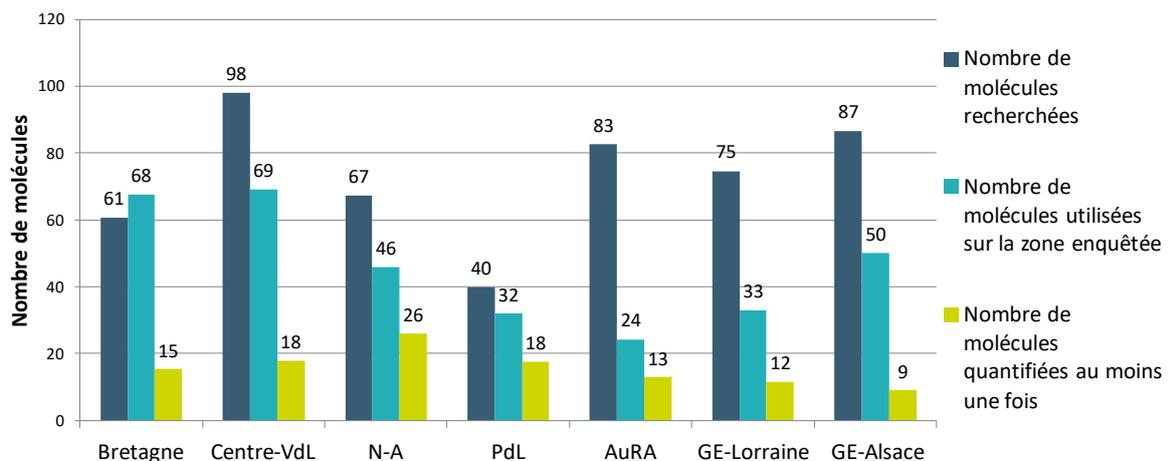


Figure 6 : Moyenne sur 3 campagnes par site du nombre de molécules analysées, nombre de molécules utilisées sur la zone enquêtée et nombre de molécule quantifiée au moins une fois (Centre VdL : Centre Val de Loire, N-A : Nouvelle-Aquitaine, PdL : Pays de la Loire ; AuRA : Auvergne-Rhône-Alpes, GE : Grand Est)

Les 4 cas de figures observés sont :

- Des substances actives utilisées régulièrement mais jamais retrouvées dans l'air,
- Des substances actives utilisées régulièrement et quantifiées uniquement en périodes de traitement. Il s'agit d'un transfert rapide, qui peut être de la dérive (lors de la réalisation du traitement) ou de la volatilisation rapide,
- Des substances actives utilisées et retrouvées au-delà de la période de traitement quelle que soit la zone géographique étudiée. Il s'agit alors d'un transfert plus lent, qui correspond au phénomène de volatilisation,
- Des substances actives quantifiées ponctuellement à de faibles teneurs ou simplement détectées, mais non recensées dans les enquêtes de pratiques sur la zone d'étude. Ce cas de figure peut correspondre à des substances actives appliquées au-delà du périmètre d'enquête ou provenir de parcelles qui n'ont pas été enquêtées sur la zone.

2.3 Résultats de l'analyse statistique

Pour tenter de mieux comprendre les processus impliqués dans les transferts de produits phytosanitaires dans l'air observés dans l'étude RePP'Air, une analyse statistique a été réalisée à partir de 20 substances actives utilisées et/ou mesurées sur les trois campagnes du projet et sur les différents sites. Parmi ces 20 substances, 12 correspondent au cas de figure de transferts par volatilisation, dont 8 sont des molécules appliquées mais peu ou pas mesurées dans l'air.

2.3.1 L'influence des caractéristiques physico-chimiques

En analysant statistiquement l'influence des caractéristiques physico-chimiques des 20 molécules (10 fongicides, 9 herbicides et 1 insecticide), une tendance a été constaté selon laquelle les fongicides les plus fréquemment retrouvés dans l'air ont une pression de vapeur saturante et une constante de Henry relatives élevées. Plus ces deux caractéristiques ont des valeurs élevées, plus elles traduisent un caractère volatil des molécules.

L'analyse a également montré que les herbicides les plus fréquemment retrouvés avaient généralement un caractère hydrophobe (LogKow élevé), donc peu soluble dans l'eau et une valeur élevée de la constante de Henry, ce qui corrobore la bibliographie sur le sujet. Dans notre cas étudié, il s'agit d'herbicides appliqués à des stades précoces des cultures qui ont principalement un mode d'action racinaire.

