

## Projet de Recherche Individuel (PRI) 2024-2025

### Haies et produits phytosanitaires : Quelle relation ?



© Shutterstock

Francis ISSELIN

Caroline PAUCHON

# **Haies et produits phytosanitaires : Quelle relation ?**

**Les haies sont-elles des pièges écologiques ?**

Francis ISSELIN

Caroline PAUCHON

**2024-2025**

# **AVERTISSEMENT**

---

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non-plagiat.

# **Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement**

---

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

**Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.**

# REMERCIEMENTS

---

Je remercie Francis ISSELIN qui a encadré mon projet.

Je tiens à remercier chaleureusement Kamal SERRHINI pour sa patience et l'aide qu'il m'a apportée pour réaliser mon travail sur ArcGIS.

Je remercie sincèrement mes amies et colocataires Emma et Mathilde qui n'ont pas hésité à me prêter leur matériel informatique lorsque le mien m'a fait défaut. Je remercie Dorian RUMEAU pour m'avoir permis d'utiliser son ordinateur.

Je remercie également Julie GASPARINI pour sa gentillesse et son soutien dans mes moments de doute.

# SOMMAIRE

---

## Table des matières

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Table des figures.....                                | 7  |
| Table des tableaux .....                              | 7  |
| Table des graphiques .....                            | 7  |
| Table des annexes.....                                | 7  |
| Introduction.....                                     | 8  |
| I. Matériel et méthodes.....                          | 9  |
| 1) L'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT)..... | 9  |
| 2) Les grandes cultures .....                         | 10 |
| 3) Choix de la méthode .....                          | 10 |
| 4) Méthode .....                                      | 11 |
| II. Résultats.....                                    | 16 |
| a) Statistiques descriptives.....                     | 17 |
| b) Tests statistiques .....                           | 20 |
| III. Discussion.....                                  | 26 |
| IV. Limites .....                                     | 27 |
| Conclusion .....                                      | 28 |
| Bibliographie .....                                   | 29 |
| Annexes .....                                         | 30 |

## Table des figures

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Capture d'écran du Modèle Builder utilisé ici pour la région Lorraine. C. PAUCHON, ArcGIS .....         | 11 |
| Figure 2 : Capture d'écran de la table attributaire contenant les parcelles du RPG dont la surface est nulle. .... | 12 |
| Figure 3 : Code Python utilisé pour trier les tables attributaires obtenues avec le Modèle Builder .....           | 14 |
| Figure 4 : Résultats du test de Kruskal-Wallis comparant les moyennes d'IFT entre les régions françaises .....     | 20 |
| Figure 5 : Résultat du test de Kruskal-Wallis comparant les moyennes d'IFT selon les codes cultures.....           | 22 |

## Table des tableaux

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Valeurs des IFT par cultures et régions. ....                                                                          | 13 |
| Tableau 2 : Classes des pressions phytosanitaires .....                                                                            | 16 |
| Tableau 3 : Code INSEE des anciennes régions administratives.....                                                                  | 17 |
| Tableau 4 : Statistiques descriptives des moyennes pondérées d'IFT par régions .....                                               | 17 |
| Tableau 5 : Proportions des haies dans la région.....                                                                              | 18 |
| Tableau 6 : Nombres de haies de la BD Haie pour chaque région par ordre croissant .....                                            | 19 |
| Tableau 7 : Longueurs de haies en mètre par régions affichées par ordre croissant .....                                            | 19 |
| Tableau 8 : Résultats non significatifs du test post-hoc de Dunn de comparaison des moyennes d'IFT et des régions .....            | 20 |
| Tableau 9 : Rangs moyens des moyennes pondérées d'IFT par région et triés dans l'ordre croissant .....                             | 21 |
| Tableau 10 : Résultats non significatifs du test post-hoc de Dunn de comparaison des moyennes d'IFT selon les codes cultures ..... | 22 |

## Table des graphiques

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Graphique 1 : Boxplot des moyennes pondérées d'IFT par régions .....              | 17 |
| Graphique 2 : Répartition des moyennes d'IFT par code culture et par régions..... | 23 |
| Graphique 3 : Répartition des moyennes d'IFT par code culture et par régions..... | 24 |
| Graphique 4 : Répartition des moyennes d'IFT par code culture et par régions..... | 25 |

## Table des annexes

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Annexe 1 : Noms des codes cultures et intitulés des cultures .....                                | 30 |
| Annexe 2 : Proportions et nombres de haies exposées à chaque classe de pression par régions ..... | 31 |
| Annexe 3 : Longueur du linéaire de haies exposé à chaque classe de pression par région.....       | 34 |
| Annexe 4 : Résultat du test post-hoc de Dunn d'analyse des cultures et moyennes d'IFT .....       | 37 |
| Annexe 5 : Résultats du test post-hoc de Dunn comparant les moyennes d'IFT et les régions         | 42 |

## Introduction

Les haies, formations linéaires composées de strates arborées, arbustives et herbacées, occupent une place centrale dans les agroécosystèmes. Historiquement reconnues pour leur rôle dans la lutte contre l'érosion, la protection contre le vent et la régulation hydrique, elles sont aujourd'hui considérées comme des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques essentiels et après des décennies où le linéaire de haies a drastiquement diminué, la tendance actuelle est d'inciter à la plantation de haies ou à l'entretien du linéaire existant. Cependant, leur rôle écologique est compromis par leur proximité avec les parcelles agricoles traitées, ce qui les expose aux produits phytosanitaires.

Cette exposition soulève une question cruciale : les haies, habitats attractifs pour de nombreuses espèces, peuvent-elles devenir des pièges écologiques ?

Dans le cadre du rapport précédent, une revue de littérature a été réalisée pour explorer cette problématique. Les résultats ont mis en évidence que les haies, en bordure de parcelles agricoles, interceptent une partie des produits phytosanitaires grâce à leur structure physique. Ce rôle de « barrière » dépend de facteurs tels que la porosité optique (déterminée par la densité du feuillage), la vitesse du vent, la hauteur des haies et la saisonnalité.

Si les haies réduisent efficacement la dispersion de ces produits chimiques dans l'environnement, elles accumulent néanmoins des quantités significatives de résidus, entraînant des risques pour la faune et la flore qu'elles abritent.

Les impacts des produits phytosanitaires sur les haies se répartissent en deux catégories principales : les impacts directs et les impacts indirects.

D'une part, les impacts directs concernent principalement la faune et la flore non-cible vivant ou transitant dans les haies. La faune est exposée aux produits phytosanitaires par contact direct, notamment via la dérive de pulvérisation ou les poussières issues des semences traitées, ainsi que par inhalation. Les amphibiens, par exemple, absorbent rapidement ces produits à travers leur peau hautement perméable, ce qui les rend particulièrement vulnérables. De même, les insectes pollinisateurs, les oiseaux et les mammifères subissent des effets négatifs, qui se manifestent par des troubles de la reproduction, une diminution de leur survie ou des altérations de leur comportement. La flore est également impactée par la dérive des herbicides, qui modifient la composition florale, réduisent la diversité des espèces végétales et altèrent les capacités reproductives de certains arbres et arbustes, tels que l'aubépine. Cette dernière, essentielle pour les oiseaux frugivores en hiver, voit sa production de baies diminuer sous l'effet de ces substances chimiques.

D'autre part, les impacts indirects se traduisent par une diminution des ressources alimentaires disponibles pour les espèces dépendantes des haies. Les produits phytosanitaires réduisent les populations d'insectes et affectent les plantes hôtes, ce qui limite les sources de nourriture pour de nombreuses espèces. Par exemple, les oiseaux insectivores et granivores subissent un déclin des ressources alimentaires, compromettant leur survie et leur reproduction. De plus, les effets trophiques des produits phytosanitaires entraînent une contamination en cascade à travers les réseaux alimentaires, exposant les prédateurs à des substances toxiques qui s'accumulent progressivement dans les chaînes alimentaires.

Ces deux catégories d'impacts soulignent à la fois la complexité et l'étendue des effets des produits phytosanitaires sur les haies, remettant en question leur rôle d'habitat sûr pour la biodiversité.

Ces observations mettent en lumière un paradoxe : les haies, tout en jouant un rôle de refuge et d'habitat pour la faune, deviennent également des zones particulièrement exposées aux produits phytosanitaires. À long terme, leur capacité à soutenir la biodiversité pourrait être compromise, ce qui pose la question de leur rôle en tant que pièges écologiques.

Dans la continuité de ces travaux, ce projet de fin d'études vise à approfondir cette problématique en se concentrant sur l'exposition des haies aux produits phytosanitaires par le biais de l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) des parcelles voisines.

Le travail présenté ici vise à répondre à la question suivante :

**Comment les haies, en bordure de parcelles de grandes cultures exploitées en agriculture conventionnelle, sont-elles exposées aux produits phytosanitaires à travers les valeurs d'IFT ? Ces pressions varient-elles selon les régions ?**

## **I. Matériel et méthodes**

### **1) L'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT)**

L'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) est apparu dans les années 1980 au Danemark qui a mis en place en 1986 son premier plan contre les pesticides avec comme objectif affiché de réduire dans les 10 années à venir sa consommation de produits phytosanitaires de 50% (PERSPECTIVES AGRICOLES, 2011). Il est calculé à l'échelle nationale « comme la somme des ratios entre la quantité vendue de substance active et sa dose efficace, rapportée à la surface cultivée en terre arable » (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2018).

Il a été développé par la suite en France par l'INRA et le ministère de l'Agriculture en 2006 et diffère principalement de l'exemple danois par sa prise en compte des quantités de produits phytosanitaires réellement appliquées et en ne prenant pas en compte les quantités de produits phytosanitaires vendues (Guy, 2007).

L'IFT s'exprime ainsi en “nombre de doses de référence par hectare” appliquées sur une parcelle (unité spatiale) et pendant la campagne culturale (période). Il peut être segmenté à un type de produits phytosanitaires, à un type de traitements (herbicide, fongicide etc.) ou par type de cultures comme c'est le cas dans les rapports de l'AGRESTE.

