

Analyse de l'impact de l'électrostatisme sur la qualité d'application en arboriculture



TITRE

Analyse de l'impact de l'utilisation de l'électrostatisme sur la qualité d'application du pulvérisateur pneumatique Turbo 2 (CHABAS) en arboriculture.

AUTEURS

Florence VERPONT, CTIFL, florence.verpont@ctifl.fr

Yoan HUDEBINE, CTIFL, yoan.hudebine@ctifl.fr

Contributions Harmony CARMAGNAT, harmony.carmagnat@ctifl.fr et Joël FAVAREILLE, joel.favareille@ctifl.fr

DATE

09/12/2021

SITE D'EXPERIMENTATION

CTIFL, site de Lanxade
28 route des Nébouts
24130 PRIGONRIEUX

FINANCEURS :



Sommaire

| | |
|---|-----------|
| OBJECTIF DES ESSAIS | 5 |
| MATERIEL ET METHODES | 5 |
| LES MODALITES ETUDIEES | 5 |
| CONTROLES PRELIMINAIRES AVANT ESSAI | 5 |
| METHODOLOGIE..... | 6 |
| RESULTATS | 10 |
| APPROCHE QUALITATIVE | 10 |
| APPROCHE QUANTITATIVE | 12 |
| ANNEXES | 14 |
| ANNEXE 1..... | 14 |
| ANNEXE 2..... | 17 |

Introduction

L'un des paramètres essentiels à l'efficacité d'un traitement est la capacité du matériel à localiser le maximum de produit pulvérisé sur la cible et de la manière la plus homogène possible tout en limitant les pertes au sol et dans l'air. L'acquisition d'indicateurs chiffrés sur les performances agronomiques et environnementales des pulvérisateurs est une étape incontournable dans l'identification des combinaisons de matériel permettant de réaliser les meilleures applications d'un point de vue agronomique et environnemental tout en tenant compte des aspects relatifs aux conditions d'utilisation.

Dans le cadre de son activité sur l'évaluation des pulvérisateurs arboricoles au sein de l'unité MATIC, le CTIFL propose, sur la base de méthodologies éprouvées et validées, la caractérisation des performances environnementales de ces matériels. La société CHABAS, constructeur et distributeur de pulvérisateurs arboricoles propose en option sur ses équipements un système électrostatique. L'objectif de la pulvérisation électrostatique est d'améliorer la capacité du produit à se fixer sur la végétation. Pour ce faire, les gouttelettes sont chargées négativement. Cette charge électrique est destinée à améliorer la capacité des gouttes à cibler la végétation et à s'y fixer. Elle permet également aux gouttes de se déposer sur les faces intérieures des feuilles, qui ne sont pas directement exposées au jet. Ce procédé est couramment utilisé en peinture. La société CHABAS a ainsi sollicité le CTIFL pour la mise en place d'un essai visant à étudier l'impact de cette technologie sur la qualité d'application.

Ce rapport présente les résultats de cet essai, conduit le 16/09/2021. Ces essais ont été conduits sur la parcelle support des essais de mesure de performances de pulvérisation du CTIFL, un verger standard de type haie fruitière en zone plane.



Photo 1 : Turbo 2 (source : CTIFL)

Objectif des essais

L'objectif de l'essai est de caractériser l'effet de l'électrostatisme sur la qualité d'application. Plusieurs essais ont déjà été réalisés sur ce thème, notamment dans le cadre du projet national PulvArbo (2015-2020) mais sur les bases de la méthodologie de quantification des dépôts utilisée, les résultats n'ont pas pu mettre de différences significatives en évidence. La méthodologie utilisée jusqu'à présent n'est peut-être pas adaptée à la caractérisation d'un tel impact : utilisation de collecteurs PVC non représentatifs de la charge électrique naturelle du végétal? différences de qualité non quantifiables avec le traceur utilisé classiquement ? L'essai a donc été conduit avec un protocole en théorie plus adapté à caractériser l'impact de l'utilisation de l'électrostatisme sur la qualité de pulvérisation.

Matériel et méthodes

Les modalités étudiées

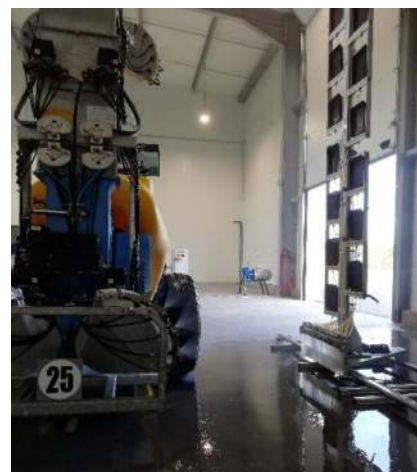
L'appareil support des essais est le pulvérisateur pneumatique Turbo 2 des Ets CHABAS. Le tableau 1 ci-dessous présente les 2 modalités testées dans le cadre de cet essai :

| | 1- Turbo 2 sans système électrostatique | 2- Turbo 2 avec système électrostatique |
|-----------------------------|--|--|
| Pulvérisateur | Turbo 2 | Turbo 2 |
| Régime moteur | 450 tr/min | 450 tr/min |
| Volume de bouillie | 250 l/ha | 250 l/ha |
| Vitesse d'avancement | 6 km/h | 6 km/h |
| Passage | Tous les rangs | Tous les rangs |
| Option | Sans électrostatisme | Avec électrostatisme |
| Diffuseurs ouverts | 22 (6 éclateurs en haut, 5 en bas) | 22 (6 éclateurs en haut, 5 en bas) |
| Pression | 1.5 bars | 1.5 bars |

Tableau 1 : descriptif des modalités

Contrôles préliminaires avant essai

Avant l'essai, la distribution de la pulvérisation a été réglée à l'aide du banc de mesure de la répartition verticale de la bouillie. L'orientation des diffuseurs a été ajustée pour être en adéquation avec la configuration de la parcelle support des essais.



Photos 2 et 3 : réglage de la répartition (source : CTIFL)

Méthodologie

Les évaluations des performances de pulvérisation ont été réalisées respectivement selon la norme ISO 22522 :2007 relative au « Mesurage au champ de la répartition de la pulvérisation pour arbres et arbustes fruitiers ». La méthode consiste 1) à positionner des collecteurs en plastique à l'endroit où l'on veut quantifier les dépôts de pulvérisation, 2) à pulvériser, avec le matériel mis en conditions souhaitées, une solution eau + traceur selon un passage de tracteur pré défini la quantité de produit déposée, 3) à récupérer les collecteurs et mesurer par spectrophotométrie les quantités de produit déposée.

Le dispositif expérimental adopté dans cet essai est décrit ci-après.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Cet essai a été conduit le 16/09/2021 sur une parcelle plane de pommiers adultes (Tableau 2).

| Parcelle d'essai 16/09/2021 | |
|--------------------------------|----------------------|
| Nom de la Parcelle | Sa |
| Variété | Gala |
| Plantation | Hiver 2004/2005 |
| Densité | 2000 arbres / ha |
| Distance entre rangs | 4 m |
| Distance sur le rang | 1,25 m |
| Longueur des rangs | 55 m |
| Hauteur plafond filets | 4,20 m |
| Hauteur traitée moyenne | 4,1 m |
| Largeur canopée moyenne | 1,70 m |
| LWA en m ² /ha | 20690 m ² |



Tableau 2 : descriptif de la parcelle d'essai

Photo 4 : rangs de l'essai (source : CTIFL)

Le dispositif adopté est le suivant : pour chaque modalité (avec et sans électrostatisme), l'appareil fait un passage unique entre les rangs 46 et 47. Deux dispositifs de collecte sont positionnés pour récolter les dépôts de pulvérisation : le dispositif 1, en sortie directe de la canopée du rang traité 47 et le dispositif 2 positionné en entrée de la canopée du rang non traité 48 (Figure 1).

