

Evaluation des performances du drone pour les traitements phytosanitaires de la vigne

Axel JAQUEROD¹ et Pierre-Henri DUBUIS²

¹ Proconseil, avenue des Jordils 3, case postale 1080, 1001 Lausanne, Suisse

² Agroscope Changins, route de Duillier 50, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Pierre-Henri Dubuis, tél. +41 58 460 43 52, e-mail: pierre-henri.dubuis@agroscope.admin.ch



Drone lors de traitements à Aigle (VD). A gauche, DJI-AGRAS T16 de AgriAero; à droite: AERO41 AGv2 d'AERO41.

Introduction

Dans le contexte de l'agriculture de précision, l'utilisation d'outils technologiques se démocratise pour accomplir diverses tâches, des plus simples aux plus complexes. Le vignoble connaît lui aussi ce développement avec l'apparition de divers robots autonomes et drones qui permettent de réaliser différents travaux. La protection phytosanitaire n'a pas échappé à cette évolution avec l'apparition de drones spécialisés dans les traitements (Rao Mogili & Deepak 2018). L'application de produits phytosanitaires (PPH) par voie aérienne, jusqu'alors uniquement par hélicoptère, est une pratique relativement courante dans le vignoble suisse (environ 1000 ha traités en Suisse en 2021), en particulier dans les vignobles en très forte pente du Valais ou du canton de Vaud, dans des secteurs très peu voire non mécanisables. La Suisse a été le premier pays d'Europe à autoriser les traitements par drone et à mettre sur pied une procédure réglementant leur utilisation (Anken & Waldburger 2020). Afin d'accompagner les producteurs durant les premières années de mise en œuvre de cette nouvelle technologie et d'en mesurer les performances, un suivi sur plusieurs

parcelles expérimentales a été mis en place en Suisse romande durant trois ans.

Matériel et méthodes

Suivi de l'efficacité biologique

Pour évaluer les performances de l'épandage par drone, des comparaisons de l'efficacité de la protection de zones traitées par drone avec des zones de référence traitées au turbodiffuseur ou à l'atomiseur ont été effectuées entre 2018 et 2020 sur quatre parcelles par an. Les applications ont été réalisées le même jour avec les mêmes produits, seule variait la technique d'application. Les parcelles d'une surface approximative de 1000 m² ont été découpées en trois ou quatre blocs correspondant au traitement au drone, au traitement au sol, à un témoin non traité et, dans certains cas, une quatrième modalité, à savoir traitement au drone avec un ou deux compléments au sol (fig. 1).

Différents programmes de traitements ont été évalués sur ces parcelles: chaque année, deux parcelles ont été protégées en viticulture intégrée (PER), une troisième parcelle avec un programme dit sans

produits de synthèse correspondant à des produits admis en viticulture biologique plus du phosphonate de potassium, et la dernière en viticulture biologique. La fréquence d'intervention a été adaptée aux caractéristiques des produits utilisés dans les différents programmes de traitements, aux conditions météorologiques locales et à la pression de maladies tout au long de la saison. Les variantes viticulture biologique ont été protégées principalement à l'aide de cuivre (entre 2,0 et 3,4 kg/ha de cuivre métal à l'année) et de soufre additionnés, lors de certaines applications, de bicarbonate de potassium et/ou du COS-OGA, un éliciteur.

Les dix parcelles expérimentales étaient réparties dans les cantons de Vaud (n=7) et du Valais (n=3), et plantées de différents cépages (Chasselas n=5, Pinot noir n=4, Syrah n=1). Dans 5 parcelles, il y avait une variante supplémentaire consistant à des traitements par drone complétés par une ou deux applications au sol ciblées sur la zone des grappes au stade BBCH 73 et renouvelées si nécessaire au stade BBCH 77. Cette variante correspond à ce qui est recommandé dans les vignobles protégés par voie aérienne. Le Tableau 1 présente un exemple de plans de traitements incluant ce complément d'application au sol.