L'Agreste publie périodiquement, environ tous les 5 ans, les Enquêtes Pratiques Culturelles qui rendent compte des pratiques des agriculteurs et agricultrices notamment en ce qui concerne leurs usages des produits phytopharmaceutiques. Ces enquêtes sont publiées pour les principales cultures agricoles :

- Grandes cultures,
- Cultures spécifiques (arboriculture, viticulture notamment)

Pour réaliser le travail de cartographie préalable et nécessaire pour pouvoir par la suite réaliser des analyses statistiques, j'ai utilisé le logiciel ArcGIS et les données suivantes :

- La BD Haie : Base de données cartographique permettant de localiser et caractériser les haies en France,
- Le RPG national : Registre Parcellaire Graphique, qui identifie les parcelles agricoles et leurs usages
- Les rapports d'Enquêtes Pratiques Culturelles de l'AGRESTE : fournissant des données régionales sur les IFT des principales cultures.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'exposition phytosanitaire à laquelle est soumis le linéaire de haies en France. L'exposition phytosanitaire est donc exprimée grâce aux valeurs d'IFT qui sont publiées par l'Agreste dans ces enquêtes pratiques culturelles.

## 2) Les grandes cultures

En 2020, 47% de la Surface Agricole Utile (SAU) française était occupée par les grandes cultures (3.2 *Identité Agricole des Régions – la France et Ses Territoires* | Insee, s. d.). Ces cultures sont avec les zones de culture permanente et particulièrement la viticulture, les cultures françaises pour lesquelles les achats de produits phytosanitaires sont les plus importants (Etat des Lieux des Ventes et des Achats de Produits Phytosanitaires En France En 2021 | Eaufrance, s. d.). Comprendre comment les haies, bordant ces systèmes de production, sont exposées aux traitements phytosanitaires est donc essentiel pour évaluer leur rôle écologique et leur éventuel statut de piège.

## 3) Choix de la méthode

Dans le cadre de cette étude, j'ai fait le choix de me concentrer sur les parcelles de grandes cultures exploitées en agriculture conventionnelle en excluant les parcelles conduites en agriculture biologique et les autres types de cultures.

Ce choix repose sur plusieurs considérations méthodologiques :

1. **Homogénéité des pratiques agricoles** : Les grandes cultures (Annexe 1) conventionnelles constituent le système de production dominant en France. Ce système est aussi celui où l'utilisation de produits phytosanitaires est la plus intensive, ce qui permet une analyse cohérente des pressions phytosanitaires exercées sur les haies.
2. **Absence de données spécifiques sur l'Agriculture Biologique (AB) dans les rapports de l'Agreste** : Les tableaux du rapport Agreste ne distinguent pas explicitement l'IFT des parcelles en agriculture biologique de celles en agriculture conventionnelle. Or, les exigences du cahier des charges en AB (exclusion de produits de synthèse, utilisation de doses réduites de produits autorisés) entraînent une pression phytosanitaire nettement plus faible, non directement comparable aux grandes cultures conventionnelles.

En conséquence, cette étude se limite à analyser l'exposition des haies bordant les grandes cultures conventionnelles à travers les IFT régionaux. Bien que cette approche réduise la portée globale de l'étude, elle permet de cibler un système homogène et représentatif des pratiques agricoles françaises.

#### 4) Méthode

Pour ce travail, j'ai utilisé les valeurs d'IFT fournies dans l'enquête pratique culturales en grandes cultures de l'année 2021 publiée par l'AGRESTE.

L'ensemble de ce travail de recherche peut se résumer en deux étapes principales :

##### ➤ Le travail de cartographie

Afin d'obtenir les pressions phytosanitaires auxquelles sont exposées les haies se trouvant à proximité de parcelles de grandes cultures exploitées en agriculture conventionnelle, il a été nécessaire de réaliser un travail de cartographie sur ArcGIS. L'objectif de cette première étape étant d'associer à chaque haie se trouvant à 15m des parcelles, les valeurs d'IFT de ces dernières pour refléter la pression phytosanitaire à laquelle est exposée la haie.

##### ➤ Le travail statistique

Une fois la première étape de cartographie réalisée, les données ont été analysées pour réaliser des tests statistiques pour répondre à la question de recherche de ce projet.

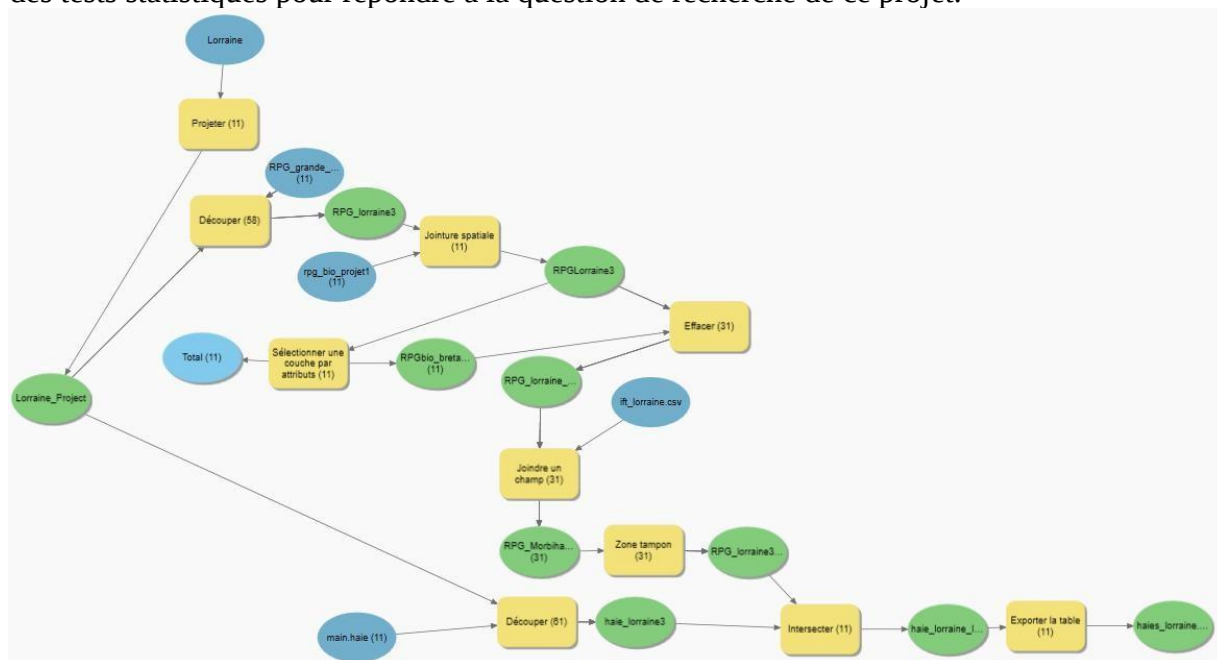


Figure 1 : Capture d'écran du Modèle Builder utilisé ici pour la région Lorraine. C. PAUCHON, ArcGIS

Pour automatiser le travail de cartographie, j'ai réalisé un Modèle Builder appliqué ensuite à chacune des 21 anciennes régions administratives. Pour éviter des erreurs de projection, j'ai veillé à projeter dans le même Système de Coordonnées (SCR), que celui de la couche de haies issue de la BD Haie : RGF\_1993\_Lambert\_93, l'ensemble des couches utilisées. Le fichier RPG\_grande\_cultures correspond au fichier du Registre Parcellaire Graphique (RPG) à l'échelle nationale dont ont été retirées les parcelles graphiques dont la culture n'appartient pas au groupe des grandes cultures et dont ont également été retirés l'ensemble des parcelles graphiques de surface nulle (7 126 parcelles de surface nulle ont été supprimées du fichier RPG national).

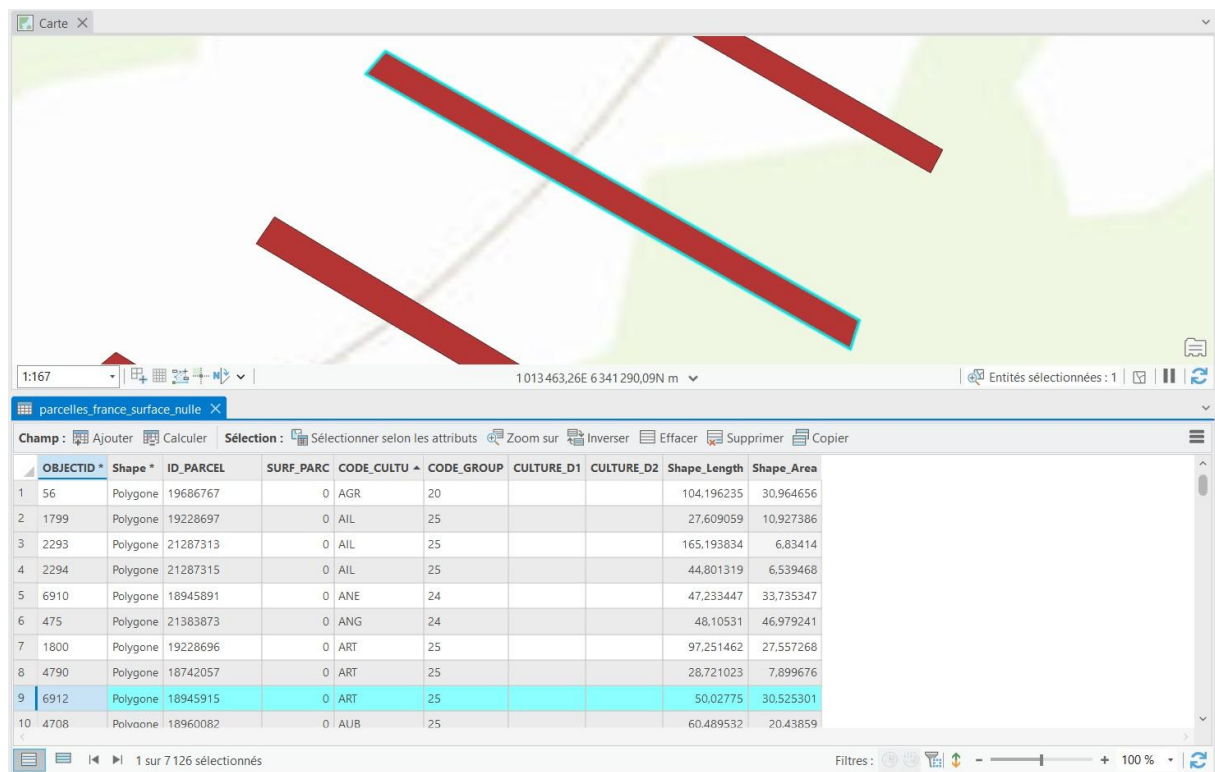


Figure 2 shows a screenshot of a GIS application window titled 'Carte'. The map area displays several red polygon parcels. Below the map is a data table with the following columns: OBJECTID, Shape, ID\_PARCEL, SURF\_PARC, CODE\_CULTU, CODE\_GROUP, CULTURE\_D1, CULTURE\_D2, Shape\_Length, and Shape\_Area. The table contains 10 rows of data. Row 9 is highlighted in blue.