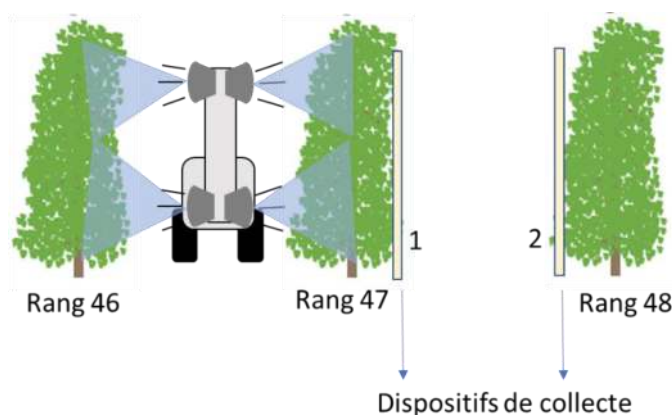


Figure 1 : dispositif expérimental

Les dispositifs de collecte sont des cadres de 3 m de haut et 2 m de large. Chaque cadre comporte 11 lignes de collecteurs. La première ligne est située à 0.50 m du sol, les autres sont ensuite positionnées tous les 0.25 m jusqu'à une hauteur de 3 m. Les lignes de collecte du dispositif 1 comprennent 20 collecteurs PVC (10 positionnés face à la canopée, 10 positionnés face à l'entre rang) et 2 papiers hydrosensibles (1 face canopée, 1 face entre rang), soit un total de 220 collecteurs PVC et 22 papiers hydrosensibles. Les lignes de collecte du dispositif 2 comportent 10 collecteurs PVC (10 positionnés face à l'entre rang) et 1 papier hydro, soit un total de 110 collecteurs PVC et 11 papiers hydrosensibles. Le PVC utilisé est opaque blanc de format 4cm * 5 cm soit 20 cm² de surface d'échantillonnage par collecteur. La figure 2 et les photos 5 et 6 illustrent le dispositif.

Dispositif de collecte 1 (sortie canopée rang 47 traité):

Dispositif de collecte 2 (entrée canopée rang non traité 48):

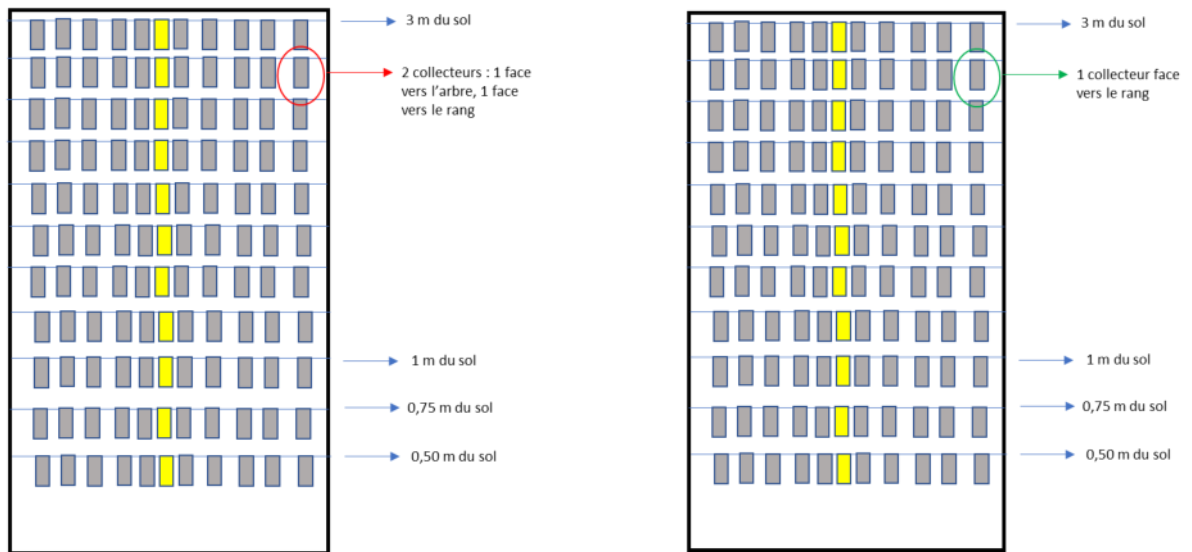


Figure 2 : dispositifs de collecte



Photos 5 et 6 : vue générale et zoom sur les dispositifs de collecte (source : CTIFL)

DEROULEMENT DES ESSAIS

1- Enregistrement des données météo :

La station météo mobile est installée à une dizaine de mètre du verger support de chacun des essais.

2- Pose des dispositifs de collecte dans les rangs 47 et 48 :

Les cadres sont positionnés conformément au descriptif avant le passage du pulvérisateur.

3- Préparation et pulvérisation de la bouillie « eau + traceur » :

Une solution « eau + tartrazine » est préparée afin d'obtenir une concentration de solution pulvérisée de 5 g/l de tartrazine. Ce traceur a été choisi en raison de sa solubilité dans l'eau, de sa stabilité à la lumière, de sa faible dangerosité vis-à-vis du manipulateur et de son coût réduit. Cette bouillie est ensuite appliquée en respectant les modalités d'essai définies. Après pulvérisation, un échantillon de la solution est prélevé à la sortie des buses ou dans la cuve. Cette solution sera appelée « solution mère », c'est à partir de cette solution qu'est réalisée une gamme étalon.

4- Pulvérisation

5- Récupération des collecteurs :

Après pulvérisation, les papiers hydrosensibles sont photographiés et conservés pour un scan à posteriori. Les collecteurs du dispositif 1 sont récoltés par ligne et par face d'exposition : les 10 collecteurs de la même ligne face exposés à l'arbre sont déposés dans un même pot, les 10 autres collecteurs exposés face à l'entre rang sont rassemblés dans un même pot. Cela est appliqué à chaque ligne de collecte. La même méthode est appliquée sur le dispositif de collecte 2 à la différence qu'il n'y a qu'une seule face d'exposition.

6- Extraction du traceur :

Dans chaque pot hermétique est rajouté 30 ml d'eau. Les flacons sont bien agités afin que l'ensemble de la pulvérisation interceptée par les collecteurs soit remise en solution (l'idéal étant d'avoir une plaque agitatrice sur laquelle on peut laisser les pots agiter pendant 10 minutes). La tartrazine étant photostable, elle se conserve bien, les lots peuvent donc être stockés pour une analyse d'absorbance plus tardive.

7- Analyse au spectrophotomètre :

Principe de la mesure :

La mesure de l'absorption d'un rayonnement par une solution contenant un composé absorbant permet d'en déduire la concentration. La loi de Beer-Lambert permet de relier l'absorbance à la concentration C en mol/L $A = \log(I_0/I) = \epsilon \lambda \times l \times C = k \times C$ Cette formule ne marche que pour des faibles concentrations. La tartrazine est une molécule très soluble dans l'eau (300g/L dans l'eau).

