

Rapport final

# Vérification de la possibilité technique d'améliorer un pulvérisateur à jet porté conventionnel en remplaçant le ventilateur



**Auteur et responsable scientifique : Vincent PHILION, agr. M.Sc.**

Collaborateurs : Pierre-Luc HÉBERT, Valentin JOUBERT, Peter TRILOFF

Rapport présenté à : Mathieu Côté, chargé de projet de la direction de la phytoprotection du MAPAQ

Date : 3 février 2020

Projet IRDA # : 161 006



L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) a été constitué en mars 1998 par quatre fondateurs, soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation (MEI).

L'Institut est une corporation de recherche à but non lucratif, qui travaille chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

### **Notre mission**

L'IRDA a pour mission de soutenir le développement d'une agriculture durable au Québec en favorisant le recours à l'innovation et aux partenariats.

Consulter le [www.irda.qc.ca](http://www.irda.qc.ca) pour en connaître davantage sur l'Institut et ses activités.

**Vérification de la possibilité technique d'améliorer un pulvérisateur à jet porté conventionnel en remplaçant le ventilateur. Rapport final**

Présenté à :

**Mathieu Côté, chargé de projet, direction de la phytoprotection, MAPAQ**

200, chemin Sainte-Foy, Québec (Québec) CANADA G1R 4X6

Préparé par :

---

Vincent Philion, agr. M. Sc.

IRDA

Le rapport peut être cité comme suit :

Philion, V., Hébert, P.-L., Joubert, V. et P. Triloff. 2020. Vérification de la possibilité technique d'améliorer un pulvérisateur à jet porté conventionnel en remplaçant le ventilateur. Rapport final. IRDA.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

### **Équipe de réalisation du projet**

- Responsable scientifique : Vincent Philion, agr. M.Sc., IRDA

### **Collaborateurs**

- Pierre-Luc Hébert, Ph. D., IRDA
- Valentin Joubert nom, Ph. D., IRDA ou autre
- Peter Triloff, Ph. D., MABO

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Vincent Philion

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

335, rang des Vingt-Cinq Est

Saint-Bruno-de-Montarville (Québec) J3V 0G7

Téléphone : 4540 653-7368, poste 350

Courriel : [vincent.philion@irda.qc.ca](mailto:vincent.philion@irda.qc.ca)

### **Remerciements**

Ce projet a été réalisé grâce à une aide financière accordée par le ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Des remerciements s'adressent également à l'IRDA qui a fourni une contribution importante dans le cadre de cette étude. Les auteurs remercient également les participants du projet et reconnaissent également l'appui technique fourni par le personnel de recherche de l'IRDA.

## RÉSUMÉ

Modifier un pulvérisateur conventionnel par l'installation d'un ventilateur certifié « Aircheck » est techniquement assez simple et permet de bénéficier rapidement et à moindre coût d'un équipement performant. Le pulvérisateur rénové permet d'adopter la méthode de pulvérisation Triloff qui comporte plusieurs avantages dont l'optimisation de la dose appliquée et de la vitesse de travail. L'approche de Triloff permet une réduction de la dérive et est plus efficace quant à la consommation énergétique. Cependant, les coûts d'acquisition des pièces et leur installation se justifient seulement dans la mesure où la valeur du pulvérisateur utilisé pour la transformation est assez faible, ne requière pas de réparations majeures et que son châssis permette facilement des modifications. Des pulvérisateurs certifiés « Aircheck » neufs peuvent être importés au Québec pour moins de 35 000 \$ (selon le taux de change) alors que la modification d'un pulvérisateur existant est possible pour la moitié de cette somme, selon le choix du ventilateur et des ajouts. Le pulvérisateur transformé a la même efficacité qu'un pulvérisateur « Aircheck » neuf équivalent.

## TABLE DES MATIÈRES

Contexte .....	1
Cadre du projet.....	4
Livrables.....	4
Calendrier .....	4
Guide d'accompagnement .....	5
Introduction.....	5
Éléments à considérer .....	5
Hauteur.....	5
Uniformité .....	6
Ajuster l'air en continu .....	6
Choix du ventilateur .....	7
Hauteur certifiée .....	7
Type de ventilateur.....	8
Mode d'entraînement .....	9
Bruit et efficacité énergétique .....	9
Budget de conversion à prévoir .....	9
Aspects économiques.....	10
Photos du montage .....	12
Références.....	16

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Options disponibles pour bénéficier d'un pulvérisateur certifié à la norme « Aircheck » .....	3
--	---

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Certification apposée sur les pulvérisateurs en 2011. ....	2
Figure 2. Illustration des calculs pour déterminer la hauteur de la tour requise.....	8
Figure 3. Ventilateurs de marque Weber (gauche) et Wanner (droite).....	12
Figure 4. Ventilateur d'origine du pulvérisateur OCLL. ....	12
Figure 5. Pulvérisateur d'origine après démontage du ventilateur. ....	13
Figure 6. Bloc hydraulique de régulation de pression et de débit du pulvérisateur Weber. ....	13
Figure 7. Fabrication du support du ventilateur Wanner.....	14
Figure 8. Valves électriques et système permettant le contrôle à partir de la cabine du tracteur. ....	14
Figure 9. Pulvérisateur rénové avec des ventilateurs Aircheck actionnés par des moteurs hydrauliques. ....	15

## CONTEXTE

---

La production pomicole nécessite l'application fréquente de pesticides pour produire des fruits de qualité et de façon rentable. Or, ces traitements peuvent nuire à la santé humaine et à l'environnement et des efforts considérables sont investis pour réduire leurs impacts. Une des avenues possibles pour appliquer des pesticides en minimisant les impacts est d'améliorer les pulvérisateurs qui sont utilisés pour cet usage.

