

## **RAPPORT DU VOLET 2 - PROPULPPP**

### ***« Objectivation de l'exposition des populations riveraines aux pulvérisations de produits phytopharmaceutiques en Wallonie »***

**Mars 2019 – version finale**

**Pr Bruno Schiffers**

ULg – Gembloux Agro-Bio Tech

Laboratoire de Phytopharmacie

**Bruno Huyghebaert, Jean-Luc Herman**

CRAW – Département Agriculture et Milieu naturel

## Table

---

<b>Partie 1</b>	Introduction au rapport du Volet 2 PROPULPPP	
<b>Partie 2</b>	Essais en tunnel	
<b>Partie 3</b>	Essai de dérive en champ avec un traceur	
<b>Partie 4</b>	Discussion des résultats	
<b>Références</b>	Références	

# **Partie 1 – Introduction au volet 2 de PROPULPPP : Analyse approfondie de la dérive (gouttelettes de pulvérisation) d'un point de vue quantitatif**

---

Le volet 2 de PROPULPPP visait à fournir des données et informations complémentaires afin de mieux comprendre les paramètres qui influencent la dérive (épandage matinal, conditions météorologiques, buses antidérive, sens de la pulvérisation, écrans de protection, distance, stade de développement de la culture...). L'idée était de multiplier à faible coût des essais de « pulvérisation » sans utiliser de pesticides mais un traceur hydrosoluble détectable par spectrophométrie ou fluométrie (moins cher que les méthodes d'analyse des pesticides) et finalement de pouvoir réaliser des bilans massiques de la dérive.

Le volet 2 concerne la dérive de pulvérisation (ou dérive sédimentaire) qui est définie comme étant le mouvement physique des gouttelettes dans l'air, au moment de l'application ou directement après, de la zone de traitement vers toute autre zone non-cible. Ceci n'inclut pas les transports de PPP vers des zones non-cibles induits par volatilisation, évaporation, érosion par ruissellement ou éolienne et ruissellement qui surviendraient après l'application (Nuyttens, 2007).

Le volet 2 concerne les pulvérisateurs à pression à jet projeté (ISO-5681, 1992) à rampe horizontale couramment utilisés pour le traitement des cultures basses ou grandes cultures. Ceci n'inclut pas les pulvérisateurs à pression à jet porté qui sont principalement utilisés en arboriculture et viticulture.

Le scope du volet 2 a été revu à la baisse compte tenu des moyens à disposition. Deux types d'essais ont été réalisés dans le cadre du volet 2 de PROPULPPP:

- 1) Essais en tunnel réalisés dans le laboratoire de Génie rural du Pr F. Lebeau de Gembloux Agro-Bio Tech, dont l'objectif était d'étudier l'effet d'un écran artificiel sur la dérive de pulvérisation.
- 2) Essais de mesure de la dérive en champ réalisés sur le domaine du CRAW avec un traceur et analysés par le Laboratoire de Phytopharmacie du Pr B. Schiffers de Gembloux Agro-Bio Tech. L'objectif de ces essais était d'étudier l'effet sur la dérive de pulvérisation de l'utilisation de buses antidérive, de la présence d'un écran et des conditions atmosphériques au moment de la pulvérisation.

Les essais et l'analyse des résultats ont fait partie du travail de fin d'études de M. Bergiers (2018).

## Partie 2 – Les essais en tunnel

---

### 1. Objectifs des essais en tunnel

Pour réduire l'exposition des riverains, un moyen qui pourrait être préconisé serait l'installation d'écrans (naturels ou artificiels) à la limite du champ jouxtant la propriété du riverain. Les écrans ont un effet dépressif sur la vitesse du vent et permettent d'intercepter une partie des gouttes de pulvérisation. C'est pourquoi l'utilisation des écrans comme moyen de réduction de la dérive a fortement été étudiée. Des écrans de natures différentes ont été testés, du simple filet aux différentes espèces végétales constitutives de haies naturelles ou plantées. Des modèles mathématiques ont été proposés par certains auteurs (Lazzaro et al., 2008) pour déterminer la réduction de la dérive engendrée par la présence d'un écran.

Dans le cadre du projet (FF 03/01 (425) : « Etude des moyens de réduction de la dérive » (Huyghebaert, 2004) réalisé pour le compte du SPF-Santé publique, une étude bibliographique exhaustive des moyens de réduction de dérive avait été établie dont la présence d'une haie ou d'un écran antidérive. La revue scientifique avait démontré l'efficacité de tels dispositifs pour réduire la dérive. En conséquence, ce moyen a été valorisé dans le cadre de la protection des eaux de surface lors de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques pour définir les zones tampons en arboriculture (SPF-Santé publique, 2018). La présence d'une haie ou d'un écran antidérive permet de générer un effet antidérive de 50 à 90 % selon qu'il y ait présence de feuilles ou pas. A noter que l'utilisation d'une haie ou d'un écran n'a pas été retenue comme moyen antidérive dans le cadre de l'application des produits phytopharmaceutiques en cultures basses ou grandes cultures.

Les caractéristiques de la haie retenues dans le cadre de cette législation sont les suivantes:

- La haie doit être composée de préférence d'arbres ou d'arbustes feuillus, et non de conifères (ceux-ci peuvent entraîner les brumes de pulvérisation vers l'eau de surface).
- La haie doit être au moins aussi haute que les arbres fruitiers ou que la culture de houblon.
- La haie doit border tout le côté de la parcelle situé en face de l'eau de surface.
- L'agriculteur est libre de planter une haie sur les autres côtés de la parcelle.
- La haie ne doit présenter aucun trou (par exemple, suite à l'élagage des branches basses).
- Le feuillage doit être présent sur toute la longueur.
- La distance entre la haie et l'eau de surface doit tenir compte de la législation locale. Généralement la haie est située au moins à 5 m de toute eau de surface.
- Le placement de « murs » de pallox ou d'écrans en roseau peuvent être une alternative aux haies.

Les essais menés dans le cadre du projet PROPULPPP ont porté sur l'application des produits phytopharmaceutiques en cultures basses ou grandes cultures, à l'aide d'un pulvérisateur à rampe à pression à jet projeté. Pour mener à bien les essais du volet 1 et 2, dans des conditions tant soit peu maîtrisées, il n'eut pas été possible de trouver des parcelles bordées d'une haie naturelle dont les dimensions et les caractéristiques correspondent aux exigences de l'expérimentation. C'est pour cela qu'il a été décidé de travailler avec un écran artificiel constitué d'un filet de protection utilisé en horticulture.

Avant de l'utiliser sur le terrain et en conditions réelles, des essais en laboratoire (tunnel) ont été réalisés afin de déterminer l'effet d'un tel écran. L'objectif des essais en tunnel est donc de caractériser l'effet de l'écran sur la vitesse du vent et la dérive de pulvérisation en conditions contrôlées (vitesse et direction du vent uniformes).

## 2. Matériel et méthodes

Les essais ont été réalisés dans le tunnel (« wind tunnel ») du laboratoire de Génie rural de Gembloux Agro-Bio Tech. Un « wind tunnel » est un matériel de laboratoire qui génère un flux d'air contrôlé par le biais d'un ventilateur et d'un système d'homogénéisation du flux. Au sein du tunnel, une buse de pulvérisation et l'écran (filet de protection) sont placés en enfilade (figure 1). En aval, des systèmes de mesure de la vitesse du vent et du dépôt de pulvérisation permettront d'évaluer l'impact de l'écran sur la vitesse du vent et la dérive de pulvérisation.

### 2.1. Description du tunnel et du positionnement relatif de la buse et de l'écran

Le tunnel (figure 1) de forme annulaire possède une section carrée de 2 m x 2 m et une longueur de  $\pm$  8 m. Un flux d'air continu (vitesse maximum de 3 m/s) est généré dans la zone d'essai (zone rectiligne supérieure où se trouvent la buse et le filet).

Dans la zone d'essai, le tunnel est traversé par une rampe portant une buse de pulvérisation. Celle-ci est fixée à 0,65 m de hauteur. La buse de pulvérisation traverse la section du tunnel à une vitesse de 2 m/s. L'écran (filet de protection) est placé en travers de la section du tunnel à 2 m en aval de la buse.