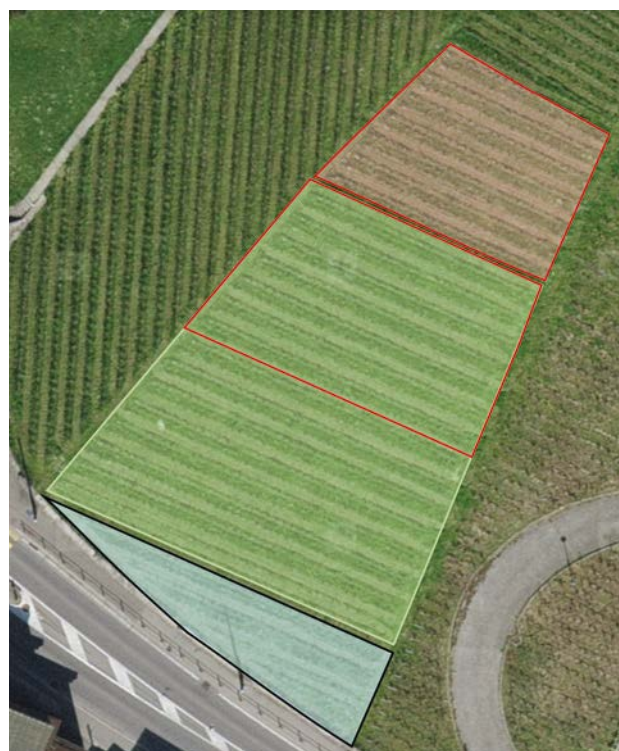


Figure 1 | Schéma d'une parcelle expérimentale avec la répartition des différentes variantes sur le terrain. Exemple de Paudex (VD), 2020.

Résumé L'efficacité biologique des traitements phytosanitaires par drone a été évaluée durant trois millésimes et comparée aux applications réalisées avec des pulvérisateurs conventionnels au sol. Ces essais se sont déroulés chaque année sur quatre parcelles expérimentales réparties dans les cantons de Vaud et du Valais. Les applications par drone ont globalement permis d'atteindre des niveaux d'efficacité inférieurs aux pulvérisateurs conventionnels. Des applications complémentaires réalisées au sol sont nécessaires pour obtenir des résultats satisfaisants en cas de forte pression de maladie. Des mesures de la qualité d'application à l'aide d'un marqueur fluorescent ont permis d'évaluer les quantités de produit déposées sur les grappes et sur les feuilles et d'en visualiser la répartition. Comparé à l'atomiseur, le drone dépose une quantité équivalente de produit sur les feuilles du haut, mais 3,6 fois moins sur les feuilles de la zone des grappes et 7,1 fois moins sur les grappes.

Tableau 1 | Traitements réalisés en 2020 sur deux sites d'essais. En gras: applications réalisées par drone et doublées avec un complément au sol à Paudex (VD).

Charrat (VS)		Paudex (VD)	
8 mai	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre	8 mai	Amarel Folpet Topas Vino
18 mai	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre	18 mai	Mildicut Vivando
29 mai	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre	29 mai	Vincare Cyflamid
8 juin	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre	8 juin	Mildicut Vivando
15 juin	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre	20 juin	Vincare Cyflamid
25 juin	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre	1 juillet	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre
6 juillet	Bouillie bordelaise Soufre	14 juillet	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre
20 juillet	Bouillie bordelaise Soufre	27 juillet	Bouillie bordelaise Quartet Lux + Soufre
		5 août	Bouillie bordelaise Soufre

Chaque saison, quatre parcelles ont été suivies. La fréquence et l'intensité du mildiou (*Plasmopara viticola*) et de l'oïdium (*Erysiphe necator*) ont été évaluées sur feuilles et sur grappes aux stades BBCH 73, 79 et 83. Pour chaque maladie, la fréquence, c'est-à-dire le pourcentage moyen d'organes infectés, a été calculée en observant 3 x 100 feuilles et 3 x 50 grappes. L'intensité moyenne de l'infection a été calculée en estimant la surface lésée par une note de 0 à 5 pour chaque feuille observée (0 = absence de symptômes, 1 = 0–2,5%, 2 = 2,5–10%, 3 = 10–25%, 4 = 25–50%, 5 ≥ 50% de la surface atteinte).