Les pulvérisateurs à jet porté conventionnels utilisés en pomiculture sont munis de ventilateurs de type « axial » et projettent la bouillie de pulvérisation avec un jet d'air orienté le long du rayon d'une portion de l'arc d'un cercle. La distribution concentrique engendrée par ces appareils facilite l'atteinte de la cime des arbres dans tous les types de vergers, mais cette géométrie provoque des pertes au sol et une dérive en hauteur lorsque la puissance du jet est trop grande, ou un sous dosage dans certaines portions de l'arbre quand le jet est trop faible. L'orientation du jet d'air axial ne permet pas d'optimiser les traitements et conséquemment ils sont souvent opérés à pleine puissance pour éviter les conséquences du sous dosage.

Conscients de cette problématique, les producteurs de pommes du Québec ont priorisé le perfectionnement de la pulvérisation dans le cadre de leur certification en production fruitière intégrée (PFI) qui vise l'amélioration de leurs pratiques.

Diverses solutions existent pour réduire l'impact environnemental des pulvérisateurs. Cependant, les approches qui n'impliquent aucune modification au ventilateur (ex : substitution par des buses antidérive) entraînent soit une consommation énergétique plus grande que nécessaire et/ou une dégradation de la couverture et n'offrent donc aucun avantage direct au producteur.

Or, des pulvérisateurs modernes avec une géométrie de la distribution de l'air horizontale (tours, flux transversaux, tunnels) peuvent permettre d'optimiser la pulvérisation sur les arbres tout en diminuant la dérive hors cible. Pour y arriver, les pulvérisateurs à flux horizontal doivent atteindre adéquatement la cime des arbres sans trop la dépasser et la bouillie doit rester autant que possible dans la rangée. L'augmentation de la déposition sur le feuillage et la réduction de la dérive sont obtenues en réduisant la puissance du jet d'air. Cette approche est possible seulement lorsque la distribution de l'air soufflée est optimale sur toute la hauteur pulvérisée. La réduction de la puissance se traduit également par des coûts énergétiques moindres.

Malheureusement, les équipements neufs actuellement disponibles ne répondent pas toujours à ces critères et il n'existe aucune certification officielle pour garantir que l'équipement acheté aura la performance souhaitée.

C'est dans ce contexte que la coopérative des producteurs de pommes de la région du Lac Constance (Allemagne) (MABO) (6000 ha), a conçu une technique de pulvérisation en verger qui comporte un cahier de charge obligatoire très contraignant pour les pulvérisateurs admissibles dans leur région. Ce système nommé « Aircheck » a été validé à grande échelle depuis les 10 dernières années et a été adopté dans plusieurs régions avoisinantes (Figure 1). Les pulvérisateurs certifiés Aircheck et la technique de pulvérisation préconisée auprès des producteurs de la coopérative allient la réduction de la dérive, la qualité de la couverture, l'efficacité énergétique et la réduction du bruit. Selon la densité des vergers où la méthode est utilisée, la méthode permet aussi une réduction de la dose utilisée et une réduction du temps de travail.



**Figure 1. Certification apposée sur les pulvérisateurs en 2011.**

Plusieurs manufacturiers ont adhéré à la norme « Aircheck » et le prix des équipements offert aux producteurs MABO et des autres régions avoisinantes est resté compétitif. Les producteurs peuvent choisir leurs équipements à partir d'une liste de modèles en ligne où les caractéristiques techniques des appareils sont énumérées. En marge des pulvérisateurs neufs, certains manufacturiers (ex. : Wanner, Weber) offrent aussi la possibilité d'acheter le ventilateur séparément ce qui permet à moindre coût de rénover des pulvérisateurs existants.

Chaque ventilateur (et pas seulement le modèle) est certifié indépendamment à la norme « Aircheck ». Chaque unité est testée sur un banc de calibration doté d'anémomètres « 3d » qui mesurent l'angle et la vitesse de l'air soufflé sur tout le profil du ventilateur. La certification n'est attribuée que si le ventilateur répond à des normes strictes quant à sa capacité à souffler uniformément et à la vitesse requise sur toute la hauteur des arbres.

Les producteurs déjà propriétaires de pulvérisateurs de type « tour » (mais non certifiés) peuvent aussi ajuster leurs appareils lorsque c'est possible. Certains modèles courants sont munis d'ailettes ajustables ou leur design est proche des caractéristiques souhaitées. Même si certains ajustements grossiers sont possibles sans équipement particulier, l'optimisation des appareils et la certification des ajustements ne sont possibles que si un banc de certification est disponible localement. Actuellement, 7 bancs de certification sont en usage en Europe (Allemagne, Autriche, Italie, France), mais aucun au Québec.