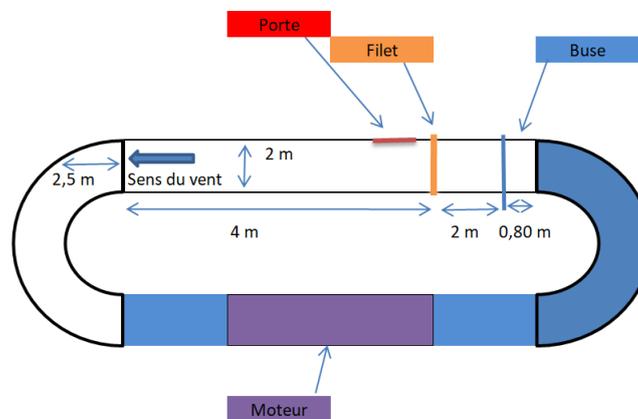


Figure 1 : Schéma général du tunnel et positionnement de la buse et de l'écran

### 2.2. Type de buse et mesure du débit de la buse

La buse utilisée est une buse à fente XR 110 02 VK de marque TEEJET (0 % de réduction de dérive). C'est une buse en céramique, d'un angle de pulvérisation de 110° et de calibre ISO 02 (code couleur ISO jaune) qui donne un débit normalisé de 0,79 L/min à 3 bars de pression de pulvérisation. A cette pression, la buse génère des fines gouttes (fine) qui correspondent à un VMD<sup>(1)</sup> de 136 à 177  $\mu$ m selon la classification des tailles de gouttelettes basée sur les spécifications BCPC (British Crop Protection Council) conformément à la norme ASABE S572 (2018). Le débit de la buse d'essai a été vérifié et validé.

- (1) VMD : Diamètre volumique médian (ou  $Dv0.5$ ) est le diamètre caractéristique d'un spectre de gouttes générées par une buse de pulvérisation, telle que la moitié du volume pulvérisé est constituée de gouttes plus grosses ou plus fines.

### 2.3. Description de l'écran testé (filet de protection) et modalités des essais

L'écran artificiel est un filet de protection HOWICOVER transparent ( $50 \text{ gr/m}^2$ ) de la marque HOWITEC Netting. Afin de modifier la porosité de l'écran, les essais ont été menés avec 1, 2 et 3 couches de filet. La porosité ( $\phi$ ) est définie comme la somme des surfaces de toutes les ouvertures rapportée à la surface totale de l'écran et exprimée en pourcent (De Schampheleire et *al.*, 2009).

La porosité des 3 écrans constitués d'1, 2 et 3 couches de filet a été mesurée par analyse d'image. Les écrans ont simplement été scannés (maille blanche sur fond noir) et leurs images digitalisées ont été analysées par le logiciel MATLAB qui permet de quantifier le nombre de pixels blancs et noirs. Le tableau 1 donne la porosité des écrans qui correspond au rapport entre le nombre de pixels blancs et le nombre total de pixels (somme des pixels blancs et noirs).

Les quatre modalités qui ont été testées dans le tunnel sont reprises au tableau 1. Chaque modalité a fait l'objet d'un essai en tunnel.

Tableau 1: Modalités des essais en tunnel et porosité correspondante des écrans

Essai N°	Modalité/type d'écran	Porosité ( $\phi$ )
1	Sans écran	-
2	Une couche de filet de protection	70 %
3	Deux couches de filet de protection	60 %
4	Trois couches de filet de protection	50 %

### 2.4. Méthodes de mesure

#### 2.4.1. Mesure de la vitesse du flux d'air dans le tunnel

La vitesse du flux d'air est mesurée à l'aide d'un anémomètre Testo 435. La vitesse a été mesurée à deux hauteurs (0,40 m et 0,88 m) qui correspondent à la mi-hauteur et à la hauteur maximum de l'écran (H). Les mesures ont été réalisées en amont et en aval du filet à des distances croissantes pour dresser un profil de vitesse du flux d'air (figure 2).

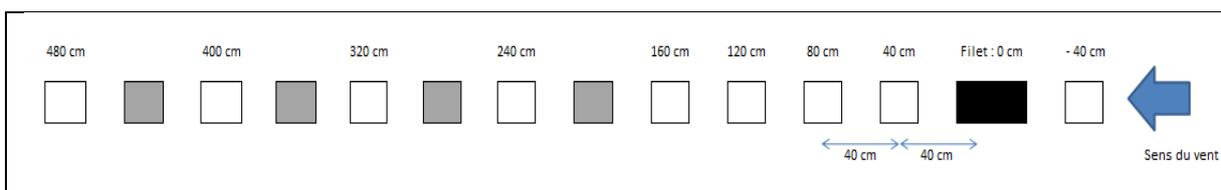


Figure 2: Schéma de la prise de mesure de la vitesse du flux d'air dans le sens du vent

#### *2.4.2. Mesure du dépôt de pulvérisation*

La mesure des dépôts de pulvérisation dans le tunnel est réalisée à l'aide d'un traceur qui consiste simplement en de l'encre de chine diluée à l'eau ayant une concentration de 100 gr/L. Ce mélange est pulvérisé dans le tunnel et collecté sur un papier de couleur blanche, d'une longueur de 5,5 m et positionné au sol.

Les bandes de papier sont ensuite scannées avec une résolution de 400 dpi. Une fois numérisées, les images sont analysées par le logiciel MATLAB. L'analyse de l'image est effectuée sur une largeur de 0,19 m (correspondant à 3000 pixels) et sur toute la longueur du collecteur (5,5 m). Le résultat consiste en une courbe de densité de pixels noirs en fonction de la distance par rapport à la buse de pulvérisation.

A noter que le résultat ne correspond pas à une mesure de la dérive proprement dite. L'essai permet de caractériser le dépôt de pulvérisation et son évolution à des distances croissantes par rapport à l'émission (buse de pulvérisation). Il permet de montrer l'impact de la présence d'écrans de porosité décroissante.

### **3. Résultats des essais en tunnel**

Les essais en tunnel ont permis de fournir deux types de résultats:

- a) L'effet d'un écran sur l'abattement de la vitesse du vent.
- b) L'effet d'un écran sur l'interception des gouttes.

#### **3.1. Effet de l'écran sur l'abattement de la vitesse du vent**

Un premier essai « à blanc » a été réalisé sans écran. L'anémomètre est placé à 0,4 m de la rampe de pulvérisation et le tunnel fonctionne à régime constant (vitesse du flux d'air de 3 m/s). Ce test préalable a permis de définir la vitesse de référence sans écran qui correspond à la valeur médiane de 114 mesures réalisées dans ces conditions.

Ensuite, pour chacune des modalités (tableau 1) et pour chaque distance de mesure (figure 2), 6 mesures de la vitesse du flux d'air ont été réalisées. La moyenne de ces 6 mesures a été rapportée à la vitesse de référence. La figure 3 présente les résultats standardisés sous forme graphique.

On peut observer à figure 3 le rabattement de la vitesse du flux d'air en fonction de la distance par rapport à l'écran ainsi que de sa porosité. Les valeurs sont standardisées par rapport à la vitesse de référence (ligne rouge continue et égale à 1). On constate que la réduction de la vitesse de l'air augmente avec la diminution de porosité de l'écran (nombre croissant de couches de filet). Les quatre modalités testées sont statistiquement différentes.

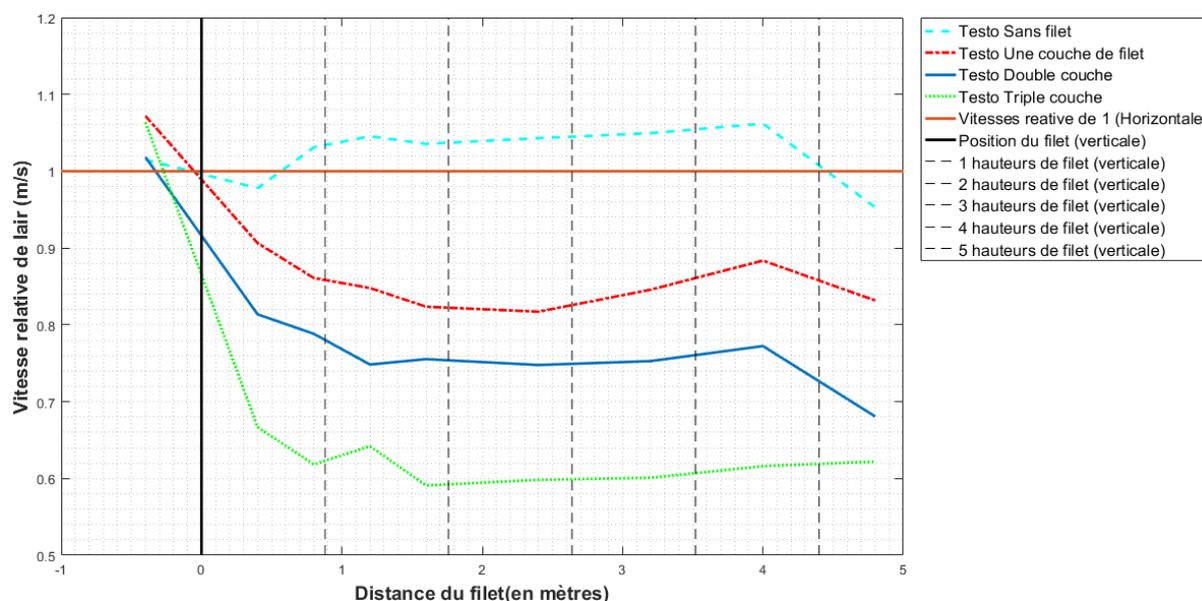


Figure 3: Rabattement de la vitesse relative du flux d'air en fonction des modalités des essais en tunnel

