



**HAL**  
open science

## Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles

Carole Bedos, David Crevoisier, Cécile Dagès, Jean Paul Douzals, Marc Voltz, Benjamin Loubet, Meriem Djouhri, Carmelo Jean-Louis, Sonia Grimbuhler

### ► To cite this version:

Carole Bedos, David Crevoisier, Cécile Dagès, Jean Paul Douzals, Marc Voltz, et al.. Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles. 15ème Journée Scientifique de la Vigne et du Vin "Concilier production et performances environnementales en viticulture - Enseignements issus de projets méditerranéens sur les effets des intrants et leur maîtrise, Mar 2024, Montpellier, France. hal-04509768

**HAL Id: hal-04509768**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04509768v1>**

Submitted on 18 Mar 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles

C. Bedos<sup>1</sup>, D. Crevoisier<sup>2</sup>, C. Dagès<sup>2</sup>, J.P. Douzals<sup>3</sup>, M. Voltz<sup>2</sup>, B. Loubet<sup>1</sup>, M. Djouhri<sup>2</sup>, C. Jean-Louis<sup>2</sup>, S. Grimbuhler<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UMR ECOSYS, Uni. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, 91120 Palaiseau France

<sup>2</sup> UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>3</sup> UMR ITAP, Univ. Montpellier, INRAE, Institut Agro, F-34060, Montpellier, France

Contact : [carole.bedos@inrae.fr](mailto:carole.bedos@inrae.fr)

## 1. Introduction

L'exposition aux pesticides des professionnels, des riverains de zones agricoles et de la population générale suscitent de nombreuses inquiétudes, ainsi que rappelé par une récente expertise scientifique (Inserm, 2021). Cette exposition peut avoir lieu par ingestion en lien avec la contamination des produits alimentaires, mais aussi par contact cutané ou par inhalation en lien avec la contamination de l'environnement. Pour les riverains, l'INSERM (2021) signale notamment une influence de la proximité des zones agricoles sur la contamination par les pesticides du lieu de vie. Toutefois cette influence semble variable selon les substances, leur mode d'application et les matrices environnementales ou biologiques considérées pour estimer l'exposition.

Les transferts de composés *via* l'atmosphère sont donc une source d'exposition des riverains et des passants<sup>1</sup>, et ceux-ci peuvent avoir lieu pendant l'application par dérive aérienne des gouttelettes de pulvérisation (plus de 90% des applications ayant lieu par pulvérisation ; Aubertot et al., 2005) ou en post application par volatilisation depuis la surface traitée voire enfin par érosion éolienne (van den Berg et al., 1999). Il est communément admis que la dérive peut représenter entre 15 et 40% des quantités appliquées (Mamy et al., 2022). Les facteurs influençant la dérive de pulvérisation sont connus, ils se déclinent en 4 catégories : (1) les caractéristiques de la bouillie dépendant de la formulation, de la présence d'adjuvants (2) la technique de pulvérisation utilisée incluant le type de pulvérisateur, la vitesse d'avancement, les buses utilisées, la pression, l'orientation de buses, la vitesse d'éjection des gouttes à la sortie des buses, la granulométrie des gouttes; (3) la culture traitée et son stade de développement, qui vont conditionner le degré d'interception de la bouillie pulvérisée selon la hauteur, la porosité, et la structure de la végétation et (4) les conditions météorologiques comme l'intensité du vent, l'humidité de l'air, la stabilité atmosphérique ou la température de l'air. Quant à la volatilisation, elle représente de 0,1% de la dose appliquée jusqu'à quelques dizaines de % dans certaines conditions (Guiral et al., 2016). Il faut noter que les temporalités des processus de dérive de pulvérisation et de volatilisation sont très différents : la dérive de pulvérisation a lieu pendant l'application, alors que la volatilisation peut durer plusieurs jours à semaines après l'application. De même, 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.

