

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 1<sup>er</sup> juillet 2022

## **NOTE**

### **d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail**

**relative à « l'expérimentation de l'utilisation de drones pour la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques »**

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses a été saisie le 1<sup>er</sup> février 2022 par la Direction générale de l'Alimentation (DGAI), la Direction générale de la Santé et la Direction générale de la Prévention des Risques pour la réalisation de l'expertise suivante : Demande d'appui scientifique et technique relatif à l'expérimentation de l'utilisation de drones pour la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques.

#### **1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE**

L'article 82 de la loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous a prévu qu'une expérimentation vise à déterminer les bénéfices liés à l'utilisation de drones dans les parcelles agricoles présentant des pentes supérieures ou égales à 30 % pour limiter les risques d'accidents du travail et pour l'application de produits en matière de réduction des risques pour la santé et l'environnement.

La loi a fixé la fin de l'expérimentation au 31 octobre 2021, avec une évaluation de ses résultats par l'Anses.

L'arrêté du 26 août 2019 relatif à la mise en œuvre d'une expérimentation de l'utilisation d'aéronefs télépilotés pour la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques a défini les modalités de mise en œuvre de l'expérimentation. Il a défini dans son annexe le plan expérimental à suivre de façon à ce que les expérimentations concourent utilement à répondre aux questions posées.

A ce titre, 4 expérimentations sur vignes en pente ont été autorisées et 2 autres ont été conduites sans nécessité de les autoriser car réalisées sans produits phytopharmaceutiques. Les rapports finaux de ces expérimentations, transmis à la DGAI ont été communiqués à l'Anses<sup>1</sup>.

Conformément à l'article 5 de l'arrêté du 26 août 2019, il est demandé à l'Anses d'évaluer la qualité des essais réalisés, d'effectuer une synthèse des résultats obtenus et de formuler des conclusions sur la réduction des risques lors de l'utilisation d'aéronefs télépilotés pour l'application des produits phytopharmaceutiques dans les conditions de l'expérimentation. Le cas échéant, des recommandations sur les conditions requises pour une application sûre pour la santé et l'environnement de produits phytopharmaceutiques à l'aide d'aéronefs télépilotés pourront être formulées.

Le 3 mars 2022, la DGAI a également transmis à l'Anses un article publié dans la Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture<sup>2</sup>.

De plus, afin d'instruire cette demande, l'Anses a sollicité, auprès de la DGAI, des informations complémentaires sur les différentes expérimentations, ce qui a nécessité d'allonger le délai d'évaluation. Les compléments demandés ont été transmis à l'Anses le 21 avril 2022 et pris en compte dans le présent avis.

## **2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE**

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

Elle a été instruite par la Direction de l'Évaluation des Produits Règlementés (DEPR) avec l'implication des unités d'évaluation Toxicologie des Intrants du Végétal (UETIV), Environnement Ecotoxicologie des Intrants du Végétal (U3EIV) et Efficacité des Intrants du Végétal (UEEFFIV).

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Substances et produits phytopharmaceutiques, biocontrôle ». Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Ils ont été adoptés par le CES « Substances et produits phytopharmaceutiques, biocontrôle » réuni le 7 juin 2022.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

---

<sup>1</sup> Il est à noter qu'une des 4 expérimentations ayant fait l'objet d'une autorisation (*M. Paturaux Sylvain : essais sur vignes en pente dans le département du Rhône en 2021*) n'a pas pu être réalisée selon le programme prévisionnel. Par conséquent, aucun rapport n'a été fourni pour cette expérimentation.

<sup>2</sup> Jaquerod, A., Dubuis, P-H. (2021). Évaluation des performances du drone pour les traitements phytosanitaires de la vigne. Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture, 53 (5), pp 244-250.

### 3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

Conformément à la demande et compte tenu du délai demandé pour restituer les travaux, l'analyse de l'Anses s'est limitée aux études et à l'article transmis par la DGAI sans prendre en compte les données de la littérature ou d'autres projets comme celui conduit dans le cadre des travaux de l'OCDE<sup>3</sup>.

Ce travail d'expertise comprend en partie 3.4 une analyse des incertitudes, notamment de celles liées à la variabilité imputable à l'opérateur.

#### 3.1. Données sur la qualité de la pulvérisation

La qualité de la pulvérisation de traitements phytopharmaceutiques par drone a fait l'objet de mesures dans plusieurs essais. Ces mesures ont porté sur deux variables :

- (i) La qualité des dépôts de bouillie, exprimée par leur quantité et leur homogénéité sur les plantes traitées ;
- (ii) L'efficacité biologique sur certains bio-agresseurs d'intérêt en vigne (mildiou, oïdium, black rot).

Les mesures d'efficacité biologique ont été réalisées en conditions d'infestation naturelle suite à l'application de plusieurs produits fongicides sur vigne. Les mesures de qualité des dépôts ont quant à elles été réalisées sur diverses cultures suite à l'application de fongicides conventionnels (sur vigne) ou de solutions neutres contenant un traceur coloré (tartrazine, traceur fluorescent rouge, sur vigne, bananier, pommier).

Plusieurs rapports synthétisant les résultats d'un ou plusieurs essais ont été fournis. Les informations relatives à chaque rapport sont détaillées ci-après. A noter qu'un essai est identifié dès lors que le jeu de données correspondant peut être analysé indépendamment des autres données présentes dans le rapport (parcelles et/ou années d'expérimentation différentes). La publication transmise par la DGAL (Jaquerod et Dubuis, 2021), qui synthétise les résultats de 12 essais conduits dans le vignoble suisse entre 2018 et 2020, figure également dans le tableau ci-après.

**Tableau 1 : Liste des essais concernant la qualité de la pulvérisation**

Prestataire	Nom du rapport	Nombre d'essais	Culture	Année	Paramètre(s) étudié(s)	Produits appliqués	Stade(s) d'application n.r : non renseigné	Validité des essais
CYMDRONES	20210906_CYM DRONES_CR-PE1-2_2021	2	Vigne	2021	<b>Efficacité biologique</b> (mildiou)	Fongicides (programmes détaillés)	n.r	Un seul essai valide (pas de notation réalisée dans la seconde parcelle d'étude).
	Annexe_1-20210429_CYM DRONES_CR-PE3_2020.pdf	1	Vigne	2021	<b>Qualité des dépôts</b> (quantité)	Fongicides (programme(s) inconnu(s))	n.r	Manque d'informations sur le protocole expérimental réellement mis en place et sur les résultats obtenus (description des modalités, données)

<sup>3</sup> OECD (2021), Report on the State of the Knowledge – Literature Review on Unmanned Aerial Spray Systems in Agriculture, OECD Series on Pesticides, No. 105, OECD Publishing, Paris

**Appui scientifique et technique de l'Anses**  
**Demande n° « 2022-AST-0026 »**

Prestataire	Nom du rapport	Nombre d'essais	Culture	Année	Paramètre(s) étudié(s)	Produits appliqués	Stade(s) d'application n.r : non renseigné	Validité des essais
	20210908_CYM DRONES_CR- PE3_2021.pdf  Annexe_3-T20- essai2021.pdf							brutes, tableaux de synthèse, analyses statistiques).
Chambre d'Agriculture de l'Ardèche	Bilan essai drone compil 2021 V2.pdf	12	Vigne	2020 - 2021	<b>Efficacité biologique</b> (mildiou, oïdium, black rot, pourriture)	Fongicides (programme(s) détaillés)	n.r	Cinq essais exploitables. En 2020, seules 2 notations réalisées (contexte sanitaire national, faibles pressions en maladies). En 2021, pas de notation réalisée dans une des 6 parcelles.
Chambre d'Agriculture d'Alsace	Projet EDVIG - Présentation de l'essai.pdf	2	Vigne	2021	Annoncés : <b>Efficacité biologique</b> (mildiou, oïdium)	Fongicides (programme(s) détaillés)	n.r	Notations d'efficacité biologiques décrites comme non exploitables (traitements par drone trop tardifs, très forte pression en maladies cryptogamiques).
	PULVEDRONE_QualitePulve_Aero41AGv2_20211027.pdf	2	Vigne	2021	<b>Qualité des dépôts</b> (quantité et homogénéité)	Solution neutre (colorant)	BBCH 75	Modalités testées dans 2 parcelles aux caractéristiques différentes (pas de comparaison entre modalités possible). Pas de comparaison directe à des applications de référence au sol.
IFV (Institut français de la vigne et du vin)	PULVEDRONE_QualitePulveVignobles20211028.pdf	25	Vigne	2019 - 2021	<b>Qualité des dépôts</b> (quantité et homogénéité)	Solution neutre (colorant)	BBCH 13-79	-
	PULVEDRONE_EvaSpray_20211026.pdf	13	Vigne	2020-2021	<b>Qualité des dépôts</b> - (quantité et homogénéité)	Solution neutre (colorant)	Vigne artificielle d'indice foliaire 1.47	Une seule modalité testée dans chaque essai. Pas de comparaison directe à

Prestataire	Nom du rapport	Nombre d'essais	Culture	Année	Paramètre(s) étudié(s)	Produits appliqués	Stade(s) d'application n.r : non renseigné	Validité des essais
							m <sup>2</sup> de végétation par m <sup>2</sup> de sol	des applications de référence au sol.
CTIFL (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes)	Rapport Qualité Application drone Arbo.pdf	4	Pommier	2019-2021	<b>Qualité des dépôts</b> (quantité et homogénéité)	Solution neutre (colorant)	Vergers adultes en phase de production dense ou vergers jeunes (3ème feuille)	Une seule modalité testée dans chaque essai. Pas de comparaison directe à des applications de référence au sol.
IT2 (Institut Technique Tropical)	Rapport Drone Martinique VF.pdf	1	Banane	2020	<b>Qualité des dépôts</b> (quantité et homogénéité)	Solution neutre (marqueur fluorescent)	n.r	Essai partiellement valide (modalités testées sur la même parcelle à des jours différents). Seules quelques comparaisons orthogonales possibles.
Paturaux S.	Pas de rapport soumis	-	-	-	-	-	-	-
Jaquerod et Dubuis 2021 « <i>Évaluation des performances du drone pour les traitements phytosanitaires de la vigne</i> »	Article	12	Vigne	20	<b>Efficacité biologique</b> (mildiou, oïdium)  <b>Qualité des dépôts</b> (quantité)	Fongicides (programme(s) détaillés)  Marqueur fluorescent	n.r	-

### 3.1.1. Mesure de la qualité des dépôts de pulvérisation

L'analyse de la qualité de la pulvérisation en cas de traitement par drone s'appuie sur 44 essais conduits en France entre 2019 et 2021. Des données complémentaires issues de la publication de Jaquerod et Dubuis (2021) ont également été étudiées.

Il est à noter au préalable que la qualité de la pulvérisation peut être évaluée par plusieurs indicateurs agronomiques dont la quantité moyenne des dépôts pulvérisés, exprimée en ng/dm<sup>2</sup> de surface végétative pour 1 g de traceur coloré/ha. La quantité des dépôts de bouillie est généralement étudiée selon plusieurs compartiments foliaires, définis selon un gradient vertical (haut - milieu - bas) et un gradient horizontal (gauche - centre - droit). Pour établir avec fiabilité les performances du matériel étudié, la quantification des dépôts peut être complétée par l'étude de l'homogénéité de leur distribution au sein des différents compartiments traités. La qualité de la distribution des dépôts de bouillie est déterminée par le calcul du coefficient de variation des dépôts au sein des différents compartiments.

### 3.1.1.1. Essais sur vigne artificielle avec drone uniquement (sans matériel terrestre)

Un rapport élaboré par l'IFV synthétise les résultats de 13 essais conduits sur vigne artificielle en 2020 et 2021 (dispositif EvaSprayViti). Ce dispositif a pour but d'obtenir, par l'intermédiaire d'un protocole expérimental normalisé, des mesures de qualité des dépôts répétables. Les bancs d'essai, correspondant à des rangs de vignes « larges » en pleine végétation (1,47 m<sup>2</sup> de surface végétative par m<sup>2</sup> de sol), sont identifiés par 3 étages foliaires (haut – milieu – bas) et 4 profondeurs. Dans chaque essai, plusieurs facteurs sont étudiés (type de buse, hauteur de vol, vitesse du drone, trajectoire de vol, volume de bouillie).

Ces essais n'incluant que des modalités d'application par drone, aucune comparaison directe avec des applications terrestres à l'aide de pulvérisateurs classiques ne peut être conduite. La qualité de la pulvérisation par drone a été étudiée dans chaque essai. En plus des résultats obtenus par essai individuel, l'IFV a conduit une analyse statistique multifactorielle sur plusieurs regroupements d'essais dans le but d'analyser les effets des différents facteurs sur la qualité de la pulvérisation (2 facteurs par regroupement). Néanmoins, cette approche paraît peu robuste au regard du très grand nombre de facteurs de variabilité en jeu (type de buse, hauteur de vol, vitesse du drone...). L'IFV aboutit toutefois aux conclusions suivantes :

- (i) La pulvérisation par drone se caractérise par des gradients de dépôt haut-bas et extérieur-intérieur, pouvant affecter l'efficacité de traitements phytopharmaceutiques destinés à protéger la zone des grappes et/ou les étages foliaires les plus bas ;
- (ii) Le profil granulométrique des buses utilisées jouerait un rôle dans la qualité des traitements par drone. En effet, les buses à granulométrie fine permettraient d'améliorer la pénétration de la bouillie au sein de la végétation tandis que l'utilisation de buses à plus forte granulométrie diminuerait l'hétérogénéité des dépôts entre ceps à l'échelle de la parcelle ;
- (iii) Sur la base de connaissances techniques, la qualité de la pulvérisation par drone devrait être plus faible que celle fournie par du matériel terrestre classique (aéroconvecteur, pulvérisateur à dos).