Cinq modèles de drones de trois distributeurs différents ont participé au projet (AgroFly: SpUAV; DJI: AGRAS MG-1P, MG-1S et T16; Aero41: AGv2). Ceci a permis d'évaluer la majorité des drones d'épandage existants et de suivre l'évolution technique rapide qui a eu lieu au cours des trois ans du projet.

Mesure du dépôt

Pour quantifier le dépôt sur feuilles et sur grappes, le marqueur fluorescent Helios 500 SC (Syngenta) à 0,1% a été appliqué respectivement au drone et à l'atomiseur à Paudex le 5 août 2020. Après traitement, 10 échantillons de 15 feuilles ainsi que 15 grappes ont été récoltés. Le marqueur fluorescent est récupéré de la surface des feuilles et des grappes à l'aide d'isopropanol. La fluorescence est ensuite quantifiée à l'aide d'un spectromètre (Siegfried *et al.* 1990 et 2007). Le dépôt est exprimé en ng/cm², puis les valeurs sont normalisées en fonction de la quantité de marqueur appliquée (g/ha) afin de pouvoir comparer différentes applications entre elles. De plus, il est possible de visualiser la répartition du marqueur sous une lampe UV et d'en faire des photos.

Tableau 2 | Données de base utilisées pour réaliser le calcul de coût d'utilisation d'un drone pour réaliser l'application de PPh.

Données de base	Valeurs
Prix d'achat	40 000 francs
Valeur résiduelle	0 francs
Amortissement	3 ans
Durée utile	150 ha
Facteur de réparation	0,15
Encombrement	8 m ³
Intérêts	2 %
Base d'utilisation annuelle	50 ha
Capacité de travail	100 a/h
Nombre ha traités comme base	6,25 ha
Nombre de traitements annuels	8

Evaluation économique

Une évaluation économique des applications par drone a aussi été effectuée selon la méthode de calcul décrite dans le rapport «coûts-machines» édité annuellement par Agroscope (Gazzarin C. 2020). Les montants définis comme base de calcul sont détaillés dans le Tableau 2. Les charges de main-d'œuvre ont été distinguées selon deux catégories en fonction du niveau de qualification: le travail de pilote a été valorisé à 40 fr./heure et celui de l'aide pilote à 30 fr./heure. Les coûts de formation du pilote ont aussi été intégrés dans le calcul de coût du traitement rapporté au mètre carré.

Résultats et discussion

Efficacité biologique de la protection

Le suivi de l'état sanitaire réalisé permet de mettre en lumière l'efficacité d'une protection phytosanitaire réalisée par drone et la compare à des traitements au sol avec des pulvérisateurs standards (turbodiffuseur ou atomiseur). Certains essais n'ont pas été mis en valeur ou seulement partiellement en raison de dégâts d'échaudage ou de dérive de PPh de parcelles voisines. Dans d'autres cas, les dégâts importants dus à un pathogène (mildiou ou oïdium) ont empêché l'évaluation de l'autre maladie. Le nombre moyen d'applications durant les trois années d'essais a été de 8,25 pour la viticulture intégrée, de 9,00 pour la variante sans produits de synthèse et de 10,66 pour la viticulture biologique.

La synthèse de la présence de maladie dans les différentes variantes de traitements est présentée pour le mildiou (fig. 2) et pour l'oïdium (fig. 3). Seuls les résultats des dernières observations de la saison sont présentés (stades BBCH 79 à 83), car cette dernière évaluation résume la performance de la protection de la culture sur l'entier de la saison.