Les traits verticaux discontinus noirs représentent les distances par rapport à l'écran équivalentes à 1, 2, 3, 4 et 5 fois la hauteur de l'écran ( $H = 0,88$  m). On constate que le rabattement de la vitesse du flux d'air concerne une distance équivalente à 4 fois la hauteur de l'écran. Ensuite la vitesse du flux d'air aura tendance à augmenter. Ce phénomène est connu et fortement documenté. Par exemple, De Schampheleire et *al.* (2009) a montré qu'un écran d'une porosité de 40 % génère une zone d'influence d'environ  $9H$  pour une vitesse de vent de  $3\text{m/s}$ . Lorsque la vitesse augmente, la zone d'influence a tendance à diminuer.

La moyenne des vitesses relatives mesurées aux points se trouvant en aval de l'écran a été calculée pour chaque modalité et ramenée à la vitesse moyenne sans écran afin de déterminer le taux moyen de réduction de la vitesse selon la porosité des différents écrans testés. Le tableau 2 reprend ces valeurs. Le taux de réduction moyen de la vitesse du flux d'air correspond à une distance en aval de l'écran équivalente à  $\pm 5.5 H$ , soit dans les conditions expérimentales  $4.80$  m.

Tableau 2: Taux moyens de réduction de la vitesse du flux d'air selon la porosité des écrans

Essai	Modalité/type d'écran	Porosité ( $\phi$ )	Taux moyens de réduction de la vitesse du flux d'air
1	Sans écran	-	-
2	Une couche de filet de protection	70 %	12 %
3	Deux couches de filet de protection	60 %	21 %
4	Trois couches de filet de protection	50 %	33 %

### 3.2. L'effet de la porosité de l'écran sur l'interception des gouttes

La mesure des dépôts de pulvérisation à l'aide du traceur noir (encre de chine) a permis de déterminer le taux de recouvrement de ceux-ci en fonction de la distance par rapport à l'écran. Les courbes de répartition du dépôt en fonction de la distance ont été approximées par une courbe polynomiale et sont reprises à la figure 4.

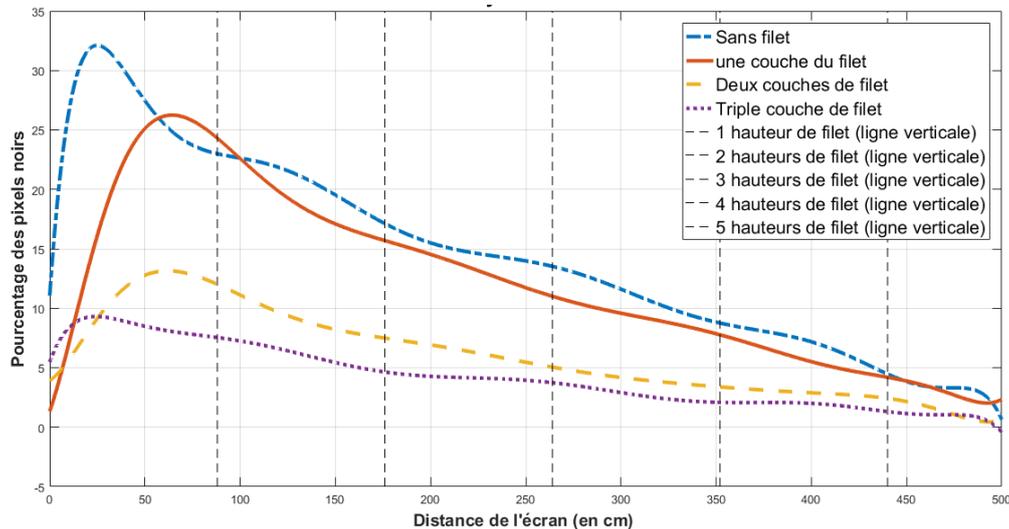


Figure 4: Courbes de répartition des dépôts de pulvérisation après l'écran selon sa porosité

La figure 4 reprend le pourcentage de pixels noirs (= taux de recouvrement du dépôt) en fonction de la distance par rapport à l'écran. On constate que le taux de recouvrement a tendance à diminuer avec la porosité de l'écran (1, 2 ou 3 couches de filet). Ce qui résulte d'une plus grande rétention des gouttelettes pulvérisées au niveau de l'écran. Cependant, les modalités double et triple couches de filet ne sont pas significativement différentes.

Les courbes ont ensuite été intégrées afin de déterminer le dépôt total pour chaque modalité. Cet exercice permet d'une part de comparer les modalités entre elles et de déterminer le taux de réduction des dépôts selon les écrans. D'autre part, il permet de calculer les percentiles (25, 50, 75 et 90) des dépôts et de les positionner en fonction de la distance à l'écran. Le tableau 3 reprend ces différentes valeurs.

On constate que la diminution de la porosité de l'écran diminue le dépôt de pulvérisation après celui-ci. Autrement dit, l'interception des gouttelettes par l'écran est d'autant plus importante que la porosité diminue. L'interception est efficace lorsque la porosité atteint 50 à 60 % (2 à 3 couches de filet). L'analyse du positionnement des percentiles ne montre pas une grande différence de comportement des différentes modalités. Les percentiles sont positionnés sensiblement aux mêmes distances par rapport à l'écran. Cependant, en valeur absolue, les percentiles sont différents d'une modalité à l'autre.

**Tableau 3: Taux de réduction et positionnement des percentiles des dépôts (distance par rapport à l'écran en cm ou en équivalent hauteur H de l'écran) selon la porosité des écrans**

Essai	Modalité/type d'écran	Porosité	Taux de réduction des dépôts	Percentiles des dépôts			
				25 %	50 %	75 %	90 %
1	Sans écran	-	-	66 cm 0,75 H	148 cm 1.68 H	262 cm 2,98 H	362 cm 4,12 H
2	Une couche de filet	70 %	37%	80 cm 0,91 H	154 cm 1,75 H	263 cm 2,99 H	364 cm 4,14 H
3	Deux couches de filet	60 %	59%	73 cm 0,83 H	145 cm 1,65 H	254 cm 2,90 H	364 cm 4,14 H
4	Trois couches de filet	50 %	71%	63 cm 0,72 H	135 cm 1,55 H	248 cm 2,82 H	355 cm 4,04 H

Les essais tunnel confirment le double effet d'un écran qui permet à la fois de rabattre la vitesse du vent et d'intercepter les gouttes de pulvérisation. Moins l'écran est poreux et plus son effet sera important avec cependant une limite. De Schampheleire *et al.* (2009) ont montré qu'un écran artificiel d'une porosité de 36 % et d'une hauteur de 2 m donnait les meilleurs résultats en terme de réduction de dérive.

Pour la suite des essais en champ et compte tenu de considération pratique, un écran constitué d'une double couche de filet HOWICOVER transparent (50 gr/m<sup>2</sup>) de la marque HOWITEC Netting sera systématiquement utilisé.

## Partie 2 – Essais de dérive en champ avec un traceur

---

### 1. Objectif de l'essai

L'objectif de ces essais est de quantifier la dérive de pulvérisation en conditions réelles selon différentes modalités afin de valider certaines mesures pratiques qui pourraient être prises lors de la pulvérisation. L'objectif est notamment de valider l'efficacité de l'utilisation de buses antidérive et de l'utilisation d'un écran.

Le recours **aux buses antidérive** est un moyen qui est déjà repris dans la législation nationale de protection des eaux de surface lors de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques (SPF-Santé publique, 2018). Le recours à ce moyen de lutte contre la dérive permet de réduire la zone tampon.