| OBJECTID | Shape | ID_PARCEL | SURF_PARC | CODE_CULTU | CODE_GROUP | CULTURE_D1 | CULTURE_D2 | Shape_Length | Shape_Area |
|----------|-------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|
| 1        | 56    | Polygone  | 19686767  | 0          | AGR        | 20         |            | 104,196235   | 30,964656  |
| 2        | 1799  | Polygone  | 19228697  | 0          | AIL        | 25         |            | 27,609059    | 10,927386  |
| 3        | 2293  | Polygone  | 21287313  | 0          | AIL        | 25         |            | 165,193834   | 6,83414    |
| 4        | 2294  | Polygone  | 21287315  | 0          | AIL        | 25         |            | 44,801319    | 6,539468   |
| 5        | 6910  | Polygone  | 18945891  | 0          | ANE        | 24         |            | 47,233447    | 33,735347  |
| 6        | 475   | Polygone  | 21383873  | 0          | ANG        | 24         |            | 48,10531     | 46,979241  |
| 7        | 1800  | Polygone  | 19228696  | 0          | ART        | 25         |            | 97,251462    | 27,557268  |
| 8        | 4790  | Polygone  | 18742057  | 0          | ART        | 25         |            | 28,721023    | 7,899676   |
| 9        | 6912  | Polygone  | 18945915  | 0          | ART        | 25         |            | 50,02775     | 30,525301  |
| 10       | 4708  | Polygone  | 18960082  | 0          | AUB        | 25         |            | 60,489532    | 20,43859   |

Figure 2 : Capture d'écran de la table attributaire contenant les parcelles du RPG dont la surface est nulle.

Pour chaque région, ce fichier est donc découpé afin d'obtenir les parcelles graphiques en grande culture de chaque région distinctement.

Le fichier rpg\_bio\_projet correspond au registre parcellaire graphique des parcelles agricoles exploitées en agriculture biologique. Ce projet s'intéressant à l'exposition des haies se trouvant à proximité des parcelles agricoles de grandes cultures exploitées en agriculture conventionnelle, il a été nécessaire de retirer du RPG l'ensemble des parcelles exploitées en agriculture biologique. Ainsi, une jointure spatiale a été réalisée entre le fichier RPG en grandes cultures de chaque région et le fichier du registre parcellaire graphique des parcelles en agriculture biologique. Par la suite, à l'aide d'une fonction de sélection par attributs, l'ensemble des parcelles en grande culture en agriculture biologique a été supprimé du fichier RPG.

Pour chaque région française, les valeurs pour chaque code culture des grandes cultures ont été consignées dans un tableau dont les valeurs ont été jointes par une jointure spatiale au fichier RPG obtenu.

Tableau 1 : Valeurs des IFT par cultures et régions.

|                  | Blé tendre | Maïs | Maïs ensilage | Orge d'hiver | Orge de printemps | Blé dur | Triticale | Colza | Tournesol | Soja | Pois protéagineux | Lin | Betterave | Pomme de terre |
|------------------|------------|------|---------------|--------------|-------------------|---------|-----------|-------|-----------|------|-------------------|-----|-----------|----------------|
| Alsace           | 3,4        | 2,8  | 0             | 0            | 0                 | 0       | 0         | 0     | 0         | 1,6  | 0                 | 0   | 0         | 0              |
| Aquitaine        | 3,4        | 2,9  | 2,1           | 2,3          | 0                 | 0       | 1,8       | 0     | 2,7       | 1,6  | 0                 | 0   | 0         | 11,3           |
| Auvergne         | 3,9        | 3,6  | 2,2           | 3,5          | 0                 | 0       | 2,6       | 6,1   | 2,4       | 0    | 0                 | 0   | 0         | 0              |
| Basse-N.         | 5,3        | 0    | 2,3           | 4,6          | 2,7               | 0       | 3,4       | 6,8   | 0         | 0    | 5,3               | 5,8 | 0         | 0              |
| Bourgogne        | 4,4        | 2,8  | 2,4           | 4,8          | 2,8               | 0       | 2,7       | 6,7   | 2,2       | 2,1  | 3,9               | 0   | 0         | 0              |
| Bretagne         | 4,5        | 2,6  | 2,4           | 4,3          | 2,4               | 0       | 3,6       | 3,7   | 0         | 0    | 0                 | 0   | 0         | 16,5           |
| Centre           | 5,9        | 3,4  | 2,6           | 5,5          | 3,8               | 5,7     | 2,8       | 6,8   | 2,9       | 1,6  | 5                 | 0   | 7,7       | 13,2           |
| Champagne-A.     | 5,4        | 3    | 2,6           | 5,1          | 3,5               | 0       | 2,6       | 6,5   | 2,1       | 1,4  | 4,6               | 0   | 7,4       | 19,6           |
| Franche-C.       | 4,5        | 2,6  | 2,2           | 4,3          | 0                 | 0       | 2,8       | 6,9   | 0         | 1,8  | 0                 | 0   | 0         | 0              |
| Haute-N.         | 7          | 0    | 2,3           | 6            | 3,6               | 0       | 0         | 7,1   | 0         | 0    | 5,3               | 5,6 | 7,2       | 22,6           |
| Ile-de-France    | 5,7        | 3    | 0             | 5,3          | 3,5               | 0       | 0         | 7,2   | 0         | 0    | 4                 | 0   | 7,3       | 14,5           |
| Languedoc-R.     | 0          | 0    | 0             | 2,4          | 0                 | 3,6     | 0,8       | 6,6   | 2,3       | 0    | 3,7               | 0   | 0         | 0              |
| Limousin         | 0          | 0    | 1,9           | 0            | 0                 | 0       | 2,1       | 0     | 0         | 0    | 0                 | 0   | 0         | 0              |
| Lorraine         | 4,4        | 2,9  | 2,5           | 4,5          | 2,5               | 0       | 2,8       | 6,3   | 2,3       | 0    | 3                 | 0   | 0         | 0              |
| Midi-P.          | 3          | 2,8  | 1,9           | 2,9          | 0                 | 4,5     | 2         | 4,9   | 2,4       | 0,9  | 3,5               | 0   | 0         | 0              |
| Nord-P. de C.    | 5,7        | 2,5  | 2,2           | 5,1          | 3,7               | 0       | 0         | 5,9   | 0         | 0    | 5                 | 4,5 | 6         | 22,4           |
| PACA             | 0          | 0    | 0             | 0            | 0                 | 2,2     | 0         | 0     | 0         | 0    | 0                 | 0   | 0         | 0              |
| Pays de la Loire | 4,6        | 2,8  | 2,5           | 4,3          | 1,9               | 3,7     | 3,4       | 5,7   | 2,2       | 0    | 4,3               | 0   | 0         | 0              |
| Picardie         | 6          | 2,7  | 2,5           | 5,3          | 3,3               | 0       | 0         | 6,6   | 0         | 0    | 4,5               | 4,7 | 6,1       | 19,1           |
| Poitou-C.        | 4,7        | 3,1  | 2,3           | 4,4          | 2,4               | 4,4     | 2,9       | 6,7   | 2,3       | 1,3  | 4,1               | 0   | 0         | 6,6            |
| Rhône-Alpes      | 3,5        | 3    | 2,4           | 3,3          | 0                 | 2,9     | 2,1       | 4,8   | 2,5       | 1,4  | 0                 | 0   | 0         | 0              |

Une zone tampon de 15 mètres est créée autour de chaque parcelle graphique, intersectée avec le linéaire de haies découpé à l'échelle de la région.

Le Modèle Builder permet ainsi d'obtenir les longueurs de chaque haie comprise dans une parcelle agricole de grandes cultures en agriculture conventionnée avec la valeur d'IFT correspondante.

L'exécution du Modèle Builder permet de récupérer pour chaque région une table contenant entre autres :

- L'ensemble du linéaire de haies où chaque haie de la BD Haie est identifiée par un ID unique
- Pour chaque haie, se trouvant à 15 mètres ou moins des zones tampons créées sur les zones de grandes cultures en agriculture conventionnée, une valeur d'IFT correspondant à la moyenne d'IFT de la culture dans cette région donnée
- La longueur de chaque haie

Les 21 fichiers (un par ancienne région administrative) ont été triés sur Python pour ne garder que les colonnes nécessaires pour l'étape suivante de calcul des moyennes.

```

# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Éditeur de Spyder

Ceci est un script temporaire.
"""

import os

import pandas as pd

#repertoire EXCEL
input_folder = "D:\PFE\TRAVAIL_ORDI\IFT_REGIONS\TABLE.CSV"
output_folder = "D:\PFE\TRAVAIL_ORDI\PYTHON_FILTRE"
columns_to_keep = ["JOIN_FID", "cleabs", "IFT"]
|
#parcourir les fichiers
for filename in os.listdir(input_folder):
    if filename.endswith(".csv"):#verifie que le fichier est excel
        file_path = os.path.join(input_folder, filename)

        try:
            df = pd.read_csv(file_path, sep=";")

            #supprimer les lignes JOIN_FID de valeur -1
            df = df[df["JOIN_FID"] != -1]

            #filtrer les colonnes
            df_filtered= df[columns_to_keep]

            #trier l'ordre d'affichage des colonnes
            df_filtered = df.reindex(["cleabs", "JOIN_FID", "IFT"], axis=1)

            #trier la table par ordre croissant de la colonne "cleabs"
            df_filtered = df_filtered.sort_values(by=["cleabs"], ascending=True)

            #enregistrer le fichier
            output_file_path = os.path.join(output_folder, filename.replace(".csv", ".txt"))
            df_filtered.to_csv(output_file_path, index=False, sep="\t")
            print(f"Fichier exporté avec tabulation : {filename}")

```

*Figure 3 : Code Python utilisé pour trier les tables attributaires obtenues avec le Modèle Builder*

L'objectif de ce projet étant d'analyser la pression phytosanitaire à laquelle sont exposées les haies, il est nécessaire d'avoir pour chaque haie, la moyenne d'IFT à laquelle elle est exposée. On rappelle que, dans le cadre de ce projet, les haies considérées sont celles se trouvant à 15m ou moins d'une parcelle en grandes cultures.