Cet exposé porte sur l'évaluation de l'exposition de passants présents lors du traitement d'une parcelle viticole. Il présente en premier des ordres de grandeur d'exposition évalués suite à des pulvérisations réalisées avec deux types de pulvérisateurs au niveau de performance contrasté. Il compare ensuite par modélisation le risque d'exposition de passants pour l'ensemble des traitements relatifs aux différentes stratégies de protection phytosanitaire identifiées par jeu sérieux dans le cadre

---

<sup>1</sup> On distingue en général le promeneur pouvant se trouver ponctuellement sous le vent d'une parcelle en cours de traitement et le riverain qui vit à proximité de zones de traitements.

du projet Ripp-Viti (Hossard et al., 15ème JSVV) pour les parcelles proches d’habitations. Les résultats sont illustrés pour trois stratégies : 1) la stratégie initiale des exploitations type HVE-coop, 2) la stratégie OCMR et 3) la stratégie Variétés Tolérantes.

## 2. Evaluation de la dérive et de l’exposition en fonction de la distance et du type de pulvérisateur

Nous présentons ici une campagne de mesure réalisée dans le cadre du projet RIPP-Viti. Cette campagne a porté sur la comparaison de la dérive de pulvérisation de deux pulvérisateurs : un pulvérisateur pneumatique « standard » (référence des pratiques locales) et un pulvérisateur « performant » à panneaux récupérateurs après une application d’une solution avec traceur sur une portion de parcelle. L’évaluation des pertes par dérive de pulvérisation et de l’exposition qui en découle comprend en aval de la parcelle traitée :

- la mesure des dépôts au sol à 2, 5, 10 et 20 m de la parcelle traitée
- une estimation de la dérive aérienne *via* l’interception des gouttelettes transportées par le vent par des fils horizontaux disposés entre 0.5 et 6 m de haut à 5 m de la parcelle traitée
- une estimation de l’exposition des passants *via* l’interception des gouttelettes sur les différentes partie du corps d’un mannequin à 5 m de la parcelle traitée.

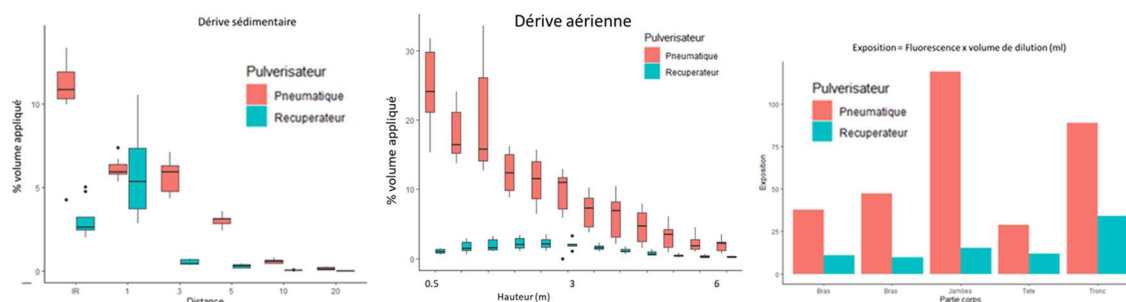


Figure 1 : Dépôts au sol (gauche, en % du volume surfacique déposé par rapport au volume surfacique appliqué sur la parcelle), sur fils disposés à 5m de la parcelle traitée (milieu, en % du volume surfacique déposé par rapport au volume surfacique appliqué sur la parcelle) et sur mannequins (droite, unités de fluorescence par ml) mesurés pour un pulvérisateur pneumatique et un pulvérisateur à panneaux récupérateurs (avec traceur)

La figure 1 illustre la forte efficacité du pulvérisateur à panneaux récupérateurs pour réduire les dépôts au sol en aval de la parcelle traitée ainsi que l’exposition du passant quelle que soit la partie du corps considérée (bras, jambe, tête, tronc) avec un taux de réduction évalué globalement à 73% et variant de 34% pour le tronc à 86% pour les jambes.