Durant les trois années de mesures, le mildiou n'a pas été particulièrement virulent et la pression sur les sites d'essais peut être caractérisée comme faible à moyenne. Aucun témoin des sites d'essais n'a atteint les 50% d'intensité de mildiou sur grappes (fig. 2D). Les traitements au drone montrent systématiquement une efficacité plus faible sur feuilles par rapport aux traitements au sol. Par contre, les traitements au drone avec un ou plusieurs traitements complémentaires au sol permettent de se rapprocher de l'efficacité des traitements au sol. Pour l'oïdium, la présence de la maladie était beaucoup plus importante et même particulièrement forte dans certains cas. Quatre sites présentaient des dégâts sur grappes d'une intensité supérieure à 83% (fig. 3D). Que ce soit en termes de fréquence ou d'intensité,

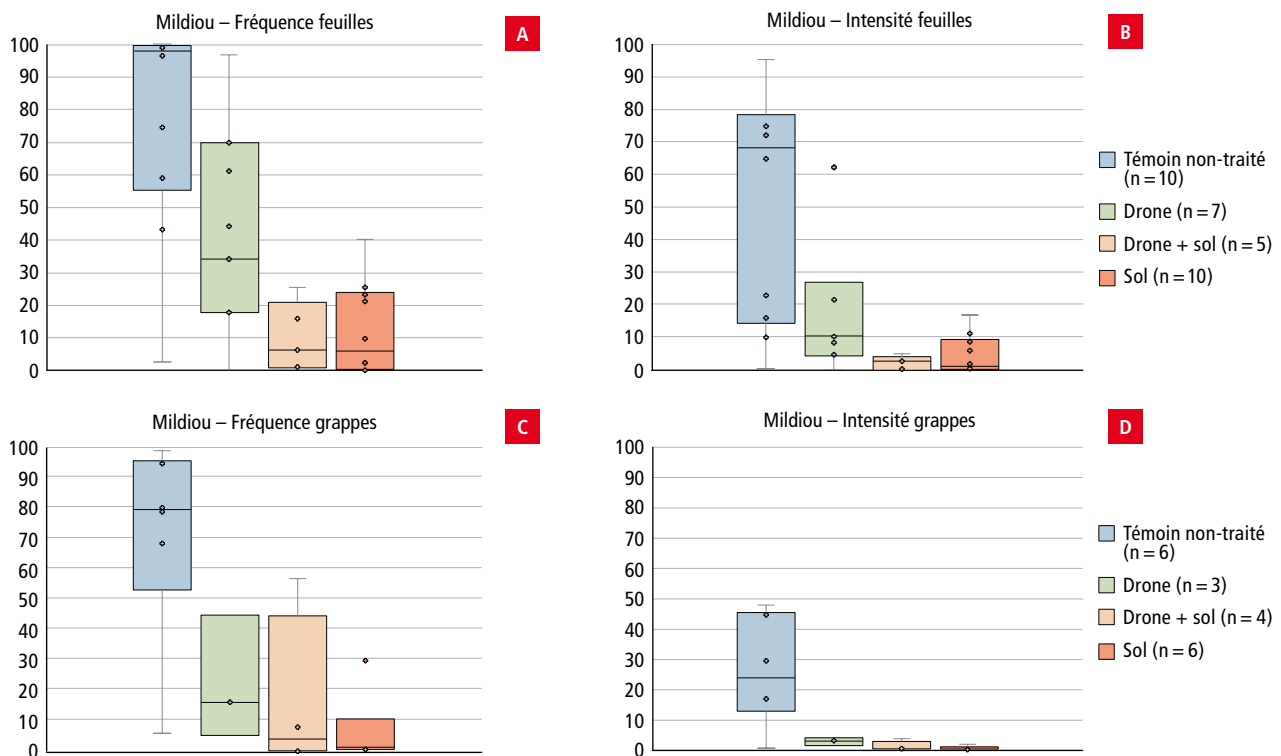


Figure 2 | Synthèse de la présence de mildiou sur les feuilles et sur les grappes en fréquence et en intensité dans les essais retenus de 2018 à 2020. Les box-plots représentent la plage de dispersion des valeurs: le rectangle indique les valeurs du premier au troisième quartile coupé par la médiane; les cercles et les extrémités des barres d'erreur correspondent aux différentes valeurs moyennes de chaque essai retenu.