Pour ce faire, pour chaque haie unique va être calculée la moyenne d'IFT à laquelle elle est exposée pondérée par la longueur de haies concernée. En effet, une haie peut se trouver à moins de 15 mètres de plusieurs parcelles occupées par des types de culture différentes et qui n'ont de fait pas la même moyenne d'IFT. En choisissant cette méthode de calcul de la moyenne, cette dernière est pondérée par la longueur réellement exposée.

```

# -*- coding: utf-8 -*-
import os
input_folder = "D:\CAROLINE_ETUDES\Tables_haies_ift\Tables_filtrees"
output_folder = "D:\CAROLINE_ETUDES\Tables_haies_ift\Tables_moyennes"

#parcourir les fichiers

```

```

for filename in os.listdir(input_folder):
    # Stockage des ift par haie
    ift_par_haie = {}

    #stockage des longueurs par haies
    longueur_par_haie = {}
    if filename.endswith(".txt"):#verifie que le fichier est txt
        file_path = os.path.join(input_folder, filename)

    with open(file_path, "r", encoding="utf-8") as file:
        # Ignorer la ligne d'en-tête
        next(file)

        # Lecture des lignes
        for line in file:
            parts = line.strip().split("\t")
            if len(parts) == 4:
                FID_haie, FID_Buffer, IFT, geometrie_Length = parts
                IFT = float(IFT.replace(",", ".")) # Remplacer la virgule par un point pour les
décimales
                geometrie_Length = float(geometrie_Length.replace(",", "."))

                if FID_haie not in ift_par_haie:
                    ift_par_haie[FID_haie] = []
                    longueur_par_haie[FID_haie] = []

                ift_par_haie[FID_haie].append(IFT)
                longueur_par_haie[FID_haie].append(geometrie_Length)
        """

    # Calcul des moyennes et écriture dans le fichier de sortie
    with open(output_file, "w", encoding="utf-8") as file:
        file.write("Haie\tMoyenne IFT\n")
        for haie, ifts in ift_par_haie.items():
            moyenne = sum(ifts) / len(ifts)
            file.write(f"{haie}\t{moyenne:.2f}\n")

    print(f"Les moyennes des IFT par haie ont été calculées et enregistrées dans
'{output_file}'.")
    """

    output_file_path = os.path.join(output_folder, filename)
    # Calcul des moyennes pondérées et écriture dans le fichier de sortie
    with open(output_file_path, "w", encoding="utf-8") as file:
        file.write("Haie\tMoyenne Pondérée IFT\n")
        for haie in ift_par_haie:
            # Récupérer les valeurs de IFT et géométrie pour chaque haie
            ifts = ift_par_haie[haie]
            longueurs = longueur_par_haie[haie]

            # Calcul de la moyenne pondérée
            poids_total = sum(longueurs) # Somme des longueurs

```

```

if poids_total == 0: # Éviter la division par zéro
    moyenne_ponderee = 0
else:
    moyenne_ponderee = sum(ift * longueur for ift, longueur in zip(ifts, longueurs)) /
poids_total

# Écrire le résultat dans le fichier de sortie
file.write(f"{haie}\t{moyenne_ponderee:.2f}\n")

print(f"Moyenne calculée : {filename}")

```

## II. Résultats

Pour réaliser les analyses statistiques qui vont suivre, les moyennes pondérées d'IFT ont été regroupées en classes correspondant à des échelles de pression phytosanitaire :

Tableau 2 : Classes des pressions phytosanitaires

| Valeur de la moyenne pondérée d'IFT | Pression phytosanitaire | Classe |
|-------------------------------------|-------------------------|--------|
| 0                                   | Nulle                   | 0      |
| $0 < . < 0.7$                       | Faible                  | 0.7    |
| $0.7 < . < 3.3$                     | Moyenne                 | 3.3    |
| $3.3 < . < 13.4$                    | Forte                   | 13.4   |
| $13.4 < . < 22.6$                   | Très forte              | 22.6   |
| NA                                  | Non concernée           | NA     |

Pour les tests statistiques, les anciennes régions administratives ont été identifiées par leur code INSEE (Tableau 3).

Tableau 3 : Code INSEE des anciennes régions administratives.

| Code Insee | Région               |
|------------|----------------------|
| 11         | Ile-de-France        |
| 21         | Champagne- Ardenne   |
| 22         | Picardie             |
| 23         | Haute-Normandie      |
| 24         | Centre               |
| 25         | Basse-Normandie      |
| 26         | Bourgogne            |
| 31         | Nord Pas de Calais   |
| 41         | Lorraine             |
| 42         | Alsace               |
| 43         | Franche-Comté        |
| 52         | Pays de la Loire     |
| 53         | Bretagne             |
| 54         | Poitou-Charentes     |
| 72         | Aquitaine            |
| 73         | Midi-Pyrénées        |
| 74         | Limousin             |
| 82         | Rhône Alpes          |
| 83         | Auvergne             |
| 91         | Languedoc-Roussillon |
| 93         | PACA                 |

### a) Statistiques descriptives

Graphique 1 : Boxplot des moyennes pondérées d'IFT par régions

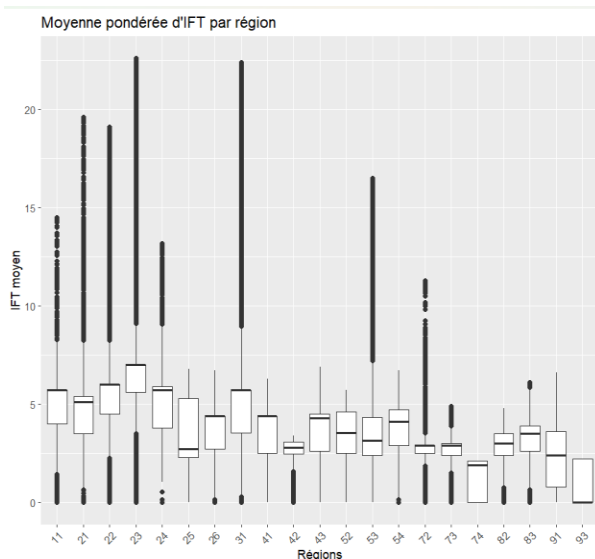


Tableau 4 : Statistiques descriptives des moyennes pondérées d'IFT par régions

|    | Code_Region | Min | Q1   | Median | Q3   | Max  |
|----|-------------|-----|------|--------|------|------|
| 1  | 11          | 0   | 4.00 | 5.70   | 5.70 | 14.5 |
| 2  | 21          | 0   | 3.50 | 5.10   | 5.40 | 19.6 |
| 3  | 22          | 0   | 4.50 | 6.00   | 6.00 | 19.1 |
| 4  | 23          | 0   | 5.60 | 7.00   | 7.00 | 22.6 |
| 5  | 24          | 0   | 3.80 | 5.70   | 5.90 | 13.2 |
| 6  | 25          | 0   | 2.30 | 2.70   | 5.30 | 6.8  |
| 7  | 26          | 0   | 2.70 | 4.40   | 4.40 | 6.7  |
| 8  | 31          | 0   | 3.54 | 5.70   | 5.70 | 22.4 |
| 9  | 41          | 0   | 2.50 | 4.40   | 4.40 | 6.3  |
| 10 | 42          | 0   | 2.48 | 2.80   | 3.09 | 3.4  |
| 11 | 43          | 0   | 2.60 | 4.30   | 4.50 | 6.9  |
| 12 | 52          | 0   | 2.50 | 3.55   | 4.60 | 5.7  |
| 13 | 53          | 0   | 2.40 | 3.15   | 4.32 | 16.5 |
| 14 | 54          | 0   | 2.90 | 4.10   | 4.70 | 6.7  |
| 15 | 72          | 0   | 2.49 | 2.90   | 2.90 | 11.3 |
| 16 | 73          | 0   | 2.40 | 2.90   | 3.00 | 4.9  |
| 17 | 74          | 0   | 0.00 | 1.90   | 2.10 | 2.1  |
| 18 | 82          | 0   | 2.40 | 3.00   | 3.50 | 4.8  |
| 19 | 83          | 0   | 2.60 | 3.50   | 3.90 | 6.1  |
| 20 | 91          | 0   | 0.80 | 2.40   | 3.60 | 6.6  |
| 21 | 93          | 0   | 0.00 | 0.00   | 2.20 | 2.2  |

La BD Haie dont ont été extraites les haies nous intéressant comporte **20 496 718 entités** (Annexe 1).

6 690 216 haies se trouvent à 15m ou moins d'une parcelle de grandes cultures exploitées en agriculture conventionnelle. Elles représentent donc 32,64% de l'ensemble de haies de la BD Haie. L'ensemble du linéaire de haies de la BD haie mesure **1 460 585,638km** et 595 225,691km se trouvent à 15m ou moins d'une parcelle de grandes cultures exploitées en agriculture conventionnelle. Ainsi, 40,75% de la longueur de haies en France se trouve à proximité et exposée aux pratiques phytosanitaires des parcelles de grandes cultures.