En absence de banc, la rénovation des pulvérisateurs est une avenue intéressante pour plusieurs producteurs du Québec. Elle permet de convertir les pulvérisateurs de type « axial » en pulvérisateurs modernes et d'améliorer des pulvérisateurs « tour » parfois quasiment neufs, mais dont le ventilateur n'a pas les performances des machines allemandes. Selon la valeur du pulvérisateur à transformer, la facilité de conversion, le choix du ventilateur et autres pièces cette opération peut en valoir le coût.

Le tableau 1 résume les avantages et les contraintes liées à chaque option pour pouvoir bénéficier de la technique développée par Peter Triloff. En 2019, le MAPAQ a confié à l'IRDA le mandat de tester l'option du remplacement du ventilateur. Au cours de l'hiver, l'IRDA a fait l'acquisition de 2 ventilateurs et la conversion d'un vieux pulvérisateur « axial » a été faite au printemps et au cours de l'été.



Tableau 1. Options disponibles pour bénéficier d'un pulvérisateur certifié à la norme « Aircheck »

Solution	Réduction de dérive	Amélioration de la déposition et couverture	Efficacité énergétique	Réduction de bruit	Disponibilité au Québec	Coût
Ajustement d'un pulvérisateur tour existant	Oui	Oui	Selon le modèle	Selon le modèle	Non (banc de diagnostic et de certification requis)	Faible (500 \$ à 5000 \$ selon la difficulté à ajuster)
Remplacement du ventilateur	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	15 000 \$ à 26 000 \$
Pulvérisateur neuf	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui (mais aucun dépositaire local)	35 000 \$ à >50 000 \$

## CADRE DU PROJET

---

Dans le cadre de cette initiative, l'IRDA a proposé au MAPAQ de démontrer qu'il est possible de moderniser un pulvérisateur axial conventionnel et le certifier à la norme Aircheck.

### LIVRABLES

L'IRDA a proposé au MAPAQ d'acheter deux types de ventilateurs, soit un ventilateur Wanner (tour) et un ventilateur Weber (tangential) et de les installer sur un ancien pulvérisateur à la place du ventilateur existant. Les participants des portes ouvertes de l'IRDA en 2019 ont pu voir le pulvérisateur et discuter du projet. Des présentations ont été faites auprès des intervenants pomicoles lors de différentes réunions. Le pulvérisateur modifié a été testé à l'automne et une comparaison des ventilateurs fera l'objet d'un article scientifique (en préparation). Un petit guide technique pour la conversion d'un pulvérisateur existant a été intégré à ce rapport.

### CALENDRIER

- Janvier 2019 : Demandes de soumissions et commandes des pièces chez les manufacturiers
- Février et mars 2019 : Livraison des pièces par bateau
- Juin 2019 : Pose du ventilateur Wanner
- Juillet 2019 : Journée portes ouvertes au verger de l'IRDA le 9 juillet
- Septembre 2019 : Pose du ventilateur Weber
- Octobre 2019 : Tests de déposition avec un traceur (tartrazine)
- Novembre 2019 à janvier 2020 : Rédaction du rapport et préparation d'une première version d'un article scientifique sur la performance des ventilateurs.

# GUIDE D'ACCOMPAGNEMENT

---

Ce court guide se veut une introduction à la méthode Triloff et la certification « Aircheck » et donne les grandes lignes sur les options disponibles pour l'amélioration d'un pulvérisateur existant. Ce guide n'a pas pour but d'accompagner « pas à pas » le remplacement des ventilateurs. Chaque pulvérisateur a ses caractéristiques propres et il ne serait pas possible de décrire toutes les variations.

## INTRODUCTION

L'optimisation de la pulvérisation proposée par la méthode Triloff repose sur une meilleure maîtrise de l'air soufflée et une adaptation de la dose en fonction des blocs de verger. La stratégie passe d'abord par une modification de l'orientation de l'air et une réduction uniforme de la vitesse de l'air soufflée. Seuls les équipements qui passent les tests d'uniformité sont certifiés « Aircheck ». Ensuite, la dose à appliquer est calculée selon la densité du verger, mais diffère de celle obtenue par d'autres méthodes de dosage en verger (ex. : TRV, Tree Row Volume). La méthode propose également un ajustement de la vitesse d'avancement du tracteur selon la largeur de la canopée à atteindre.

Le remplacement du ventilateur d'un pulvérisateur existant ou la construction d'un pulvérisateur maison à partir d'un nouveau ventilateur permettent d'adopter la méthode Triloff sans avoir à acheter un équipement complet certifié « Aircheck ».

La méthode Triloff (Aircheck et dose ajustée) comporte des avantages agronomiques, économiques et environnementaux par rapport aux pratiques usuelles. Cependant, les gains éventuels dépendent du type de verger, du pulvérisateur actuel et des pratiques déjà en place. Par exemple, certains producteurs utilisent déjà des éléments de la méthode (ex : volume réduit) ou ont un pulvérisateur qui performe déjà bien avec un volume d'air réduit. L'approche Triloff a l'avantage d'intégrer les meilleures pratiques et la certification des pulvérisateurs assure que la méthode fonctionne.