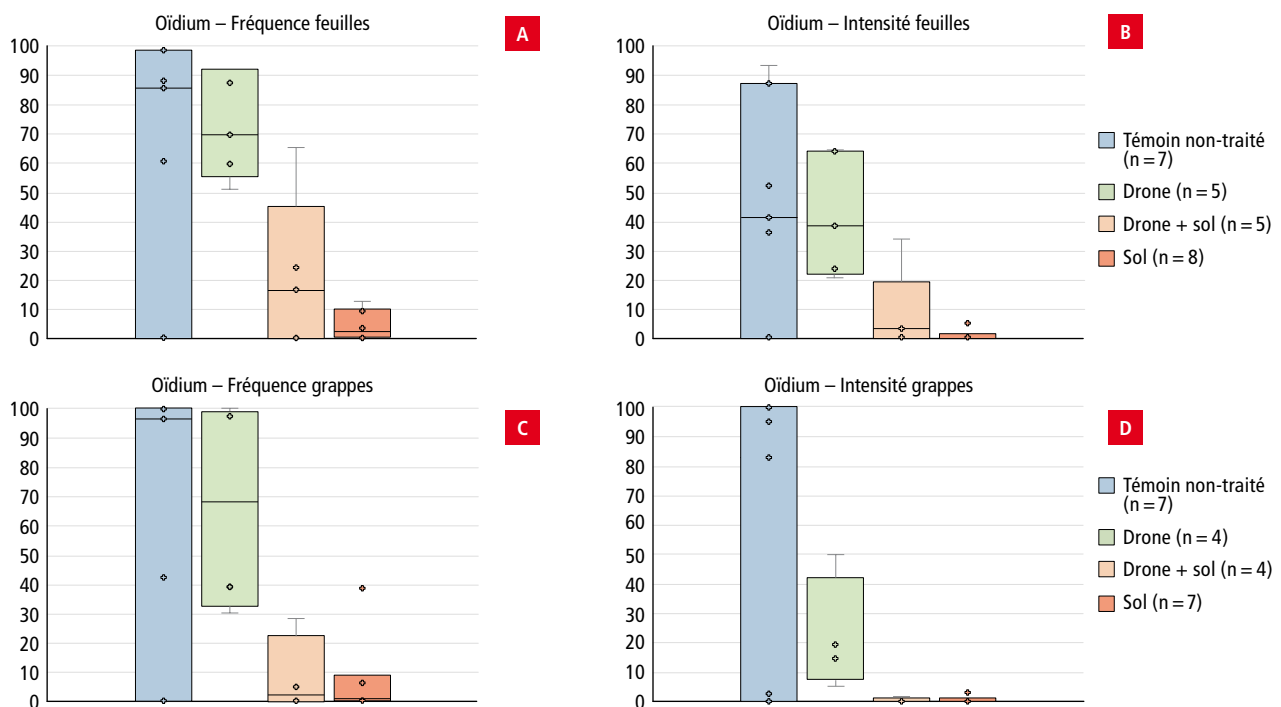


Figure 3 | Synthèse de la présence d'oïdium sur les feuilles et sur les grappes en fréquence et en intensité dans les essais retenus de 2018 à 2020. Les box-plots représentent la plage de dispersion des valeurs: le rectangle indique les valeurs du premier au troisième quartile coupé par la médiane; les cercles et les extrémités des barres d'erreur correspondent aux différentes valeurs moyennes de chaque essai retenu.

pour la protection du feuillage ou des grappes, les variantes protégées uniquement par drone sont systématiquement plus impactées par l'oïdium. Par contre, les variantes pour lesquelles un complément au sol a été réalisé atteignent des niveaux d'efficacité comparables à la protection au sol.