La concentration en tartrazine (formule : $C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$) d'une solution est directement corrélée à son absorbance à 427 nm (spectre visible). Dans un premier temps, il convient d'établir une gamme étalon à partir d'une solution mère « laboratoire », cette gamme étalon permet d'établir une courbe de calibration « labo » (étalonnage) pour vérifier la concentration réelle de la bouillie pulvérisée. Ensuite, une gamme étalon est faite à partir de la solution mère récupérée après pulvérisation dans la cuve ou en sortie de buses (concentration connue de 5g/l). La courbe obtenue à partir de cette gamme étalon permet de calculer l'équation reliant l'absorbance mesurée au spectrophotomètre et la concentration en tartrazine. Les gammes étalons « labo » et « pulvérisateur » sont préparées afin d'obtenir les concentrations suivantes :

| | | | | |
|----------|---|------|------|------|
| [en g/l] | 5 | 0.25 | 0.05 | 0.01 |
|----------|---|------|------|------|

Concentrations solution mère laboratoire

| Bouillie mère | | Solution 1 | Solution 2 | Solution 3 |
|---------------|------------------------|------------|------------|------------|
| 5g/l | bouillie mère (ml) | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| | Eau déminéralisée (ml) | 40 | 60 | 100 |

Un autre tableau identique existe afin de traiter la gamme étalon « pulvérisateur ».

L'absorbance de ces solutions mères est mesurée au spectrophotomètre. Ces absorbances permettent de tracer une courbe représentant l'absorbance mesurée en fonction de la concentration en tartrazine. Cette équation est du type $y = a x + b$ où x correspond à la concentration en tartrazine et y l'absorbance mesurée. On peut ainsi calculer la concentration en tartrazine en connaissant l'absorbance de la solution (cette méthode reste valable pour des concentrations dont la lecture est possible au spectrophotomètre).

Par la suite, tous les échantillons sont passés au spectrophotomètre afin de mesurer leur absorbance.

Comment se font ces mesures d'absorbance ?

Le volume de la solution obtenue pour l'extraction du traceur est largement supérieur au volume nécessaire pour la lecture au spectrophotomètre mais il permet d'assurer le renouvellement de la manipulation en cas de problème de lecture.

Pour chaque échantillon, 2 puits sont utilisés et une moyenne des 2 lectures est faite. Il faut donc déposer $2 \times 200 \mu\text{l}$, chaque puits recevant $200 \mu\text{l}$ de solution. Un « blanc » (répété sur 2 puits) est disposé sur la microplaque et sa position est renseignée dans le programme informatique du spectrophotomètre. Les mesures d'absorbance peuvent alors être réalisées (Photo 7). Pour une meilleure organisation, il est nécessaire de préparer à l'avance un plan de disposition des échantillons sur les microplaques.



Photo 7 : lecture de plaque au spectrophotomètre

8- Traitement des données d'absorbance et calcul des dépôts :

A partir de l'équation établie sur la gamme étalon, les concentrations en tartrazine sont calculées en fonction des lectures d'absorbance au spectrophotomètre. Le calcul de la quantité de produit déposé prend ensuite en compte plusieurs variables comme le volume d'eau employé pour le rinçage des collecteurs, la concentration utilisée ainsi que la concentration mesurée. L'équation suivante permet de calculer le volume de la solution pulvérisée captée :

$$V_{\text{capté}} = ([]_{\text{évaluée}} \times V_{\text{H}_2\text{O}}) / ([]_{\text{sol mère dans le pulvé}})$$

Avec $V_{\text{capté}}$: volume de produit déposé par collecteur

$V_{\text{H}_2\text{O}}$: volume d'eau distillée utilisé pour diluer le dépôt

$[]_{\text{sol mère pulvérisée}}$: concentration initiale de la solution pulvérisée

$[]_{\text{évaluée}}$: concentration mesurée de l'échantillon

En connaissant la surface de x collecteurs constituant un échantillon, le volume de produit capté est ramené à un volume capté par unité de surface et exprimé en $\mu\text{l}/\text{cm}^2$.

Pour finir, les dépôts sont normalisés et exprimés en ng/dm^2 de surface foliaire à protéger pour 1 g de traceur pulvérisé par ha.

Résultats

Les 4 essais ont tous été réalisés dans des conditions de vent faible à très faible (< à 1 m/s à 1.9 m/s).

Approche qualitative

Les papiers hydrosensibles ont été relevés et scannés. La figure 3 présente les papiers hydrosensibles relevés sur les hauteurs de 1.50 m à 3 m (pour plus de visibilité les papiers positionnés sur les lignes à 0.5 m et 1 m n'ont pas été ajoutés mais restent disponibles sur demande), à raison d'un papier tous les 0.25 m sur le dispositif de collecte 1 positionné dans la partie de la canopée extérieure du rang traité 47 (cf. figure 1). La figure 3 concerne les papiers hydrosensibles positionnés face à la canopée (cf. figure 2).

Turbo 2 sans électrostatisme, papiers hydrosensibles, face intérieure canopée (Rang 47, dispositif 1)