Ce guide couvre les gains associés à la certification « Aircheck » et le choix des équipements, mais ne couvre pas en détail la méthode Triloff de réduction de la dose, de volume et l'ajustement de la vitesse d'avancement. Les lecteurs intéressés par la conversion ou l'acquisition d'un pulvérisateur « Aircheck » et qui veulent adopter la méthode Triloff sont invités à communiquer avec l'auteur du rapport et visiter les ateliers organisés dans le cadre du projet « vitrine » <https://www.irda.qc.ca/fr/projets-recherche/vitrines-pommes/>. D'autres ateliers et guides seront produits à mesure que les appareils « Aircheck » seront en usage.

## ÉLÉMENTS À CONSIDÉRER

### Hauteur

Au cours de la dernière décennie, plusieurs pulvérisateurs de type « axial » ont été remplacés par des pulvérisateurs de type « tour » neufs en lien avec un programme d'appui financier. Les tours acquises n'étaient pas toujours conçues pour la hauteur des arbres et des problèmes ont rapidement été constatés par les producteurs, notamment dans les rangées plus étroites où l'angle du jet d'air produit par le ventilateur ne permettait pas d'atteindre la cime des arbres. Dans plusieurs cas, la portion « tour » de ces pulvérisateurs a même été enlevée par les producteurs, pour revenir à un concept « axial » sans restriction d'angle. Enlever la tour a permis à nouveau d'atteindre le sommet des arbres, mais enlevait toute possibilité d'optimisation de l'orientation ou de la vitesse de l'air. Des tentatives de modifications des tours pour augmenter leur portée en hauteur (ex. :

modification de l'angle) résultent le plus souvent dans un déséquilibre de la quantité d'air soufflée entre le haut et le bas de la tour. Le remplacement du ventilateur par une tour plus haute permet de corriger le problème de base et de bénéficier des autres avantages de la méthode Triloff.

### Uniformité

Lorsque les pulvérisateurs sont utilisés « à pleine puissance » (540 tours/min sur la prise de force), la quantité d'air soufflée sur toute la hauteur des tours suffit normalement pour transporter la bouillie à travers les rangées. Cette approche donne de bons résultats agronomiques, mais n'est pas optimale. L'air excédentaire qui sort de l'autre côté du rang entraîne une augmentation de la dérive au sol entre les rangées et une augmentation de la dérive aérienne qui échappe entièrement au contrôle de l'opérateur. Pour maximiser la déposition de la bouillie sur les feuilles, l'air soufflé devrait idéalement rester dans le rang de pommiers. En pratique cet objectif n'est jamais entièrement atteint à cause des vents qui peuvent amplifier l'action du pulvérisateur et entraîner la bouillie trop loin, ou au contraire forcer l'opérateur à augmenter la puissance pour contrer un vent contraire. Il est néanmoins possible d'ajuster la quantité d'air soufflée selon les conditions météorologiques. Souffler moins d'air lorsque le vent est faible permet d'augmenter la déposition sur le feuillage, réduire le bruit et la dérive. Cette approche permet aussi de réduire l'énergie consommée.

Malheureusement, la réduction de l'air soufflée, mais en évidence les différences entre les pulvérisateurs. Les pulvérisateurs performants peuvent souffler correctement à basse vitesse sur toute la hauteur des arbres, alors que des lacunes importantes dans la distribution de l'air deviennent évidentes sur les mauvais pulvérisateurs dès que la vitesse de l'air est réduite. C'est ce constat qui a forcé la création de la norme « Aircheck ».

Comme l'ensemble des bénéfices de la méthode Triloff ne sont possibles qu'à puissance réduite, il est impératif que le ventilateur assure une distribution uniforme de l'air sur toute la hauteur visée. Dans les pires cas, une simple observation du mouvement des gouttelettes soufflées permet de constater une variation de la vitesse de l'air à différentes hauteurs. Des anémomètres peu coûteux peuvent également révéler les problèmes les plus graves. Le banc d'essai mentionné dans la section « contexte » permet de détecter des variations plus fines et permet un meilleur diagnostic. Les producteurs qui ont participé aux portes ouvertes de l'IRDA en 2016 ont pu constater ces différences (voir :

[https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Recherche\\_Innovation/Arbresfruitiers/IA415493.pdf](https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Recherche_Innovation/Arbresfruitiers/IA415493.pdf))

Lorsque des variations sont constatées, il est possible d'ajuster grossièrement les ventilateurs munis d'ailettes, mais les ajustements sont impossibles pour plusieurs marques sans ailettes. Les ajustements plus fins qui permettent les meilleures économies d'énergie et de réduction de bruit ne sont possibles qu'avec un banc d'essai. Lorsque les ajustements sont impossibles (absence d'ailettes), la seule solution rentable est le remplacement du ventilateur. Les modifications à des ventilateurs non ajustables sont hasardeuses et l'expérience pratique démontre qu'il vaut mieux remplacer un ventilateur que le bricoler.