2.3.2 Liens entre usages et substances actives mesurées dans l'air

Le jeu de données a également été étudié statistiquement pour analyser les potentiels liens entre les quantités de substances actives retrouvées dans l'air et les quantités appliquées. Parmi les 20 substances actives analysées :

- 2 sont appliquées et jamais retrouvées dans l'air, 4 sont appliquées et peu retrouvées dans l'air : ces molécules n'intègrent pas ce test statistique puisque pas ou peu retrouvées dans l'air ;
- 5 retrouvées montrent une corrélation statistique entre quantité appliquée et flux mesurés et 5 autres montrent une tendance de corrélation entre quantité appliquée et flux mesurés. Pour ces molécules, un conseil et des pratiques permettant la réduction d'usage à l'échelle du territoire peut être un bon levier pour réduire les transferts dans l'air.
- Enfin, 4 ne présentent pas de lien statistique entre quantités appliquées et flux mesurées : Pour ces molécules, le jeu de données du projet est trop faible pour expliquer les mécanismes de transfert : un besoin de recherche pour préciser et proposer des solutions est identifié.

2.3.3 L'influence de la formulation des produits phytosanitaires d'après les données RePP'Air

L'analyse statistique menée a montré que pour certaines substances actives, leur transfert dans l'air pourrait varier selon la formulation du produit. Il n'a pour autant pas été possible de déterminer de manière précise le type de formulation réduisant la volatilisation. Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires pour analyser le comportement de chaque molécule avec chaque formulation.

2.3.4 L'influence des conditions météorologiques

Dans l'analyse statistique, peu de résultats étaient concluants car les données de mesures de concentrations sont à l'échelle hebdomadaire. Toutefois, les liens entre conditions météorologiques et mesures de substances actives dans l'air ont déjà été démontrés par la bibliographie : de fortes températures, des vents forts ou un sol humide peuvent favoriser les transferts vers l'air (Bedos *et al.*, 2002 ; Lichiheb *et al.*, 2015). Pour étudier plus finement le lien avec la météorologie, des suivis journaliers devraient être envisager.

2.4 *Des indicateurs paramétrés grâce aux données*

2.4.1 I-Phy3 : risque de contamination de l'air

Le projet a permis de revoir totalement le mode de calcul de l'indicateur I-Phy pour le risque air. Dans la version d'origine développée par van der Werf et Zimmer (1998), l'indicateur reposait sur un arbre de décision utilisant la logique floue et agrégeant la constante de Henry, une variable prenant en compte l'incorporation de la substance active, la demi-vie (DT50 labo) et la dose journalière admissible (DJA) avec un poids prépondérant donné à la première variable. Dans cette nouvelle version, deux sous-indicateurs évaluant respectivement le risque de contamination de l'air par volatilisation ($RC_{air_{vol}}$) et par dérive aérienne ont été développés. La toxicité ne sera intégrée que dans un second niveau d'agrégation allant au-delà du cadre du projet.

L'évaluation du risque de volatilisation a été basée sur des équations empiriques de Woodrow *et al.* (1997) et avec des facteurs d'abattement tenant en compte de l'environnement de la parcelle (présence de haies hautes et denses pouvant limiter la propagation), de processus au niveau du sol (présence de résidus en surface) et au niveau de la plante (mode d'action de la substance, pénétration de la substance dans la plante, etc.).

$$Vol_{tot} = C_{haie} \cdot (1 - ci) \cdot Vol_{sol} + C_{prod} \cdot ci \cdot Vol_{plant}$$

avec:

Vol_{tot} : volatilisation totale (exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$)

Vol_{sol} : volatilisation du sol (exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$), calculée selon une équation de Woodrow *et al.* (1997) : $\text{Ln}Vol_{sol} = 28,335 + 1,6158 \cdot \text{Ln}(Pv / (KOC \cdot Sol))$ avec : Pv : pression vapeur (Pa), KOC : coefficient d'adsorption (mg/L), Sol : solubilité eau (mg/L)

Vol_{plant} : volatilisation sur la plante (exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$), calculée selon une équation de Woodrow *et al.* (1997) : $\text{Ln}Vol_{plant} = 11,779 + 0,85543 \cdot \text{Ln}(Pv)$ avec : Pv : pression vapeur (Pa)

ci : coefficient d'interception par la culture

C_{haie} : coefficient d'abattement (entre 0 et 1) lié à l'environnement de la parcelle (présence de haie dense)

C_{sol} : coefficient d'abattement sur le sol (entre 0 et 1) prenant en compte la présence de résidus de culture et la formulation du produit.

C_{prod} : coefficient d'abattement sur la plante (entre 0 et 1) prenant en compte la systémie du produit, le coefficient octanol/eau (LogKow) et la formulation du produit.