Turbo 2 avec électrostatisme, papiers hydrosensibles, face intérieure canopée

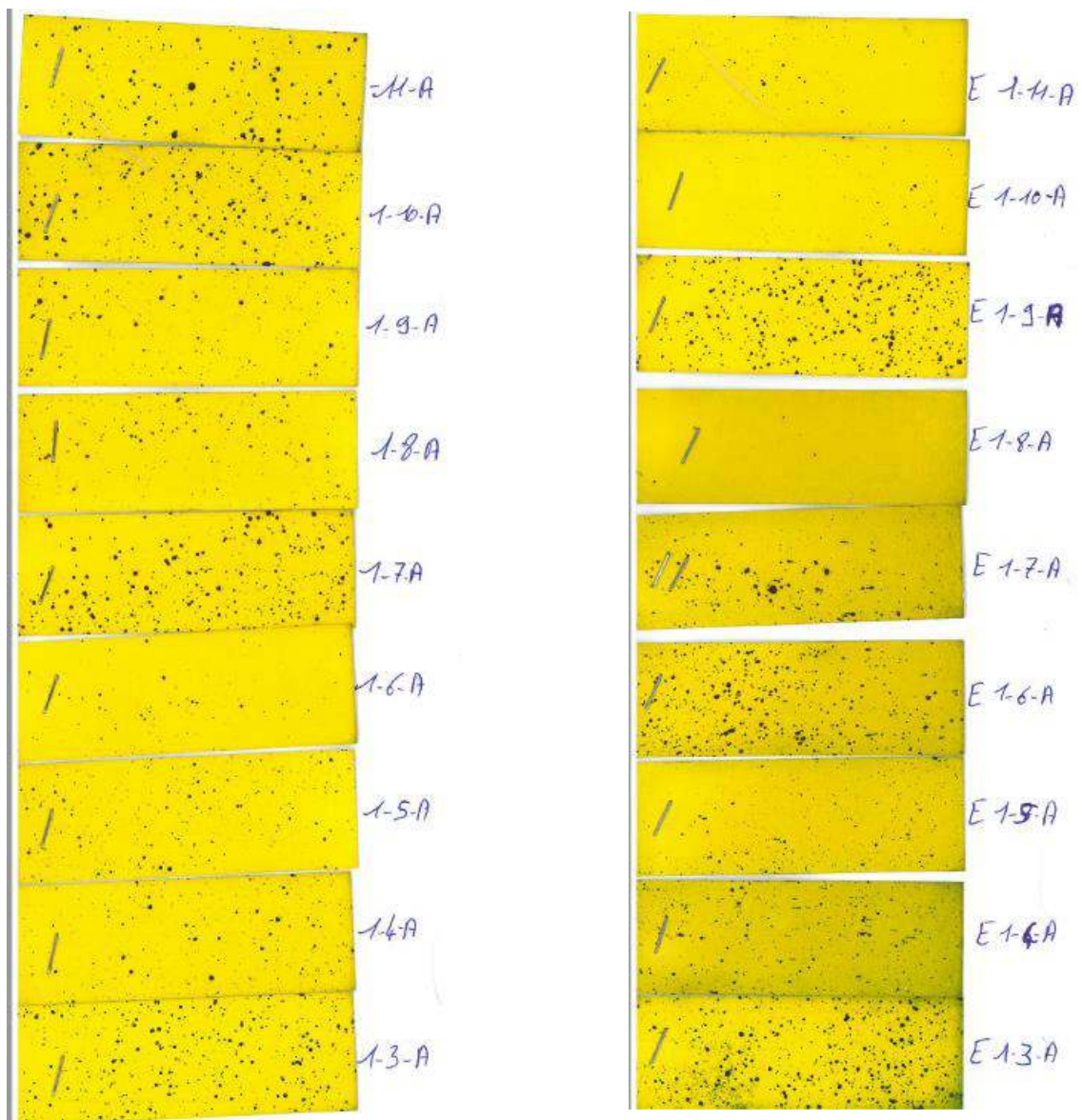


Figure 3 : impacts et couverture générée par le Turbo 2 sans et avec électrostatisme dans la canopée

D'un point de vue qualitatif il est difficile de distinguer à l'œil nu des différences de couverture que le système électrostatique soit ou non en fonctionnement.

La figure 4 présente les papiers hydrosensibles toujours installés sur le même dispositif mais orientés vers l'entre rangs (cf.figure 2).

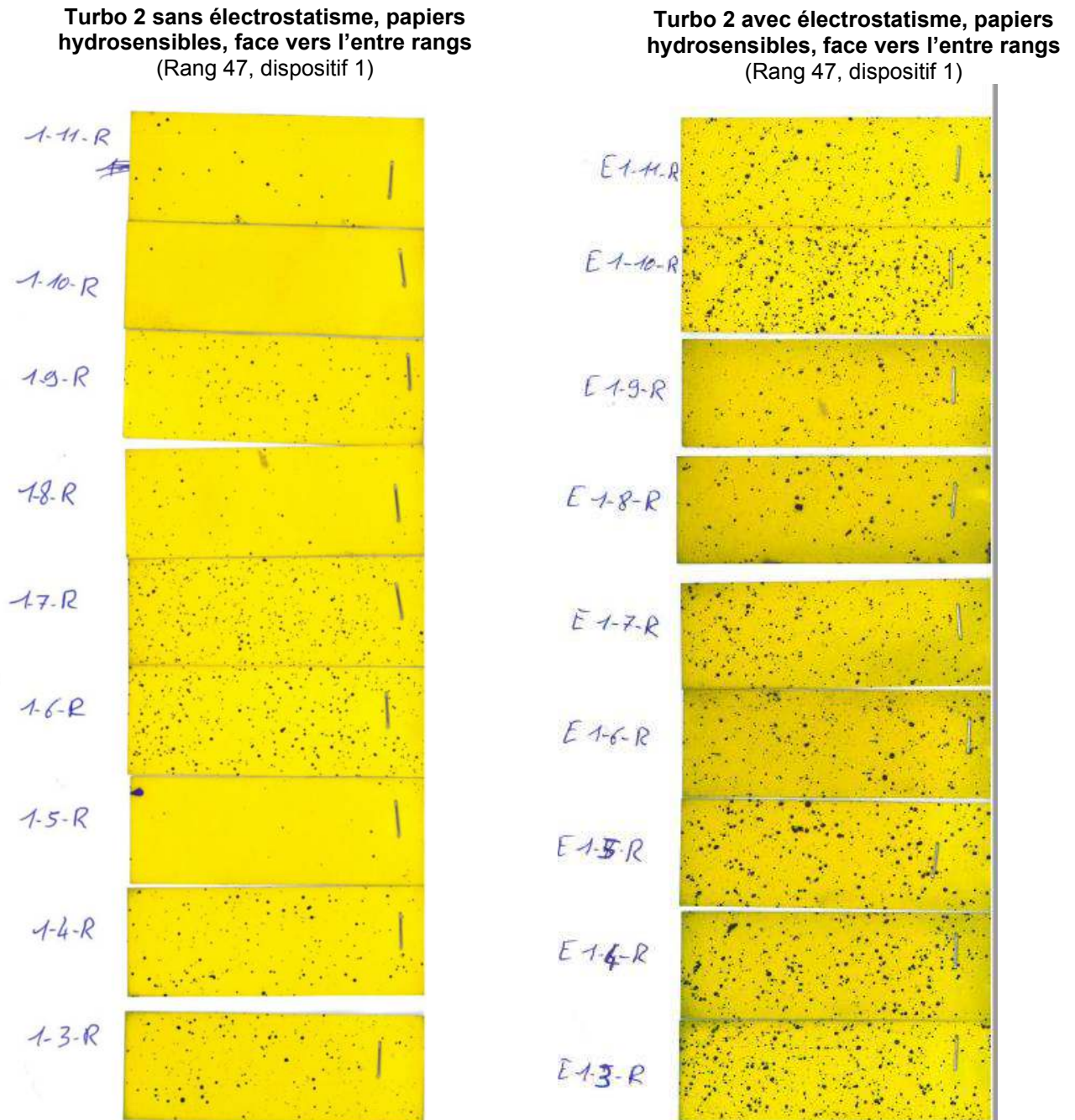


Figure 4 : impacts et couverture générée par le Turbo 2 sans et avec électrostatisme (face vers l'entre rangs)

Toujours d'un point de vue qualitatif et avec une approche uniquement visuelle, les papiers hydrosensibles exposés au passage avec électrostatisme semblent plus couverts que ceux exposés au passage sans électrostatisme, pouvant refléter une attractivité des gouttes pulvérisées par la canopée.

Approche quantitative

Comme mentionné dans le protocole, les collecteurs ont donc été regroupés ligne par ligne en séparant bien sur le dispositif de collecte 1 les collecteurs positionnés vers la face intérieure de la canopée de ceux positionnés vers la face entre rangs (Figure 5).



Les résultats détaillés de quantification obtenus ligne par ligne, puis regroupés selon les hauteurs de canopée sont présentés en annexe 1. La figure 6 présente les quantités moyennes de dépôts mesurés sur le dispositif de collecte 1 et sur le dispositif de collecte 2.