### Ajuster l'air en continu

La plupart des ventilateurs des pulvérisateurs sont actionnés directement par la prise de force du tracteur. Pour la plupart des tracteurs, la rotation à la prise de force n'est pas indépendante de la vitesse du tracteur et donc la puissance du jet d'air est en partie liée à la vitesse d'avancement. Il est possible par le choix du rapport de la transmission du tracteur de fixer une vitesse d'avancement pour plusieurs réglages de prise de force, mais le nombre de combinaisons possibles est généralement assez faible. Pour maintenir la prise de force à la rotation visée (ex. : 350 tours par minute), il est possible de trouver un rapport qui permet de rouler à la vitesse voulue

(ex. : 6 km/h), mais en conditions venteuses il faut trouver une autre combinaison pour augmenter la rotation à la prise de force (ex. : 540 tours par minute) pour maintenir la vitesse d'avancement.

Dans la plupart des cas, un réglage à la baisse de la prise de force (ex. : 350 tours par minute), n'a pas d'impact sur la pompe. La vitesse de rotation reste suffisante pour obtenir le débit et la pression requise pour la bouillie. Cette approche (gear up, throttle down) est décrite en détail dans le manuel « Airblast 101 » (1). Cependant, plusieurs producteurs considèrent que cette approche est contraignante. Le remplacement du ventilateur du pulvérisateur peut être l'occasion de dissocier complètement le débit de l'air de la vitesse d'avancement au sol en adoptant un moteur hydraulique (ou éventuellement électrique).

Dissocier le débit d'air de la vitesse d'avancement du tracteur permet de moduler l'air en continu, selon la densité de la canopée et du vent à combattre pendant la pulvérisation. Selon le choix du (ou des) ventilateur(s), il est possible d'ajuster indépendamment la vitesse de l'air soufflé de chaque côté du tracteur, à différentes hauteurs et même automatiser le réglage de la vitesse de l'air selon l'orientation et la vitesse du vent. Ces options sont toutes plus chères que l'entraînement mécanique d'un ventilateur conventionnel, mais sont les plus rentables à long terme, à condition que la déposition augmentée soient accompagnées d'un ajustement à la baisse de la dose pulvérisée.

En pratique, les ventilateurs multiples en hauteur et les contrôleurs automatiques ne sont pas encore populaires. Le simple ajustement indépendant de la vitesse de chaque côté du pulvérisateur est l'option la plus utile en pratique. Elle permet de souffler plus d'air dans la direction opposée du vent et inversement. Cet ajustement est possible manuellement, mais certains contrôleurs permettent automatiquement d'ajuster la force du ventilateur à chaque virage. Les systèmes plus coûteux s'ajustent en continu à la vitesse réelle du vent.

La possibilité d'optimiser la déposition sur le feuillage en ajustant l'air par côté, selon le vent, et/ou en hauteur, s'ajoute à la méthode Triloff, mais n'a pas été estimée dans le cadre de ce projet.

## CHOIX DU VENTILATEUR

Le choix du (ou des) ventilateur(s) est l'aspect le plus crucial du projet. Comme la distribution de l'air est assurée par la certification « Aircheck », le nouveau ventilateur doit avant tout permettre d'atteindre la cime des arbres dans tous les blocs où le pulvérisateur sera utilisé. Cependant, choisir la tour « la plus haute » augmente les coûts, limite le choix des modèles et peut réduire les bénéfices quant à l'efficacité énergétique et la réduction du bruit. Il est préférable de penser aux blocs de vergers actuels et prévus et choisir en fonction de votre style de conduite d'arbres.

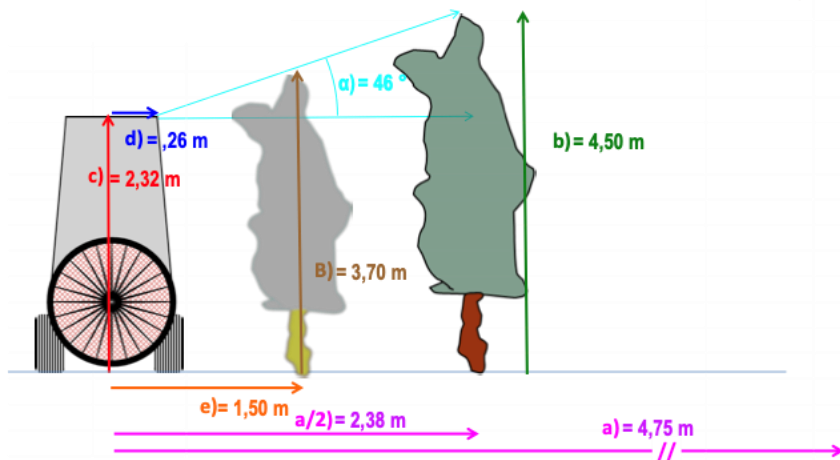
### Hauteur certifiée

La hauteur requise ne dépend pas seulement de la hauteur des arbres, mais aussi de la largeur des rangées. Les rangées plus étroites obligent à choisir une tour plus haute. L'association des manufacturiers certifiés « aircheck » ont conçu une page internet qui permet d'entrer la hauteur des arbres et la largeur des rangs dans chaque bloc pour calculer automatiquement la combinaison la plus contraignante.