L'objectif de la zone tampon est d'établir une distance de sécurité entre la zone traitée et la zone sensible (l'eau de surface). L'implantation de cette distance permet de gérer le risque de contamination lié à la dérive de pulvérisation en réduisant l'exposition. Les zones tampons trouvent leur base légale dans l'Arrêté royal du 19 mars 2013 pour parvenir à une utilisation des produits phytopharmaceutiques et adjuvants compatible avec le développement durable. Ces zones tampons sont déterminées par le SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement pour chaque produit phytopharmaceutique, et se retrouvent dans les actes d'autorisation délivrés par le niveau fédéral. La législation régionale a été renforcée récemment (AGW de juin 2018) à ce sujet en rendant systématique et obligatoire sur tout le territoire l'usage de buses qui réduisent la dérive de minimum 50 %.

Le recours **à un écran** est aussi un moyen qui permettrait de réduire la dérive de pulvérisation. Comme mentionné dans la partie 1 ce moyen est déjà repris dans la législation nationale de protection des eaux de surface lors de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques (SPF-Santé publique, 2018), mais uniquement pour les applications en arboriculture. L'objectif de l'essai sera aussi de valider ce moyen pour une application en grandes cultures.

L'avantage de l'utilisation d'un traceur à la place d'un produit phytopharmaceutique pour les essais de dérive en champ est son innocuité pour l'environnement et la santé des opérateurs ainsi que sa facilité d'analyse. Cela permet de multiplier les essais sur un même site expérimental en peu de temps et à moindre coût. Le désavantage de la méthode est le comportement propre du traceur qui diffère d'un produit phytopharmaceutique. C'est pour cette raison que les essais en champ avec traceur sont réservés à la détermination de la dérive de pulvérisation ou sédimentaire.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Description du site expérimental

Les essais ont été réalisés sur une parcelle du domaine du CRA-W à Gembloux ouverte sur ses 4 côtés. La parcelle d'une superficie de 2,40 ha était récemment emblavée en prairie temporaire. La rugosité de la culture peut donc être considérée comme nulle au moment de l'essai.

Un écran a été installé sur une moitié de la parcelle afin de constituer deux zones protégées ou pas du vent dominant (figure 5). L'écran a une hauteur de 2 m et une longueur de 50 m. Il est constitué d'une double couche de filet HOWICOVER transparent (50 gr/m<sup>2</sup>) de la marque HOWITEC Netting. Pour rappel dans ces conditions, l'écran a une porosité de 60 % et permet de réduire la vitesse du vent de 21 % en moyenne (voir partie 1).

## 2.2. Description du traceur, de la bouillie et de la technique de pulvérisation

Le traceur utilisé est un colorant alimentaire (E102 ou tartrazine). Il a été choisi en raison de sa non-toxicité et de la possibilité d'extraire et de mesurer facilement les dépôts par colorimétrie. Cette méthode a été utilisée par de nombreux auteurs pour mesurer les dépôts de gouttelettes (Gil *et al.*, 2015).

La bouillie pulvérisée est constituée d'un mélange d'eau, de tartrazine (DOUCY®) à raison de 15 gr/L et d'un mouillant Trend 90 (numéro d'autorisation : 9002P/B) à raison de 0,1 %. L'ajout du mouillant est conforme à la méthodologie développée par Vandezande & al (2018).

Le pulvérisateur à rampe (de marque Tecnoma, de modèle Fortis, de type traîné DP Ae, de largeur de rampe de 24 m, d'une capacité de 2600 L) a pulvérisé la bouillie à raison de 200 L/ha à une hauteur de 1 m et à une vitesse approximative de 9 km/h. Trois types de buses ont été testés. Le tableau 4 reprend les paramètres de pulvérisation selon le type de buses.

Tableau 4: Paramètres de pulvérisation selon le type de buses pour l'essai en champ avec traceur

Buses	Marque	Type	Calibre	% réduction de dérive	Vol/ha (L/ha)	Vitesse (km/h)	Pression (bars)
1	Nozal	A fente conventionnelle	110 04	0 %	200	9	2,7
2	Nozal	A fente à aspiration d'air	120 04	50 %	200	9	2,7
3	Albuz	A fente à aspiration d'air	110 04	75 %	200	9	2,7

Les paramètres de pulvérisation utilisés et suivis durant les essais sont classiques et communément pratiqués. La pression de pulvérisation atteinte est moyenne.

## 2.3. Description des collecteurs et du dispositif expérimental

Deux collecteurs rectangulaires (15 cm x 40 cm de tissu Miracloth, CALBIOCHEM®) sont agrafés côte à côte sur un support en carton pour obtenir une surface totale de 1200 cm<sup>2</sup> (la surface minimale du collecteur devant être supérieure à 1000 cm<sup>2</sup> selon la norme ISO 22866, 2005).

Les collecteurs sont fixés au sol horizontalement et positionnés sur trois lignes parallèles écartées de 2 m, à une distance de 0.5 m, 2.5 m, 7.5 m, 10 m, 15 m, 25 m, 35 m et 50 m par rapport au bord de la parcelle. Le bord de la parcelle correspond à l'axe de l'écran. Deux dispositifs de collecteurs sont placés sur la parcelle sous le vent dominant, le premier étant protégé par l'écran et le deuxième pas (figure 5). Une distance de plus ou moins 30 m séparent les deux dispositifs.

Le pulvérisateur pulvérise la parcelle en amont du dispositif selon le sens du vent dominant. La dernière buse se trouve à 1 m du bord de la parcelle (axe de l'écran). Le pulvérisateur effectue un passage sur une distance de 100 m en pulvérisant successivement devant le dispositif de collecteurs protégé par l'écran et celui non-protégé.

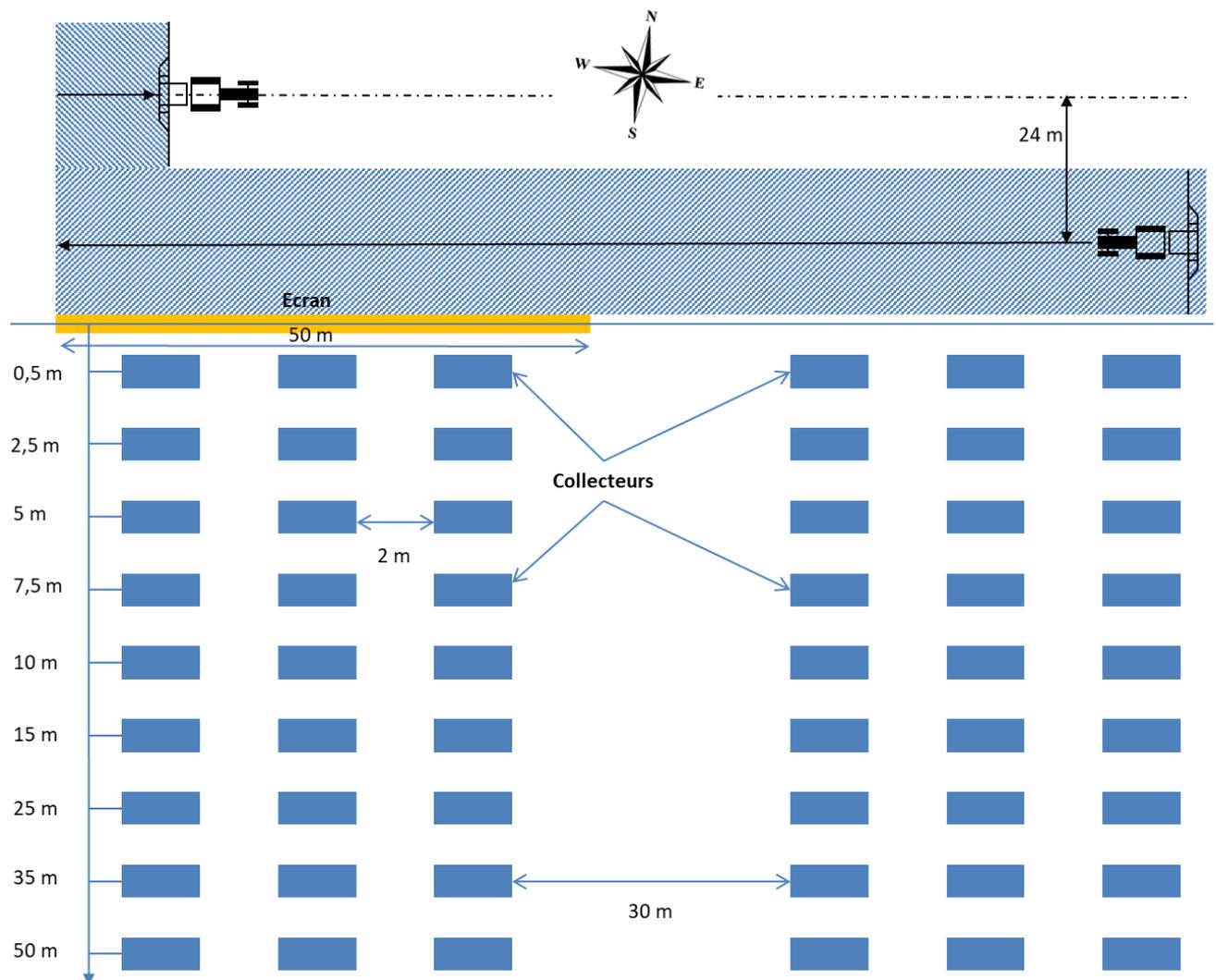


Figure 5: Schéma du dispositif expérimental utilisé lors des essais de dérive en champ avec traceur

## 2.4. Mesures des conditions météorologiques

Les conditions météorologiques (vent : direction et vitesse, température et humidité relative) ont été mesurées et enregistrées en continu à l'aide d'une station météorologique mobile de marque Pessl (modèle : iMetos 2 imt300+). Les vents dominants de la parcelle sont orientés N-N-E. Les essais ont été réalisés le 18 mai 2018.