Les régions de Provence Alpes Côte d'Azur et de Franche-Comté sont les régions où la part des haies se trouvant à proximité des parcelles en grande culture voisines est la plus faible (11.15% et 11.91% respectivement).

A l'inverse, c'est dans les régions de Bretagne et de Picardie qu'elle est la plus importante (52.19% et 48.57% respectivement) (Tableau 5).

Tableau 5 : Proportions des haies dans la région

| Code région  | Nombre de haies se trouvant à moins de 15m d'une parcelle en grandes cultures | Nombre de haies de la région | Proportions des haies voisines de parcelles en grandes cultures |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 93           | 52904                                                                         | 474317                       | 11,15372209                                                     |
| 43           | 53700                                                                         | 450956                       | 11,90803537                                                     |
| 91           | 64753                                                                         | 511252                       | 12,66557392                                                     |
| 74           | 166238                                                                        | 1054427                      | 15,7657192                                                      |
| 83           | 235563                                                                        | 1433654                      | 16,43095196                                                     |
| 82           | 233549                                                                        | 1152098                      | 20,2716262                                                      |
| 26           | 268567                                                                        | 1128622                      | 23,79600965                                                     |
| 41           | 107122                                                                        | 425031                       | 25,20333811                                                     |
| 72           | 263023                                                                        | 956679                       | 27,49333894                                                     |
| 73           | 605380                                                                        | 2199145                      | 27,5279711                                                      |
| 21           | 108915                                                                        | 357649                       | 30,45304195                                                     |
| 42           | 54815                                                                         | 155816                       | 35,17931406                                                     |
| 24           | 414992                                                                        | 1157638                      | 35,8481667                                                      |
| 25           | 642618                                                                        | 1683744                      | 38,16601574                                                     |
| 52           | 968247                                                                        | 2350046                      | 41,20119351                                                     |
| 23           | 161755                                                                        | 376895                       | 42,91778877                                                     |
| 31           | 242373                                                                        | 557323                       | 43,48878478                                                     |
| 11           | 74663                                                                         | 157746                       | 47,33115261                                                     |
| 54           | 598496                                                                        | 1256408                      | 47,63548147                                                     |
| 22           | 190913                                                                        | 393086                       | 48,56774345                                                     |
| 53           | 1181630                                                                       | 2264186                      | 52,18785029                                                     |
| <b>TOTAL</b> | <b>66G0216</b>                                                                | <b>204G6718</b>              | <b>32,64042565</b>                                              |

Tableau 6 : Nombres de haies de la BD Haie pour chaque région par ordre croissant

| Code Region | Nombre de haies |
|-------------|-----------------|
| 42          | 155816          |
| 11          | 157746          |
| 21          | 357649          |
| 23          | 376895          |
| 22          | 393086          |
| 41          | 425031          |
| 43          | 450956          |
| 93          | 474317          |
| 91          | 511252          |
| 31          | 557323          |
| 72          | 956679          |
| 74          | 1054427         |
| 26          | 1128622         |
| 82          | 1152098         |
| 24          | 1157638         |
| 54          | 1256408         |
| 83          | 1433654         |
| 25          | 1683744         |
| 73          | 2199145         |
| 53          | 2264186         |
| 52          | 2350046         |

Tableau 7 : Longueurs de haies en mètre par régions affichées par ordre croissant

| Région | Somme de la longueur du linéaire de haies en m |
|--------|------------------------------------------------|
| 42     | 9801693,468                                    |
| 11     | 10362327,19                                    |
| 21     | 24668453,36                                    |
| 23     | 26854159,35                                    |
| 43     | 27879067,26                                    |
| 22     | 29263091,88                                    |
| 41     | 30088269,73                                    |
| 93     | 30892892,02                                    |
| 91     | 32679538,28                                    |
| 31     | 37897618,31                                    |
| 72     | 59182650,16                                    |
| 74     | 69341153,33                                    |
| 82     | 70859289,4                                     |
| 24     | 88329669,31                                    |
| 26     | 91515167,68                                    |
| 83     | 95509811,12                                    |
| 54     | 104635320,8                                    |
| 25     | 131582807                                      |
| 73     | 145769613,4                                    |
| 53     | 159407301,4                                    |
| 52     | 184065743,9                                    |

Les régions d'Alsace et d'Ile de France sont les régions où la longueur de linéaire de haies est le plus faible (9 801km et 10 362km respectivement).

A l'inverse, les régions de la Loire et de la Bretagne sont celles où la longueur de linéaire de haies est le plus important (184 065km et 159 407km respectivement).

**Pour éviter les confusions par la suite et puisque le sujet d'études de ce projet est les haies proches des parcelles en grandes cultures dont on souhaite étudier l'exposition aux produits phytosanitaires, le terme « haies » fera référence par abus dans la suite de cette partie aux haies qui se trouvent à 15m ou moins d'une parcelle de grandes cultures exploitée en agriculture conventionnelle.**

Dans 13 régions sur 21, soit plus de la moitié des anciennes régions françaises, la majorité du linéaire de haies est exposé à une pression forte (13,4) (Annexe 2). Cette proportion est particulièrement importante (plus de  $\frac{3}{4}$  du linéaire de haies) dans 5 régions :

- L'Ile de France
- La Champagne-Ardenne
- La Picardie
- La Haute-Normandie
- Le Centre

Dans les régions de l'Aquitaine et du Midi-Pyrénées, plus des  $\frac{3}{4}$  du linéaire de haies sont exposés à une pression moyenne (80.99 et 89.47% respectivement).

Dans une seule région, en PACA, la majorité du linéaire de haies est exposé à une pression nulle (63.75% de la longueur du linéaire de haies). Dans deux autres régions, la proportion du linéaire de haies exposée à une pression nulle est importante :

- 39.03% dans le Limousin
- 20.65% dans le Languedoc-Roussillon

Le linéaire de haies est exposé à une pression très forte ( $13.4 < \text{IFT} < 22.6$ ) dans 6 régions :

- L'Ile de France
- La Champagne-Ardenne
- La Picardie
- La Haute-Normandie
- Le Nord Pas de Calais
- La Bretagne

#### b) Tests statistiques

La lecture du graphique 1 nous montre des distributions différentes des moyennes pondérées d'IFT entre les 21 régions. Un test de Kruskal – Wallis permet de confirmer ou infirmer cette lecture graphique de la distribution des données (en effet, les données ne vérifient pas l'hypothèse de distribution normale nécessaire à la réalisation d'un test paramétrique).

```
> resultat <- kruskal.test(Moyenne_P_IFT ~ Code_Region, data = fichier_propre)
> print(resultat)

Kruskal-Wallis rank sum test

data:  Moyenne_P_IFT by Code_Region
Kruskal-Wallis chi-squared = 2004243, df = 20, p-value < 2.2e-16
```

Figure 4 : Résultats du test de Kruskal-Wallis comparant les moyennes d'IFT entre les régions françaises

Le test de Kruskal-Wallis renvoie une p-value significative ( $p\text{-value} < 2.2 \text{ e-}16$ ), on réalise donc ensuite un test post-hoc de Dunn avec correction de Bonferroni afin d'identifier quelles paires de régions présentent des différences significatives. Les résultats sont affichés en Annexe 3 de ce rapport.

Le test post-hoc de Dunn renvoie une p-value supérieure au seuil de significativité de 0,05 pour deux comparaisons de régions :

Tableau 8 : Résultats non significatifs du test post-hoc de Dunn de comparaison des moyennes d'IFT et des régions

| Groupe 1 | Groupe 2 | Différence moyenne Z | Valeur p   | Significativité |
|----------|----------|----------------------|------------|-----------------|
| 21       | 31       | 0,788901783          | 0,21508471 |                 |
| 26       | 41       | 1,410075237          | 0,07925873 |                 |

Il n'y a donc pas de différence significative entre les moyennes d'IFT auxquelles sont exposées les haies des régions :

- Champagne-Ardenne et Nord Pas de Calais ;
- Bourgogne et Lorraine

Pour toutes les autres régions, nous rejetons l'hypothèse nulle

$H_0$  : les distributions des groupes comparés sont identiques

Il y a donc pour toutes les autres régions une différence significative entre leurs médianes.

À la suite du test post-hoc de Dunn, qui permet d'identifier les paires de régions avec des différences significatives (ici, toutes les paires à l'exception de deux), il est possible de calculer les rangs moyens des moyennes d'IFT pour chaque région afin de compléter l'analyse.

Le calcul des rangs moyens permet de positionner chaque région par rapport aux autres en fonction des valeurs de moyenne d'IFT. Cela permet également d'identifier les régions où les valeurs sont les plus faibles et celles où elles sont les plus élevées.

*Tableau 9 : Rangs moyens des moyennes pondérées d'IFT par région et triés dans l'ordre croissant*

| Code Région | Rang moyen |
|-------------|------------|
| 93          | 26452      |
| 43          | 26850      |
| 42          | 27408      |
| 91          | 32377      |
| 11          | 37332      |
| 41          | 53562      |
| 21          | 54458      |
| 23          | 80878      |
| 74          | 83120      |
| 22          | 95457      |
| 82          | 116775     |
| 83          | 117782     |
| 31          | 121187     |
| 72          | 131512     |
| 26          | 134284     |
| 24          | 207496     |
| 54          | 299248     |
| 73          | 302690     |
| 25          | 321310     |
| 52          | 484124     |
| 53          | 590816     |

Les régions de PACA, Franche-Comté et l'Alsace sont les régions où les valeurs de moyenne pondérée d'IFT sont les plus basses.