<https://www.aircheck.eu/service/geeignete-spruehgeraete/>

L'outil de sélection internet filtre les modèles disponibles en conséquence. Dans l'exemple illustré (Fig. 2) des arbres de 4,5 m pour des rangées de 4,75 m de largeur requièrent la même tour que des arbres de 3,7 m dans des rangées de 3 m (marge de sécurité incluse). Comme la hauteur de travail « normalisée » est établie pour des rangées de 3 m, la tour nécessaire pour cet exemple doit avoir une certification pour 3,7 m. La hauteur mesurée

de la tour ne correspond pas nécessairement à sa certification. Certaines tours produisent moins d'air au sommet et leur certification est ajustée en conséquence. L'important est que la certification corresponde aux contraintes de votre verger. La hauteur de certification est aussi appelée « hauteur de travail » (working height).



**Figure 2. Illustration des calculs pour déterminer la hauteur de la tour requise**

### Type de ventilateur

Deux types de ventilateurs ont été considérés pour la conversion. Le type « tour » est construit à partir d'un ventilateur « axial », qui comprend une série de déflecteurs et d'ailettes qui dirigent l'air selon une orientation relativement horizontale de chaque côté du pulvérisateur. Les ailettes sont fixées au moment de la certification pour assurer que la distribution de l'air demeure optimale pour la vie du pulvérisateur. La plupart du temps, les ventilateurs de type « axial » ne permettent pas d'ajuster la vitesse de l'air séparément de chaque côté du pulvérisateur. Certains modèles sont munis de volets (en anglais : louvers) qui le permettent, mais ils ne sont pas certifiés « Aircheck ».

Le type « tangentiel » est muni d'une soufflerie sur toute la hauteur pulvérisée et produit un rideau d'air très uniforme et parfaitement horizontal. La trajectoire de l'air qui entre et qui sort est perpendiculaire à l'axe de rotation. En conséquence, les ventilateurs tangentiels sont plus hauts que les tours conventionnelles et ne passent pas dans certains vergers munis de filets qui couvrent plusieurs rangées. Ils sont également moins prisés dans les vergers en pente où les rangées sont perpendiculaires au sens de la pente, ce qui impose un angle entre le ventilateur et l'arbre. Il est possible de corriger pour l'angle de la pente en installant les ventilateurs sur des balanciers qui imposent une orientation verticale, mais ce montage est plus compliqué.

Le concept de distribution tangentiel impose l'installation d'un ventilateur de chaque côté du pulvérisateur. Cette configuration permet en principe de pouvoir facilement contrôler la vitesse de l'air de façon indépendante et d'ajuster le flux d'air selon la force du vent. Le même principe est possible en hauteur : plusieurs ventilateurs tangentiels peuvent être superposés et l'air ajusté en fonction de la hauteur et la densité des arbres. Les ventilateurs « tangentiels » sont moins bruyants et plus efficaces que les ventilateurs de type « axial » pour la même quantité d'air soufflée, mais leur moteur hydraulique annule l'avantage énergétique selon la vitesse d'opération.

Le type « tour » est une version améliorée des pulvérisateurs usuels alors que le type tangentiel est beaucoup moins fréquent. Plusieurs manufacturiers certifiés à la norme « aircheck » vendent des ventilateurs de type « tour », mais une seule compagnie offre le type « tangentiel ». Les autres types de ventilateurs (ex : centrifuges ou cages d'écureuils) et de distribution d'air (ex. : Boyaux flexibles orientés) n'ont pas été considérés pour ce projet parce qu'ils n'étaient pas offerts séparément du pulvérisateur.

### Mode d'entraînement

Les ventilateurs de type « axial » peuvent être entraînés par l'arbre de force du tracteur, ou par un moteur hydraulique. Dans le cadre du projet, des ventilateurs actionnés par des moteurs hydrauliques ont été achetés pour faciliter le montage et permettre un ajustement de l'air sans la contrainte liée à la prise de force. Un ventilateur actionné par la prise de force aurait permis d'épargner le coût du moteur hydraulique et un radiateur pour la tour Wanner, mais comme le projet comportait un montage avec un ventilateur hydraulique (Weber), nous n'avons pas exploré la possibilité de relier mécaniquement le ventilateur Wanner à la prise de force.

La perte d'efficacité énergétique d'un entraînement hydraulique en comparaison à un entraînement mécanique n'a pas été évaluée. Le budget de construction ne permettait pas d'acquérir les contrôleurs nécessaires pour l'automatisation, ni les ventilateurs multiples requis pour l'ajustement de l'air selon la hauteur. Ces possibilités sont intéressantes, mais débordaient du cadre du mandat.

### Bruit et efficacité énergétique

En marge de la performance sur la distribution de l'air, la certification « Aircheck » force les manufacturiers à publier la consommation énergétique et le bruit généré par les ventilateurs dans des conditions similaires et représentatives de l'utilisation en verger. L'énergie requise pour souffler la même quantité d'air varie beaucoup d'un ventilateur à l'autre. Le pulvérisateur le plus efficace de la norme « Aircheck » (<https://www.aircheck.eu/zuden-geblaesen/positivliste/>) consomme 4.8x moins d'énergie que le moins efficace. Même si l'économie énergétique n'est pas toujours rentable d'un point de vue économique, le choix du ventilateur en fonction de sa consommation d'énergie pourrait être un facteur déterminant pour la construction d'un pulvérisateur électrique. Au niveau du bruit, la différence entre le moins bruyant (78dba) et le plus bruyant (89 dba) représente un facteur de puissance sonore de 88x. Dans les vergers où l'environnement sonore est une contrainte, ce critère n'est pas négligeable.