Le second sous-indicateur évaluant le risque de dérive aérienne existait uniquement sous la forme d'une variable prenant en compte le matériel de pulvérisation dans la version viticole de la version 1 (Thiollet-Scholtus et Bockstaller, 2015). Dans la nouvelle version, le risque est évalué à partir d'un arbre de décision associant la logique floue agrégeant cinq variables choisies selon des données bibliographiques (Bahrouni *et al.* 2010) : le type de pulvérisateur, la vitesse du tracteur, la hauteur de la rampe, l'utilisation de buse antidérive et la pression de l'air.

Enfin, les données acquises durant le projet ont permis d'évaluer la qualité prédictive de l'indicateur de volatilisation ($RCair_{vol}$) dont les sorties ont été confrontées à une variable de risque issues des mesures et basée sur la pente de la relation entre teneur hebdomadaire mesurée et quantité de substance active appliquée durant la semaine (Figure 7). Le coefficient de corrélation ($r=0.72$) obtenu est tout à fait acceptable pour ce genre d'indicateur (Pierlot *et al.*, 2017).

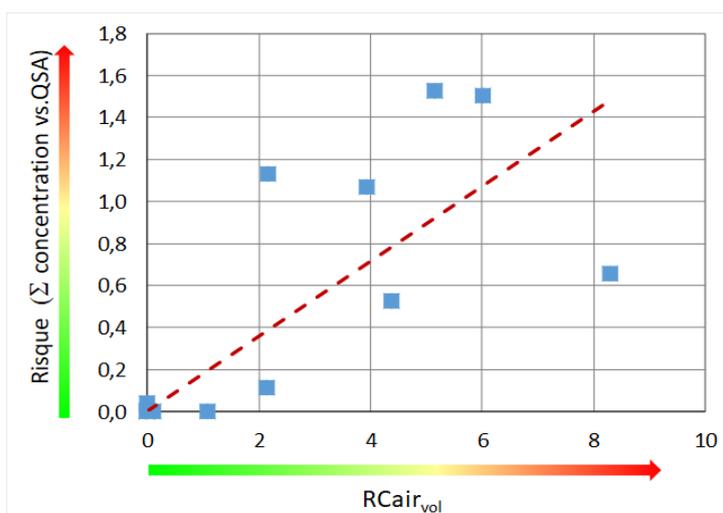


Figure 7 : Relation entre un risque de volatilisation (pente de la relation entre teneur hebdomadaire mesurée et quantité de substance active traitée durant la semaine) et $RCair_{vol}$. Le coefficient de corrélation est de $r=0,72$.

2.4.2 L'outil TyPol

L'outil TyPol a été développé afin de classer les composés organiques et leurs produits de transformation en fonction de leurs propriétés moléculaires, de leur devenir et de leurs effets (Servien *et al.*, 2014). Il a été utilisé dans le cadre de ce projet pour explorer les relations entre les potentiels de volatilisation de 178 substances actives depuis le sol et les plantes, et leurs descripteurs moléculaires.

Les résultats de TyPol ont ensuite été comparés aux concentrations de substances actives mesurées dans l'atmosphère dans quatre régions du projet (Bretagne, Centre-Val de Loire, Grand Est (Alsace et Lorraine) et Nouvelle Aquitaine) au printemps 2017, en considérant les données météorologiques de Météo France et d'INRAE (outil Climatik). TyPol a été capable de distinguer les molécules observées dans l'air de celles qui ne l'étaient pas. Le fait de distinguer la volatilisation depuis le sol de celle depuis le couvert végétal en considérant alors, en plus de la pression de vapeur, les paramètres déterminant le potentiel d'émission à partir du sol (caractéristiques de sorption) ou de la plante (propriétés lipophiles), a permis une meilleure discrimination des substances actives que lorsque cette distinction n'est pas faite. Les molécules à fort potentiel de volatilisation ont une énergie totale élevée, une faible masse moléculaire, de faibles indices de connectivité et une faible polarisabilité.

Ainsi, TyPol peut être utilisé pour réaliser une première estimation du risque de contamination de l'air par les substances actives. Ce travail a fait l'objet d'une publication (Mamy *et al.*, 2021).

3. Des références à valoriser auprès du secteur agricole

3.1 Des fiches pratiques

L'ensemble des résultats acquis viennent alimenter un recueil de "Fiches pratiques phytos & air pour comprendre les mécanismes et limiter les risques de transf"air" à destination du secteur agricole. Ce document de 25 fiches a pour objectifs d'apporter les bases de connaissances sur les liens entre l'agriculture et l'air, la thématique des produits phytosanitaires, les résultats du projet RePP'Air et des fiches décrivant des pratiques agricoles permettant de réduire les transferts de produits phytosanitaires dans le compartiment aérien pour les filières grandes cultures, viticulture et arboriculture. Ce document sera prochainement disponible sur le site internet de la Chambre régionale d'agriculture du Grand Est⁴.