En complément de ces résultats expérimentaux, nous présentons un des jeux de données obtenus dans le cadre du projet CAPRIV (Sellam et al., 2023) dans le contexte viticole pour une application avec traceur sur le dispositif expérimental de l’UMT ECOTECH constitué d’une vigne artificielle (EVASPRAY VITI) soumise à un mur de vent artificiel (EOLEDRIFT) (Sage et al., 2021). Ce jeu de données porte sur l’étude de l’efficacité de l’adaptation de buses anti-dérive sur un pulvérisateur pneumatique (Figure 2) à limiter la dérive, évaluée à différentes distances de la parcelle traitée (3, 5, 10 et 20 m). On voit comme précédemment la forte diminution des dépôts au sol et cutanés avec la distance et aussi l’influence très positive de l’utilisation de buses anti-dérive.

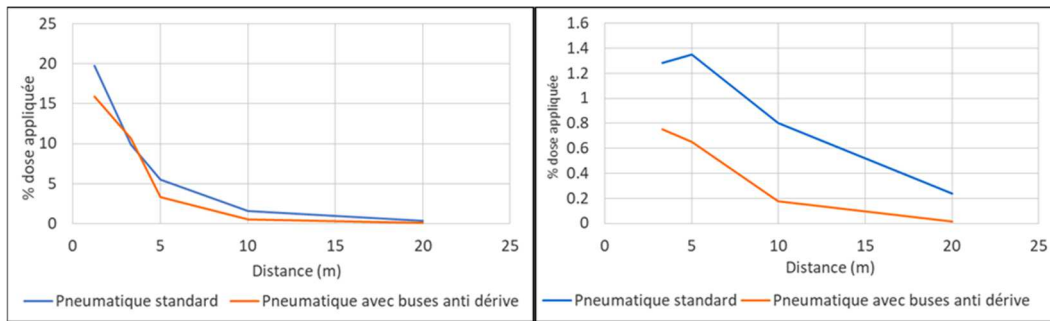


Figure 2 : Données expérimentales obtenues dans le cadre du projet CAPRIV (Sellam et al., 2022) pour le pneumatique standard et le pneumatique équipés de buses anti-dérive (à gauche) les dépôts au sol en fonction de la distance à la parcelle traitée (en % du volume surfacique déposé par rapport au volume surfacique appliqué sur la parcelle), (à droite) les dépôts sur le torse (en % du volume surfacique déposé par rapport au volume surfacique appliqué sur la parcelle)

### 3. Modélisation du risque d'exposition de passants à l'échelle d'une saison culturale en fonction des stratégies phytosanitaires adoptées

Le modèle ADDI-SprayDrift (Djourhi et al., 2023) simule le devenir et le mouvement dans l'espace des gouttelettes de pesticides après pulvérisation à l'échelle d'une parcelle viticole. Il englobe un certain nombre de processus clés identifiés dans la littérature : évaporation de l'eau de la gouttelette, état de stabilité de l'atmosphère, effets de la canopée sur les turbulences atmosphériques, dépôt au sol et interception. Une des originalités du modèle ADDI-SprayDrift est de prédire la distribution des pesticides lors de l'application entre le sol, le couvert traité et l'air, les dépôts au sol en dehors de la parcelle traitée ainsi que la concentration de gouttelettes dans l'atmosphère à un temps, distance et hauteur donnée. Le dépôt cutané des gouttelettes sur des personnes est calculé et l'exposition qui en découle prend en compte un % de pénétration dermale dépendant des composés. L'exposition par inhalation est calculée à partir de la concentration en gouttelettes prédites par ADDI-Spraydrift, le débit respiratoire et la durée de l'exposition, en considérant une imprégnation de 100%. Le dimensionnement des personnes et le débit respiratoire sont repris des préconisations de l'EFSA pour un adulte (EFSA et al., 2022). Un indicateur de risque pour chaque composé utilisé dans la saison est calculé par le rapport entre la quantité de composés inhalée ou ayant pénétrée par voie dermique et le seuil AOEL (mg/kg poids corporel/jour) du composé. Le seuil AOEL, disponible dans les bases de données usuelles (Ineris, <https://substances.ineris.fr/fr/>; PPDB, <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/>), représente le niveau acceptable d'exposition des opérateurs par poids corporel et par jour toutes voies d'exposition confondues et donc y compris par ingestion. Le % de pénétration a aussi été relevé dans ces bases de données<sup>2</sup> en sélectionnant la valeur haute afin d'estimer le risque maximal.