**Le CES estime que les essais conduits en vigne artificielle fournissent des résultats préliminaires qui permettent d'améliorer les connaissances. Néanmoins, la diversité des facteurs pouvant affecter les performances de tels traitements (type de drone, granulométrie des buses, hauteur de vol...) souligne la nécessité d'essais au champ confrontant attentes agronomiques et faisabilité technique des traitements phytopharmaceutiques par drone (capacité du réservoir, autonomie, plan de vol, conditions de mise en œuvre...).**

### 3.1.1.2. Essais en conditions réelles

Trente et un essais ont été mis en place en conditions réelles par l'IFV et le CTIFL entre 2019 et 2021 dans le cadre du projet PULVEDRONE (vigne : 26 essais, pommier : 4 essais, banane : 1 essai).

#### 3.1.1.2.1. Essais avec modalités de pulvérisation par drone uniquement

Dans 15 essais, ne comprenant qu'une parcelle et qu'une modalité, seuls des traitements par drone ont été réalisés (vigne : 11 essais, pommier : 4 essais). Un seul type de buse (profil granulométrique donné) a été testé dans chaque essai. Toutefois, dans certains rapports, les résultats d'essais distincts ont été analysés comme les données de différentes modalités d'un même essai dans le but de comparer les performances de buses aux profils différents. Cette approche apparaît discutable au regard des différences de conditions expérimentales entre essais d'un même site lors du traitement par drone (conditions climatiques, topographie, typologie d'arbres, stades végétatifs traités...). Par exemple, dans

deux essais conduits en vigne sur le même site d'étude, les buses sélectionnées (Teejet TXA 80-01 à granulométrie de gouttes « fine », Albus ADI 110-01 à granulométrie « intermédiaire ») ont été testées dans deux parcelles présentant des caractéristiques différentes (pente, vigueur végétative). Il est d'ailleurs précisé dans le rapport correspondant que la différence de vigueur a pu avoir un impact notable sur la qualité de la pulvérisation (pénétration dans les compartiments inférieurs) et donc sur l'analyse de l'effet buse pour le regroupement d'essais. Aucune conclusion robuste ne peut donc être tirée des tendances observées. L'IFV et le CTIFL aboutissent toutefois aux constatations suivantes :

- (i) Quel que soit le profil granulométrique des buses testées, un gradient de distribution « haut-bas » ainsi qu'un gradient « extérieur-intérieur » ont pu être observés, confirmant les résultats préliminaires obtenus sur vigne artificielle ;
- (ii) Les mesures de dépôts analysées à l'échelle d'une feuille montrent une très forte hétérogénéité de la pulvérisation, la majorité des dépôts se concentrant sur la face supérieure des feuilles ;
- (iii) Les buses générant de fines gouttelettes permettraient d'améliorer la pénétration de la bouillie au sein des compartiments foliaires inférieurs, et ainsi de diminuer l'hétérogénéité verticale de la distribution au sein de chaque plante traitée.

**D'après les résultats fournis, le CES estime que les performances des drones de pulvérisation semblent limitées en cas de traitements à des stades végétatifs avancés et/ou sur certaines typologies d'arbres (feuillage peu étalé). De plus, à l'échelle d'un arbre, la faible couverture des faces inférieures des feuilles questionne la qualité de traitements fongicides par drone contre certains pathogènes colonisant les faces foliaires abaxiales (mildious).**

#### **3.1.1.2.2. Essais avec modalités de pulvérisation par drone et matériel terrestre de référence**

L'analyse comparative de la qualité de la pulvérisation par drone et par pulvérisateurs terrestres repose sur 27 essais conduits en France entre 2019 et 2020 par l'IFV et l'IT2. Des résultats issus d'un essai conduit en 2020 dans le vignoble suisse ont également été mis à disposition.

Dans 2 essais (vigne : 1 essai, banane : 1 essai), les modalités de traitements par drone ont été comparées à des traitements au sol réalisés à l'aide de matériel couramment utilisé dans les parcelles présentant de fortes pentes (pulvérisateur à dos, chenillard). Il est à noter néanmoins que les résultats de l'essai conduit sur vigne, présentés sous la forme de diagrammes non légendés, ne permettent pas en l'état d'identifier et de comparer les différentes modalités testées.

Par ailleurs, dans l'essai conduit sur banane, les différents types de traitement (pulvérisateur à dos, drones équipés de buses à granulométrie variable) n'ont pas été réalisés le même jour à cause de contraintes techniques liées à la mise en place conjointe de dispositifs de mesure de dérive sur la parcelle d'essai. Seules des comparaisons qualitatives peuvent donc être faites entre les modalités testées.

Enfin, dans un rapport synthétisant les résultats de 25 essais conduits sur vigne, les modalités d'application par drone et par pulvérisateurs terrestres (pulvérisateur à dos, chenillard) ont été testées sur différentes parcelles d'un même site. Bien que chaque modalité soit affectée à un essai spécifique, des regroupements entre essais conduits sur un même site ont été réalisés afin de comparer les performances de pulvérisation de drones équipés de buses diverses et de matériel terrestre de référence.

Malgré des écarts aux protocoles expérimentaux classiques fragilisant la robustesse des comparaisons entre les modalités d'intérêt, les observations suivantes ont été faites par l'IFV et l'IT2:

- (i) La quantité des dépôts de bouillie sur vigne en pleine végétation s'est avérée inférieure à très inférieure aux quantités délivrées par les pulvérisateurs terrestres (chenillard, atomiseur à dos) bien que, à l'échelle d'un cep, l'hétérogénéité des dépôts entre compartiments végétatifs soit considérée comme à peu près similaire entre les modalités. Une meilleure couverture de la zone des grappes a été observée pour les traitements terrestres ;
- (ii) La quantification des dépôts par face foliaire confirme la mauvaise couverture de la face inférieure des feuilles de vigne en cas de traitements par drone, la référence terrestre utilisée (pulvérisateur à dos) permettant une meilleure répartition de la bouillie entre les faces adaxiale et abaxiale ;
- (iii) Sur bananier, la quantité et l'homogénéité des dépôts de bouillie se sont avérées plus importantes en cas d'application par drone qu'en cas d'application par atomiseur à dos sous frondaison. Néanmoins, une plus grande hétérogénéité de la distribution des dépôts à l'échelle de la parcelle a été observée en cas de traitement par drone.

**Dans l'ensemble, le CES estime que les performances d'applications par drone apparaissent plus faibles et plus variables que celles d'applications par matériel terrestre. Des tendances similaires ont été observées dans un essai conduit dans le vignoble suisse en 2020 (Jaquerod et Dubuis, 2021). Des comparaisons directes entre pulvérisations par drone (modèle de buse non précisé) et par atomiseur ont révélé, à l'échelle d'un cep, une couverture de 3,6 à 7,1 fois plus faible de la zone des grappes en cas de traitement par drone.**

**Les mesures de qualité des dépôts réalisées sur vigne à des stades précoces (BBCH 12-13) ou en parcelle de bananiers semblent néanmoins indiquer que les drones pourraient offrir une qualité de pulvérisation assez similaire à celle de matériels terrestres en cas de volume foliaire peu important et/ou de port végétatif ouvert. Toutefois, l'absence de répétitions ainsi que les limites des protocoles mis en place ne permettent pas de confirmer ces résultats avec certitude.**

**Par ailleurs, la faible couverture de la surface inférieure des feuilles en cas de pulvérisation par drone souligne l'intérêt de mettre en place des essais d'efficacité biologique sur des maladies foliaires telles que le mildiou de la vigne. D'autres éléments mentionnés dans les rapports fournis confirment ce postulat :**

- (i) **Les mesures de qualité des dépôts ne dépendent que d'une seule application, contrairement aux mesures d'efficacité biologique, prenant en compte les performances des traitements sur l'ensemble de la période de sensibilité au(x) bio-agresseur(s) étudié(s) ;**
- (ii) **La quantité des dépôts dépendrait fortement du positionnement et de l'inclinaison des collecteurs placés dans les compartiments végétatifs (mise en évidence sur bananier).**

### **3.1.2. Mesure de l'efficacité biologique**

Seize essais d'efficacité conduits sur vigne entre 2020 et 2021 ont été présentés. Certains d'entre eux se sont avérés inexploitablement par absence ou manque de données (contexte sanitaire ne permettant pas de réaliser de notations, pressions en maladies insuffisantes ou extrêmes). Au total, 6 essais présentant un jeu de données utilisable (fréquence et/ou intensité des maladies) ont été analysés.

Dans ces essais, plusieurs programmes incluant des fongicides à base de cuivre et de soufre - ont été testés. Un programme incluant d'autres produits (à base de COS-OGA, soufre, huile d'orange douce, décoction de prêle) a également été inclus dans un essai.

**Le CES estime que, pour un même programme de traitements, les applications par drone s'avèrent dans l'ensemble moins efficaces que celles par pulvérisateurs classiques (pulvérisateur à dos, voute pneumatique, canon fixe), notamment en cas de fortes pressions en mildiou ou en oïdium. Des tendances contraires ont été observées sur pourriture grise (3 essais), avec une meilleure protection dans les modalités traitées par drone. Toutefois, ces résultats sur pourriture grise sont à nuancer au regard des conditions expérimentales de ces essais :**

- **Seules des notations de fréquence (pourcentage de ceps présentant au moins une tache sur grappe) ont été réalisées sur cette maladie ;**
- **L'absence de témoin non traité ne permet pas de connaître l'infestation locale en pourriture grise au moment des notations;**
- **De manière générale, la nature des produits fongicides appliqués est apparue comme un facteur pouvant avoir un impact majeur sur les niveaux d'efficacité observés, indépendamment du matériel utilisé. En effet, des traitements à l'efficacité limitée sur le pathogène d'intérêt pourraient masquer d'éventuelles différences dans les performances des pulvérisateurs utilisés.**

**Des notations d'efficacité biologique ont également été réalisées sur vigne dans 12 essais en Suisse (Jaquerod et Dubuis, 2021). En cas de très fortes pressions en mildiou ou oïdium, l'efficacité des traitements par drone s'est avérée insuffisante, aboutissant à des pertes notables de rendement. Toutefois, des performances comparables entre les traitements par drone et par pulvérisateurs terrestres (atomiseur, turbodiffuseur) ont été notées dans le cas de faibles pressions en maladies.**

## **3.2. Données concernant l'exposition de l'environnement**

Dans le cadre de cette saisine, 4 rapports d'essais ont été fournis pour évaluer les performances en regard de la contamination environnementale des pulvérisations de produits phytopharmaceutiques par drone (cf tableau 2). Les essais ont été menés par différents instituts techniques (IFV, IT2 et CTIFL), toutes parties prenantes du projet PULVEDRONE<sup>4</sup>. Ces rapports ont pour objectif de comparer la dérive de pulvérisation générée lors des applications par drone à celle générée par des applications avec du matériel de référence utilisé dans les parcelles agricoles en pente.

### **3.2.1. Protocoles de mesure de la dérive de pulvérisation**

Selon la norme NF ISO 22866<sup>5</sup>, la dérive de pulvérisation est définie comme « la quantité de produit phytopharmaceutique transportée hors de la zone soumise à pulvérisation sous l'action des courants d'air lors du processus d'application ». Cette norme indique également les critères à respecter pour

<sup>4</sup> <https://www.inrae.fr/actualites/projet-pulvedrone-etude-faisabilite-pulverisation-drone>

<sup>5</sup> ISO Standard 22866 : Equipment for Crop Protection: Methods for the Field Measurement of Spray Drift (<https://www.iso.org/standard/35161.html>)

valider les essais proposés: 3 répétitions minimum pour chaque modalité testée, respectant des conditions météorologiques définies (orientation et vitesse du vent, température).

Dans les essais disponibles, les dispositifs expérimentaux ont été mis en place selon la norme NF ISO 22866 dans le but de mesurer la quantité de produit ayant dérivé dans la zone adjacente à la parcelle traitée selon deux approches:

- La première approche permet de mesurer la dérive dite « sédimentaire » en quantifiant le dépôt de gouttes liquides à différentes distances du dernier rang de la parcelle traitée dans les boîtes de Pétri disposées à cet effet ;
- La seconde approche permet de mesurer la dérive dite « aérienne » en échantillonnant le nuage de gouttelettes à 5m du dernier rang de la parcelle traitée sur une hauteur allant du sol à un maximum de 10,5 m de haut. La captation des gouttelettes est réalisée via des fils PVC et/ou des boules PVC disposés à différentes hauteurs.

Le type de mesure de la dérive de pulvérisation mis en place dans chaque essai ainsi que les différentes modalités testées sont résumés dans le tableau suivant. Les annexes 3 à 5 détaillent les modalités testées ainsi que la validité de chaque répétition, selon l'analyse conduite par le CES.

**Tableau 2 : Caractéristiques des essais fournis**

Rapport	Culture	Année de l'essai	Paramètre(s) étudié(s)	Matériel utilisé	Modalité testée
Rapport Qualité Application drone Arbo.pdf (CTIFL)	Pommier (parcelle plane)	2021	Dérives sédimentaire et aérienne	Drone	Buses à dérive limitée (granulométrie forte)
				Pulvérisateur axial à jet porté	Buses à granulométrie fine
Rapport Drone MartiniqueVF.pdf (IT2)	Bananaïe (parcelle en pente)	2020	Dérive aérienne	Drone	3 types de buses à granulométrie variable
				Atomiseur à dos	-
Pulvédrone_Eole DriftAero41_2021 1027 & Annexe_2- Rapport_EoleDrift_T16_20211007 (IFV)	Vigne artificielle (parcelle plane)	2021	Dérive aérienne	Drone	- 3 types de buses à granulométrie variable ; - 2 plans de vol ; - 3 hauteurs de vol ; - 2 distances de collecte.
				Chenillard	Buses à granulométrie fine
				Atomiseur à dos	-

Le CES note que seul le rapport fourni par le CTIFL propose des mesures de dérives sédimentaire et aérienne réalisées simultanément. Les deux jeux de données apportent des informations complémentaires pour caractériser la dérive de pulvérisation générée par les différents types de matériel utilisés dans ces expérimentations. Il aurait été pertinent et souhaitable que le même protocole expérimental, permettant des mesures conjointes des deux types de dérive, soit mis en place dans l'ensemble des essais proposés par les différents prestataires, ou qu'*a minima* la dérive sédimentaire soit mesurée dans l'ensemble des essais.