## BUDGET DE CONVERSION À PRÉVOIR

Une tour classique de marque « Wanner » (modèle ZA-32) a été choisie pour construire un pulvérisateur plus usuel et à moindre coût, alors qu'un ventilateur « Weber » tangentiel (Modèle QU17-H) a été acheté pour montrer une option qui permet l'ajustement indépendant de l'air de chaque côté. Nous avons opté pour un tangentiel de pleine hauteur (2,95 m), mais des ventilateurs plus courts (et moins chers) sont disponibles pour des cultures moins élevées (ex. : vignes) ou pour permettre la superposition.

Les montants ont été arrondis à 100 \$ et les calculs ont été réalisés avec un taux de conversion de 1,50 \$ CAD/euro et un salaire de 60 \$/heure :

- Ventilateur Wanner (Figure 3) : 10 000 \$
- Moteur hydraulique pour le ventilateur Wanner et radiateur : 1600 \$
- Ventilateur Weber (un seul côté) avec moteur hydraulique et radiateur intégré (Figure 3) : 5600 \$
- Transport des pièces entre l'Allemagne et le Québec : 1500 \$

- Pièces hydrauliques (diviseurs de débit, boyaux, etc) (ex. : Figure 6) : 3400 \$
- Pièces électriques et de contrôle (ex. : Figure 8) : 4000 \$
- Temps de conception et installation de contrôles de cabine (pulvérisateur de base) : 2300 \$
- Construction et conception du support (Weber) : 2300 \$
- Construction et conception du support (Wanner) (Figure 7) : 2300 \$
- Adaptation mécanique du ventilateur Wanner à la prise de force : 1200 \$ (estimé)

Total minimal à prévoir pour :

A) Ventilateur Wanner entraîné par la prise de force :

10 000 \$ (ventilateur) + 1 500 \$ (transport) + 2 300 \$ (installation) + 1 200 \$ (adaptation mécanique) = 15 000 \$

B) Ventilateur Wanner entraîné par un moteur hydraulique :

13 800 \$ (Wanner de base – adaptation mécanique) + 1 600 \$ (motorisation) + 3400 \$ (hydraulique) + 2300 \$ (installation) = 21 100 \$

C) Ventilateur Weber

2 x 5 600 \$ (ventilateur) + 1 500 \$ (transport) + 3 400 \$ (hydraulique) + 2 300 \$ (installation) = 18 400 \$

D) Ventilateur Weber et contrôles à partir de la cabine du tracteur :

18 400 \$ (Weber de base) + 4 000 \$ (pièces) + 2 300 \$ (installation) = 25 500 \$

En comparaison, le prix d'un pulvérisateur complet neuf (réservoir de 2000 L, lavage automatique, etc) de marque Wanner avec entraînement mécanique est de 35 000 \$ CAD livré (prix payé pour le projet vitrine). Le pulvérisateur équivalent Weber avec moteurs hydrauliques et système de contrôle indépendant des ventilateurs vaut environ 45 000 \$ (soumission 2018).

## ASPECTS ÉCONOMIQUES

Une analyse économique détaillée de l'approche Triloff ou de la certification « Aircheck » déborde du cadre de ce projet. Cependant, pour déterminer si un projet de conversion en vaut la peine, nous avons intégré dans le guide quelques scénarios des économies générées par un nouveau ventilateur. Les analyses ont été faites pour un verger de référence moyen au Québec (725 arbres /ha, rangées de 4,6 m de largeur et canopée de 3 m) pour une surface de 15 ha avec une productivité de 25 tonnes / année /ha. Nous avons considéré 1800 \$ par ha de pesticides par année et un total de 20 passages. Le diesel est calculé à 1,24 \$/L. L'opération du tracteur est calculée à 38 \$/h et l'opérateur à 25 \$/h. Les calculs sont faits pour une opération à 5 km/h avec 400 L/ha et un réservoir de 1500 L. Le temps de remplissage est estimé à 15 minutes et aucun temps de nettoyage n'est alloué. Le verger de comparaison « dense » utilise les mêmes chiffres, sauf que la plantation est de 3000 arbres /ha (canopée plus mince). Le fichier Excel de la coopérative MABO élaboré par P. Triloff a été utilisé pour les calculs.

Le système développé par Peter Triloff permet de réduire :



- 1) La dose de pesticide utilisée (TRV amélioré et déposition augmentée) ;
- 2) Le temps requis pour la pulvérisation (vitesse d'avancement adaptée) ;
- 3) La consommation en carburant (vitesse du ventilateur) ;
- 4) Le temps de remplissage.