Une première étape a vérifié la pertinence des simulations de dispersion d'ADDI-SprayDrift en comparant les résultats du modèle ADDISprayDrift aux mesures issues du projet CAPRIV pour le pulvérisateur pneumatique standard avec et sans buses anti-dérive illustrées en figure 2 (Sellam et al., 2023). Un bon accord a été trouvé que cela soit pour l'ordre de grandeur et la décroissance des dépôts au sol avec la distance à la parcelle traitée ou l'interception par les mannequins (en distinguant les bras et le torse).

Dans une deuxième étape, le modèle a été appliqué pour estimer les dépôts cutanés sur un passant localisé à 5 m en aval des parcelles traitées et ce, pendant tous les traitements fongicides et insecticides relatifs aux stratégies initiales et co-construites dans le cadre du projet RIPP-Viti pour les parcelles proches d'habitations. Nous illustrons ci-dessous les résultats obtenus pour les stratégies

<sup>2</sup> Une actualisation a été faite pour la spiroxamine et la cyazofamide

suivantes : 1) la stratégie initiale HVE-coop comportant 23 traitements sur l'année 2020, 2) la stratégie OCMR comportant 14 traitements sur la même année et 3) la stratégie « variétés tolérantes » qui a comporté pour l'année 2020, 4 traitements. Pour les simulations, des conditions météorologiques fixes ont été considérées, et le développement cultural de la vigne entre les différents traitements d'une même saison culturale a été pris en compte pour adapter le réglage du pulvérisateur et calculer l'interception de la bouillie par la végétation.

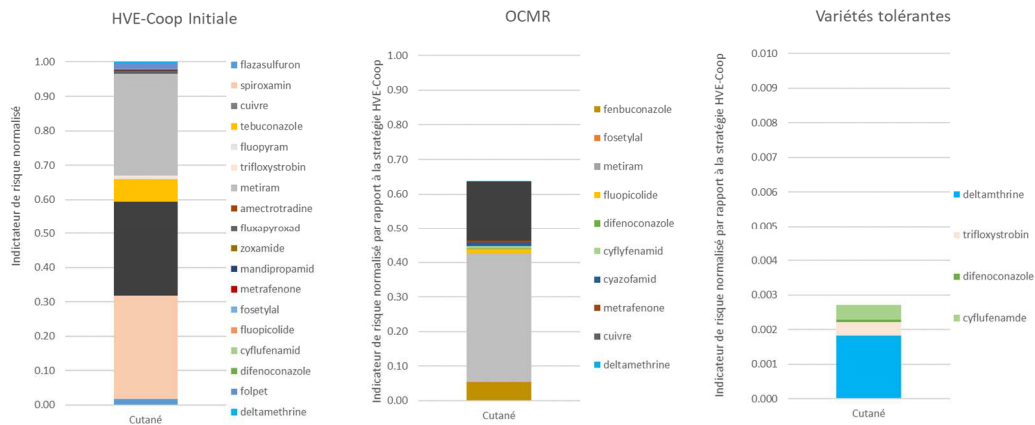


Figure 3 : Indicateurs de risque normalisés par l'indicateur cumulé de la stratégie initiale HVE-Coop et contribution des substances calculés pour une exposition cutanée de passants situés à 5 m de la parcelle traitée dans le cas de la stratégie Initiale HVE-Coop (gauche), OCMR (milieu) et « variétés tolérantes » (figure de droite, attention, échelle des ordonnées différente)

La figure 3 présente pour les stratégies étudiées le cumul des indicateurs de risque des molécules appliquées par chaque stratégie. Afin de faciliter la comparaison, le cumul a été normalisé par le cumul de la stratégie initiale HVE-coop permettant ainsi d'évaluer la capacité des stratégies de réduction d'usage à diminuer le risque par rapport à la stratégie initiale. La figure 3 montre ainsi que les stratégies OCMR et Variétés tolérantes diminuent l'indicateur de risque relativement à la stratégie initiale et ce, très nettement pour la stratégie Variétés tolérantes, montrant l'intérêt de stratégies alternatives pour limiter l'exposition des riverains dans les parcelles proches des habitations.