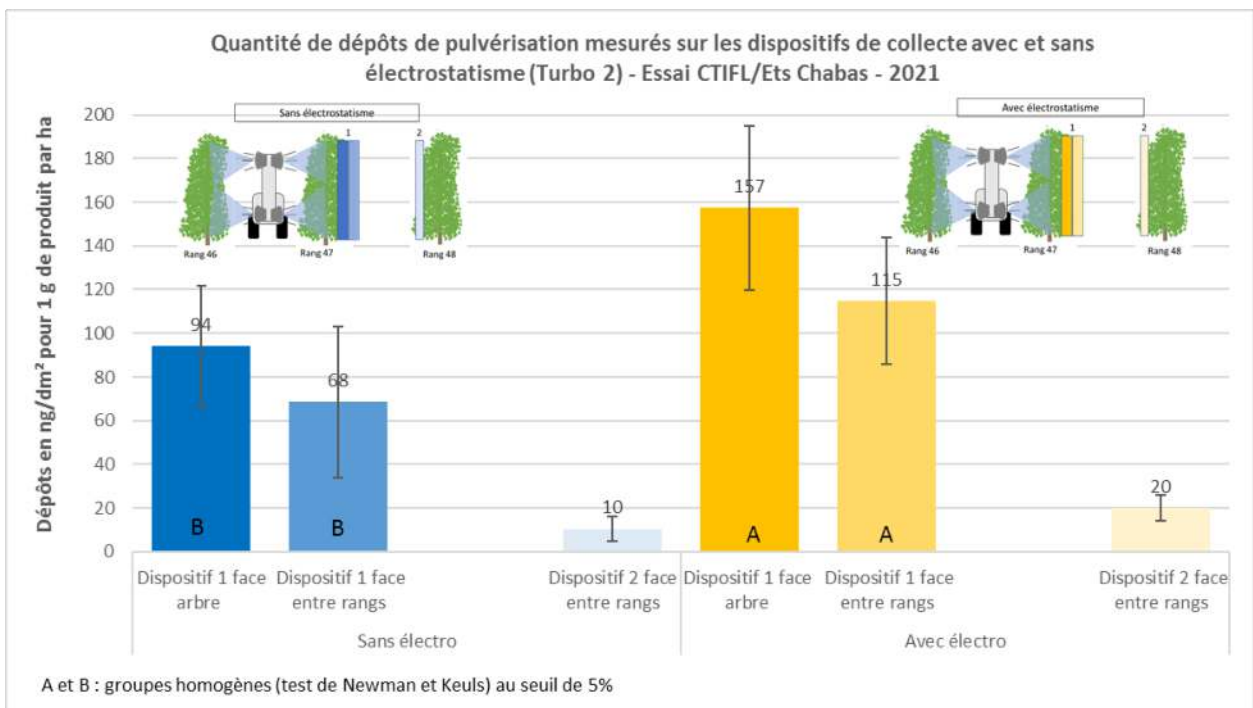


Figure 6 : dépôts mesurés sur les dispositifs de collecte 1 et 2, sans (bleu) et avec (jaune) électrostatisme

Autant l'approche qualitative des papiers hydrosensibles en permettait pas de mettre de manière nette en évidence l'impact de l'électrostatisme sur le recouvrement, autant l'approche quantitative mise en œuvre dans le cadre de cet essai met en évidence des différences significatives entre la modalité sans électrostatisme et la modalité avec électrostatisme. Dans nos conditions d'essais, l'utilisation du pulvérisateur pneumatique Turbo 2 avec le système électrostatique permet des dépôts de pulvérisation significativement plus importants que le même appareil utilisé sans le système électrostatique.

Sur les collecteurs du dispositif 1 positionnés vers l'intérieur de la canopée, le passage du Turbo 2 sans électrostatisme génère une moyenne de 94 ng de dépôts/dm² de surface à protéger pour 1 g de produit pulvérisé par ha. Le passage du même appareil dans les mêmes conditions génère 67% de dépôts en plus (157 ng/dm² pour 1 g de produit par ha). L'effet de l'électrostatisme est aussi notable sur les collecteurs du dispositif de collecte 1 positionnés face vers l'entre rangs : sans électrostatisme les dépôts mesurés sont en moyenne de 68 ng/dm², avec électrostatisme ils sont en moyenne de 115 ng/dm² (69% supérieurs). Les détails des analyses statistiques réalisées sont présentés en annexe 2.

Sur le dispositif de collecte 2 positionné sur le rang 48 (non traité), les dépôts sont, conformément à la logique, très faibles, compris entre 10 et 20 ng/dm² pour 1 g de produit pulvérisé par hectare et du même ordre de grandeur quelle que soit la modalité (avec ou sans électrostatisme).

CE QU'IL FAUT RETENIR

- **Dans les conditions de cet essai et selon la méthodologie mise en œuvre et décrite dans ce rapport, l'utilisation du système électrostatique sur le pulvérisateur pneumatique Turbo 2 permet de générer des dépôts de gouttes sur le rang traité significativement plus importants que le même appareil sans électrostatisme.** Le système électrostatique a permis d'augmenter significativement les dépôts de pulvérisation de 67%. L'effet de l'attractivité des gouttes chargées sur le végétal est aussi notable en sortie de canopée : avec électrostatisme, les gouttes pulvérisées sont ré-attirées par la végétation induisant des dépôts significativement supérieurs.
- Dans les conditions de ces essais, l'approche qualitative avec les papiers hydrosensibles ne permet pas de mettre en avant l'effet de l'électrostatisme sur le recouvrement. Cette approche plus simple ne paraît pas adaptée, une part des gouttes générées étant certainement trop fines pour être visibles sur les papiers hydrosensibles.

Annexes

Annexe 1

L'annexe 1 comporte les résultats détaillés des quantifications de dépôts mesurés. La figure 7 présente les résultats des dépôts quantifiés sur le dispositif de collecte 1, ligne de collecteur par ligne de collecteur. La première ligne, la plus basse, correspond à la ligne positionnée à 0.50 m du sol, la onzième ligne, la plus haute, correspond à la ligne positionnée à 3 m du sol. Les histogrammes dirigés vers la gauche correspondent aux collecteurs orientés vers la face intérieure de la canopée, les histogrammes dirigés vers la droite correspondent aux collecteurs orientés vers l'entre rangs.