En effet, les données utilisées en évaluation du risque réglementaire pour les organismes non-cibles pour quantifier la dérive de pulvérisation correspondent à des mesures de dérive sédimentaire. Aucun

élément sur la corrélation éventuelle entre les mesures de dérive sédimentaire et les mesures de dérive aérienne n'a été présenté dans les rapports fournis.

### 3.2.2. Résultats

Les résultats présentés ci-dessous correspondent aux modalités qui ont été validées par le CES pour chaque rapport, *i.e.* les données météorologiques sont conformes à la norme NF ISO 22866

#### 3.2.2.1. Résultats obtenus sur pommier

- *Dérive sédimentaire*

Quel que soit le matériel étudié, les profils de dérive obtenus correspondent à des profils classiques de dérive où une diminution de la dérive avec l'éloignement de la parcelle est observée.

Dans la zone proche du verger, 2 à 5m du dernier rang, la dérive sédimentaire générée par le drone est 3 à 5 fois plus importante que celle générée par le pulvérisateur de référence. A 10m de la parcelle, les dérives sédimentaires mesurées sont très faibles quel que soit le matériel utilisé, celles mesurées pour les applications avec le pulvérisateur de référence étant supérieures à celles mesurées pour les applications par drone.

Les résultats de cet essai ont été comparés à ceux des essais menés, dans le cadre d'un autre projet, avec du matériel communément utilisé en arboriculture en France (32 essais ; projet Pulvarbo 2015-2020). Il apparaît que les valeurs de dérive de pulvérisation mesurées ici pour le pulvérisateur de référence sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les essais du projet Pulvarbo. Pour les pulvérisations par drone, elles sont jusqu'à 4 fois supérieures à celles du projet Pulvarbo à 5m puis inférieures à partir de 10m.

- *Dérive aérienne*

Les profils de dérive aérienne diffèrent pour les applications par drone et avec le pulvérisateur de référence. Pour les applications avec le matériel de référence, la dérive aérienne mesurée est répartie de façon relativement homogène sur toutes les hauteurs de fils (0,5 à 9m) : de 6,7% à 13,3% de la dérive totale selon la hauteur de fil. Le pic de collecte des gouttes ayant dérivé se trouve à 5 m de haut (hauteur à partir de laquelle les arbres ne font plus écran). Pour les applications par drone, les valeurs de dérive aérienne mesurées décroissent proportionnellement avec la hauteur des fils : 64% de la dérive aérienne est captée par les fils entre 0,5m et 2m de hauteur ; contre 34,4% pour le matériel de référence.

Pour les deux répétitions validées, la dérive aérienne mesurée à 5m du dernier rang de la parcelle pour les applications par drone est inférieure (facteur 2 à 4 observé) à celle mesurée pour les applications par pulvérisateur, à l'exception des dérives mesurées aux hauteurs de collecte les plus basses ( $\leq 1,5m$ ). A ces hauteurs, les dérives mesurées pour les applications par drone sont comparables, voire plus élevées.

#### 3.2.2.2. Résultats obtenus sur bananeraie

Il est rappelé que seule la dérive aérienne a été mesurée dans ces expérimentations. Deux types de collecteurs ont été utilisés: des fils PVC et des boules PVC. Les résultats obtenus sont comparables bien que les boules PVC semblent mieux capter la dérive de pulvérisation : la valeur de dérive moyenne

mesurée est 2 à 4 fois plus importante pour toutes les hauteurs de collecte quelle que soit la modalité testée.

Pour toutes les hauteurs de mesure (0,5 à 10,5m), la dérive aérienne générée par la pulvérisation par drone est supérieure à celle générée par l'atomiseur de référence (jusqu'à un facteur 5 observé à 2,5m de hauteur). Toutefois, la vitesse de vent étant plus élevée lors de l'essai drone, cela a pu contribuer à mesurer une dérive plus importante avec le drone qu'avec l'atomiseur à dos de référence. Les profils de dérive aérienne diffèrent légèrement selon le mode d'application :

- Pour l'atomiseur de référence, un pic de dérive moyen est observé à 5,5m de hauteur. Les valeurs de dérive mesurées diminuent à mesure que la hauteur augmente : une valeur très proche de 0 est mesurée en haut du portique, témoignant d'une bonne captation de l'ensemble du nuage de dérive ;
- Pour le drone équipé de buses anti-dérive (à granulométrie forte), deux pics de dérive sont observés à 2,5 et 7,5m de hauteur. Les valeurs de dérive mesurées diminuent également lorsque la hauteur augmente sans toutefois revenir à une valeur nulle, indiquant qu'une petite partie du nuage de dérive passe au-dessus du dispositif.

### **3.2.2.3. Résultats obtenus sur vigne artificielle**

De nombreuses modalités présentées en annexe 5 ont été testées dans les deux rapports fournis. Une synthèse des résultats est présentée ci-dessous. Il est rappelé que seule la dérive aérienne a été mesurée dans ces expérimentations.

#### *a) Comparaison drone / matériels de référence*

Les profils de dérive aérienne pour les pulvérisations par drone équipé de buses à granulométrie fine sont semblables à celui de la dérive générée par l'atomiseur à dos de référence: la dérive diminue avec la hauteur de collecte. Le profil de dérive aérienne observée pour les applications avec le chenillard de référence est plus homogène sur toutes les hauteurs de fils.

Les valeurs de dérive aérienne mesurées pour les pulvérisations par drone sont toutes supérieures à celles mesurées pour les applications avec le chenillard de référence, quelle que soit la hauteur considérée ; pour les hauteurs de mesures basses (jusqu'à 2,5m du sol), elles sont 4 à 10 fois supérieures. Elles sont également supérieures à celles mesurées pour les applications avec l'atomiseur à dos de référence particulièrement pour les mesures de 0,5 à 2,5m du sol (facteur 4 mesuré).

#### *b) Influence de la granulométrie des buses utilisées*

On observe une forte influence de la granulométrie des buses utilisées sur le drone. Pour les buses anti-dérive (à granulométrie forte), les valeurs de dérive aérienne mesurées sont 2 à 3 fois inférieures à celles obtenues avec des buses à granulométrie fine.

Les valeurs de dérive aérienne mesurées pour les pulvérisations par drone équipé de buses anti-dérive sont comparables à celles générées par les pulvérisations réalisées avec l'atomiseur à dos, quelle que soit la hauteur considérée. Pour les applications avec le chenillard de référence, les valeurs de dérive aérienne mesurées sont inférieures à celles mesurées pour les pulvérisations par drone avec des buses anti-dérive aux faibles hauteurs de mesure (facteur 4 à 8 observé). Les valeurs de dérive deviennent comparables entre les deux modalités à partir de 2,5m de hauteur.

#### *c) Influence du plan de vol du drone*

Dans le plan de vol modifié, le départ du drone s'effectue à l'intérieur de la parcelle et non plus en bordure. Les profils de dérive aérienne sont similaires quel que soit le plan de vol étudié. Cependant,

les valeurs de dérive aérienne moyennes mesurées sont plus faibles (facteur 2 observé) pour les hauteurs de collecte basses (jusqu'à 1,5m) lorsque le départ du drone est décalé vers l'intérieur de la parcelle.

d) *Influence de la hauteur de vol du drone*

Pour les pulvérisations effectuées avec le drone à une hauteur de vol abaissée à 2,5m, les valeurs de dérive aérienne mesurées pour les applications sont inférieures de 2 à 4 fois à celles mesurées pour les applications avec un vol à hauteur de 3,5m aux hauteurs de collecte basses (jusqu'à 2,5m). Pour les hauteurs supérieures, les valeurs de dérive aérienne sont très faibles voire nulles.

e) *Essais complémentaires*

Pour les pulvérisations par drone, des mesures additionnelles de dérive aérienne ont été réalisées à une distance plus importante du bord de la parcelle traitée (10m): les valeurs de dérive mesurées diminuent très significativement en s'éloignant de la zone d'épandage.

Par ailleurs, un test complémentaire a été mis en place dans l'un des rapports dans des conditions de vent très faible ne respectant pas volontairement les critères de la norme NF ISO 22866. Trois pulvérisations par drone avec trois buses de granulométries différentes ont été réalisées. Les valeurs de dérive aérienne de pulvérisation mesurées sont très faibles jusqu'à 1,5m de hauteur puis nulles quelle que soit la buse utilisée. Ces résultats permettent de confirmer l'impact significatif de la vitesse du vent sur les mesures de dérive aérienne.

### 3.2.3. Analyse du CES

Les rapports proposés permettent de caractériser la dérive de pulvérisation générée lors des applications de produits phytopharmaceutiques par drone selon différentes modalités et en comparaison avec plusieurs matériels de pulvérisation de référence.

Les essais ne respectant pas le nombre minimum de répétitions requis par la norme NF ISO 22866 ont été conservés dans l'analyse du CES car il est considéré qu'ils apportent des données pertinentes. Cependant, ces résultats présentent une incertitude plus importante.

**Sur la base des données disponibles et dans les conditions testées (matériel, vitesse d'avancement, type de buses, etc.), il est observé que la dérive aérienne de pulvérisation générée par les applications par drone se concentre principalement à faible distance du dernier rang de la parcelle traitée et à faibles hauteurs (moins de 2,5m du sol). Généralement, les profils de dérive aérienne observés diffèrent entre les applications par drone et avec le matériel de référence. Cela peut s'expliquer par le fait que la masse d'air est plaquée au sol par les rotors du drone.**

**Dans les conditions standards de vol, pour les applications sur vigne artificielle et bananeraie, les valeurs de dérive aérienne générées par drone sont 4 à 10 fois supérieures à celles générées par le matériel de référence quel qu'il soit (en considérant des buses à granulométrie équivalente pour les essais vigne).**

**Pour les applications sur pommier, les valeurs de dérive aérienne par drone (équipé de buses à granulométrie forte) sont 3 à 4 fois inférieures à celles mesurées pour le matériel de référence (équipé de buses à granulométrie fine) sauf aux faibles hauteurs (jusqu'à 1,5m). Les valeurs de dérive sédimentaire sont 3 à 5 fois supérieures à celles du matériel de référence jusqu'à 5m du dernier rang traité. Au-delà, elles sont inférieures ou comparables à celles du matériel de référence.**

**Les résultats montrent également que la dérive de pulvérisation générée par le drone pourrait être diminuée par différents moyens : utilisation de buses à réduction de dérive et adaptation du plan de vol avec diminution de la hauteur de vol notamment.** La conduite d'essais complémentaires pourrait confirmer l'impact de ces différents paramètres. D'autres paramètres pourraient être testés comme le non-passage du drone sur le dernier rang de la parcelle.

**Cependant, les comparaisons des niveaux de dérives observés sont à considérer avec précaution compte tenu du nombre restreint d'essais disponibles. Pour l'ensemble des rapports proposés, peu de répétitions sont réalisées pour chaque modalité testée. Selon la norme ISO en vigueur, 3 répétitions doivent être réalisées et validées au minimum pour une même modalité. De nombreux essais ne respectent pas ce critère. Il est à noter que les conditions météorologiques définies dans la norme NF ISO 22866 pour valider un essai rendent parfois délicate la répétabilité des expérimentations.**

**De plus, une variabilité parfois importante des mesures de dérive a été observée au sein d'une même modalité. Le nombre de répétitions disponibles pour un même test doit être considéré pour évaluer la fiabilité des données.**

Par ailleurs, pour les essais réalisés sur bananeraie et pommier, les résultats présentés ci-dessus correspondent à la dérive générée par des applications par drone équipé de buse anti-dérive, ce qui n'est pas nécessairement le cas du matériel de référence. Cet élément doit être considéré avec attention car il peut biaiser la comparaison entre les valeurs de dérive générée par les deux types de matériel. Avec ces seuls essais, il est difficile de savoir si les écarts observés sont liés à la technologie (drone vs matériel de référence) ou aux buses utilisées.

Pour certains essais conduits sur vigne, les données de hauteur de vol enregistrées par le système GPS du drone sont présentées dans les rapports. Il apparaît que les hauteurs de vol enregistrées peuvent varier parfois significativement par rapport à la hauteur de vol initialement visée (-0,6 à + 0,7m). Une attention particulière doit être portée au respect de la hauteur de vol, afin de limiter les effets potentiels sur la quantité de dérive produite.

Seules les expérimentations menées sur bananeraie ont été réalisées dans une parcelle agricole à forte pente. Les autres essais conduits par le CTIFL et l'IFV ont été menés sur des parcelles expérimentales planes. Les essais sur bananeraie indiquent que l'adaptation du plan de vol du drone à la topographie de la parcelle (vol selon la ligne de pente ou les courbes de niveaux) peut influencer la hauteur de vol effective du drone ainsi que sa vitesse d'avancement. La dérive de pulvérisation générée par le drone pourrait ainsi être impactée par la topographie de la parcelle agricole à traiter.