Par ailleurs, la figure 3 montre la contribution des différents composés à l'exposition globale cutanée d'un passant à l'échelle d'une saison culturale pour les différentes stratégies. Selon ces résultats de modélisation, les composés participant le plus à l'exposition sont :

- pour la stratégie initiale : la spiroxamine, le cuivre, le metiram et la tebuconazole, ces quatre composés participant à 94% de l'indicateur cumulé. Ces composés sont appliqués tôt dans la saison (notamment le cuivre appliqué à 4 reprises dont 2 fois en début de saison), et donc à un stade de développement de la vigne précoce favorisant la dérive. Ils présentent un seuil AOEL assez bas et des taux de pénétration relativement élevés.
- pour la stratégie OCMR : le metiram, le cuivre et le fenbuconazole en lien avec leur AOEL relativement faible ou un % de pénétration relativement élevé, ces trois composés contribuant à 94% de l'indicateur cumulé
- pour la stratégie "variété tolérante" : la deltaméthrine est le composé participant le plus à l'indicateur (à hauteur de 67% de l'indicateur global), la deltaméthrine présentant le seuil AOEL le plus bas et le % de pénétration le plus élevé des quatre composés. Aucun effet du stade de croissance n'est observé, les quatre composés étant appliqués dans un créneau de 2 semaines.

Ainsi, l'indicateur cumulé de risque, pour un pulvérisateur donné et des conditions météorologiques données, est conditionné par l'AOEL, le taux de pénétration dermique du composé, l'intensité d'usage ainsi que le stade de la culture au moment du traitement, des traitements en stade précoce générant plus de pertes par dérive et donc plus d'exposition.

#### 4. Discussion et conclusions

Les travaux issus du projet ont permis la conduite d'expérimentations et le déploiement d'un modèle récemment développé pour évaluer l'exposition de passants à la dérive de pulvérisation par dépôt cutané et inhalation. Les résultats confirment un effet majeur du matériel de pulvérisation utilisé : type de pulvérisateur, types de buses. Comme attendu, un effet de la distance à la parcelle traitée est observé en matière d'exposition, avec une décroissance significative de cette dernière avec la distance, confirmant ainsi l'intérêt de maîtriser les zones à protéger des zones de traitements. Les indicateurs de risque calculés identifient les composés les plus contributeurs, en lien avec leur toxicité, leur capacité à pénétrer dans le corps ainsi que le stade de développement de la culture au moment du traitement, et bien sûr leur niveau d'utilisation.

Les résultats de modélisation montrent le gain très appréciable que l'on peut attendre en adaptant des stratégies de protection phytosanitaire sur les parcelles proches d'habitations afin de réduire le risque d'exposition. Il faut noter toutefois que, si les indicateurs de risque calculés par modélisation permettent de comparer le risque d'exposition consécutif à l'application de substances ou de stratégies phytosanitaires complètes, ils ne permettent pas à ce stade de déterminer un risque absolu. Or la connaissance de ce dernier est nécessaire pour identifier par exemple la distance des parcelles traitées à laquelle le risque d'exposition à la dérive deviendrait négligeable. En effet, les calculs effectués par modélisation présentent plusieurs limites dont les suivantes. Au niveau des processus d'exposition, seule l'exposition dermique par dérive a été illustrée ici, elle doit donc être complétée par l'estimation de l'exposition par inhalation lors du traitement. L'exposition en post-traitement par volatilisation des produits doit également être considérée, ainsi que préconisé par les auteurs du projet OBO<sup>3</sup> mené aux Pays-Bas en proximité de champ de bulbes (Figueiredo et al., 2022; Vermeulen et al., 2019), cette voie de transfert ayant également clairement identifiée comme participant à la contamination atmosphérique par (Prévoist et al., 2022) lors du projet Repp'Air<sup>4</sup>. De surcroît les contaminations ont été comparées aux seuils acceptables d'ingestion chronique, seule référence disponible pour l'ensemble des molécules, alors qu'il s'agirait sans doute de regarder aussi par rapport à des seuils d'ingestion aiguë. Enfin, une situation réaliste de passants ou riverains n'est pas prise en compte, puisque l'indicateur cumulé calculé suppose de fait la présence d'un même passant à tous les traitements d'une saison culturale.