Les montants économisés varient beaucoup selon la densité du verger. L'impact économique le plus grand est obtenu par la réduction de la dose de 50 % dans un verger dense (13 500 \$ par an) par rapport à notre verger de référence. Comme cette économie est partiellement possible sans la méthode Triloff (effet « TRV »), nous l'avons exclu des calculs. Cependant, l'augmentation de la déposition liée à la réduction de la vitesse de l'air n'est garantie qu'avec les ventilateurs certifiés et une réduction des doses est donc possible dès que la vitesse de l'air est réduite, nonobstant la densité du verger. Nous avons estimé son impact pour notre verger de référence. De même, les économies liées à l'augmentation de vitesse d'avancement dans un verger dense (>4000 \$/an) ou la réduction du temps de remplissage par la diminution du volume de bouillie ne sont pas entièrement liées à la performance des ventilateurs et n'ont pas été considérées ici.

Taux de déposition : L'augmentation du taux de déposition obtenue avec un volume d'air réduit permet une réduction de la dose pulvérisée, sans diminuer la dose appliquée sur le feuillage. Les économies en pesticides varient selon la situation de départ, mais peuvent atteindre 50 % lorsque le taux de déposition est doublé en remplaçant la tour et en ajustant l'air. Une économie même modeste de 10 % de la dose appliquée annuellement représente 2700 \$ par année (1800 \$/ha \* 15 ha \* 0,1). À elle seule, cette économie pourrait financer entièrement le remplacement du ventilateur.

Consommation énergétique : Le remplacement du ventilateur par un modèle plus efficace et son opération entre 350 et 460 RPM (au lieu de 540 RPM) a un impact immédiat sur la consommation énergétique dans tous les types de verger. Lorsque le ventilateur est opéré à 540 RPM, un pulvérisateur « Aircheck » moyen consomme 6,7 L/h de diesel. Les ventilateurs non certifiés peuvent consommer beaucoup plus (>10.7 L/h). La consommation moyenne à 460 RPM est de 4,3 L/h pour les ventilateurs Aircheck. Cette vitesse est excessive en temps normal, mais requise pendant les périodes venteuses. Selon le type de ventilateur, la consommation à 460 RPM varie entre 2,6 L/h (Weber) à 6,8 L/h. Selon le verger et en ajustant correctement le débit d'air en absence de vent, il est fréquent de traiter de façon optimale à 350 RPM, soit 1,5 L/h de diesel (Weber). Passer de 10,7 L/h à 1,5 L/h permet une économie de 1500 \$ par an. Comme certains traitements sont inévitablement réalisés par temps venteux, l'économie réelle est moindre.

## PHOTOS DU MONTAGE



Figure 3. Ventilateurs de marque Weber (gauche) et Wanner (droite)

Ventilateurs vendus pour la conversion de pulvérisateurs existants. Comme le budget ne permettait pas d'acheter une unité complète, le ventilateur Weber acheté par l'IRDA ne comprenait pas le support métallique illustré sur la photo.



Figure 4. Ventilateur d'origine du pulvérisateur OCLL.

L'arceau de bois a été installé pour tenter de corriger la distribution de l'air. Cette option ne s'est pas avérée efficace (portes ouvertes IRDA 2016).



Figure 5. Pulvérisateur d'origine après démontage du ventilateur.



Figure 6. Bloc hydraulique de régulation de pression et de débit du pulvérisateur Weber.



Figure 7. Fabrication du support du ventilateur Wanner.

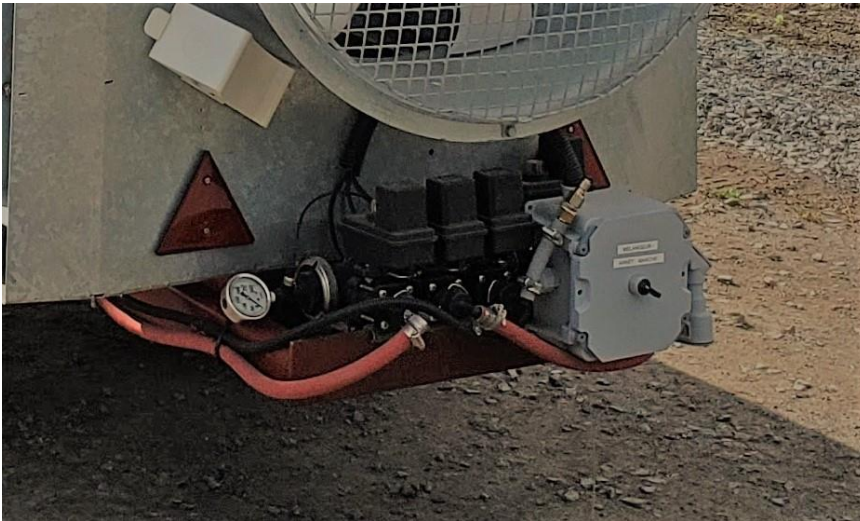


Figure 8. Valves électrique et système permettant le contrôle à partir de la cabine du tracteur.

Ce système permet le réglage de la pression et d'actionner indépendamment trois sections de buses (installé sur le support du ventilateur Wanner)



Figure 9. Pulvérisateur rénové avec des ventilateurs Aircheck actionnés par des moteurs hydrauliques.

Le Weber est devant et le Wanner est derrière le réservoir.

## RÉFÉRENCES

---

1. Deveau J. Airblast 101. A handbook of best practices in airblast spraying. Deveau JEd. 2016;207 pages.