**Les applications par drone étant limitées à des parcelles agricoles à très faible accessibilité, il serait pertinent de mener des expérimentations supplémentaires dans des parcelles de vigne et pommier en pente. L'influence potentielle de la topographie de la parcelle traitée sur la dérive de pulvérisation générée par les applications par drone et matériel de référence pourrait ainsi être étudiée plus en détails.**

### 3.3. Données concernant l'exposition des personnes

L'analyse des données porte d'une part, sur la comparaison des expositions des opérateurs lors d'une pulvérisation avec drones avec celles lors d'une pulvérisation avec un matériel utilisé par les opérateurs sur la culture concernée dans ces conditions de topographie et d'autre part, sur la comparaison des dérives pouvant conduire à l'exposition des résidents et des personnes présentes en fonction des matériels utilisés pendant la pulvérisation. Les usages considérés sont la vigne, le pommier et le bananier sur des terrains de forte pente.

#### 3.3.1. Présentation des études

Quatre rapports d'essais ont été fournis. Les essais sont conformes aux normes BPL et ont été réalisés selon la norme NF ISO 22866, ils seront successivement décrits en fonction des deux paramètres d'intérêt pour l'évaluation de risque pour la santé humaine : l'exposition des opérateurs (analysée dans une des études) et la dérive ainsi que l'exposition des riverains (analysée dans les 4 études).

**Tableau 3 : Liste des essais fournis**

Prestataire	Nom du rapport	Culture	Année	Paramètre(s) étudié(s)	Produits appliqués	Objectif de l'étude
ANADIAG	Projet EDVIG 1 – Exposition des opérateurs	Vigne	2021	Exposition des opérateurs / résidents	LYCEDIX 50 EW (Cyflufénamide)	Comparer l'exposition des opérateurs lors de l'application du produit LYCEDIX 50 EW sur de la vigne présentant une pente supérieure à 30 % avec un pulvérisateur monté sur chenillette ou un drone ainsi que l'exposition des riverains à la dérive de pulvérisation.
FranceAgri Mer	EoleDrift_T16_20211007	Vigne artificielle	2021	Comparaison de la dérive après application avec drone/atomiseur à dos/chenillard	Bouillie chargée en traceur BSF (acide benzylsulfonyle minométhylboronique)	Qualité et performance de pulvérisation avec les drones / Risque de dérive
INRAE	Rapport sur les performances du traitement par drone en bananeraie de forte pente - Octobre 2020 Martinique	Bananeraie	2020	Protection des riverains	DEV 2095 + DD-0954	Constituer une base de connaissance sur les performances agronomiques et environnementales de l'application par drone en prenant en compte l'exposition des riverains en comparaison avec la référence actuelle du matériel de traitement en fortes pentes : l'atomiseur à dos.

Prestataire	Nom du rapport	Culture	Année	Paramètre(s) étudié(s)	Produits appliqués	Objectif de l'étude
FranceAgri Mer	Analyse de la dérive lors d'une pulvérisation par drone	Pommiers	2021	Dérive	Eau + tartrazine	Qualité et performance de pulvérisation avec les drones / Risque de dérive

### 3.3.2. Analyse du CES

#### 3.3.2.1. Exposition des opérateurs – étude sur vigne (EDVIG1)

- Présentation générale de l'essai

L'essai consiste à déterminer l'exposition des opérateurs suite à l'application du produit LYCEDIX 50 EW selon deux méthodes de pulvérisation :

- Avec utilisation d'un chenillard : analyse des phases de préparation des bouillies, mélange/chargement, application et nettoyage
- A l'aide d'un drone : analyse des phases de mélange/chargement, application, nettoyage et changement de batteries.

Les données d'exposition des opérateurs sont ensuite comparées.

Au total, 8 opérateurs ont participé à l'étude, chacun réalisant une tâche spécifique (1 opérateur pendant la phase de préparation des bouillies, 1 opérateur pour le remplissage des pulvérisateurs, 1 opérateur pendant la pulvérisation avec pulvérisateur, 1 opérateur pour le nettoyage des pulvérisateurs, 1 opérateur pour le remplissage des drones, 1 opérateur pour l'application avec drones, 1 opérateur pour le nettoyage des drones et 1 opérateur pour le changement de batteries). Chaque opérateur portait une combinaison TYVEK® 600 Plus (catégorie III Type 4/5/6). Des prélèvements d'échantillons ont été effectués sur des différentes parties de la combinaison TYVEK® étant utilisée comme dosimètre, sur les gants (Kimtech nitrile / SOLVEX 37-675 nitrile / Neotouch 25-101 néoprène), les mains ainsi que sur le visage et le cou. L'analyse a été conduite au laboratoire ANADIAG.

Par ailleurs, l'exposition des riverains à la dérive de pulvérisation a été estimée à l'aide de demi-mannequins constitués d'un piquet et d'un cintre permettant d'installer un T-shirt à environ 1 mètre du sol. Ces demi-mannequins ont été disposés à proximité des parcelles lors de l'application avec le chenillard et de l'application avec le drone. Lors de l'application avec le chenillard ou avec le drone, 2 demi-mannequins ont été respectivement placés à 3 mètres, 5 mètres et 10 mètres du bord de la parcelle, pendant toute la durée de l'application.

- Résultats de l'essai

#### Exposition de l'opérateur

Les résultats indiquent que l'exposition de l'opérateur utilisant un drone est environ 200 fois plus faible que pour un opérateur utilisant un chenillard. La différence majeure de contamination, malgré des rechargements multiples, est observée lors la phase d'application, avec une contamination totale plus élevée pour un chenillard (15804.87 µg/opérateur) comparé à une pulvérisation avec un drone (71.59 µg/opérateur).

Lors de la phase de chargement, la contamination pour les drones est cependant plus élevée (232.43 µg/opérateur) car le drone nécessite d'être rempli plusieurs fois, à l'inverse du chenillard (15.20 µg/opérateur), à raison de 11 opérations de chargement contre 3 pour une quantité de substance active pulvérisée quasi identique.

#### Estimation de l'exposition des riverains à la dérive de pulvérisation

Les niveaux de contamination mesurés sur les demi-mannequins ne peuvent être utilisés qu'au titre d'une comparaison entre les modalités de pulvérisation et non comme estimation de la contamination totale. A l'exception d'un demi-mannequin placé à 5 mètres, les niveaux de contamination sont toujours supérieurs dans le cas d'une pulvérisation par drones en comparaison à ceux avec chenillard et ce, quelle que soit la distance de la pulvérisation (voir annexe 6.1). Toutefois, on note une très forte variabilité entre les mesures pour une même distance avec le même matériel de pulvérisation.

**Le CES note que les résultats montrent que l'exposition de l'opérateur utilisant un drone est environ 200 fois plus faible que pour un opérateur utilisant un chenillard, toutefois le nombre d'opérateurs impliqués dans cette étude étant limité, des données supplémentaires seraient nécessaires. En ce qui concerne l'estimation de l'exposition des riverains à la dérive de pulvérisation, les données ne peuvent qu'être indicatrices, des données supplémentaires seraient nécessaires.**

#### **Estimation complémentaire de l'exposition des opérateurs conduites par l'Anses en utilisant la méthodologie de l'EFSA**

Les niveaux de contamination des opérateurs obtenus dans cette étude ont été comparés à l'estimation des expositions des opérateurs dans le cadre d'une pulvérisation manuelle obtenue avec la méthodologie EFSA<sup>6</sup>. Pour cela, les paramètres rapportés dans l'étude opérateur (EDVIG) ont été utilisés. La comparaison montre que l'exposition des opérateurs mesurée dans l'étude soumise avec pulvérisation par chenillard est du même ordre de grandeur que celle estimée avec la méthodologie de l'EFSA pour une pulvérisation manuelle (voir annexe 6.6).

#### **3.3.2.2. Exposition des riverains - Etude sur vigne artificielle (EolDrift\_T16\_20211007)**

- Présentation générale de l'essai

Cet essai a également fait l'objet d'une analyse en 3.2.2.3 en relation avec l'analyse de la dérive afin d'évaluer les performances en regard de la contamination environnementale.

L'analyse figurant ci-après est plus particulièrement ciblée sur l'évaluation de l'exposition des riverains.

L'essai consiste à mesurer la dérive générée lors de la pulvérisation utilisant des drones composés de différents types de buses, un atomiseur à dos et un chenillard. Ces mesures sont réalisées à l'aide de fils de collecte de hauteurs différentes (jusqu'à 6 mètres de haut avec un espacement de 0.5 mètres) placés à 5 mètres de la zone traitée. Ces fils permettent l'interception des gouttelettes projetées. Un dispositif « EoleDrift » est placé en bordure et simule des conditions naturelles en générant du vent. Le produit utilisé est une bouillie chargée en traceur BSF. Après application, les fils sont collectés en 3 sections de 2 mètres, et rincés avec de l'eau. La mesure du traceur est effectuée par spectrofluorimétrie.

---

<sup>6</sup> EFSA Journal 2014;12(10):3874

Plusieurs indicateurs<sup>7</sup> sont utilisés pour comparer les profils de dérive. Ces différents indicateurs permettent une bonne analyse des différents profils. Le drone utilisé est un drone DJI AGRAS MG-P1, testé avec 3 buses différentes et à deux hauteurs de vol (2.5 et 3.5 mètres du sol). Cette étude permet de comparer l'impact des buses sur la dérive, ainsi que l'impact de différents facteurs tels que la hauteur de vol, la granulométrie et la pression. Il n'y a qu'un seul passage par condition, ce qui ne permet pas de faire des statistiques ou des moyennes sur les différentes conditions, mais cela permet de disposer du profil de la dérive de pulvérisation générée par les drones dans différentes conditions, et de faire une comparaison avec des appareils classiques. Deux appareils sont utilisés pour référence : un atomiseur à dos et un chenillard. Les conditions de vent respectent la norme ISO 22866. Plusieurs déviations sont constatées concernant le respect des conditions de vent, certains essais sont donc exclus.

- Résultats de l'essai

Les données générées dans l'essai EoleDrift avec un drone et des modalités utilisant différents types de buses, un chenillard et un atomiseur à dos sont comparées les unes aux autres afin d'analyser les différents profils de dérives. Ces données donnent des informations sur les facteurs influençant la dérive liée à l'utilisation des drones. Pour les pulvérisations avec drones et pour l'atomiseur à dos le niveau de dérive diminue en fonction de la hauteur, cette tendance est moins marquée avec le chenillard. Ces variations en fonction de la hauteur du point de mesure nécessitent de procéder à une comparaison à une hauteur donnée. Jusqu'à une hauteur d'environ 3 mètres les dérives par ordre croissant sont celles générées par le drone (buse Lechler-hauteur de vol à 2.5 mètres), le chenillard, le drone (buse Lechler-hauteur de vol à 3.5 mètres), l'atomiseur à dos et le drone (buse Albus -hauteur de vol à 3.5 mètres) et le drone (buse Teejet-hauteur de vol à 3.5 mètres) (voir annexe 6.2). En ce qui concerne les drones, la vitesse du vent pendant l'application est un facteur important sur le niveau de la dérive (indices de dérive moyens de 31.7 et 1.5 avec et sans vent respectivement), tandis que la dérive engendrée par la rotation des rotors des drones semble relativement négligeable. Le type de buse est l'un des facteurs les plus importants sur la dérive : des buses à réduction de dérive qui forment des gouttelettes de tailles plus importantes conduisent à une réduction de la dérive. Un essai additionnel testant l'influence de la vitesse d'avancement du drone a montré que ce paramètre influence la dérive. Toutefois, un essai supplémentaire serait nécessaire pour déterminer la vitesse d'utilisation optimale pour laquelle la dérive serait minimale.

**Le CES note que les niveaux de dérive générés par les drones sont très dépendants des buses utilisées. Dans certaines conditions (vitesse de vol, hauteur de vol, type de buse, vent) les niveaux de cette dérive peuvent être inférieurs à ceux d'un chenillard ou d'un atomiseur à dos, dans d'autres conditions et en fonction des buses utilisées les niveaux de dérive générés par les drones peuvent être supérieurs. Toutefois, des essais supplémentaires seraient nécessaires. En effet, un seul passage par condition ayant été effectué, il est difficile d'appréhender le niveau de reproductibilité et/ou de la représentativité des résultats.**

---

<sup>7</sup> -Hp : Moyenne des hauteurs pondérées par l'indice de dérive

-ID>2m : Indice de dérive au-delà de 2m de hauteur

- pID>2m : Pourcentage de la dérive cumulée au-delà de 2m de hauteur

-ID5.5m : dérive captée par le fil à 5.5m exprimée en % de la somme des dérives captées par les autres fils. Ce pourcentage doit être inférieur à 10% pour respecter la norme ISO22866

-La hauteur de 2m a été choisie comme étant la hauteur jusqu'à laquelle la dérive pourrait potentiellement être réduite via la présence d'une haie.

### 3.3.2.3. Exposition des riverains - étude sur bananeraie (rapport sur les performances du traitement par drone en bananeraie de forte pente - Octobre 2020 Martinique)

- Présentation générale de l'essai

Cet essai vise à déterminer la différence de la dérive entre l'utilisation des drones et l'utilisation d'un atomiseur à dos pour un usage en bananeraie. Le drone utilisé est un DJI Agras MG-1P équipé de buse Albus AVI 110 01. La mesure de la dérive aérienne est effectuée à l'aide d'un plan d'interception vertical, et la mesure de l'exposition des riverains est réalisée avec l'utilisation de mannequins posés verticalement sur le sol.

Le plan vertical est constitué de 2 mâts verticaux, placés à 3 mètres de la parcelle espacés de 7 mètres reliés par une corde sur laquelle sont placés les dispositifs de collecte. Quatre fils de collecte sont disposés verticalement et espacés de 1 mètre, et des boules sont fixées tous les mètres sur ceux-ci. Onze collecteurs sont disposés au total sur chaque fils à des hauteurs de 0.5 à 10.5 mètres.