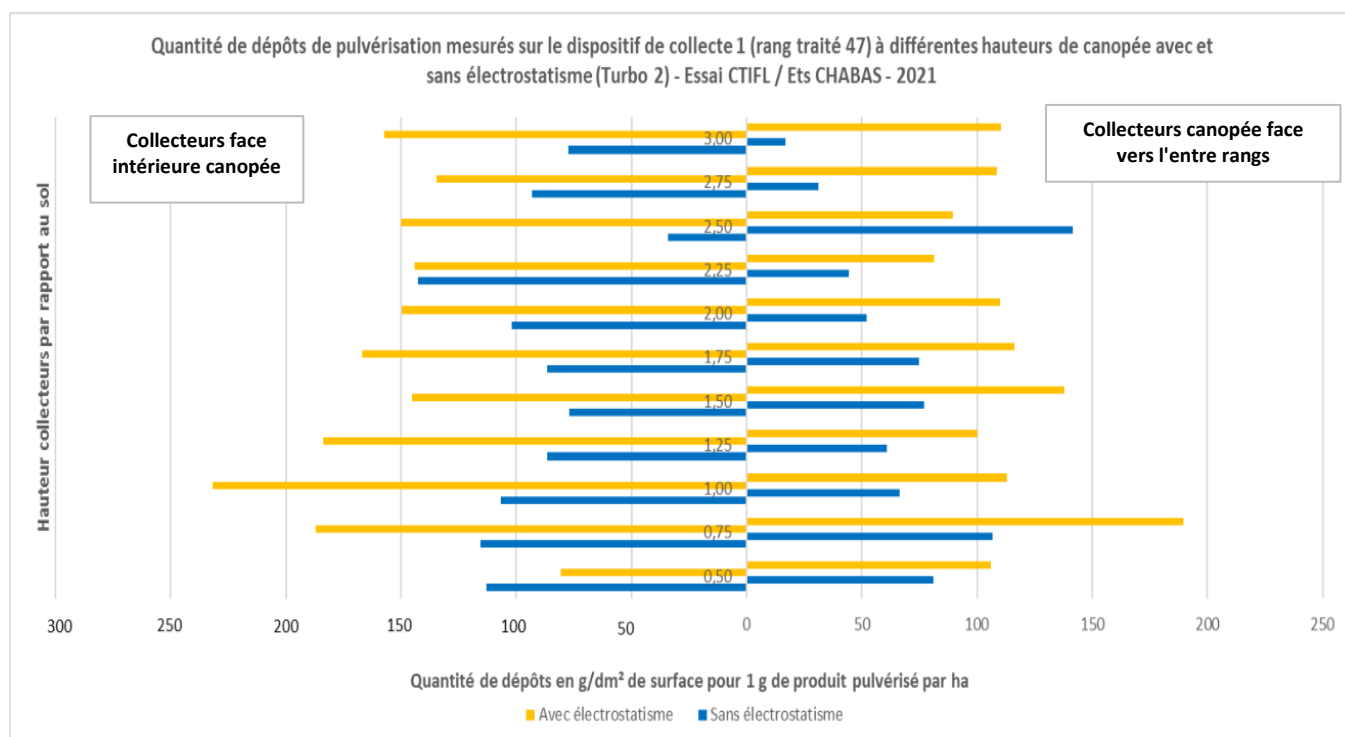


Figure 7 : dépôts mesurés sur les dispositifs de collecte 1 pour chaque ligne de collecte (de 0.50 à 3 m de haut)

Sur le même principe, la figure 8 présente les dépôts mesurés sur le dispositif de collecte 2 (collecteurs uniquement orientés vers l'entre rang). Afin de comparer rapidement les niveaux de dépôts, la même échelle a été conservée pour toutes les figures.

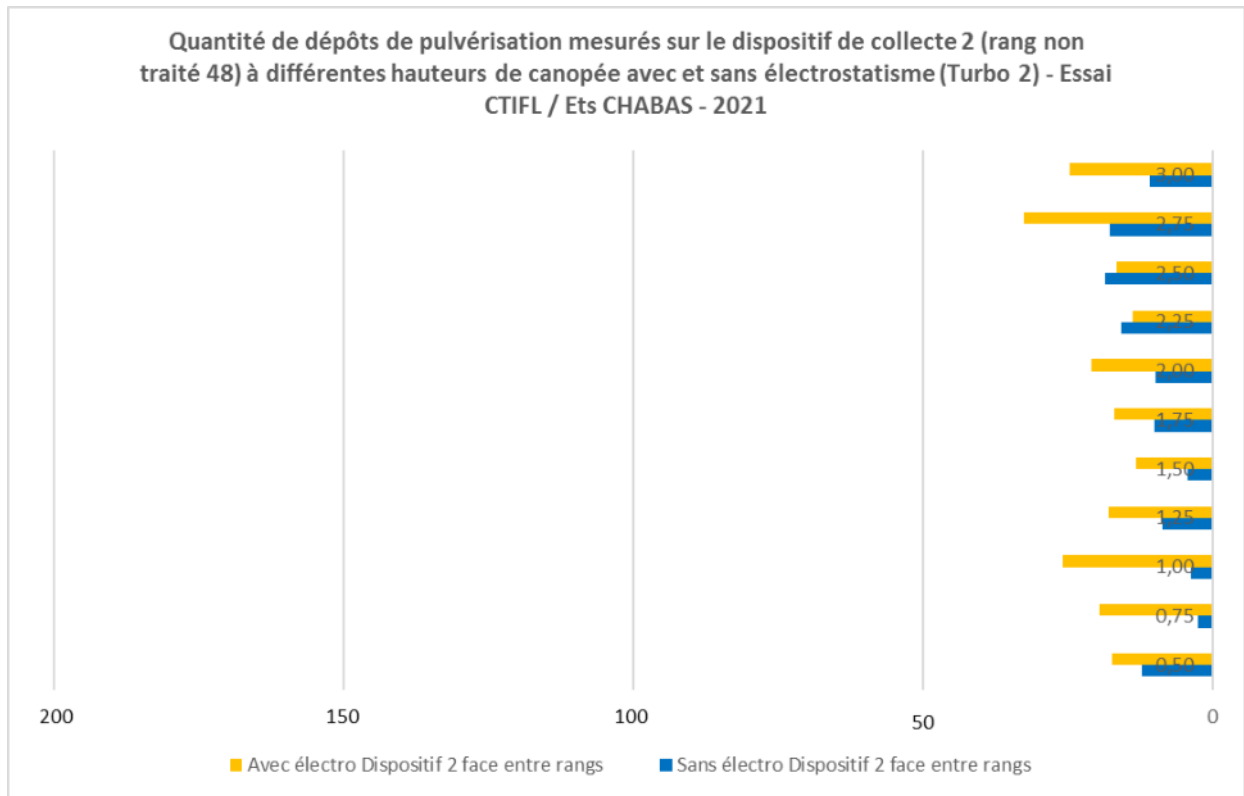


Figure 8 : dépôts mesurés sur le dispositif de collecte 2 pour chaque ligne de collecte (de 0.50 à 3 m de haut)

Enfin la figure 9 synthétise les dépôts moyens mesurés par zone de hauteur de canopée. Comme le précise la figure 10, les lignes de collecteurs ont été regroupées par zone : zone basse de la canopée (lignes 0.5, 0.75, 1 et 1.25 m), zone médiane de la canopée (lignes 1.50, 1.75, 2 et 2.25m) et zone haute de la canopée (2.50, 2.75 et 3 m).



Figure 9 : détail des dispositifs de collecte avec regroupement des lignes de collecteurs par zone de hauteur (bas, milieu, haut)