3.2 Des interventions auprès des lycées agricoles

Des interventions dans les lycées agricoles partenaires du projet ont été réalisées durant les 4 années de projet. L'objectif est de sensibiliser les futurs agriculteurs à cette nouvelle thématique. Un support pédagogique à destination des enseignants des lycées agricoles a également été créé.

3.3 Un webinaire de restitution

Enfin, pour restituer les résultats RePP'Air, un webinaire a été organisé le 14 octobre 2020. Il s'est tenu en 2 temps :

- Une matinée consacrée à la présentation des résultats et se clôturant par une table ronde en présence de Jean-Luc Fugit, Député du Rhône et Président du Conseil National de l'Air ; Christian Huyghe, Directeur scientifique Agriculture de l'INRAE ; Guy Bergé, Président d'ATMO France ; et Luc Servant, Président de la Commission Agronomie-Environnement de l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture.
- Une vidéo de leurs témoignages sera prochainement disponible. Un après-midi portant sur les pratiques permettant de limiter les transferts de produits phytosanitaires dans l'air en grandes cultures, viticulture et arboriculture, avec les interventions de partenaires techniques.

Le webinaire est disponible en vidéos sur le site de la Chambre régionale d'agriculture Grand Est.

Conclusion et perspectives

Le projet RePP'Air initié en 2017, visait à comprendre les processus de transfert de produits phytosanitaires dans l'air en permettant une analyse croisée entre mesures de concentrations dans l'air et des enquêtes de pratiques agricoles dans une zone de 1 km autour du préleveur et d'identifier certains facteurs d'influence des transferts dans l'air dans des conditions réelles, in situ, d'usage à une échelle territoriale. Il a notamment mis en exergue l'influence des caractéristiques physico-chimiques dans les transferts par volatilisation des molécules, de la formulation, de la météorologie. Il a également permis une première étape d'acculturation des partenaires du projet à cette problématique émergente.

Pour aller plus loin, des travaux restent à mener pour apporter aux conseillers et agriculteurs des solutions concrètes à large échelle :

- Évaluer des leviers d'action pour limiter les transferts notamment par volatilisation en condition réelle au champ, pour différents systèmes agricoles : cela passera par une caractérisation

⁴ <https://grandest.chambre-agriculture.fr/agro-environnement/qualite-de-lair/reppair-suivi-des-produits-phytosanitaires-dans-lair/>

suffisamment précise des pratiques de traitements (matériel utilisé, quantités utilisées, période d'utilisation (y compris dans la journée), etc.) ;

- Répondre aux questions levées par RePP'Air sur les processus de transfert en particulier l'influence de la formulation sur les processus de transfert par volatilisation pour définir des leviers opérationnels sur ce sujet ;
- Bénéficier d'un outil d'aide à la décision facilement mobilisable par le conseiller et l'agriculteur pour évaluer le risque potentiel de transfert dans l'air des pratiques mises en œuvre ;
- Massifier l'appropriation des connaissances pour la prise en compte du compartiment aérien dans le conseil phytosanitaire et les pratiques agricoles : développer des supports adaptés aux différents publics ciblés pour faciliter le transfert des connaissances.

Remerciements

L'ensemble des partenaires du projet RePP'Air 2017-2020 : Chambre régionale d'agriculture de Bretagne, Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine, Chambre d'agriculture de Charente, Chambre régionale d'agriculture Centre-Val de Loire, Chambre d'agriculture du Cher, Chambre régionale d'agriculture Auvergne-Rhône-Alpes, Chambre d'agriculture de la Drôme, ATMO Grand Est, Air Breizh, Air Pays de la Loire, ATMO Nouvelle-Aquitaine, Lig'Air, ATMO Auvergne-Rhône-Alpes, INRAE, INERIS, Lycées agricoles d'Obernai-Erstein, de Metz-Courcelles-Chaussy, Le Rheu, Briacé, L'oisellerie d'Angoulême, Subdray, MFR d'Anneyron, ALPA-IS4A.

Les données météorologiques pour l'étude avec Typol sont issues de la plateforme INRAE CLIMATIK (<https://intranet.inrae.fr/climatik/>) gérée par le laboratoire Agroclim d'Avignon, France.

Références bibliographiques

ADEME., 2019. Rapport d'étude « Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air ». 116 p.