Les mannequins sont espacés de 2 mètres et sont placés à 3 mètres de distance de la parcelle. Des mannequins de 90 cm et 180 cm sont utilisés pour simuler enfants et adultes. Les combinaisons TYVEK® des mannequins sont ensuite découpés et récupérés pour quantifier l'exposition des riverains. Trois buses (AVI, ADI et XR) ont été testées pour l'usage drone.

Lors du passage du drone équipé des buses Teejet XR 110 01, la vitesse du vent était supérieure aux conditions autorisées selon la norme ISO22866, les données collectées (vent > 5 m/s) ont donc été écartées. Lors du passage du drone équipé des buses AVI, la vitesse du vent était plus élevée que lors du passage avec la buse ADI, la vitesse du vent était plus importante pendant l'utilisation des deux drones qu'avec l'atomiseur à dos (en moyenne 2.65 m/s, 2 m/s et 0.8 m/s respectivement).

- Résultats de l'essai

Les niveaux de contamination des mannequins placés à 3, 5 et 10 mètres de la parcelle sont plus élevés (approximativement 4 et 6 fois, pour les adultes et les enfants respectivement) après application par drones équipés de buses AVI, que pour l'atomiseur à dos : d'environ 2.5 à 8.5 µL pour 1L/ha pour l'atomiseur contre environ 12 à 35 µL pour 1L/ha pour le drone (voir annexe 6.5). La dose par hectare n'ayant pas pu être respectée pour l'atomiseur à dos, il est donc difficile d'effectuer une comparaison des dépôts avec cette étude.

En ce qui concerne la dérive aérienne, les conditions liées au vent étaient très différentes entre les passages de drones et le passage de l'atomiseur. A toutes les distances faisant l'objet d'une mesure, jusqu'à une hauteur de 3 mètres, la dérive aérienne est plus importante avec les drones que pour l'atomiseur à dos, le drone équipé de buses ADI présente une meilleure réduction de la dérive qu'avec les buses AVI. Cependant, jusqu'à une hauteur de 3.5 mètres, la dérive avec atomiseur est inférieure à celle d'une pulvérisation avec drone équipé de buse ADI qui est elle-même inférieure avec un drone équipé d'une buse AVI (en moyenne un facteur de 2.5 entre buse AVI et ADI, voir annexe 6.4).

**Le CES note que les niveaux de contamination des mannequins (90 et 180 cm), placés à une distance de la parcelle de 3 et 10 mètres, sont supérieurs lors d'une pulvérisation avec un drone en comparaison avec un atomiseur à dos. Une étude avec un nombre supérieur de passages pourrait être conduite pour confirmer ces résultats. Il faut également noter que le vent peut avoir une influence importante, des répliques auraient permis de mieux appréhender l'impact lié à ce facteur. En ce qui concerne la dérive aérienne, jusqu'à une hauteur de 3 mètres la dérive aérienne est plus importante avec les drones que pour l'atomiseur à dos.**

#### 3.3.2.4. Analyse de la dérive lors d'une pulvérisation par drone (France Agrimer Pommier)

- Présentation générale de l'essai

Cet essai a également fait l'objet d'une analyse en 3.2.2.1 en relation avec l'analyse de la dérive afin d'évaluer les performances en regard de la contamination environnementale.

L'analyse figurant ci-après est plus particulièrement ciblée sur l'évaluation de l'exposition des riverains.

L'essai vise à déterminer la capacité du drone à réduire la dérive. La mesure de la dérive respecte la norme ISO 22866. Le drone utilisé pour l'essai est un ACT 6-606 équipé de buse de type Lechler AD 90 02. Les valeurs de dérive sont comparées à des valeurs de référence obtenues avec le matériel de référence (pulvérisateur axial à jet porté). L'essai est effectué sur une parcelle de pommiers.

Deux systèmes de mesure de la dérive sont utilisés :

- le premier système est constitué de cinq rangs de dix boîtes de Petri posées au sol, à 2, 3, 5, 10 et 20 mètres, qui permet de mesurer la dérive sédimentaire ;
- le second système consiste à mesurer la dérive aérienne avec un système de fils qui captent les gouttelettes, à partir du sol et jusqu'à 10 mètres de haut. Le dispositif est placé à 5 mètres du dernier rang.

Trois mannequins ont été placés à 3.2 mètres du dernier rang ; toutefois ces données n'ont pas pu être utilisées car la méthodologie d'extraction n'était pas validée.

Trois répétitions sont effectuées. Le produit utilisé pour la pulvérisation est un mélange eau + tartrazine à une concentration de 10 g/L. Les collecteurs sont récupérés après exposition, les fils de collecte sont coupés en deux et stockés dans des boîtes distinctes. Dans les boîtes de Petri et les fils, de l'eau est ajoutée pour remettre le traceur en solution. Les analyses sont effectuées avec un spectrophotomètre.

- Résultats de l'essai

La première répétition n'a pas été analysée car la direction du vent ne respectait pas la perpendicularité par rapport au verger. Pour les essais 2 et 3, la vitesse du vent était inférieure à la valeur minimale recommandée par la norme ISO22866. Cependant, la direction du vent étant similaire entre le passage du drone et celui du matériel de référence, une comparaison des résultats a été possible.

Les résultats relatifs à la dérive sédimentaire sont présentés en point 3.2.2.1 – résultats obtenus sur pommiers de cet avis.

Les données montrent qu'au-dessus d'une hauteur de 2 mètres, la dérive aérienne à 5 mètres du dernier rang est supérieure avec le pulvérisateur axial à jet porté en comparaison du drone (dérive de 5.5 % à 6.7 % pour le pulvérisateur axial à jet porté contre 2.3 % à 3.0 % pour les drones). En dessous de 2 mètres, la dérive présente une forte variabilité entre les deux essais avec le drone en comparaison du pulvérisateur axial à jet porté (dérive de 0.9 % à 6.8 % pour les drones contre de 6.8 % à 4.8 % pour les pulvérisateurs axial à jet porté).

**Le CES note qu'en ce qui concerne la dérive aérienne des différences sont observées entre les profils de dérive ; au-dessus d'une hauteur de 2 mètres, la dérive aérienne à 5 mètres du dernier rang est supérieure avec le pulvérisateur axial à jet porté en comparaison du drone, en revanche en dessous de 2 mètres, la dérive présente une forte variabilité entre les deux essais avec le drone, il est donc difficile de conclure sur la base des données disponibles. Des données supplémentaires seraient nécessaires.**

### 3.4. Analyse d'incertitude

Certaines incertitudes communes à l'ensemble des essais peuvent, en préambule, être listées :

- Il est constaté une variabilité dans les résultats des essais, probablement liée au couple drone/opérateur et à l'environnement le jour des essais, sans qu'il soit possible, en raison du peu de données disponibles, de préciser la part de chacun dans cette variabilité. Les conclusions quant aux performances des aéronefs télépilotés doivent donc rester prudentes car il n'est pas possible d'isoler dans ces résultats le seul effet « drone » ;
- La variabilité liée aux conditions différentes de formation des opérateurs à la manipulation des drones sera probablement plus importante si cette pratique est étendue et que le nombre d'opérateurs devient plus important ;
- Certains essais ont été réalisés dans des conditions éloignées des conditions réelles (terrains non pentus, pas d'utilisation de produits phytopharmaceutiques, vigne artificielle) rendant leur extrapolation difficile. En conditions moins normalisées ou simulées, il est raisonnablement attendu une plus forte variabilité des résultats.

#### 3.4.1. Données sur la qualité de la pulvérisation

Tableau 4 : Sources d'incertitudes et impact sur l'évaluation de l'efficacité des traitements phytopharmaceutiques par drones

Source primaire de l'incertitude	Source secondaire	Origine	Prise en compte dans l'analyse	Commentaire	Impact estimé sur l'appréciation du niveau d'efficacité d'applications de PPP par drones
<b>Qualité des données fournies</b>	Pertinence d'extrapoler la qualité de la pulvérisation à l'efficacité directe des traitements par drone sur les bio-agresseurs ciblés.	Incertitudes sur la corrélation entre qualité des dépôts et efficacité directe d'un PPP	<b>Oui</b>	La nécessité de mesures d'efficacité directe en complément des mesures de qualité de la pulvérisation, privilégiées dans les essais fournis, a été discutée dans un essai. En effet, les produits concernés étant de nature différente (solutions neutres avec traceurs colorés vs PPP), des comportements différents (diamètre des gouttelettes, densité des impacts, persistance sur les parties végétatives) pourraient être attendus.	<b>Amplitude :</b> Forte  <b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation

**Appui scientifique et technique de l'Anses**  
**Demande n° « 2022-AST-0026 »**

				Par ailleurs, dans chaque essai, la qualité de la pulvérisation est mesurée suite à une application unique tandis que l'efficacité biologique des traitements sur la saison dépend de l'application de PPPs sur l'ensemble de la période de susceptibilité.	
	Comparabilité des modalités testées	Validité des dispositifs expérimentaux mis en œuvre	<b>Oui</b>	Dans la plupart des cas, les traitements par drone et/ou par pulvérisateurs classiques ont été réalisés dans des parcelles voisines, adjacentes ou très proches géographiquement, mais présentant des différences notables (pente, volume végétatif, mode de conduite) ne permettant pas des comparaisons robustes et la validation statistique de l'effet recherché (type de buse utilisée ou type de matériel : drone vs matériel terrestre).	<p><b>Amplitude:</b> Forte</p> <p><b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation</p>
	Répétabilité des mesures, analyses statistiques	Absence de répétitions dans certains essais (ex : essais de type « grandes parcelles »), absence d'analyses statistiques ou analyses statistiques conduites sur des regroupements peu pertinents	<b>Oui</b>	<p>Dans certains essais, l'absence de répétition pour chaque modalité testée n'a pas permis de conduire d'analyses statistiques robustes.</p> <p>Par ailleurs, dans un rapport synthétisant les résultats de 25 essais conduits sur vigne, des regroupements entre essais/jeux de données ont été réalisés afin d'appliquer un modèle mixte et de conduire des ANOVA classiques. Toutefois, les nombreux facteurs de variabilité entre chaque essai (modèle de drone, type de buse, hauteur de vol, volume de bouillie) interrogent sur la robustesse des regroupements réalisés et sur l'importance des effets aléatoires associés.</p>	<p><b>Amplitude:</b> Forte</p> <p><b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation</p>

**Appui scientifique et technique de l'Anses**  
**Demande n° « 2022-AST-0026 »**

	Performance intrinsèque du produit testé indépendamment du matériel d'application	-	<b>Partiellement</b>	<p>La question de l'efficacité des produits appliqués contre les bio-agresseurs présents a été discutée dans un essai incluant des notations d'efficacité biologique. En effet, il est indiqué que la faible efficacité du produit contre une ou plusieurs maladies étudiées pourrait masquer d'éventuelles différences dans les performances des traitement testés (pulvérisation par drone vs pulvérisation classique au sol).</p> <p>Ainsi ces données ont bien été commentées dans l'analyse mais n'ont pas été prises en compte dans l'évaluation des performances des drones par rapport à du matériel classique.</p>	<p><b>Amplitude :</b> Faible</p> <p><b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation</p>
<b>Caractéristiques et performances techniques du drone</b>	Caractéristiques techniques du drone utilisé	-	<b>Non</b>	Influence très forte des caractéristiques techniques de chaque appareil (poids, volume de la cuve, nombre de buses, pression de pulvérisation, autonomie de vol) sur ses performances en conditions pratiques.	<p><b>Amplitude:</b> Forte</p> <p><b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation</p>
	Paramétrage du drone en cas de fortes contraintes parcellaires	-	<b>Complexe (accroissement des facteurs de variabilité dans les essais)</b>	Outre le type de buses (profil granulométrique), certains paramètres sont apparus comme structurant la qualité de la pulvérisation par drone (hauteur de vol, vitesse de vol, trajectoire par rapport aux rangs, volume de bouillie pouvant influencer sur la charge et donc sur la propulsion du nuage de pulvérisation vers le bas).	<p><b>Amplitude:</b> Forte</p> <p><b>Direction :</b> Sous-estimation</p>
<b>Action des produits appliqués</b>	Absence de donnée d'efficacité contre d'autres types de	Question de l'extrapolation des résultats obtenus pour les programmes	<b>Non</b>	Outre les fongicides pour lutter contre certaines maladies foliaires, la question de l'efficacité d'autres types de traitements (ex : insecticides, herbicides) en cas d'application par drone pourrait également se poser au regard des fortes	<p><b>Amplitude:</b> Forte</p> <p><b>Direction :</b></p>

	bio-agresseurs (ex : insectes)	fongicides testés à des programmes ciblant d'autres bio-agresseurs		contraintes topographiques des parcelles d'intérêt (pente $\geq$ 30%).	Surestimation ou sous-estimation
--	-----------------------------------	--	--	--	----------------------------------

### 3.4.2. Données sur l'exposition de l'environnement

**Tableau 5 : Sources d'incertitudes et impact sur les mesures de la dérive de pulvérisation générée par les applications par drone**

Source principale de l'incertitude	Origine	Prise en compte dans l'analyse	Commentaire	Impact estimé
Nombre restreint de jeux de données	Les résultats de 4 essais uniquement sont disponibles : 1 sur bananeraie, 1 sur pommier et 2 sur vigne artificielle.	<b>Oui</b>	Ces premiers essais apportent des résultats préliminaires intéressants. Ils devront être complétés par des essais supplémentaires.  Une analyse statistique robuste ne peut pas être menée compte tenu du faible jeu de données disponible.	<b>Amplitude:</b> Forte  <b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation
Nombre de répétitions limité pour chaque modalité	Protocoles expérimentaux proposés	<b>Oui</b>	Le nombre de répétitions proposé dans les essais fournis est faible et ne permet pas de respecter le critère de 3 répétitions validées au minimum pour chaque modalité, comme défini dans la norme NF ISO 22866.	<b>Amplitude:</b> Forte  <b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation