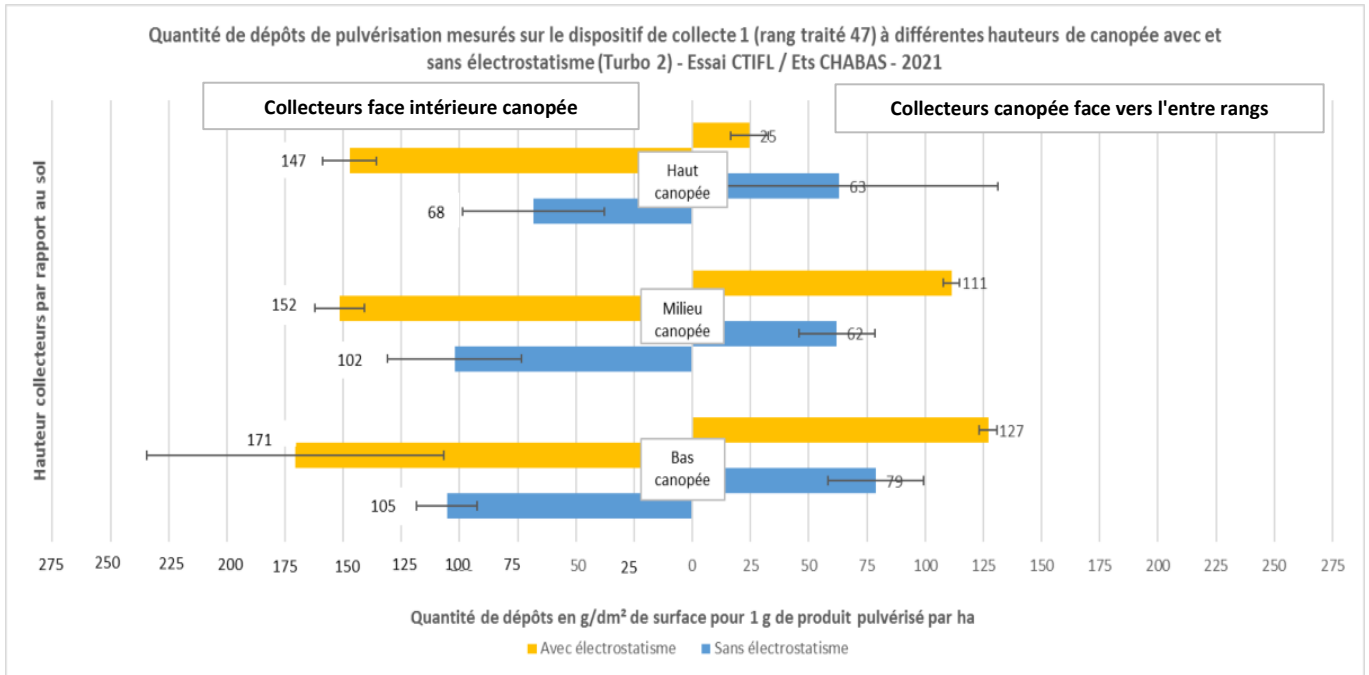


Figure 10 : dépôts mesurés sur les dispositifs de collecte 1 pour chaque zone de hauteur de canopée (avec et sans électrostatisme)

Sur le même principe, la figure 11 présente les résultats du dispositif de collecte 2 (avec la même échelle) :

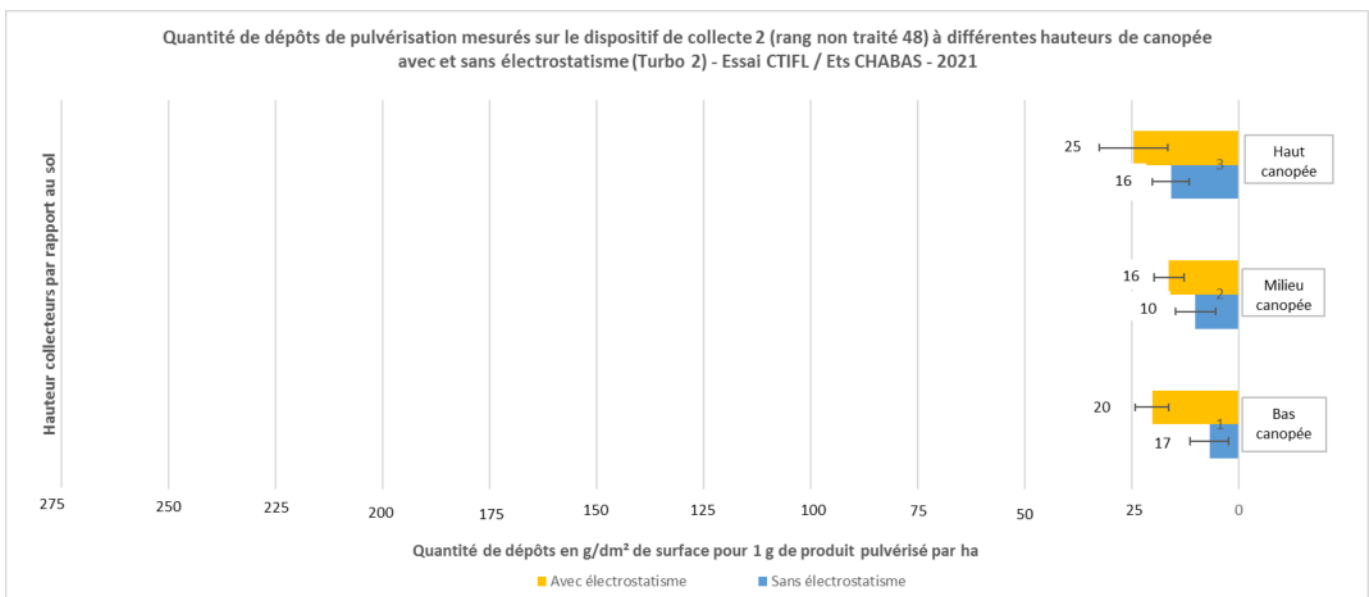


Figure 10 : dépôts mesurés sur le dispositif de collecte 2 pour chaque zone de hauteur de canopée (avec et sans électrostatisme)

Annexe 2

L'annexe 2 présente les résultats des analyses statistiques réalisées sous R :

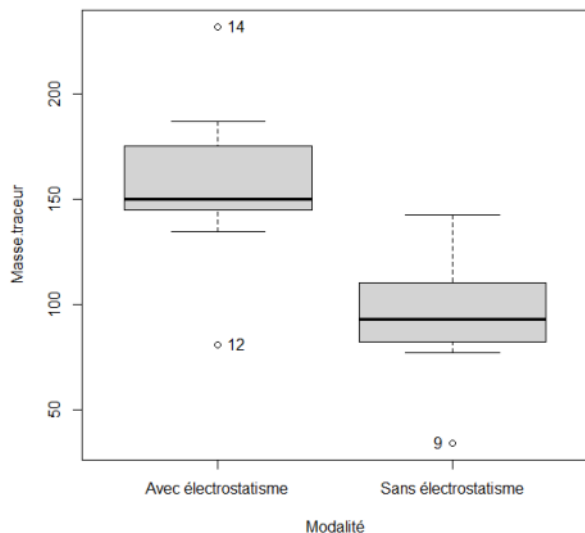
Jeu de données :

Le tableau ci-dessous présente le jeu de données :

| Modalité | Répétition | Dépôts en ng/dm ² Dispositif 1 collecteurs face intérieure canopée | Dépôts en ng/dm ² Dispositif 1 collecteurs face entre rangs |
|----------------------|------------|--|---|
| Sans électrostatisme | 1 | 113,0 | 81,2 |
| Sans électrostatisme | 2 | 115,4 | 106,9 |
| Sans électrostatisme | 3 | 106,9 | 66,4 |
| Sans électrostatisme | 4 | 86,5 | 60,9 |
| Sans électrostatisme | 5 | 77,2 | 77,2 |
| Sans électrostatisme | 6 | 86,7 | 74,7 |
| Sans électrostatisme | 7 | 102,0 | 52,0 |
| Sans électrostatisme | 8 | 142,5 | 44,3 |
| Sans électrostatisme | 9 | 34,1 | 141,5 |
| Sans électrostatisme | 10 | 93,1 | 31,2 |
| Sans électrostatisme | 11 | 77,4 | 16,8 |
| Avec électrostatisme | 1 | 80,7 | 106,2 |
| Avec électrostatisme | 2 | 186,9 | 189,6 |
| Avec électrostatisme | 3 | 231,7 | 113,2 |
| Avec électrostatisme | 4 | 183,6 | 100,0 |
| Avec électrostatisme | 5 | 145,4 | 138,0 |
| Avec électrostatisme | 6 | 167,0 | 116,2 |
| Avec électrostatisme | 7 | 149,5 | 110,1 |
| Avec électrostatisme | 8 | 144,2 | 81,3 |
| Avec électrostatisme | 9 | 149,9 | 89,3 |
| Avec électrostatisme | 10 | 134,5 | 108,6 |
| Avec électrostatisme | 11 | 157,3 | 110,5 |