Pour finir, nous souhaitons souligner que d'autres leviers peuvent être mobilisés pour limiter les pertes par dérive de pulvérisation et donc l'exposition des passants et riverains. Outre l'évolution des programmes de traitements ou l'utilisation de buses anti-dérive et le confinement, la gestion du traitement des rangs en bord de parcelle ou selon la face des rangs de vigne sous le vent, la mise en place de haies ainsi que la combinaison de leviers doivent être considérés (Sellam et al. 2023).

Enfin, la campagne PestiRiv SpF/ANSES menée en 2018/2019 à la demande de la Direction Générale de la Santé, dont les résultats seront disponibles en 2024, devrait apporter un éclairage sur cette potentielle surexposition des riverains en zones viticoles.

---

<sup>3</sup> <https://www.rivm.nl/en/news/better-insight-into-local-residents-exposure-to-pesticides>

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

**Remerciements** : Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet Ripp-Viti qui est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Écophyto II+. Nous remercions également le Domaine de l'Arjolles, Adrien Verges et Sébastien Codis (IFV), Olivier Naud (INRAE) pour la caractérisation des pulvérisateurs et les données du projet CAPRIV (coordonné par M. Sellam, ACTA) ainsi que Alain Dupuy et Armel Thoni pour le codage informatique du modèle ADDI-spraydrift et son optimisation sur la plateforme logicielle OpenFLUID.

## 5 Références

- Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., Voltz, M., 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France).
- Djoughri, M., Loubet, B., Bedos, C., Douzals, J.P., Dagès, C., Voltz, M., 2023. ADDI-Spray : A comprehensive model of pesticide spray drift with an assessment in vineyards. *Biosystems Engineering* 57–77.
- EFSA, Charistou, A., Coja, T., Craig, P., Hamey, P., Martin, S., Sanvido, O., Chiusolo, A., Colas, M., Istace, F., 2022. Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment of plant protection products. *Efsa Journal* 134p.
- Figueiredo, D.M., Vermeulen, R.C.H., Jacobs, C., Holterman, H.J., van de Zande, J.C., van den Berg, F., Gooijer, Y.M., Lageschaar, L., Buijtenhuijs, D., Krop, E., Huss, A., Duyzer, J., 2022. OBOMod - Integrated modelling framework for residents' exposure to pesticides. *Science of The Total Environment* 825, 153798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153798>
- 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.
- Inserm, 2021. Pesticides et effets sur la santé : Nouvelles données. (EDP Sciences), Collection Expertise collective. INSERM, Montrouge.
- Mamy, L., Pesce, S., Sanchez, W., et al., 2022. Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Rapport de l'expertise scientifique collective (Research Report). INRAE ; IFREMER. <https://doi.org/10.17180/0gp2-cd65>
- Prévost, L., Chrétien, E., Pierlot, F., Soule, E., Bockstaller, C., Bedos, C., 2022. Comprendre le devenir des phytos dans l'atmosphère. *Phytoma* 42–46.
- Sage K., Codis S., Ribeyrolles X., Lienard A., Trinquier E., Bonicel J.F., Bastidon D., Douzals J.P., Naud O., Vergès A., 2021. EoleDrift: an innovative test bed to measure vertical drift and compare sprayers and practices according to drift risks. 4th SIMA AgriTech Day by Axema, 28/10/21, Nantes.
- Sellam, M., Bedos, C., Douzals, J.P., Grimmbuhler, S., Hubedine, Y., Loubet, B., Naud, O., Pasquier, D., Perriot, B., Verges, A., Verpont, F., 2023. Projet CAPRIV : Concilier application des produits phytopharmaceutiques et protection des résidents et personnes présentes (Rapport du projet CAPRIV).
- van den Berg, F., Kubiak, R., Benjey, W.G., Majewski, M.S., Yates, S.R., Reeves, G.L., Smelt, J.H., van der Linden, A.M.A., 1999. Emission of pesticides into the air. *Water, Air, and Soil Pollution* 195–218.
- 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.