Variabilité des mesures	Les conditions météorologiques observées peuvent varier significativement entre les différentes répétitions.	<b>Oui</b>	Lorsque des répétitions sont disponibles, une variabilité importante est observée entre les répétitions d'une même modalité. Un nombre suffisant de répétitions pour une même modalité est nécessaire pour améliorer la fiabilité des résultats.	<p><b>Amplitude:</b> Forte</p> <p><b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation</p>
Plan de vol du drone	Choix de l'opérateur	<b>Oui</b>	Sur la base des éléments disponibles, les différents paramètres du plan de vol (hauteur de vol, vitesse d'avancement et adaptation à la topographie de la parcelle) ont un impact significatif sur les valeurs de dérive de pulvérisation mesurées pour les pulvérisations par drone.	<p><b>Amplitude:</b> Forte</p> <p><b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation</p>
Comparabilité des matériels d'application (drone / matériel de référence)	Protocoles expérimentaux proposés	<b>Oui</b>	Le drone et le matériel de référence ne sont pas systématiquement équipés de buses de granulométrie équivalente. Les valeurs de dérive de pulvérisation générées par chaque matériel d'application ne sont donc pas directement comparables.	<p><b>Amplitude:</b> Forte</p> <p><b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation</p>

3.4.3. Données sur l'exposition des personnes

Tableau 6 : Sources d'incertitudes et impact sur les résultats de l'exposition de l'opérateur et des riverains suite à des traitements phytopharmaceutiques par drones

Source principale de l'incertitude	Détails	Origine	Prise en compte dans l'analyse	Commentaire	Impact estimé
Répétabilité, analyses statistiques	Absence de répétitions dans certains essais, absence d'analyses statistiques.	Protocole expérimental	Oui	L'absence de répétition pour chaque modalité testée n'a pas permis de conduire d'analyses statistiques robustes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre insuffisant d'opérateurs par tâche (1 opérateur par tâche), ce qui ne permet pas de conduire d'analyses statistiques.</li> <li>- 1 seul passage de drone / pulvérisateur.</li> </ul>	<b>Amplitude:</b> Forte  <b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation
Conditions d'utilisations du drone	-	Protocole expérimental	Oui	Les paramètres suivants ont montré un impact sur la dérive et donc sur l'exposition opérateur / riverains : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Profil granulométrique (type de buse)</li> <li>- Hauteur de vol</li> <li>- Vitesse de vol</li> <li>- Température</li> <li>- Vent (Orientation et vitesse)</li> </ul>	<b>Amplitude:</b> Forte  <b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation

**Appui scientifique et technique de l'Anses**  
**Demande n° « 2022-AST-0026 »**

<p>Comparaison entre la quantité de dépôts sur la culture dépend du type de buse utilisée : buse à fines gouttelettes vs buses à réduction de dérive.</p>	<p align="center">-</p>	<p align="center">Matériel</p>	<p align="center"><b>Oui</b></p>	<p>L'utilisation d'une buse à fines gouttelettes entrainera une dérive plus importante et ainsi une plus grande exposition pour le riverain. Cependant les dépôts sur la culture seront plus faibles, ce qui aura pour conséquence une exposition moindre du travailleur.</p> <p>A l'inverse, l'utilisation d'une buse anti-dérive réduira l'exposition du résident mais entrainera des dépôts sur la culture plus importants, et pourrait conduire à une exposition du travailleur plus élevée.</p>	<p><b>Amplitude:</b> Moyenne</p> <p><b>Direction :</b> Surestimation ou sous-estimation</p>
---	-------------------------	--------------------------------	----------------------------------	--	---

#### 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

Au regard de l'interdiction des applications de produits phytopharmaceutiques par hélicoptère et des limites associées au passage de pulvérisateurs terrestres dans les parcelles à fortes pentes (contraintes techniques, tassement du sol, exposition des opérateurs...), le recours à des drones de pulvérisation est envisagé comme une alternative pouvant présenter de multiples avantages.

En application de la *loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous*, un ensemble d'expérimentations ont été réalisées, visant à déterminer les bénéfices liés à l'utilisation de drones dans les parcelles agricoles présentant des pentes supérieures ou égales à 30 %.

Cet avis a pour objet d'analyser les données issues des expérimentations soumises à l'Anses afin d'évaluer les performances des drones en termes d'efficacité et de risques d'exposition de l'environnement ou des personnes. Il n'a pas pour objet d'évaluer les différentes stratégies de protection des cultures, dont fait partie la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques par drone.

Il est à noter que dans le cadre de la réalisation de nouveaux essais, une amélioration de l'harmonisation des protocoles d'essais pourrait faciliter la mise en commun ou la comparaison des résultats.

En l'absence de connaissances techniques à l'échelle nationale, **l'efficacité en termes de protection phytosanitaire de ce type d'application a été évaluée dans plusieurs essais conduits en vigne, banane ou vergers de pommiers.**

Malgré une qualité variable des données d'efficacité fournies, les premiers résultats montrent dans l'ensemble que la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques par drone, fortement structurée par des gradients « haut-bas » et « extérieur-intérieur » à l'échelle de la plante, ne fournit pas une protection satisfaisante des étages foliaires inférieurs (zone des grappes en vigne) en cas de volume végétatif important et/ou de port fermé. De plus, la couverture insuffisante des faces inférieures des feuilles peut s'avérer problématique dans la lutte contre certaines maladies colonisant les faces foliaires abaxiales (mildiou de la vigne par exemple). Toutefois, les quelques données disponibles pour des traitements à des stades végétatifs précoces (BBCH 12-13) ou sur des végétaux à port plutôt ouvert (bananier) semblent indiquer que la qualité des dépôts de bouillie en cas de traitement par drone pourrait être comparable à celle d'un traitement terrestre. Plusieurs essais d'efficacité conduits en Suisse ont également montré que des traitements par drone pouvaient fournir une protection similaire à des traitements au sol (atomiseur, turbodiffuseur) en cas de faible pression en maladies sur vigne.

**D'après les données soumises, le recours à des traitements par drone apparaît donc comme une solution intéressante pour protéger les cultures des bio-agresseurs problématiques dans certaines conditions biologiques (faibles pressions en maladies), végétatives (volume foliaire limité et/ou port ouvert), climatiques (sols instables) et/ou topographiques (très fortes pentes). Toutefois, en conditions plus limitantes, les performances des drones de pulvérisation apparaissent inférieures à celles de pulvérisateurs terrestres classiques.**

**En ce qui concerne la mesure de la dérive de pulvérisation, les essais proposés ont été réalisés en considérant la norme NF ISO 22866 en vigueur.** Seule une partie des essais proposés a pu être validée au regard des critères définis dans cette norme. Les essais ne respectant pas le nombre minimum de répétitions requis par la norme NF ISO 22866 ont été conservés dans l'analyse car il est considéré qu'ils apportent des données pertinentes. Cependant, ces résultats présentent une incertitude plus importante.

**Ces essais fournissent des résultats préliminaires intéressants. Cependant, ils doivent être considérés avec précaution compte tenu du jeu de données très restreint. De plus, de nombreux facteurs peuvent impacter les mesures de dérives aérienne et sédimentaire réalisées pour les applications par drone (granulométrie des buses, hauteur de vol, plan de vol, etc.). L'analyse des données ne permet pas, à ce stade, de dégager des conclusions générales robustes compte tenu des incertitudes observées.** Il conviendrait de poursuivre les expérimentations pour consolider les résultats et confirmer les tendances observées. Des mesures conjointes de mesure de dérives aérienne et sédimentaire pourraient être mises en place dans les essais complémentaires.

**En ce qui concerne l'exposition des opérateurs, travailleurs, personnes présentes et résidents (riverains) dans le cadre d'une pulvérisation par drone :**

- Concernant l'opérateur

**En vigne en forte pente, l'exposition des opérateurs est très inférieure lors de l'utilisation avec un drone en comparaison à une utilisation avec un chenillard, en particulier lors de la phase d'application. Toutefois le nombre d'opérateurs impliqués dans cette étude étant limité, des données supplémentaires seraient nécessaires.** Les données fournissent des informations préliminaires. L'utilisation des drones pourrait permettre de réduire l'exposition des opérateurs, ce qui pourrait être confirmé par des essais additionnels.

Par ailleurs, afin d'assurer un niveau optimal de sécurité des opérateurs concernés, la spécificité de l'application par drones pourrait être prise en compte dans la certification Certiphyto, réglementairement requise pour les applications de produits phytopharmaceutiques.

- Concernant le travailleur

**Plusieurs études montrent que les dépôts sur les cultures présentent une variabilité supérieure après utilisation de drones en comparaison avec les matériels d'application classiques. Ainsi, la question de l'impact de la quantité des dépôts sur les cultures sur l'exposition des travailleurs se pose.** Des éléments devraient être générés afin de mieux renseigner l'exposition des travailleurs dans les conditions de rentrée, qui peuvent intégrer un délai, suite à une pulvérisation de la culture par drone.

- Concernant les personnes présentes et les résidents (riverains) pendant la phase de pulvérisation

Trois essais ont été réalisés sur la dérive :

La première étude (EoleDrift) montre que les niveaux de dérive générés par les drones sont très dépendants des buses utilisées. Dans certaines conditions (vitesse de vol, hauteur de vol, type de buse, vent), les niveaux de cette dérive peuvent être inférieurs à ceux d'un chenillard ou d'un atomiseur à dos.

Dans d'autres conditions et en fonction des buses utilisées les niveaux de dérive générés par les drones peuvent être supérieurs.

Une deuxième étude porte sur l'étude de la dérive en bananeraie de forte pente. Les niveaux de contamination de mannequins (90 et 180 cm), placés à une distance de la parcelle de 3, 5 et 10 mètres sont supérieurs lors d'une pulvérisation avec un drone en comparaison avec un atomiseur à dos. En ce qui concerne la dérive aérienne, jusqu'à une hauteur de 3 mètres la dérive aérienne est plus importante avec les drones que pour l'atomiseur à dos.

Une troisième étude présente une analyse de la dérive lors d'une pulvérisation par drones en vergers de pommes. En ce qui concerne la dérive aérienne, des différences sont observées entre les profils de dérive : au-dessus d'une hauteur de 2 mètres, la dérive aérienne à 5 mètres du dernier rang est supérieure avec le pulvérisateur axial à jet porté en comparaison du drone, en revanche en dessous de 2 mètres, la dérive présente une forte variabilité entre les deux essais avec le drone, il est donc difficile de conclure sur la base des données disponibles. Des données supplémentaires seraient nécessaires.

**Une généralisation de l'impact des drones, incluant l'utilisation de buses limitant la dérive, sur le niveau de dérive reste assez difficile à quantifier avec précision dans la mesure où les études montrent des résultats pouvant présenter une forte variabilité et reposent sur un nombre de répétitions limitées. Les conditions d'utilisation ont un impact très important sur le niveau de la dérive.** En effet, le vent, le type de buse, la vitesse d'avancement du drone et la hauteur de pulvérisation sont des facteurs ayant un impact important sur la dérive.

Il est cependant important de noter les incertitudes liées aux données fournies qui peuvent avoir un fort impact sur les résultats. Celles-ci concernent :

- La quantité et la qualité des données fournies (faible quantité de données, manque de comparabilité des modalités, absence/nombre limité de répétitions des mesures) ;
- Les performances du drone (caractéristiques techniques, paramétrage) ;
- L'action des produits appliqués (absence de données d'efficacité).

Pour mieux caractériser les bénéfices et les risques de l'application de produits phytopharmaceutiques par drones, l'Anses émet les recommandations suivantes :

- Afin de permettre une meilleure évaluation de l'efficacité de la pulvérisation :
  - o Répéter les essais tout en améliorant la qualité des protocoles expérimentaux (en particulier limiter le nombre de facteurs de variabilité au sein d'un même essai) ;
  - o Favoriser des dispositifs expérimentaux permettant de comparer différentes modalités dans les mêmes conditions expérimentales (même parcelle et même jour de traitement) ;
  - o Dans les nouveaux essais, mettre en corrélation des mesures d'efficacité biologique et des mesures de qualité de la pulvérisation ;
  - o Identifier les leviers d'action pratiques permettant d'améliorer l'efficacité des traitements par drone.

- Afin de limiter la dérive :
  - Pulvériser dans des conditions de vent faible à nul ;
  - Adapter le plan de vol du drone : abaissement de la hauteur de vol combinée avec une réduction de la vitesse d'avancement et prise en compte de la topographie de la parcelle traitée ;
  - Utiliser des buses à injection d'air dites à réduction de dérive.

Par ailleurs, des actions d'aménagement du paysage (par exemple, la mise en place de haies vives ou artificielles, plus hautes que la végétation) pourraient permettre de contenir la dérive de pulvérisation.

- Afin de mieux caractériser l'exposition des personnes :
  - Répéter les essais concernant l'estimation des expositions des opérateurs et des riverains générées par la dérive de pulvérisation ;
  - Générer des informations afin de mieux renseigner l'exposition des travailleurs dans les conditions de rentrée, qui peuvent intégrer un délai, suite à une pulvérisation de la culture par drone.