Description du jeu de données A:

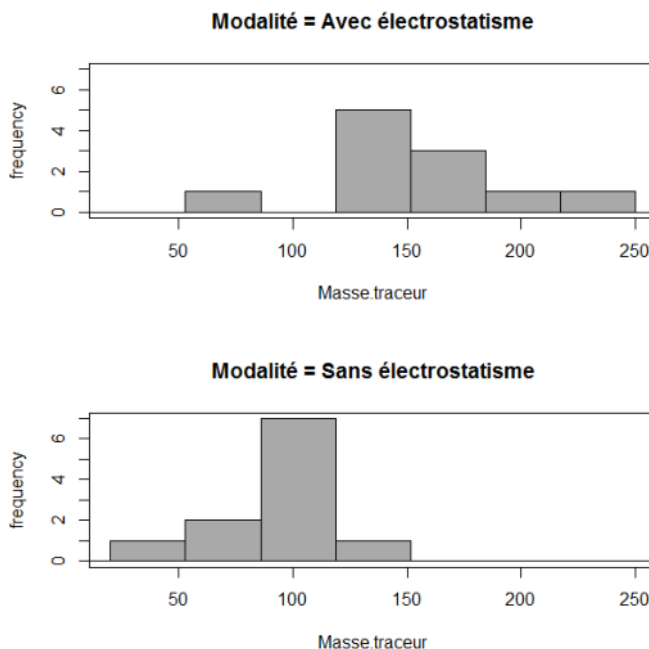
Les graphes et tableaux ci-dessous décrivent la population des données dépôts obtenus sur les collecteurs positionnés face intérieure de la canopée sur le dispositif 1 :



| | Avec électrostatisme | Sans électrostatisme |
|--|----------------------|----------------------|
| Moyenne dépôts | 157 | 94 |
| Ecart-type | 37.4 | 27.6 |
| Coefficient de variation en % | 23.8 | 29.4 |
| 25 ^{ème} percentile | 144.8 | 81.9 |
| 50 ^{ème} percentile (médiane) | 149.9 | 93.1 |
| 75 ^{ème} percentile | 175.3 | 109.9 |
| Max | 231.6 | 142.5 |

Normalité des données :

Les histogrammes ci-dessous présentent la distribution des données dépôts obtenus sur les collecteurs positionnés face intérieure de la canopée sur le dispositif 1 :



Les résultats du test de Shapiro Wilk montrent que les données suivent une Loi normale (P-value supérieure à 5%) :

Shapiro-Wilk normality test

data: Dépôts.en.ng.dm²...Dispositif.1.collecteurs.face.intérieure.canopée

W = 0.97619, **p-value = 0.8473**

Analyse de variance :

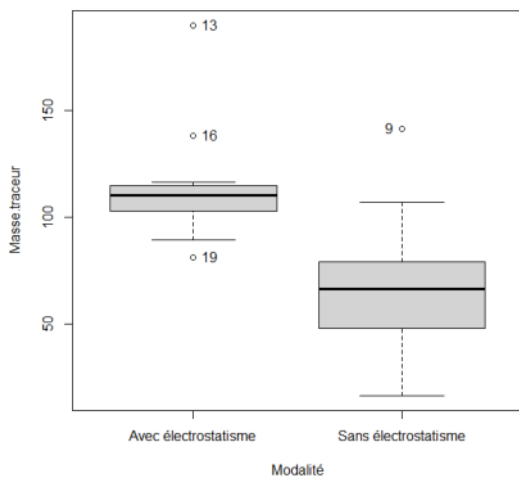
```
AnovaModel.1 <- aov(Masse.traceur ~ Modalité, data=Dataset)
```

```
> summary(AnovaModel.1)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Modalité  1 21999  21999  20.32 0.000215 ***
Residuals 20 21655  1083
```

La valeur de p est inférieure à 5%, on accepte donc l'hypothèse que les dépôts mesurés dans la modalité avec électrostatisme sont supérieurs aux dépôts mesurés dans la modalité sans électrostatisme, et ce de manière très hautement significative.

Description du jeu de données B:

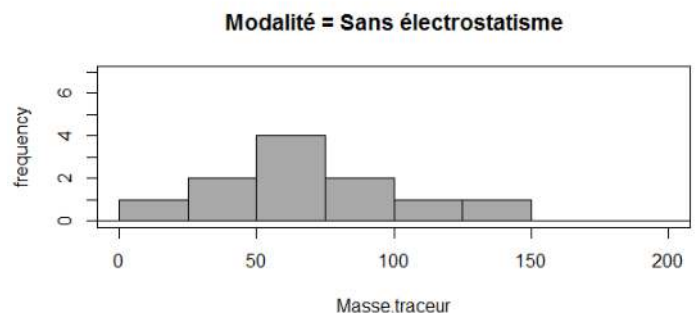
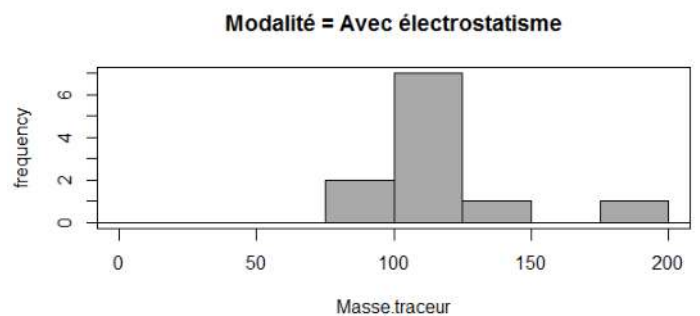
Les graphes et tableaux ci-dessous décrivent la population des données dépôts obtenus sur les collecteurs positionnés face vers l'entre rangs sur le dispositif 1 :



| | Avec électrostatisme | Sans électrostatisme |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Moyenne dépôts | 114 | 68 |
| Ecart-type | 28.8 | 34.7 |
| Coefficient de variation en % | 25% | 50.7% |
| 25 ^{ème} percentile | 103.1 | 48.1 |
| 50 ^{ème} percentile (médiane) | 110.1 | 66.4 |
| 75 ^{ème} percentile | 114.7 | 79.2 |
| Max | 189.5 | 141.5 |

Normalité des données :

Les histogrammes présentent la distribution des données dépôts obtenus sur les collecteurs positionnés face vers l'entre rangs sur le dispositif 1 :



Les résultats du test de Shapiro Wilk montrent que les données suivent une Loi normale (P-value supérieure à 5%) :

Shapiro-Wilk normality test

data: dépôts.en.ng.dm²...Dispositif.1.collecteurs.face.entre.rangs

W = 0.97385, **p-value = 0.798**

Analyse de variance :

```
AnovaModel.2 <-
```

```
+ aov(Dépôts.en.ng.dm2...Dispositif.1.collecteurs.face.entre.rangs ~ Modalité,
```

```
+ data=Dataset)
```

```
> summary(AnovaModel.2)
```

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-----------|----|--------|---------|---------|-------------------|
| Modalité | 1 | 11829 | 11829 | 11.63 | 0.00277 ** |
| Residuals | 20 | 20335 | 1017 | | |

```
---
```

La valeur de p est inférieure à 5%, on accepte donc l'hypothèse que les dépôts mesurés dans la modalité avec électrostatisme sont supérieurs aux dépôts mesurés dans la modalité sans électrostatisme, et ce de manière très hautement significative.