## 2.5. Analyse des dépôts de la dérive

Les collecteurs des deux dispositifs sont récoltés directement après chaque pulvérisation correspondant aux différentes modalités. Ils sont emballés et stockés séparément afin d'éviter toute contamination croisée. Après chaque pulvérisation, un échantillon de bouillie est prélevé au niveau d'une buse. Cette aliquote servira à quantifier la concentration réelle en traceur dans la bouillie pour chaque pulvérisation.

Les collecteurs sont ramenés au laboratoire, où les tissus sont détachés et placés, sans découpage, dans des tubes Falcon avec 30 ml d'eau déminéralisée afin de procéder à l'extraction du dépôt de tartrazine. Chaque tissu complet est placé dans un tube Falcon. Comme il y a deux morceaux de tissu par collecteur et trois lignes de collecteurs, un total de six mesures est atteint à chaque distance.

Après extraction, les échantillons sont analysés par colorimétrie (NANOCOLOR<sup>®</sup> 500D, longueur d'onde : excitation 436 nm).

Au préalable, le bruit de fond de l'appareil a été déterminé. Une série de tissus Miracloth non-contaminés subissent le même processus d'extraction et sont analysés afin de déterminer l'absorbance moyenne à blanc qui s'élève en moyenne à  $0,0132 \pm 0,0070$ .

La limite de détection est égale à 3 fois l'écart-type de l'absorbance moyenne à blanc, soit 0,0210. Cette limite de détection est soustraite systématiquement à l'absorbance lue sur le colorimètre, afin d'obtenir l'absorbance réelle.

L'appareil est également étalonné à l'aide d'une série de 12 solutions étalons de concentrations connues et croissantes. Une droite d'étalonnage est ensuite établie et permet de transformer l'absorbance réelle de l'échantillon en concentration (mg/ml). Un nouvel étalonnage est réalisé pour chaque journée de mesure.

Les concentrations des échantillons sont transformées en masse surfacique ( $\text{mg/m}^2$ ) compte tenu de la surface des collecteurs. Le pourcentage de dérive est calculé pour chaque échantillon en rapportant sa masse surfacique à la quantité appliquée. Pour déterminer cette dernière, les échantillons de bouillie prélevés après chaque pulvérisation ont été analysés et la concentration moyenne réelle de la bouillie en tartrazine était de 15,47 gr/L. Compte tenu d'une application de bouillie à 200 L/ha, la quantité appliquée de tartrazine durant les essais était de  $309 \text{ mg/m}^2$ .

## 2.6. Les modalités testées durant les essais

Trois modalités ont été testées :

- présence ou non d'un écran,
- pourcentage de réduction de dérive des buses de pulvérisation : 0% ; 50% et 75% de réduction de la dérive (voir tableau 3),
- moment dans la journée : matin ou après-midi.

Au total 6 pulvérisations ont été réalisées (3 le matin et 3 l'après-midi) et 648 échantillons ont été analysés.

### 3. Résultats des essais de dérive en champs avec un traceur

#### 3.1. Effet des buses antidérive

Le tableau 5 et la figure 6 reprennent les résultats globaux de dérive selon le potentiel de réduction des buses (0 %, 50 % et 75 % de réduction). Chaque valeur est la moyenne de 24 données englobant les modalités écran (présence ou non) et moment de la pulvérisation (matin ou après-midi). Cette globalisation impacte la variabilité des résultats. L'importance des écart-types en témoigne. Cela corrobore les travaux réalisés par Nuyttens et *al.* (2007) qui montrent que les valeurs de dérive peuvent varier d'un facteur 10 en fonction des conditions météorologiques et de pulvérisation.

Tableau 5: Dérive moyenne et écart-type en fonction de la distance (m) selon le potentiel de réduction de dérive de la buse de pulvérisation (chaque valeur est la moyenne de 24 données)

Distance (m)	Dérive moyenne (%) ± écart-type		
	Buse 0 %	Buse 50 %	Buse 75 %
0,5	4,42 ± 3,01	2,54 ± 2,67	1,05 ± 0,97
2,5	1,56 ± 1,03	0,71 ± 0,64	0,45 ± 0,33
5	0,76 ± 0,55	0,36 ± 0,33	0,35 ± 0,24
7,5	0,58 ± 0,46	0,30 ± 0,21	0,27 ± 0,24
10	0,45 ± 0,33	0,22 ± 0,17	0,25 ± 0,27
15	0,30 ± 0,20	0,12 ± 0,12	0,20 ± 0,15
25	0,22 ± 0,18	0,10 ± 0,11	0,26 ± 0,51
35	0,19 ± 0,11	0,10 ± 0,11	0,14 ± 0,15
50	0,18 ± 0,11	0,14 ± 0,08	0,10 ± 0,08

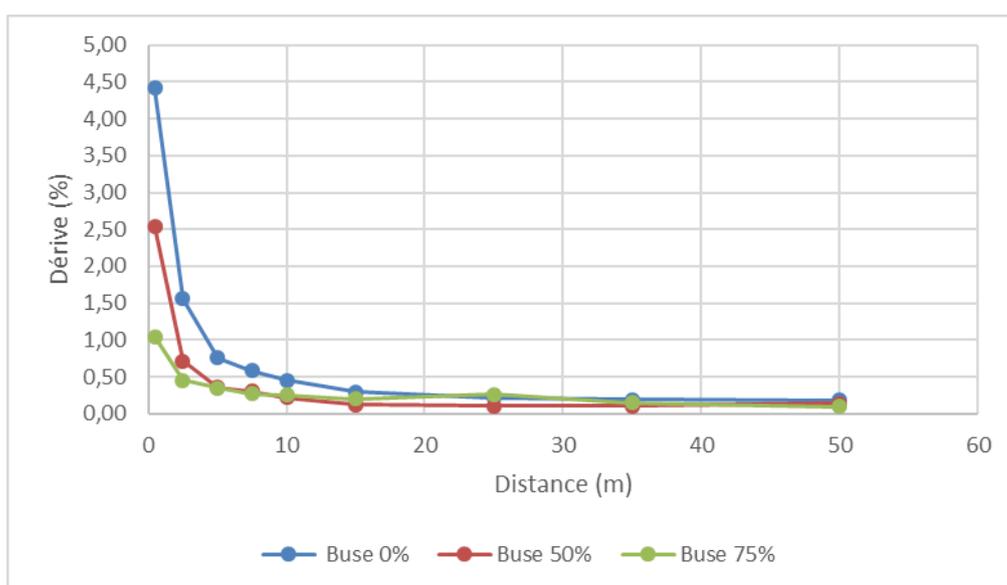


Figure 6 : Dérive (%) en fonction de la distance au bord du champ selon le potentiel de réduction de dérive des buses de pulvérisation (0 %, 50 %, 75 %), toutes les autres modalités étant confondues

Les résultats et les profils de rabatement de la dérive confirment également les données de la littérature. L'utilisation d'une buse antidérive permet de réduire significativement la dérive sédimentaire immédiate et cela surtout au niveau des 10 premiers mètres jouxtant la surface pulvérisée. Au-delà, la dérive résiduelle est toujours inférieure à 0,5 %. Jusqu'à 10 mètres de distance, l'analyse de la variance des données montre une différence significative entre les résultats (moyennes) des buses anti-dérive (50 et 75 % de réduction de la dérive) et la buse de référence (0 % de réduction de la dérive).