Alves G.S., Vieira B.C., Butts T.R., Silva S.M., Da Cunha J.P.A.R., Kruger G.R., 2020. Drift potential from glyphosate and 2,4-D applications as influenced by nozzle type, adjuvant, and Airspeed. *Engineering in agriculture* 36, 687-696.

Bahrouni H., Sinfort C., Hamza E., 2010. An approach for pesticide loss estimation adapted to field crops in Mediterranean conditions. XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Quebec, Canada. 10 p. hal-00563196

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

Bedos C., Douzals J.P., Barriuso E., Bordes J.P., Chantelot E., Cellier P., Loubet B., Mercier T., Perriot B., Sine M., Verjux N., Verpont F., Huyghe C., 2020. Application des produits phytopharmaceutiques et protection des riverains : synthèse des connaissances pour définir les distances de sécurité. Rapport du groupe de travail Inrae-Anses-Acta. 70 pages Bedos C, Douzals J.P., van den Berg F., 2019. Projet Cortea PREPARE, PRotocol de mesure des Emissions des Pesticides vers l'Atmosphère. Rapport Final, 32p.

Chechetto R.G., Antuniassi U.R., Barbieri Mota A.A., *et al.*, 2013. Influence of spray nozzles and adjuvants in drift reduction potential in wind tunnel. *Semina-Ciencias Agrarias* 34, 37-46.

Doruchowski G., Balsari P., Gil E., Marucco P., Roettele M., Wehmann H.J., 2014. Environmentally Optimised Sprayer (EOS)-A software application for comprehensive assessment of environmental safety features of sprayers. *Science of the total environment* 482, 201-207.

Gouzy A., Farret R., 2005. Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation. Synthèse du comité de pilotage. INERIS, Verneuil en Halatte, 141 p.

Guiral C., Bedos C., Ruelle B., Basset-Mens C., Douzals J.P., Cellier P., Barriuso E., 2016. Les émissions de produits phytopharmaceutiques dans l'air. Facteurs d'émissions, outils d'estimation des émissions, évaluations environnementales et perspectives de recherche – Rapport Complet. Ademe.

Hilz E., Vermeer A.W.P., 2013. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. *Crop protection* 44, 75-83

Lichiheb N., Bedos C., Personne E., Barriuso E., 2015. Synthèse des connaissances sur le transfert des pesticides vers l'atmosphère par volatilisation depuis les plantes. *Pollution atmosphérique* n° 224, Janvier-mars 2015. [En ligne] <http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=4732> 12p.

Mamy L., Bonnot K., Benoit P., Bockstaller C., Latrille E., Rossard V., Servien R., Patureau D., Prevost L., Pierlot F., Bedos C., 2021. Assessment of pesticides volatilization potential based on their molecular properties using the TyPol tool. *Journal of Hazardous Materials* 415, 125613. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125613>

Pierlot F., Marks-Perreau J., Réal B., Carluier N., Constant T., Lioeddine A., van Dijk P., Villerd J., Keichinger O., Cherrier R., Bockstaller C., 2017. Predictive quality of 26 pesticide risk indicators and one flow model: A multisite assessment for water contamination. *Sci. Total Environ.* 605, 655–665. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.112>

Ruthy I., Remy, S., Veschkens M., Huyghebaert B., Herman J.L., Pigeon E., Schiffers B., Fripiat C., Nadin, C., Bémelmans C., 2019. Rapport PROPULPPP objectivation de l'exposition des populations aux pulvérisations de produits phytopharmaceutiques en Wallonie et des mesures de protection destinées à limiter cette exposition. Rapport n°04460/2018.

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 behavior. *Chemosphere* 111, 613–622. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.020>.

Thiollet-Scholtus M., Bockstaller C., 2015. Using indicators to assess the environmental impacts of wine growing activity: the INDIGO®method. *Eur. J. Agron.* 62, 13–25.

Van der Werf H.M.G., Zimmer C., 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere* 36, 2225–2249.

Vermeulen R.C.H., Gooijer Y.M., Hoftijser G.W., Lageschaar L.C.C., Oerlemans A., Scheepers P.T.J., Kivits C.M., Duyzer J., Gerritsen-Ebben M.G., Figueiredo D.M., Huss A., Krop E.J.M., van den Berg F., Holterman H.J., Jacobs C., Kruijne R., Mol J.G.J., Wenneker M., Van de Zande J.C., Sauer P.J.J., 2019. Research on exposure of residents to pesticides in the Netherlands OBO flower bulbs.

Woodrow J.S.E., Sieber J.S.N., Baker L., 1997. Correlation techniques for estimating pesticide volatilization flux and downwind concentrations. *Environ. Sci. Technol.* 31, 523–529.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)