A l'inverse, les valeurs les plus élevées se trouvent dans les régions du Pays de la Loire et de la Bretagne.

```

> # Test de Kruskal-Wallis
> kruskal.test(Moyenne_P_IFT ~ CODE_CULTU, data = IFT_et_cultures)

Kruskal-Wallis rank sum test

data:  Moyenne_P_IFT by CODE_CULTU
Kruskal-Wallis chi-squared = 6568652, df = 20, p-value < 2.2e-16

```

Figure 5 : Résultat du test de Kruskal-Wallis comparant les moyennes d'IFT selon les codes cultures

Le test de Kruskal-Wallis renvoie une p-value significative ( $p\text{-value} < 2.2 \text{ e-}16$ ), on réalise donc ensuite un test post-hoc de Dunn avec correction de Bonferroni afin d'identifier quelles paires de codes cultures présentent des différences significatives. Les résultats sont affichés en Annexe 3 de ce rapport.

Le test post-hoc de Dunn renvoie une p-value supérieure au seuil de significativité de 0,05 pour deux comparaisons de codes cultures :

Tableau 10 : Résultats non significatifs du test post-hoc de Dunn de comparaison des moyennes d'IFT selon les codes cultures

| Groupe 1 | Groupe 2 | Différence moyenne Z | Valeur p    | Significativité |
|----------|----------|----------------------|-------------|-----------------|
| ORH      | PHI      | -1,290191599         | 0,098492071 |                 |
| BTN      | PTC      | 1,502174825          | 0,066525982 |                 |

Il n'y a donc pas de différence significative entre les moyennes d'IFT pour les parcelles de cultures :

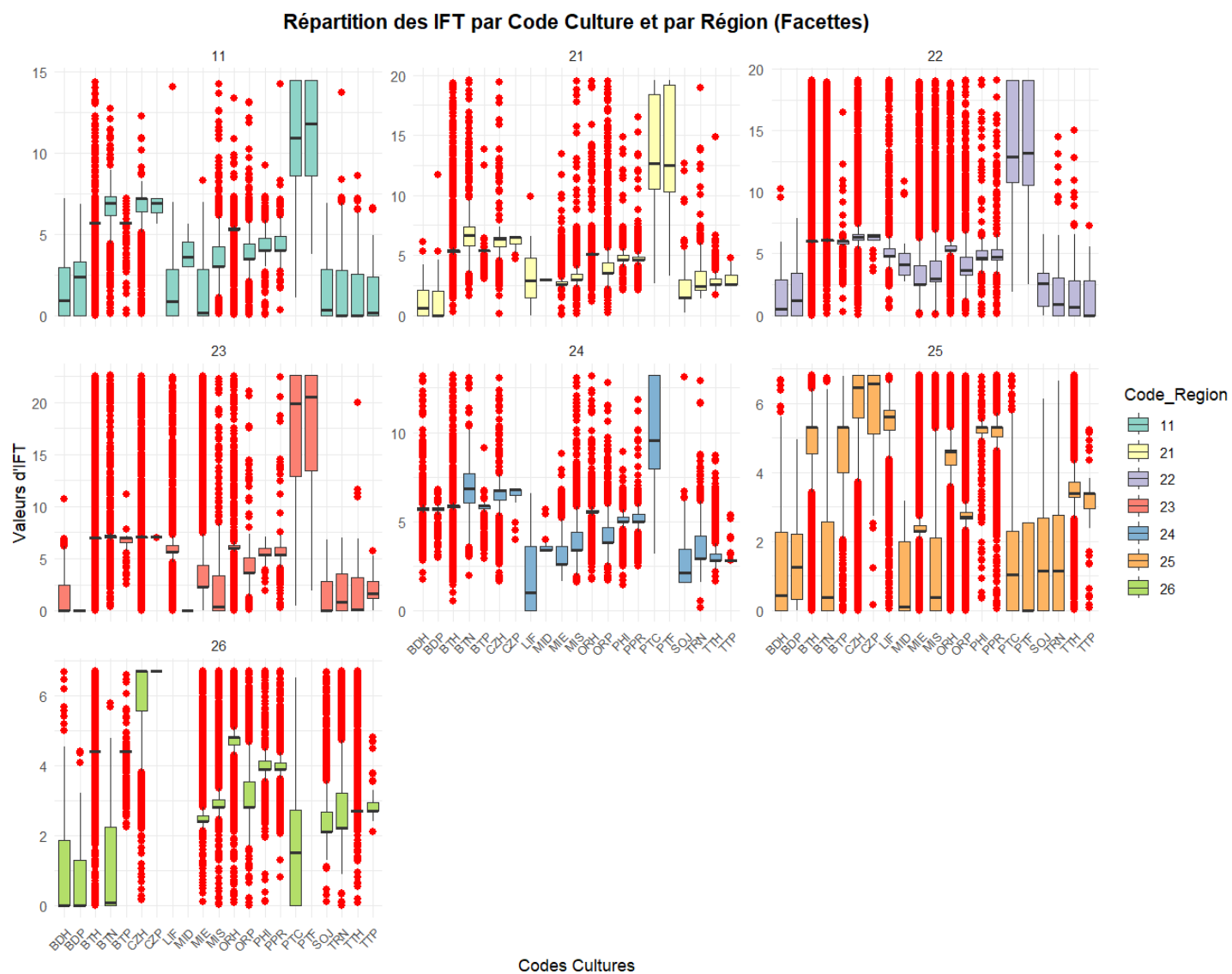
- Orge d'hiver (ORH) et Pois d'hiver (PHI) ;
- Betterave non fourragère (BTN) et Pomme de terre de consommation (PTC)

Pour tous les autres codes cultures, nous rejetons l'hypothèse nulle :

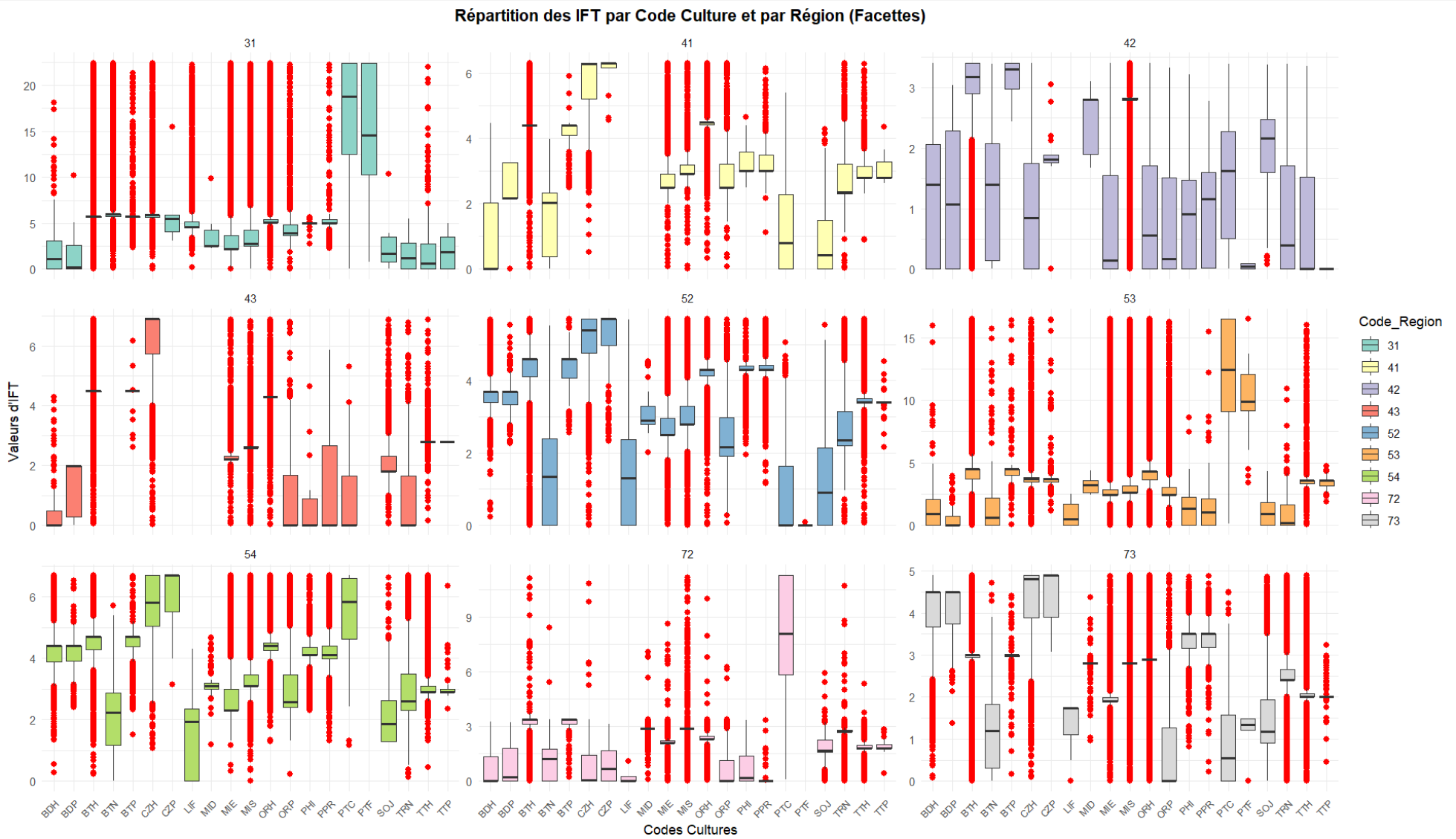
$H_0$  : les distributions des groupes comparés sont identiques.

Il y a donc pour tous les autres codes cultures une différence significative entre leurs valeurs de moyenne d'IFT.