Afin de montrer l'influence des conditions météorologiques sur la dérive, les figures 7 et 8 détaillent les mêmes résultats en ne reprenant respectivement que les résultats du matin ou de l'après-midi. Chaque valeur est la moyenne de 12 données.

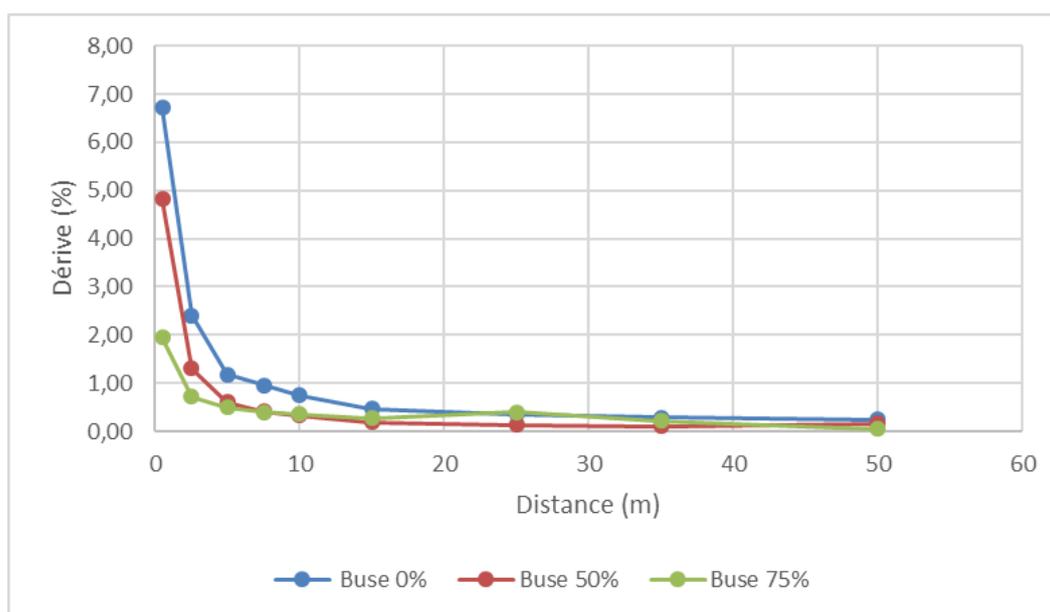


Figure 7 : Dérive (%) en fonction de la distance au bord du champ selon le potentiel de réduction de dérive des buses de pulvérisation (0 %, 50 %, 75 %), essais du matin

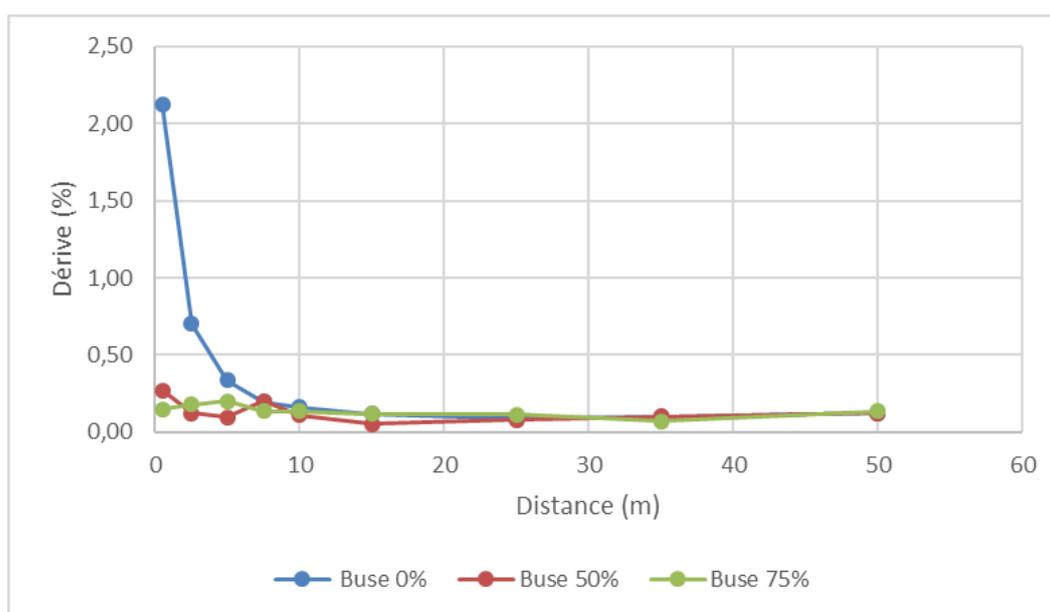


Figure 8 : Dérive (%) en fonction de la distance au bord du champ selon le potentiel de réduction de dérive des buses de pulvérisation (0 %, 50 %, 75 %), essais de l'après-midi

La figure 7 représentant les essais de dérive de la matinée est très similaire aux résultats globaux (figure 6), mais avec des niveaux de dérive plus élevés. L'impact de l'utilisation de buses antidérive est bien marqué et une différence significative se marque entre la buse 50 % et 75 % de réduction de dérive.

La figure 8 représentant les essais de dérive de l'après-midi est par contre très différente. D'une part, l'importance de la dérive observée l'après-midi est basse et d'autre part on ne distingue plus de différence entre les buses 50 % et 75 % de dérive.

Ce focus sur les essais réalisés soit le matin, soit l'après-midi, montre bien la variabilité de la dérive selon les conditions météorologiques sans qu'il y ait d'explications claires. Ce sujet sera développé au point 3.3.

Le tableau 6 reprend le total cumulé des pourcentages de dérive observés à toutes les distances, pour l'ensemble des essais, pour les essais du matin et ceux de l'après-midi. Bien que ce chiffre n'a pas de signification physique, il permet d'illustrer le potentiel de réduction de dérive des buses. En moyenne et comparativement à une buse classique sans réduction de dérive, une buse 50 % permet de diviser par deux la dérive et une buse 75 % la divise par trois. Ces résultats sont confirmés le matin, mais pas l'après-midi où il n'y a plus de différence entre les buses 50 % et 75 % de réduction de dérive.

**Tableau 6: Dérive totale cumulée de tous les essais de la journée, des essais du matin et des essais de l'après-midi ; selon le potentiel de réduction de dérive des buses**

<b>Dérive totale cumulée des essais (%)</b>	<b>Buse 0 %</b>	<b>Buse 50 %</b>	<b>Buse 75 %</b>
matin et après-midi	207,90	110,55	73,47
matin	160,44	96,68	58,63
après-midi	47,46	13,87	14,84

### **3.2. Effet d'un écran sur la dérive**

Le tableau 7 et la figure 9 reprennent les résultats globaux de dérive selon la présence d'un écran ou pas. Chaque valeur est la moyenne de 36 données englobant les modalités buse (0 %, 50 % et 75 % de réduction de la dérive) et moment de la pulvérisation (matin ou après-midi).

**Tableau 7: Dérive moyenne et écart-type en fonction de la distance (m) selon la présence d'un écran ou pas en bord de parcelle (chaque valeur est la moyenne de 36 données)**

<b>Distance (m)</b>	<b>Dérive moyenne (%) ± écart-type</b>	
	<b>Avec écran</b>	<b>Sans écran</b>
0,5	2,40 ± 2,26	2,95 ± 3,14
2,5	0,74 ± 0,70	1,07 ± 0,98
5	0,39 ± 0,32	0,59 ± 0,51
7,5	0,28 ± 0,30	0,48 ± 0,37
10	0,25 ± 0,25	0,36 ± 0,30
15	0,17 ± 0,14	0,25 ± 0,19
25	0,16 ± 0,17	0,23 ± 0,43
35	0,13 ± 0,11	0,16 ± 0,14
50	0,16 ± 0,10	0,12 ± 0,10

Bien que faible, la présence de l'écran a un impact sur la dérive. L'effet se marque jusqu'à une dizaine de mètres. Au-delà, bien que d'un point statistique les modalités avec ou sans écran se différencient de façon significative, en pratique, elle ne se distingue plus l'une de l'autre.