L'efficacité des différentes techniques d'application a été très variable selon la pression des maladies. Lorsque la présence des maladies était faible, pratiquement aucune différence n'a été observée entre les différentes variantes d'application. Le constat est tout à fait différent lorsque la pression devient plus importante. L'efficacité des traitements par drone seul diminue et se situe à mi-chemin entre le témoin et les applications au sol. Dans les cas de pression extrêmement forte, l'efficacité de la protection par drone décroche complètement et il n'existe que peu de différence entre le témoin non traité et la protection par drone. Dans ces essais, cette observation s'applique particulièrement à l'oïdium, qui est une maladie qui s'exprime facilement lorsque la qualité d'application n'est pas irréprochable, mais est aussi valable pour le mildiou en cas de forte pression comme en 2021. Les variantes traitées par drone présentent systématiquement plus de dégâts que les autres, et ce constat est valable pour les deux maladies. Dans le cas des parcelles d'essais qui ont été marquées par une forte pression d'oïdium, son efficacité est insatisfaisante et la récolte de la variante drone a été totalement perdue.

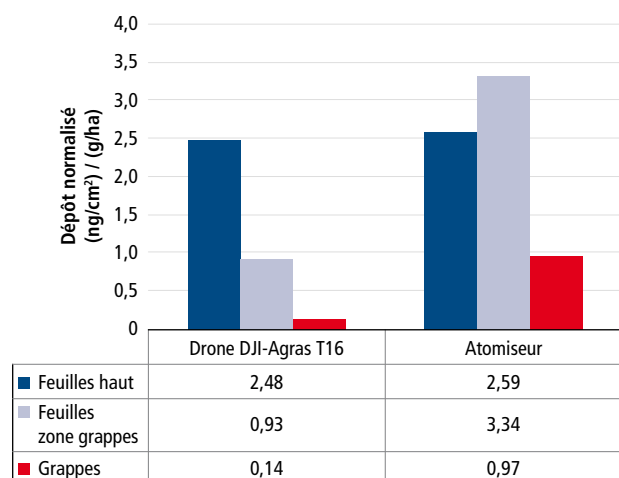


Figure 4 | Quantification du dépôt de produit à l'aide du marqueur Helios 500 SC (Syngenta) dans les différents compartiments de la haie foliaire sur la parcelle de Chasselas de Paudex (VD) en 2020. Comparaison du dépôt obtenu lors du dernier traitement en août avec le drone DJI AGRAS T16 et un atomiseur à dos.

Qualité d'application: quantification du dépôt et couverture

Lors d'applications aériennes, la bouillie est pulvérisée depuis le haut sur une haie foliaire verticale. Cela a pour conséquence qu'il est difficile d'atteindre la zone des grappes. Ce problème est déjà bien connu pour les traitements par hélicoptère. La comparaison de la quantité de produit déposée avec le drone et avec l'atomiseur lors d'un traitement dans l'essai de Paudex montre des différences importantes (fig. 4). Comparé à l'atomiseur, le drone dépose une quantité équivalente de produit sur les feuilles du haut, mais 3,6 fois moins sur les feuilles de la zone des grappes et 7,1 fois moins sur les grappes. Cette forte diminution de la quantité de produit lorsqu'on descend vers les grappes explique les limites d'efficacité observées à Paudex en 2020 ainsi que dans d'autres parcelles du réseau. A la vue de ces valeurs, la nécessité d'au minimum un traitement complémentaire de la zone des grappes depuis le sol devient évidente. La Figure 5 confirme visuellement la différence de dépôt entre les feuilles du haut et celles de la zone des grappes. De plus, seul le dessus des feuilles est bien couvert et la face inférieure n'est presque pas recouverte de produit. Or le mildiou pénètre dans la feuille via les stomates qui sont localisés sur la face inférieure de la feuille. Le fait que la couverture du dessous des feuilles soit très faible limite l'efficacité des traitements au drone contre le mildiou en particulier si des produits de contact sont utilisés exclusivement.