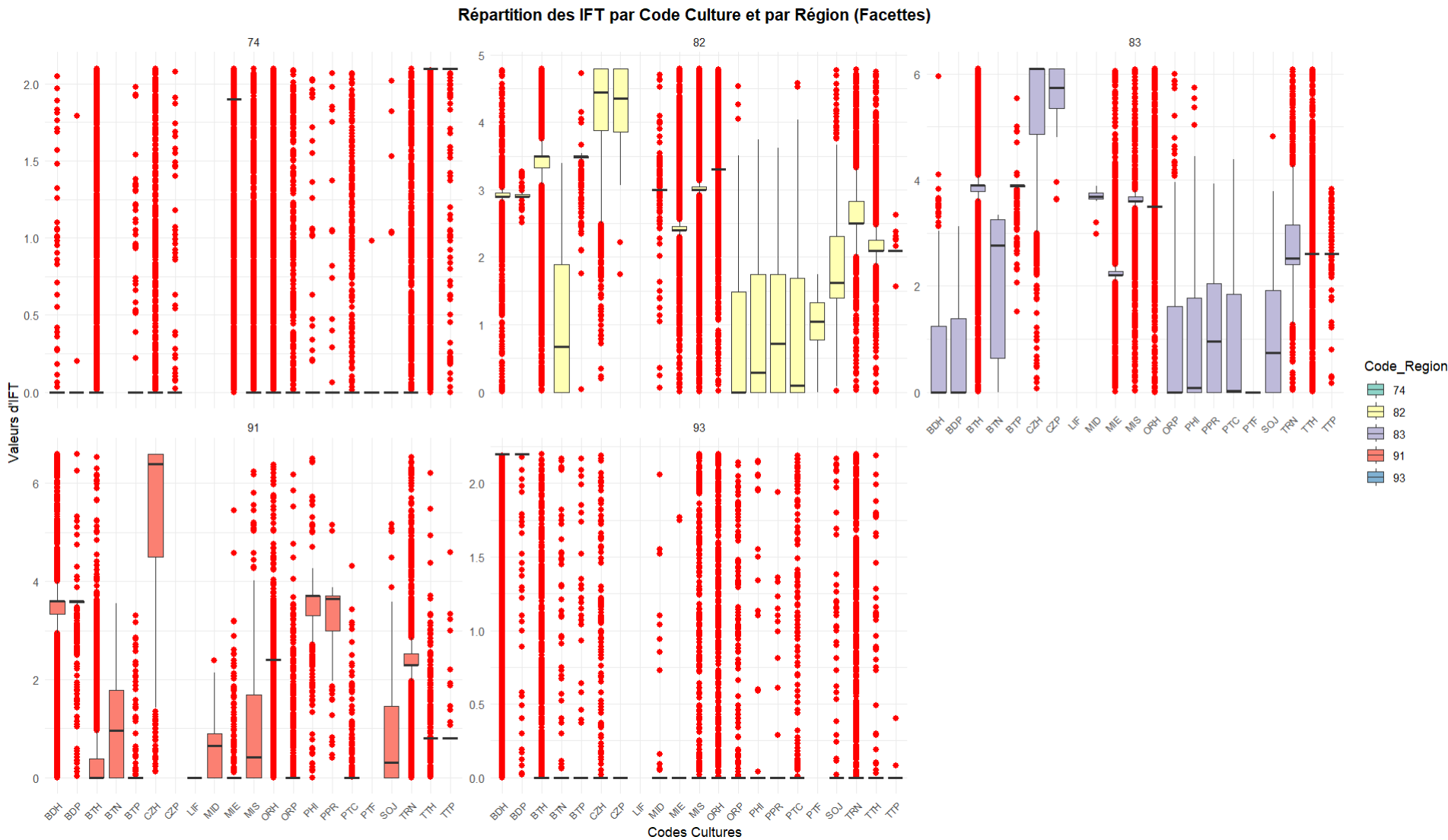
Graphique 1 : Répartition des IFT par code culture et par régions



Graphique 3 : Répartition des moyennes d'IFT par code culture et par régions



Graphique 4 : Répartition des moyennes d'IFT par code culture et par régions



### III. Discussion

Les résultats des différents tests révèlent des différences significatives dans l'exposition des haies aux produits phytosanitaires à travers les différentes régions.

Dans les régions de PACA et de Franche-Comté, la part des haies exposées aux produits phytosanitaires utilisés en grande culture est la plus faible. Ce résultat n'est toutefois pas surprenant, car ces deux régions sont caractérisées par une faible proportion de surfaces dédiées aux grandes cultures. En PACA, seulement 5.75% des surfaces cultivées le sont en grandes cultures et le type de culture dominant sont les estives et landes et les valeurs d'IFT sont nulles pour toutes les cultures à l'exception de la culture du blé. En Franche-Comté, les prairies permanentes dominent en représentant 60% des surfaces du RPG.

A l'inverse, les parts de haies exposées aux produits phytosanitaires utilisés dans les parcelles voisines de grandes cultures sont les plus importantes en Bretagne et en Picardie où les surfaces en grandes cultures dominent. La Bretagne est par ailleurs la région où le linéaire de haies est le plus important avec la région des Pays de la Loire.

Les résultats révèlent que dans cinq régions, une part importante du linéaire de haies total de la région est exposé à une pression forte à cause des parcelles en grandes cultures se trouvant à proximité des haies :

- 39% en Ile de France
- 23.8% en Champagne Ardenne
- 37.5% en Picardie
- 33.5% en Haute-Normandie
- 29.9% en région Centre

Ces régions (à l'exception du Centre) partagent une caractéristique commune : elles font partie des cinq régions où le linéaire de haies est le plus faible. Ainsi, dans ces quatre régions, il y a peu de haies par rapport aux autres régions et de plus, elles sont fortement exposées aux pressions phytosanitaires des parcelles en grandes cultures qui représentent la majorité des surfaces agricoles de ces territoires. Ces quatre mêmes régions avec le Nord Pas de Calais et la Bretagne sont les seules où une partie du linéaire de haies est exposée à une pression très forte (classes des valeurs de moyenne d'IFT supérieures à 13.4).

Les boxplots de répartition des IFT par codes cultures et par région permettent d'identifier la culture de pommes de terre comme une des principales cultures causant une exposition à une moyenne élevée d'IFT des haies. La culture de pommes de terre a les distributions les plus élevées dans sept des onze régions.

Ce résultat n'est toutefois pas surprenant, puisqu'à la lecture des valeurs d'IFT fournies pour chaque culture et chaque région par l'AGRESTE, les pommes de terre sont les cultures ayant les valeurs d'IFT les plus élevées (plus du double des valeurs d'IFT des autres cultures à l'exception de la région du Poitou).

A la lecture de ces boxplots, il est étonnant que la région du Limousin ne soit pas comme celle de la PACA, la région où les valeurs de moyenne pondérée d'IFT sont les plus faibles (Tableau 9). En effet, le Limousin n'a que trois cultures (des grandes cultures) dont l'IFT ne soit pas nul : le maïs et le triticale (MIE, TTP et TTH) et les grandes cultures ne représentent sur le territoire que 13% des surfaces agricoles. On peut donc émettre l'hypothèse qu'une forte proportion des haies se trouve à proximité de ces trois uniques cultures ayant un IFT non nul

dans la région. Cela justifierait donc que le Limousin ne soit pas une des régions où les rangs moyens des moyennes pondérées d'IFT (qui correspondent aux haies) sont les plus faibles (comme la PACA, la Franche-Comté et l'Alsace).

#### **IV. Limites**

Une limite importante de cette étude réside dans l'exclusion des parcelles en agriculture biologique et des autres types de cultures, notamment la viticulture, qui est également très consommatrice de produits phytosanitaires. En effet, toutes ces parcelles qui ont été exclues de ce travail contribuent soit à la diminution soit l'augmentation des IFT globaux des cultures et influencent donc directement l'exposition des haies agricoles, étudiée dans ce rapport.

Par conséquent, les résultats obtenus se limitent à l'analyse de la pression phytosanitaire exercée par les parcelles en grandes cultures, exploitées selon des pratiques agricoles conventionnelles. Ils ne permettent donc pas de dresser un état des lieux complet de la pression phytosanitaire subie par les haies en raison de leur proximité avec les parcelles agricoles des autres types de cultures.

Ce choix méthodologique constitue toutefois une première étape qui permet d'envisager, dans de futures recherches, l'élargissement des analyses aux autres systèmes de production, afin de compléter cette évaluation de la pression phytosanitaire à l'échelle de l'ensemble du paysage agricole.

En ce qui concerne la méthode de calcul des moyennes d'IFT auxquelles sont exposées les haies, le choix méthodologique qui a été fait ici, a impliqué une division du linéaire de haies par région, ainsi que du Répertoire des Parcelles Géolocalisées (RPG), dans le but d'attribuer à chaque segment de haie les valeurs d'IFT fournies par l'AGRESTE, en fonction du type de culture et de la région. Ce découpage présente une limitation pour les haies qui traversent plusieurs régions. En effet, ces haies, au nombre de 20 354, sont divisées en segments, chacun se voyant attribuer un IFT correspondant à la région dans laquelle il se trouve. Ce modèle ne prend donc pas en compte l'impact des parcelles agricoles situées dans les régions voisines, qui ont également une influence sur la pression phytosanitaire à laquelle les haies sont exposées. Ce choix méthodologique sous-estime donc l'exposition réelle de ces 20 354 haies.

## Conclusion

Ce projet de recherche a permis de s'intéresser et d'étudier la pression phytosanitaire auxquelles sont exposées les haies se trouvant à proximité des parcelles en grandes cultures. Les résultats mettent en évidence une exposition significative des haies agricoles en raison de leur proximité avec ces parcelles et qui varient selon les régions, et selon les cultures au sein des grandes cultures. De par leur proximité avec des parcelles où les usages des produits phytosanitaires sont importants, il est possible que les haies deviennent des pièges écologiques en exposant la faune et la flore qu'elles abritent aux risques liés aux produits phytosanitaires. Toutefois, les résultats obtenus sont limités par plusieurs facteurs méthodologiques. L'exclusion des systèmes de culture alternatifs, comme l'agriculture biologique et la viticulture, ainsi que la division des haies par région, ne permettent pas de dresser un tableau complet de l'exposition des haies aux produits phytosanitaires.

Cette étude ouvre donc des pistes pour de futures recherches visant à mieux comprendre le rôle des haies dans l'environnement agricole. Il serait pertinent d'élargir ces analyses pour inclure d'autres types de cultures et de considérer les interactions entre différentes régions, afin de mieux cerner la dynamique de la pression phytosanitaire sur les haies. Ce travail constitue ainsi une base pour explorer plus en détail la question des haies et de leur potentiel caractère de piège écologique.