Dr Roger Genet

## MOTS-CLÉS

Drones, dérive de pulvérisation, efficacité, exposition des personnes, vigne, pommier, bananier, mildiou, oïdium

Drones, spray drift, efficacy, exposure, vine, apple tree, banana tree, mildew, oidium

## CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2022). Note d'appui technique et scientifique relative à « l'expérimentation de l'utilisation de drones pour la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques ». (saisine 2022-AST-0026). Maisons-Alfort : Anses.

## ANNEXE 1

### Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE** : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, intuitu personae, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :  
CES « Substances et produits phytopharmaceutiques, biocontrôle » du 07/06/2022

#### Président

M. Jean-Ulrich MULLOT – Pharmacien militaire (Service de santé des Armées). Spécialité : Toxicologie, Evaluation des risques, Réglementation, Radionucléides, Chimie Analytique

#### Vice-président

M. Christian GAUVRIT – Retraité de l'Institut national de la recherche agronomique - INRA. Spécialité : Efficacité, Herbicides, physiologie végétale, adjuvants, formulants

## **Membres**

M. Marc BARDIN – Directeur de recherche (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement - INRAE). Spécialité : Efficacité, Biocontrôle, phytopathologie, microbiologie

M. Enrique BARRIUSO – Directeur de recherche (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement - INRAE). Spécialité : Environnement, devenir, transferts, sols, chimie

M. Philippe BERNY – Enseignant – Chercheur (Vetagro Sup). Spécialité : Ecotoxicologie, oiseaux et mammifères

Mme Marie-France CORIO-COSTET – Directrice de recherche (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement - INRAE). Spécialité : Efficacité, fongicides, herbicides, vigne, résistance, stimulateurs des Défenses des Plantes, Biocontrôle,

M. Jean-Pierre CUGIER – Retraité du Ministère de l'agriculture, Senior Scientific Officer (Autorité européenne de sécurité des aliments) jusqu'au 30/09/2016. Spécialité : Résidus et sécurité consommateur

M. Marc GALLIEN – Chargé de mission (MSA). Spécialité : Application des produits phytopharmaceutiques, Exposition des opérateurs et des travailleurs, Analyse des conséquences sur la santé humaine des expositions aux produits phytopharmaceutiques

Mme Sonia GRIMBUHLER – Chercheuse (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement - INRAE). Spécialité : Evaluation de l'exposition des agriculteurs - Machinisme agricole - Mesurage de terrain

Mme Guillermina HERNANDEZ RAQUET – Directrice de recherche (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement - INRAE). Spécialité : Microbiologie, écologie microbienne, biodégradation, chimie analytiques, polluants persistants, écotoxicologie, biotechnologie

M. François LAURENT – Chargé de recherche (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement - INRAE). Spécialité : Métabolisme, résidus composés organiques, Contamination de l'environnement, Physiologie Végétale

Mme Laure MAMY – Directrice de recherche (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement - INRAE). Spécialité : Devenir des pesticides dans l'environnement – Modélisation

M. Patrick SAINDRENAN Patrick – Retraité du Centre national de la recherche scientifique – CNRS. Spécialités : Phytopathologie, Fongicides, Stimulateurs des Défenses des Plantes, Modes d'action, Biocontrôle, Métabolisme de résidus de pesticides dans les végétaux

Mme Jeanne STADLER – Consultante en Toxicologie, Retraîtée du Centre de recherche Pfizer. Spécialité : Toxicologie de la reproduction

ANNEXE 2 : DEMANDE D'AST 2022-AST-0026



Ministère de l'Agriculture et  
de l'Alimentation

Direction générale de  
l'alimentation

Ministère des Solidarités  
et de la Santé

Direction générale de la  
santé

Ministère de la Transition  
écologique

Direction générale  
de la prévention des risques

Monsieur le Directeur général

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,  
de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie

94701 MAISONS ALFORT CEDEX

Paris, le

**01 FEV. 2022**

**Objet :** Demande d'appui scientifique et technique concernant l'expérimentation de l'utilisation de drones pour la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques.

L'article 82 de la *loi pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous* a prévu qu'une expérimentation vise à déterminer les bénéfices liés à l'utilisation de drones dans les parcelles agricoles présentant des pentes supérieures ou égales à 30 % pour limiter les risques d'accidents du travail et pour l'application de produits en matière de réduction des risques pour la santé et l'environnement.

La loi a fixé la fin de l'expérimentation au 31 octobre 2021, avec une évaluation de ses résultats par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

L'arrêté du 26 août 2019 *relatif à la mise en œuvre d'une expérimentation de l'utilisation d'aéronefs télépilotés pour la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques* a défini les modalités de mise en œuvre de l'expérimentation. Il a défini dans son annexe le plan expérimental à suivre de façon à ce que les essais concourent utilement à répondre aux questions posées.

A ce titre, 4 essais sur vignes en pente ont été autorisés et 2 autres essais ont été conduits sans nécessité de les autoriser car réalisés sans produits phytopharmaceutiques (voir annexe).

1

Les rapports finaux de ces essais ont été transmis à la Direction générale de l'alimentation conformément à l'arrêté du 26 août 2019, et vous sont communiqués avec la présente demande.

Conformément à l'article 5 de l'arrêté du 26 août 2019, nous vous remercions d'évaluer la qualité des essais réalisés, d'effectuer une synthèse des résultats obtenus et de formuler des conclusions sur la réduction des risques lors de l'utilisation d'aéronefs télépilotés pour l'application des produits phytopharmaceutiques dans les conditions de l'expérimentation. Le cas échéant, vous formulerez des recommandations sur les conditions requises pour une application sûre pour la santé et l'environnement de produits phytopharmaceutiques à l'aide d'aéronefs télépilotés.

Nous vous remercions de nous transmettre vos conclusions pour le 31 mai 2022.

Le cas échéant, vous préciserez les domaines qui devraient encore être étudiés pour compléter les rapports d'essais issus de l'expérimentation et définir les conditions d'utilisation des drones pour appliquer les produits phytopharmaceutiques dans certaines circonstances. Nous vous remercions de nous en informer suffisamment tôt pour que les études concernées puissent être réalisées en 2022.

Le Directeur général  
de l'alimentation

BRUNO  
FERREIRA ID  
Signature numérique  
de BRUNO FERREIRA  
ID  
Date: 2022.01.20  
17:16:26 +01'00'

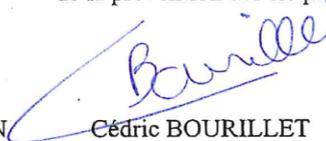
Bruno FERREIRA

Le Directeur général  
de la santé



Jérôme SALOMON

Le Directeur général  
de la prévention des risques



Cédric BOURILLET

**Annexe**

**Essais autorisés ou réalisés dans le cadre de l'expérimentation**

**Essais autorisés par arrêté préfectoral :**

- Chambre d'agriculture d'Ardèche : essais sur vignes en pente dans les départements d'Ardèche et du Rhône en 2020 et 2021
- Chambre d'agriculture d'Alsace : essais sur vignes en pente dans le département du Haut-Rhin en 2021
- Société CYMDRONES : essais sur vignes en pente dans le département de l'Aube en 2020 et 2021, et dans le département de la Marne en 2021
- M. Paturaux Sylvain : essais sur vignes en pente dans le département du Rhône en 2021

**Essais n'ayant pas nécessité d'arrêté préfectoral :**

- Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV) – projet PULVEDRONE : essais en viticulture, arboriculture, bananeraie et sur le site expérimental d'INRAE à Montpellier en 2019, 2020 et 2021
- Institut Technique Tropical (IT<sup>2</sup>) : essais sur bananeraie en pente à la Martinique en 2020

**ANNEXE 3 : MESURE DE LA DERIVE DE PULVERISATION: PRESENTATION ET VALIDITE DES MODALITES TESTEES EN PARCELLE DE POMMIER (CTIFL)**

Modalité	Matériel utilisé	Type de buses (granulométrie)	Produit appliqué	Type de dérive / collecteur	Répétition(s)	Validité de chaque répétition* (O/N)
1	Référence: Pulvérisateur axial à jet porté	Albuz ATR 80 (granulométrie fine)	Solution neutre (tartrazine)	Aérienne / Fils PVC horizontaux (hauteur entre 0,5m et 9 m)	1	N (orientation du vent non conforme)
					2	O
					3	O
2	Drone ACT6	Lechler AD 90 02 (granulométrie forte)	-	Sédimentaire / boîte de Pétri (distance entre 2 et 20 m)	1	N (orientation du vent non conforme)
					2	O
					3	O

\*selon les critères météorologiques définis dans la norme NF ISO 22866.

**ANNEXE 4 : MESURE DE LA DERIVE DE PULVERISATION: PRESENTATION ET VALIDITE DES MODALITES TESTEES EN BANANERAIE (IT2)**

Modalité	Matériel utilisé	Type de buses (granulométrie)	Produit appliqué	Type de dérive / collecteur	Répétition(s)	Validité de chaque répétition* (O/N)
1	Drone (DJI Agras MG-1P)	Albuz AVI 110 01 (granulométrie forte)	Solution neutre (DD5-0954 Radiant Color)	Aérienne / Fils verticaux et boules PVC (hauteur entre 0,5m et 10,5 m)	1	O
2		Albuz ADI 110 01 (granulométrie moyenne)			1	N (orientation du vent non conforme)
3		XR 110 01 de Teejet (granulométrie fine)			1	N (orientation du vent non conforme)
4	Référence: Pulvérisateur à dos (Cifarelli M3)	Non renseigné			1	O

\*selon les critères météorologiques définis dans la norme NF ISO 22866.

**ANNEXE 5 : MESURE DE LA DERIVE DE PULVERISATION: PRESENTATION ET VALIDITE DES MODALITES TESTEES SUR VIGNE ARTIFICIELLE (IFV)**

Modalité	Matériel utilisé	Type de buses (granulométrie)	Produit appliqué	Type de dérive / collecteur	Plan / hauteur de vol	Répétition(s)	Validité de chaque répétition <sup>a</sup> (O/N)					
Aero41 1.1	Drone AGv2	Teejet TXA 80 01	Solution neutre (BSF)	Aérienne / Fils PVC horizontaux (hauteur entre 0,5m et 5,5 m)	Bordure <sup>b</sup> / 3 m	1	O					
Aero41 1.2		(granulométrie très fine)			Intérieur <sup>c</sup> / 3 m	1	O					
Aero41 1.3		Lechler IDK 90 01			Bordure <sup>b</sup> / 3 m	1	O					
Aero41 1.4		(granulométrie très forte)			Intérieur <sup>c</sup> / 3 m	1	O					
Aero41 1.5		Albuz ADI 110 01			Bordure <sup>b</sup> / 3 m	1	N (orientation du vent non conforme)					
Aero41 1.6		(granulométrie fine)			Intérieur <sup>c</sup> / 3 m	1	N (orientation du vent non conforme)					
20E D1.1	Drone AGRAS MG-1P RTK	Teejet XR 110 015 (non renseignée)			Solution neutre (BSF)	Aérienne / Fils PVC horizontaux (hauteur entre 0,5m et 5,5 m)	Bordure <sup>b</sup> / 3,5 m	1	N (orientation du vent non conforme)			
20E D1.2		Albuz ADI 110 015 (non renseignée)						1	N (orientation du vent non conforme)			
21E T16 1.1	Drone DJI T16	Lechler IDK 90 01 (granulométrie très forte)						Solution neutre (BSF)	Aérienne / Fils PVC horizontaux (hauteur entre 0,5m et 5,5 m)	Bordure <sup>b</sup> / 3,5 m	1	N (vitesse et orientation du vent non conformes)
21E T16 1.2											1	N (température non conforme)
21E T16 1.8											1	O
21E T16 1.9											1	O
21E T16 1.3		Teejet XR 110 01 (granulométrie fine)									1	N (orientation du vent non conforme)
21E T16 2.1											1	N (température, vitesse et orientation du vent non conformes)
21E T16 2.2			1	N (température non conforme)								
			1	N (température non conforme)								

**Appui scientifique et technique de l'Anses**  
**Demande n° « 2022-AST-0026 »**

Modalité	Matériel utilisé	Type de buses (granulométrie)	Produit appliqué	Type de dérive / collecteur	Plan / hauteur de vol	Répétition(s)	Validité de chaque répétition <sup>a</sup> (O/N)	
21E T16 1.4		Albuz ADI 110 01 (granulométrie fine)				1	O	
21E T16 2.3						1	N (température, vitesse et orientation du vent non conformes)	
21E T16 2.4						1	O	
21E T16 1.5		Albuz ADI 110 01 (granulométrie fine)				1	O	
21E T16 1.6		Teejet XR 110 01 (granulométrie fine)				Bordure <sup>b</sup> / 2,5 m	1	O
21E T16 1.7		Lechler IDK 90 01 (granulométrie très forte)					1	O
21E ATO 1.10	Référence: Atomiseur à dos (STIHL SR200)	Non renseigné			-	1	O	
21E CHE 1.1	Référence: Chenillard (NIKO HY38)	Albuz AXI 110 015 (granulométrie fine)				1	O	
21E CHE 1.2						1	O	

**ANNEXE 6 : INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES CONCERNANT LES ESSAIS RELATIFS A L'EXPOSITION DES OPERATEURS ET DES RIVERAINS**

6.1 Quantité de substance active retrouvée ( $\mu\text{g}/\text{specimen}$ ) sur les t-shirts disposés à 3, 5, 10 mètres de la parcelle. Projet EDVIG 1 – Exposition des opérateurs. ANADIAG-2021