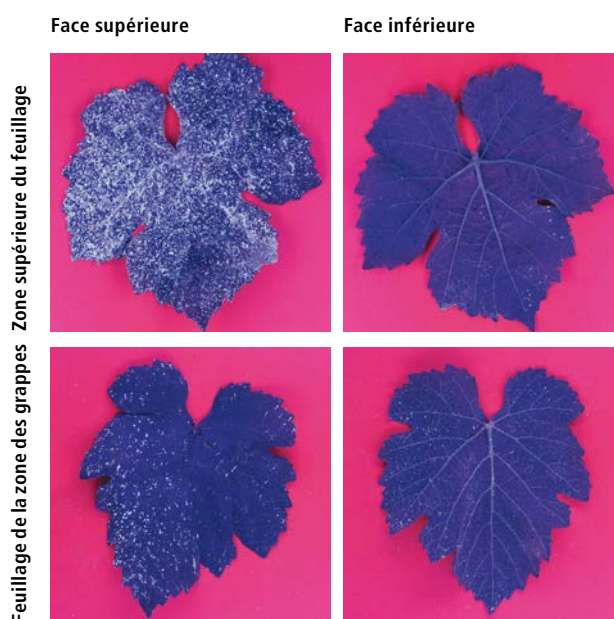


Figure 5 | Evaluation qualitative du dépôt par visualisation sous lampe UV du marqueur fluorescent Helios 500 SC dans les différentes zones de la haie foliaire (face supérieure et inférieure des feuilles). Images Syngenta 2020.

Données économiques

Sur la base des données présentées dans le Tableau 2, le coût au mètre carré des traitements par drone a été calculé. Le coût de revient pour un producteur qui possède sa propre machine est de 3172,37 fr./ha (tab. 3). Ce montant comprend l'ensemble du matériel nécessaire pour assurer la logistique indispensable pour la mise en œuvre des traitements. L'ordre de grandeur de ce montant est deux fois supérieur à une application standard avec un turbodiffuseur (1000 à 1500 fr./ha). Il convient cependant de préciser que l'intérêt majeur des applications par drone est la facilité de mise en œuvre pour les parcelles particulièrement difficiles d'accès et en forte pente. Pour une comparaison «à efficacité égale», les interventions complémentaires au sol devraient être additionnées à ce montant. Ce montant doit aussi être relativisé en raison de la rapide évolution des machines et de leurs caractéristiques techniques (autonomie, capacité du réservoir, etc.). Dans les vignes en forte pente, la protection des utilisateurs et la réduction de la pénibilité du travail sont aussi des éléments à prendre en considération, même s'ils sont difficilement estimables. Dans ces configurations, les risques d'accident sont plus élevés et l'applicateur se retrouve généralement contraint d'évoluer au cœur du brouillard de traitement.

Conclusions

- Le drone présente un potentiel intéressant, en particulier pour les parcelles en forte pente ou non mécanisables. Il permet d'éviter des traitements manuels pénibles et peut, dans certaines situations, se substituer à l'hélicoptère.
- Les variantes traitées uniquement par drone présentent systématiquement plus de dégâts que les autres, et ce constat est valable pour l'oïdium et le mildiou.
- Lorsque la pression des maladies devient importante, l'efficacité des traitements par drone se situe à mi-chemin entre le témoin et

les applications au sol. Dans les cas de pression extrêmement forte, l'efficacité de la protection par drone décroche complètement, avec des pertes significatives de récolte.

- La combinaison du drone avec au minimum un traitement complémentaire au sol permet d'atteindre des niveaux d'efficacité satisfaisants en cas de pression moyenne à forte.
- Les grappes reçoivent des quantités très faibles de produits lors d'application par drone comparé à des pulvérisateurs classiques. La couverture du dessous des feuilles est généralement insuffisante, alors que c'est là que se situent les stomates au travers desquels le mildiou pénètre dans la feuille. ■



Remerciements

Les auteurs remercient vivement les vigneron·ne·s ayant mis une parcelle à disposition et les entreprises de drones ayant participé aux essais: AgroFly – D. Berset, AgriAero – S. Micheloud et Aero41 – F. Hemmeler, ainsi qu'Olivier Viret et Philippe Meyer, de la Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaires du canton de Vaud, Ronald Wohlhauser et ses collègues du groupe technique d'application de Syngenta.

Ce travail a été cofinancé par l'Office fédéral de l'agriculture dans le cadre du projet de vulgarisation «Drone-Phyto-Vigne».