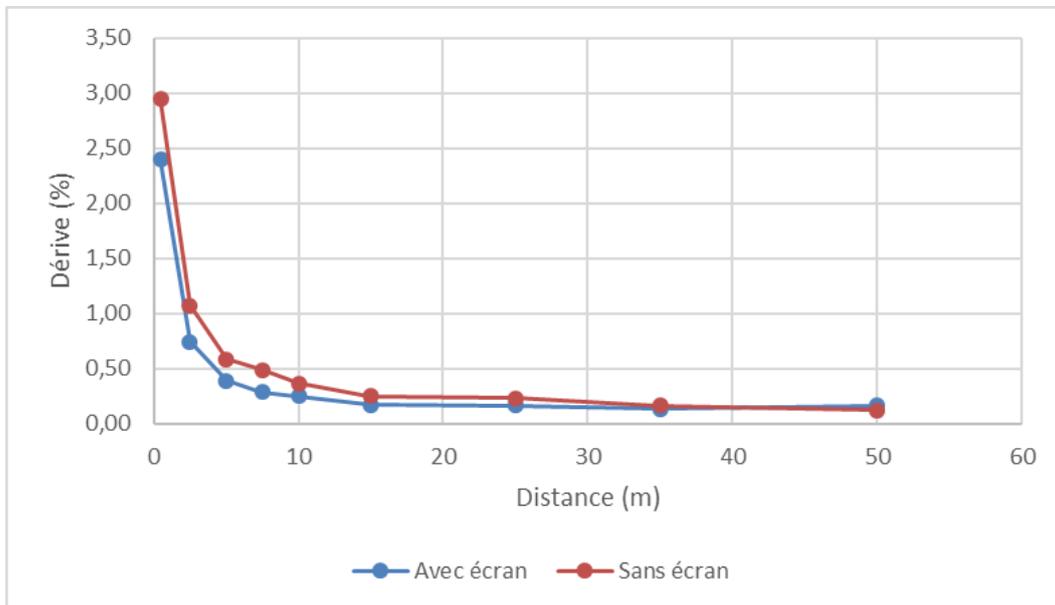


Figure 9: Dérive (%) en fonction de la distance au bord du champ selon la présence d'un écran ou pas, toutes les autres modalités étant confondues

La figure 10 reprend la dérive (%) selon la présence d'un écran ou pas, mais en distinguant les essais du matin et de l'après-midi qui ont été réalisés dans des conditions météorologiques différentes. On observe que les niveaux de dérive sont très différents selon le moment de la pulvérisation (matin ou après-midi). Son impact sur la dérive est bien plus important que la présence d'un écran. Que ce soit le matin ou l'après-midi, la distance d'influence de l'écran ne dépasse pas les 10 mètres.

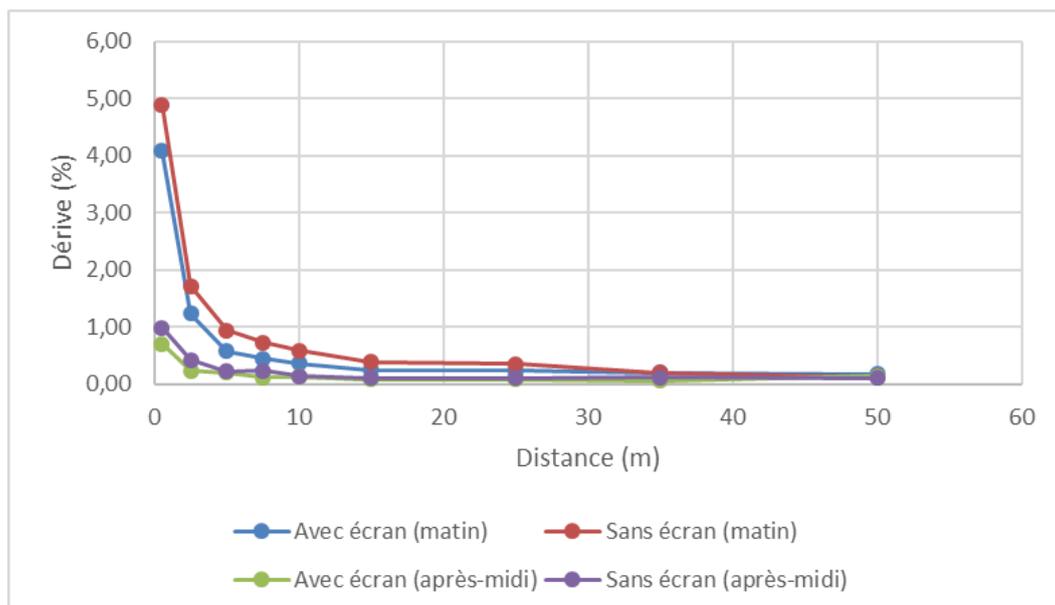


Figure 9: Dérive (%) en fonction de la distance au bord du champ selon la présence d'un écran ou pas, distinction faite du moment de la pulvérisation (matin ou après-midi)

Le tableau 8 reprend le total cumulé des pourcentages de dérive observés à toutes les distances, pour l'ensemble des essais, pour les essais du matin et ceux de l'après-midi ; distinction faite de la présence ou pas d'un écran. Ce chiffre global permet de quantifier l'impact d'un écran sur la dérive. On observe une diminution globale de la dérive grâce à la présence d'un écran de l'ordre de  $\pm 25\%$  (valeurs entre parenthèses).

**Tableau 8 : Dérive totale cumulée de tous les essais de la journée, des essais du matin et de l'après-midi ; selon la présence d'un écran ou pas**

Dérive totale cumulée des essais (%)	Avec écran	Sans écran
matin et après-midi	168,41 (25 %)	223,51
matin	136,42 (24 %)	179,33
après-midi	31,99 (28 %)	44,18

### 3.3. Effet des conditions atmosphériques sur la dérive (pulvérisation le matin ou l'après-midi)

Le tableau 9 reprend les conditions météorologiques de l'essais. Les valeurs sont des moyennes sur une heure de temps. Les essais du matin se sont déroulés entre 9h et 10h et les essais de l'après-midi se sont déroulés entre 13h et 14h. La journée était ensoleillée, sèche avec un vent soufflant en rafale. On peut considérer que la température et l'humidité relative sont représentatives des conditions lors de la pulvérisation. Par contre, les valeurs de vitesse du vent doivent être prises avec précaution étant donné qu'elles peuvent varier rapidement, et qu'une pulvérisation ne dure que quelques minutes. La direction du vent correspondait plus ou moins à la direction dominante et était dirigée de la parcelle traitée vers les collecteurs.

**Tableau 9 : Conditions météorologiques lors des essais de dérive en champ avec un traceur**

Heure	Température (°C)	HR (%)	Vitesse vent (m/s)	Direction vent
9h	8	75	3,2	Nord
10h	9	70	5,6	Nord
13h	12	57	5,8	Nord-Nord-Est
14h	14	52	5,7	Nord-Nord-Est

La température a tendance à augmenter l'après-midi avec une diminution conjuguée de l'humidité relative. La vitesse moyenne est assez élevée voire limite selon les bonnes pratiques agricoles qui déconseillent de pulvériser au-dessus de 15 km/h (soit  $\pm 4.2$  m/s). Il faut noter que le vent soufflait en rafale. De façon générale, les conditions de pulvérisation étaient plus mauvaises l'après-midi.

Le tableau 10 et la figure 10 reprennent les résultats globaux de dérive selon une pulvérisation réalisée le matin ou l'après-midi. Chaque valeur est la moyenne de 36 données englobant les modalités buses (0 %, 50 % et 75 % de réduction de la dérive) et écran (présence ou non).

Tableau 10: Dérive moyenne et écart-type en fonction de la distance (m) selon une pulvérisation réalisée le matin ou l'après-midi (chaque valeur est la moyenne de 36 données)

Distance (m)	Dérive moyenne (%) ± écart-type	
	Matin	Après-midi
0,5	4,49 ± 2,66	0,85 ± 1,13
2,5	1,48 ± 0,82	0,33 ± 0,40
5	0,76 ± 0,46	0,21 ± 0,13
7,5	0,59 ± 0,38	0,18 ± 0,12
10	0,48 ± 0,31	0,13 ± 0,07
15	0,32 ± 0,18	0,10 ± 0,05
25	0,30 ± 0,43	0,09 ± 0,06
35	0,20 ± 0,14	0,09 ± 0,07
50	0,15 ± 0,10	0,13 ± 0,10

Contrairement à ce qui était attendu, la dérive a été moins importante l'après-midi que le matin. Il est difficile de fournir une explication sur base d'essais aussi peu nombreux. D'un point de vue statistique, les résultats obtenus le matin ou l'après-midi sont significativement différents, et ce jusque 35 m de distance. Les conditions météorologiques ont donc clairement un impact sur la dérive. Le choix du moment de la pulvérisation sera donc crucial.