Tableau 10 T-shirts

Spécimen analytique No,	Spécimen terrain No,	Dosimètre	Quantité de cyflufenamide trouvée ( $\mu\text{g}/\text{spécimen}$ )
C1167 10 01	C1167 TSdrone 3m-1	T-shirt (3m) - drone	9,50
C1167 10 02	C1167 TSdrone 3m-2	T-shirt (3m) - drone	49,68
C1167 10 03	C1167 TSdrone 5m-1	T-shirt (5m) - drone	4,10
C1167 10 04	C1167 TSdrone 5m-2	T-shirt (5m) - drone	0,97
C1167 10 05	C1167 TSdrone 10m-1	T-shirt (10m) - drone	5,44
C1167 10 06	C1167 TSdrone 10m-2	T-shirt (10m) - drone	1,29
C1167 10 07	C1167 TSpulvé 3m-1	T-shirt (3m) - pulvé	0,45
C1167 10 08	C1167 TSpulvé 3m-2	T-shirt (3m) - pulvé	6,34
C1167 10 09	C1167 TSpulvé 5m-1	T-shirt (5m) - pulvé	0,25
C1167 10 10	C1167 TSpulvé 5m-2	T-shirt (5m) - pulvé	2,75
C1167 10 11	C1167 TSpulvé 10m-1	T-shirt (10m) - pulvé	0,09
C1167 10 12	C1167 TSpulvé 10m-2	T-shirt (10m) - pulvé	0,11

LOD (limite de détection) = 0,015  $\mu\text{g}/\text{spécimen}$ ,  
LOQ (limite de quantification) = 0,050  $\mu\text{g}/\text{spécimen}$ ,

6.2 Comparaison de dérives entre drones, chenillard et atomiseur. EoleDrift\_T16\_20211007. 2021

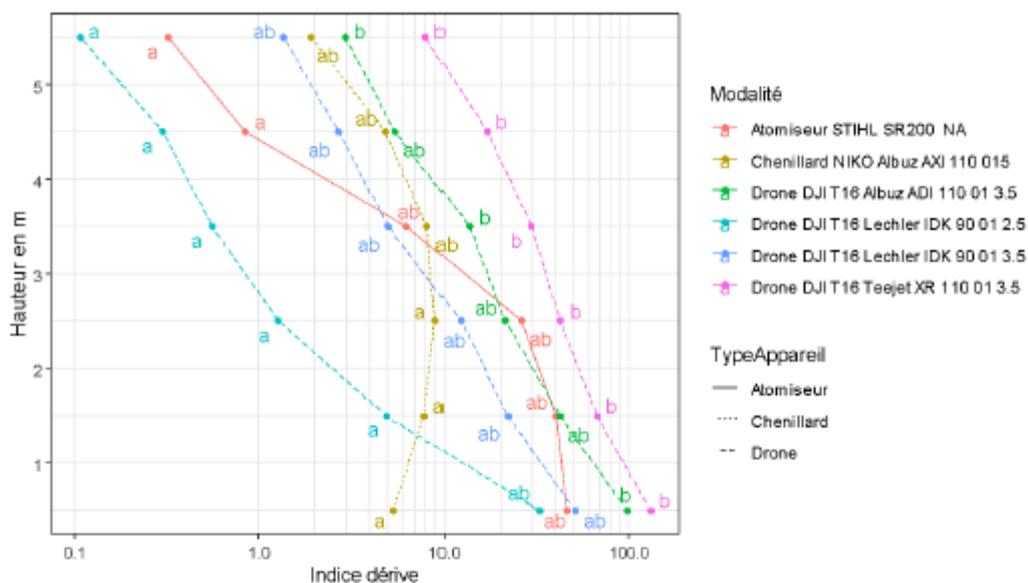


Figure 11. Profils moyens de dérive (échelle logarithmique) selon les modalités testées. Volume hectare 140L/ha, vitesse 1.4m/, hauteur 3.5m ou 2.5m. Les lettres représentent les groupes significativement différents (tests statistiques de Kruskal-Wallis réalisés par hauteur au seuil de 0.05%)

6.3 Comparaison de la dérive après utilisation d'un atomiseur vs drone. Rapport sur les performances du traitement par drone en bananeraie de forte pente - Octobre 2020 Martinique- Inrae

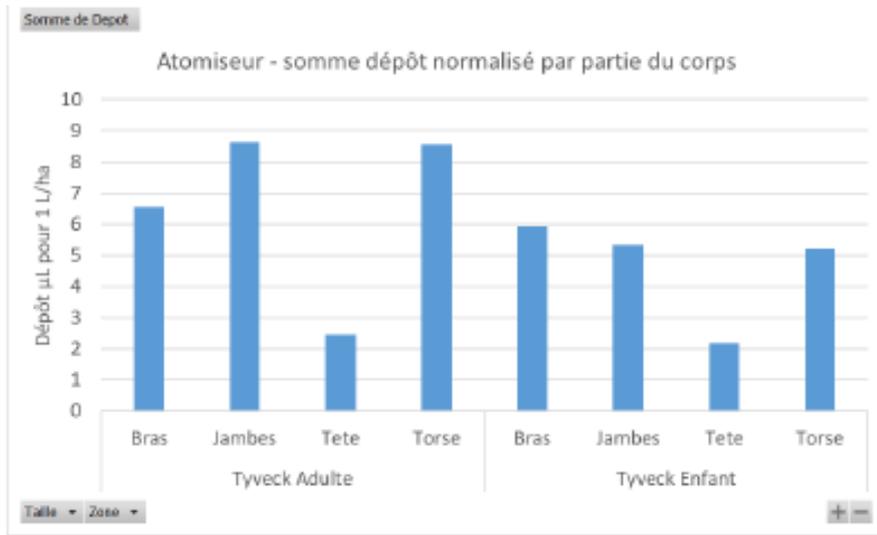


Figure 23 : Atomiseur - Dépôt total normalisé sur mannequin en fonction de la taille et des différentes parties du corps

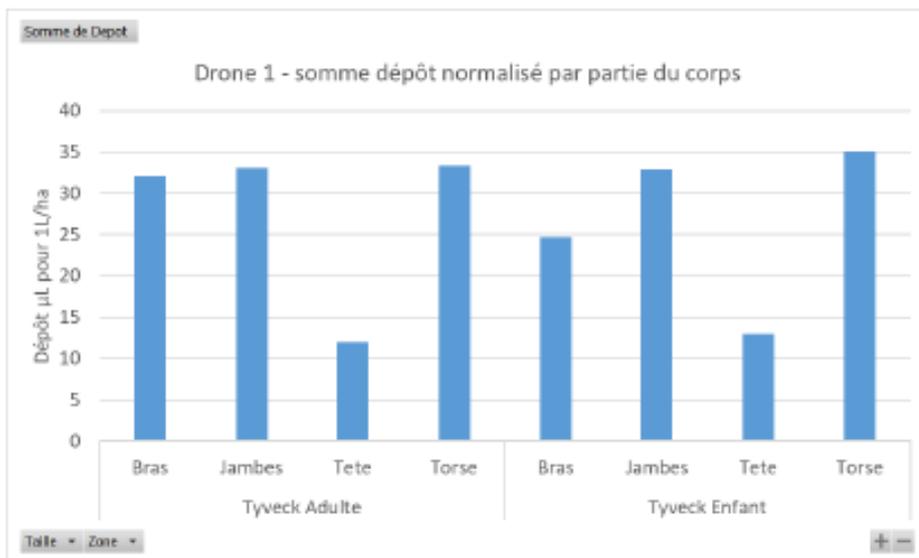


Figure 24 : Drone 1 AVI - Dépôt total normalisé sur mannequin en fonction de la taille et des différentes parties du corps

6.4 Comparaison de dépôts de dérive suite à l'utilisation d'un atomiseur vs drone équipé de buses ADI. Rapport sur les performances du traitement par drone en bananeraie de forte pente - Octobre 2020 Martinique- Inrae

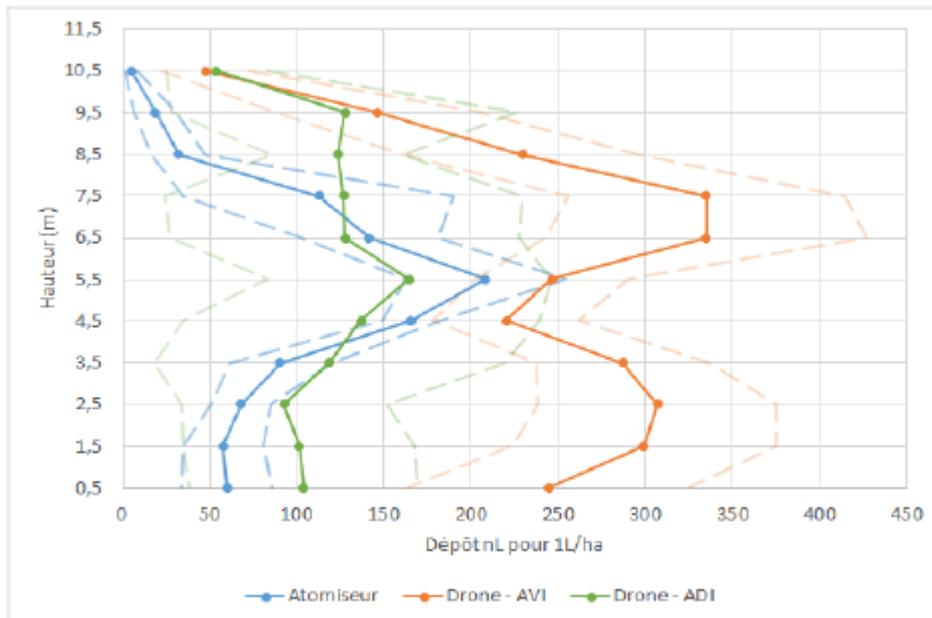


Figure 14 : Dépôt de dérive moyen normalisé sur boules PVC en fonction de la hauteur avec intervalle de confiance – comparaison atomiseur, drone 1 AVI et drone 2 ADI

6.5 Comparaison des dépôts sur mannequins suite à l'utilisation d'un atomiseur vs drone. Rapport sur les performances du traitement par drone en bananeraie de forte pente - Octobre 2020 Martinique- Inrae

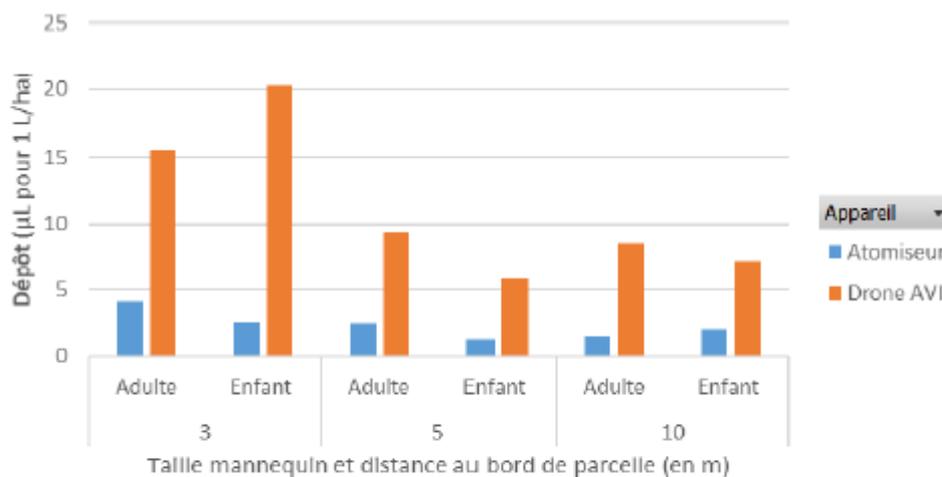


Figure 13 : Dépôt moyen en µL sur les mannequins enfants et adultes aux 3 distances pour les essais Atomiseur et Drone 1 AVI

6.6 Estimation complémentaire conduite par l'Anses en utilisant la méthodologie de l'EFSA, de l'exposition des opérateurs en prenant en compte les données de l'étude EDVIG1.

<b>Substance name</b>	Cyflufenamide
<b>Product name</b>	Lycedix 50 EW
<b>Reference value non acutely toxic active substance (RVNAS)</b>	0,03 mg/kg bw/day
<b>Reference value acutely toxic active substance (RVAAS)</b>	mg/kg bw/day
<b>Crop type</b>	Grapes
<b>Substance properties</b>	
Formulation type	Soluble concentrates, emulsifiable concentrate, etc.
Minimum volume water for application (liquids)	200 L/ha
Maximum application rate of active substance	0,025 kg a.s. /ha
50% Dissipation Time DT50	30 days
Initial Dislodgeable Foliar Residue	3 µg/cm2 of foliage/kg a.s. applied/ha
Dermal absorption of product	10,00%
Dermal absorption of in-use dilution	50,00%
Oral absorption of active substance	70,00%
Inhalation absorption of active substance	100,00%
Vapour pressure of active substance	low volatile substances having a vapour pressure of <5*10-3Pa
<b>Scenario</b>	
Indoor or Outdoor application	Outdoor
Application method	Upward spraying
Application equipment	Manual-Knapsack
Buffer strip	10 m
Number of applications	1
Interval between multiple applications	365 days
Season (upward spraying orchards only)	not relevant

Operator Model		Mixing, loading and application AOEM		
Potential exposure	Longer term systemic exposure mg/kg bw/day	0,3066	% of RVNAS	1022,00%
	Acute systemic exposure mg/kg bw/day	1,4933	% of RVAAS	
Mixing and Loading	Gloves = Yes	Clothing = Work wear - arms, body and legs covered	RPE = None	Soluble bags = No
Application	Gloves = Yes	Clothing = Work wear - arms, body and legs covered	RPE = None	Closed cabin = No
Exposure (including PPE options above)	Longer term systemic exposure mg/kg bw/day	0,0096	% of RVNAS	31,87%
	Acute systemic exposure mg/kg bw/day	0,0195	% of RVAAS	