Bibliographie

- Anken T. & Waldburger T., 2020. Working quality, drift potential and homologation of spraying drones in Switzerland. In M. Gandorfer *et al.*: Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, pp. 25–30.
- Gazzarin C., 2020. Coûts-machines 2020. *Agroscope Transfer* 347, 2020.
- Rao Mogili U.M. & Deepak B. V. L., 2018. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science* 133, 502–509.
- Siegfried W., Krebs Ch. & Raisigl U., 1990. Technique d'application en arboriculture fruitière. Comparaison de différents pulvérisateurs pneumatiques. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 22, 191–199.
- Siegfried W., Viret O., Huber B. & Wohlhauser R., 2007. Dosage of plant protection products adapted to leaf area index in viticulture. *Crop Protection* 26, 73–82.

Tableau 3 | Coûts d'utilisation annuels d'un drone, calculés pour un domaine de 6,25 ha et 8 applications par an.

Données de base	Valeurs	
Coût de revient total du drone	16 327,33	francs
Coût de revient total main-d'œuvre	3500,00	francs
Coût de revient drone et main-d'œuvre annuel	19 827,33	francs
Coût de revient annuel/ha	3172,37	francs
Coût de revient annuel ct/m ²	31,72	centimes

Summary**Evaluation of the performance of UAVs for the phytosanitary treatments of grapevines.**

The biological efficiency of plant protection applications by drone was evaluated during three years and compared to applications made with conventional ground sprayers. These trials took place each year on four experimental plots in the cantons of Vaud and Valais. Overall, the drone applications achieved lower levels of disease control than conventional sprayers. Additional ground applications are necessary to obtain satisfactory results in case of high disease pressure. Application quality measurements using a fluorescent marker were used to assess the quantities of product deposited on bunches and leaves and to visualise their distribution. Compared to the knapsack sprayer, the drone deposited a similar amount of product on the upper leaves but 3.6 times less on the leaves in the bunch area and 7.1 times less on the clusters.

Key words: drone application, UVA, disease control, grapevine, application quality, deposit.

Zusammenfassung**Bewertung der Leistung von Drohnen für Pflanzenschutzbehandlungen in Reben.**

Die Wirkung von Pflanzenschutzbehandlungen per Drohne wurde während drei Jahrgänge bewertet und mit Behandlungen mit herkömmlichen Sprühgeräte verglichen. Diese Versuche fanden jedes Jahr auf vier Parzellen in den Kantonen Waadt und Wallis statt. Insgesamt erzielten die Drohnen eine geringere Wirksamkeit als herkömmliche Sprühgeräte. Bei hohem Krankheitsdruck sind zusätzliche Bodenbehandlungen erforderlich, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Die Applikationsqualität wurde mit Hilfe eines Fluoreszenzmarkers gemessen, um die auf den Trauben und Blättern angelagerten Produktmengen zu bewerten und ihre Verteilung zu visualisieren. Im Vergleich zum Rückenebelblaser brachte die Drohne die gleiche Produktmenge auf den oberen Blättern aus, aber 3,6 Mal weniger auf den Blättern in der Traubenzone und 7,1 Mal weniger auf den Trauben.

Riassunto**Valutazione delle prestazioni degli droni per i trattamenti fitosanitari della vite.**

L'efficienza biologica dei trattamenti fitosanitari tramite drone è stata valutata durante tre annate e confrontata con le applicazioni effettuate con irroratrici convenzionali a terra. Queste prove hanno avuto luogo ogni anno su quattro vigneti nei cantoni di Vaud e del Vallese. Nel complesso, le applicazioni dei droni hanno raggiunto livelli di efficacia inferiori rispetto alle irroratrici convenzionali. Addizionali applicazioni al suolo sono necessarie per ottenere risultati soddisfacenti in caso di alta pressione della malattia. Le misurazioni della qualità dell'applicazione con un marcatore fluorescente sono state utilizzate per valutare le quantità di prodotto depositate sui grappoli e sulle foglie e per visualizzare la loro distribuzione. Rispetto all'atomizzatore, il drone ha depositato una quantità equivalente di prodotto sulle ooglie superiori ma 3,6 volte meno sulle foglie nella zona del grappolo e 7,1 volte meno sui grappoli.