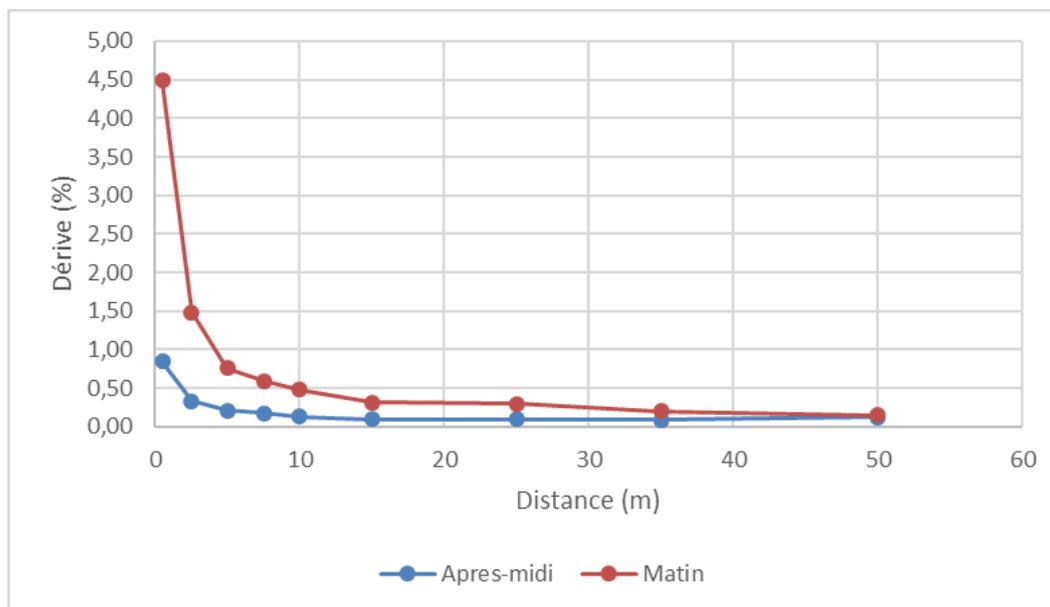


Figure 10: Dérive (%) en fonction de la distance au bord du champ selon une pulvérisation réalisée le matin ou l'après-midi

Compte tenu de la nature versatile de la météo, il est difficile de conseiller de pulvériser à un moment particulier de la journée. Cependant, les bonnes pratiques agricoles s'accordent à conseiller une pulvérisation en matinée ou en soirée, lorsque les conditions météorologiques ont tendance à s'apaiser. C'est une pratique générale qui relève du bon sens.

#### 4. Discussion des résultats

Les essais du volet 2 se sont focalisés sur la dérive de pulvérisation (ou dérive sédimentaire) qui est définie comme étant le mouvement physique des gouttelettes dans l'air, au moment de l'application ou directement après, de la zone de traitement vers toute autre zone non-cible. Les conclusions du volet 2 s'appliquent donc uniquement à cette dérive « immédiate ».

**Les essais en laboratoire dans le tunnel** ont permis de valider l'impact d'un écran sur la vitesse du vent et l'interception des gouttes de pulvérisation. Ils ont aussi permis de déterminer la porosité de l'écran qui sera par la suite utilisé dans les essais de dérive en champ avec traceur.

Lorsque la porosité de l'écran diminue, la vitesse du vent en aval diminue également et l'interception des gouttes de pulvérisation augmente. Les deux phénomènes peuvent être antagonistes. Lorsque la porosité est trop faible (ex : mur), le flux d'air saute l'obstacle et la réduction de dérive est faible. Un écran d'une porosité de 36 % et d'une hauteur de 2 m donne de bons résultats en terme de réduction de dérive selon De Schampheleire *et al.* (2009).

Lors des essais de dérive en champ avec traceur et pour des raisons techniques et pratiques, l'écran qui a été utilisé présentait une porosité de 60 %, permettant une réduction de vitesse de 21 %.

**Les essais de dérive en champ** ont permis de montrer l'influence prédominantes des conditions de pulvérisation, de l'utilisation de buses antidérive et dans une moindre mesure de l'utilisation d'un écran.

Les mêmes essais ont été répétés le matin et l'après-midi afin d'obtenir des résultats dans des conditions météorologiques différentes. Concrètement, la dérive a été moins importante d'un facteur 5, l'après-midi que le matin. Cela va à l'encontre des idées reçues, mais il est difficile de fournir une explication et de conclure sur base d'essais aussi peu nombreux. Par contre, les conditions météorologiques ont clairement un impact sur la dérive. Le choix du moment de la pulvérisation sera donc crucial.

L'utilisation de buses antidérive permet de réduire concrètement et significativement la dérive de pulvérisation. En moyenne et comparativement à une buse classique sans réduction de dérive, une buse 50 % permet de diviser par deux la dérive et une buse 75 % la divise par trois. Ces résultats sont confirmés le matin, mais pas l'après-midi où il n'y a plus de différence entre les buses 50 % et 75 % de réduction de dérive. Il faut noter aussi que l'usage de buses antidérive (indistinctement 50 % et 75 %) permet une diminution importante, et statistiquement significative, de la dérive sur les 10 premiers mètres jouxtant la parcelle pulvérisée. Au-delà, la dérive résiduelle est toujours inférieure à 0,5 % quel que soit le type de buses de pulvérisation utilisé.

L'installation d'un écran en bord de parcelle permet de réduire la dérive de pulvérisation. Dans les conditions de l'essai et compte tenu de l'écran utilisé, la diminution moyenne de la dérive était de l'ordre de 25 % quelles que soient les autres modalités (buses, conditions météorologiques...). Bien que l'efficacité de l'écran utilisé dans les essais ne soit pas très élevée, elle est significative d'un point de vue statistique. Des études complémentaires avec d'autres types d'écran seraient nécessaires afin de valider ces résultats encourageants et de définir pratiquement l'efficacité d'écrans naturels et artificiels.

En conclusion, le recours à des moyens techniques (buses antidérive et installation d'un écran) permet de lutter concrètement et pratiquement contre la dérive immédiate suivant directement la pulvérisation. Les conditions météorologiques au moment de la pulvérisation sont cependant prépondérantes dans la gestion de la dérive. Le nombre d'essais n'est pas suffisamment important pour pouvoir tirer des conclusions et des lignes de conduites claires à ce sujet.

A titre indicatif, le rabattement de dérive de pulvérisation obtenu entre les modalités et conditions les plus défavorables (pulvérisation le matin avec une buse 0 % de réduction de dérive et sans la présence d'écran) et les plus favorables (pulvérisation l'après-midi avec une buse 50 % de réduction de dérive et avec la présence d'un écran) de l'essai en champ avec traceur a atteint un facteur 20.

## Références

---

**American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2018. ASABE S572-Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. 6 p.

**Bergiers G.**, 2018. Objectivation de l'exposition des populations riveraines aux pulvérisations de produits phytopharmaceutiques en Wallonie. Master thesis, ULg Gembloux Agro-Bio Tech. 124 p.

**De Schampheleire M., Nuyttens D., Dekeyser D., Verboven P., Spanoghe P., Cornelis W., Gabriels D. and Steurbaut W.**, 2009. Deposition of spray drift behind border structures. *Crop protection*, 28(12), pp.1061-1075.

**Gil E., Gallart M., Balsari P., Marucco P., Almajano M.P. and Llop J.**, 2015. Influence of wind velocity and wind direction on measurements of spray drift potential of boom sprayers using drift test bench. *Agricultural and forest meteorology*, 202, pp 94-101.

**ISO 5681**, 1992. Equipment for crop protection – Vocabulary. 19 p.

**ISO 22866**, 2005. Matériel de protection des cultures – Mesurage de la dérive du jet au champ. 24 p.

**Lazzaro L., Otto S. & Zanin, G.**, 2008. Role of hedgerows in intercepting spray drift: Evaluation and modelling of the effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123(4), pp.317–327.

**Nuyttens D.**, 2007. Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means. PhD thesis. 267 p. ISBN 978-90-8826-039-1.

**SPF-Santé publique**, 2018. Protection des eaux de surface lors de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques – Guide pratique pour les utilisateurs professionnels. Version 2.2. 28 p. [https://fytoweb.be/sites/default/files/guide/attachments/protection\\_des\\_eaux\\_de\\_surface\\_201806\\_28\\_0.pdf](https://fytoweb.be/sites/default/files/guide/attachments/protection_des_eaux_de_surface_201806_28_0.pdf).

**Vandezande J.C., Michielsen J.M.G.P., Stallinga H. and Vanvelde P.**, 2018. Potential exposure of residents to spray drift. *Aspects of Applied Biology* 137, pp 251-259.