## Bibliographie

AGRESTE, la statistique agricole. (2024). Enquête Pratiques culturales en grandes cultures 2021 IFT et nombre de traitements. [en ligne]

<https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Chd2407/detail/>

*Etat des lieux des ventes et des achats de produits phytosanitaires en France en 2021* | Eaufrance. (s. d.). Eaufrance. <https://www.eaufrance.fr/publications/etat-des-lieux-des-ventes-et-des-achats-de-produits-phytosanitaires-en-france-en-2021>

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. (2018, avril). [en ligne]  
[https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/ift\\_manuel\\_v3\\_avril\\_2018.pdf](https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/ift_manuel_v3_avril_2018.pdf)

PERSPECTIVES AGRICOLES. (2011, avril). [en ligne]  
[https://www.perspectives-agricoles.com/sites/default/files/imported\\_files/377\\_998691925236875085.pdf](https://www.perspectives-agricoles.com/sites/default/files/imported_files/377_998691925236875085.pdf)

Guy, Y. (2007). *Réflexions sur les critères de choix d'indicateurs de pression phytosanitaire*. <https://hal.science/hal-01198940v1>

3.2 *Identité agricole des régions – La France et ses territoires* | Insee. (s. d.). <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5039859?sommaire=5040030>

Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. Guide méthodologique Indicateur de Fréquence de Traitements phytopharmaceutiques (IFT). (2023, juin). <https://agriculture.gouv.fr/indicateur-de-frequence-de-traitements-phytosanitaires-ift>

## Annexes

### Annexe 1 : Noms des codes cultures et intitulés des cultures

| Code culture | Intitulé de la culture            |
|--------------|-----------------------------------|
| BDH          | Blé dur d'hiver                   |
| BDP          | Blé dur de printemps              |
| BTH          | Blé tendre d'hiver                |
| BTN          | Betterave non<br>fourragère       |
| BTP          | Blé tendre de printemps           |
| CZH          | Colza d'hiver                     |
| CZP          | Colza de printemps                |
| LIF          | Lin                               |
| MID          | Maïs doux                         |
| MIE          | Maïs ensilage                     |
| MIS          | Maïs                              |
| ORH          | Orge d'hiver                      |
| ORP          | Orge de printemps                 |
| PHI          | Pois d'hiver                      |
| PPR          | Pois de printemps                 |
| PTC          | Pomme de terre de<br>consommation |
| PTF          | Pomme de terre<br>féculière       |
| SOJ          | Soja                              |
| TRN          | Tournesol                         |
| TTH          | Triticale d'hiver                 |
| TTP          | Triticale de printemps            |

Annexe 2 : Proportions et nombres de haies exposées à chaque classe de pression par régions

| Code Region | Pression | Nombre de haies | Proportion par rapport au nombre de haies de la région |
|-------------|----------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| 11          | 0        | 2564            | 1,625397791                                            |
| 11          | 0.7      | 177             | 0,112205698                                            |
| 11          | 3.3      | 8747            | 5,544990047                                            |
| 11          | 13.4     | 63002           | 39,9388891                                             |
| 11          | 22.6     | 173             | 0,109669976                                            |
| 11          | NA       | 83083           | 52,66884739                                            |
| 21          | 0        | 110             | 0,030756412                                            |
| 21          | 0.7      | 14              | 0,003914452                                            |
| 21          | 3.3      | 23247           | 6,499948273                                            |
| 21          | 13.4     | 85078           | 23,78812747                                            |
| 21          | 22.6     | 466             | 0,130295345                                            |
| 21          | NA       | 248734          | 69,54695805                                            |
| 22          | 0        | 1548            | 0,393806953                                            |
| 22          | 0.7      | 134             | 0,034089232                                            |
| 22          | 3.3      | 37010           | 9,415242466                                            |
| 22          | 13.4     | 147376          | 37,49205009                                            |
| 22          | 22.6     | 4845            | 1,232554708                                            |
| 22          | NA       | 202173          | 51,43225655                                            |
| 23          | 0        | 3718            | 0,986481646                                            |
| 23          | 0.7      | 265             | 0,07031136                                             |
| 23          | 3.3      | 23819           | 6,319797291                                            |
| 23          | 13.4     | 129874          | 34,45893419                                            |
| 23          | 22.6     | 4079            | 1,082264291                                            |
| 23          | NA       | 215140          | 57,08221123                                            |
| 24          | 0        | 31              | 0,002677866                                            |
| 24          | 0.7      | 2               | 0,000172766                                            |
| 24          | 3.3      | 68784           | 5,941753813                                            |
| 24          | 13.4     | 346175          | 29,90356225                                            |
| 24          | NA       | 742646          | 64,1518333                                             |
| 25          | 0        | 22653           | 1,345394549                                            |
| 25          | 0.7      | 2825            | 0,16778085                                             |
| 25          | 3.3      | 316048          | 18,77054944                                            |
| 25          | 13.4     | 301092          | 17,88229089                                            |
| 25          | NA       | 1041126         | 61,83398426                                            |
| 26          | 0        | 763             | 0,067604566                                            |
| 26          | 0.7      | 74              | 0,006556668                                            |
| 26          | 3.3      | 106976          | 9,478461345                                            |
| 26          | 13.4     | 160754          | 14,24338707                                            |
| 26          | NA       | 860055          | 76,20399035                                            |
| 31          | 0        | 753             | 0,135110161                                            |
| 31          | 0.7      | 84              | 0,01507205                                             |
| 31          | 3.3      | 58450           | 10,48763464                                            |

|    |      |         |             |
|----|------|---------|-------------|
| 31 | 13.4 | 163176  | 29,27853327 |
| 31 | 22.6 | 19910   | 3,572434656 |
| 31 | NA   | 314950  | 56,51121522 |
| 41 | 0    | 355     | 0,083523319 |
| 41 | 0.7  | 32      | 0,007528863 |
| 41 | 3.3  | 39393   | 9,268265138 |
| 41 | 13.4 | 67342   | 15,84402079 |
| 41 | NA   | 317909  | 74,79666189 |
| 42 | 0    | 7217    | 4,631745135 |
| 42 | 0.7  | 864     | 0,55450018  |
| 42 | 3.3  | 36059   | 23,14203933 |
| 42 | 13.4 | 10675   | 6,851029419 |
| 42 | NA   | 101001  | 64,82068594 |
| 43 | 0    | 1519    | 0,336839958 |
| 43 | 0.7  | 89      | 0,01973585  |
| 43 | 3.3  | 20613   | 4,570955925 |
| 43 | 13.4 | 31479   | 6,980503641 |
| 43 | NA   | 397256  | 88,09196463 |
| 52 | 0    | 1738    | 0,073955999 |
| 52 | 0.7  | 235     | 0,009999804 |
| 52 | 3.3  | 413390  | 17,5907195  |
| 52 | 13.4 | 552884  | 23,5265182  |
| 52 | NA   | 1381799 | 58,79880649 |
| 53 | 0    | 2821    | 0,124592238 |
| 53 | 0.7  | 396     | 0,017489729 |
| 53 | 3.3  | 602820  | 26,62413777 |
| 53 | 13.4 | 562604  | 24,8479586  |
| 53 | 22.6 | 12989   | 0,573671951 |
| 53 | NA   | 1082556 | 47,81214971 |
| 54 | 0    | 79      | 0,006287766 |
| 54 | 0.7  | 19      | 0,001512248 |
| 54 | 3.3  | 246690  | 19,63454547 |
| 54 | 13.4 | 351708  | 27,99313599 |
| 54 | NA   | 657912  | 52,36451853 |
| 72 | 0    | 6186    | 0,646611873 |
| 72 | 0.7  | 669     | 0,069929412 |
| 72 | 3.3  | 212453  | 22,20734437 |
| 72 | 13.4 | 43715   | 4,569453286 |
| 72 | NA   | 693656  | 72,50666106 |
| 73 | 0    | 6730    | 0,306028025 |
| 73 | 0.7  | 653     | 0,029693358 |
| 73 | 3.3  | 539731  | 24,54276548 |
| 73 | 13.4 | 58266   | 2,649484231 |
| 73 | NA   | 1593765 | 72,4720289  |
| 74 | 0    | 65862   | 6,246236107 |
| 74 | 0.7  | 3067    | 0,290868879 |

|    |      |         |             |
|----|------|---------|-------------|
| 74 | 3.3  | 97309   | 9,228614214 |
| 74 | NA   | 888189  | 84,2342808  |
| 82 | 0    | 3351    | 0,290860673 |
| 82 | 0.7  | 269     | 0,023348708 |
| 82 | 3.3  | 154083  | 13,37412269 |
| 82 | 13.4 | 75846   | 6,583294129 |
| 82 | NA   | 918549  | 79,7283738  |
| 83 | 0    | 3915    | 0,273078442 |
| 83 | 0.7  | 296     | 0,020646544 |
| 83 | 3.3  | 110241  | 7,689512253 |
| 83 | 13.4 | 121111  | 8,447714721 |
| 83 | NA   | 1198091 | 83,56904804 |
| 91 | 0    | 14377   | 2,812116138 |
| 91 | 0.7  | 947     | 0,185231549 |
| 91 | 3.3  | 27365   | 5,352546298 |
| 91 | 13.4 | 22064   | 4,315679939 |
| 91 | NA   | 446499  | 87,33442608 |
| 93 | 0    | 35802   | 7,548116555 |
| 93 | 0.7  | 559     | 0,117853672 |
| 93 | 3.3  | 16543   | 3,487751862 |
| 93 | NA   | 421413  | 88,84627791 |

Annexe 3 : Longueur du linéaire de haies exposé à chaque classe de pression par région

| Code_Région | Pression | Longueurs des haies en m | Proportion de la longueur rapportées aux haies à proximité des grandes cultures |
|-------------|----------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 11          | 0        | 179809,8513              | 3,138421749                                                                     |
| 11          | 0,7      | 23532,29836              | 0,410735432                                                                     |
| 11          | 3,3      | 660690,9976              | 11,53177638                                                                     |
| 11          | 13,4     | 4853500,258              | 84,71354966                                                                     |
| 11          | 22,6     | 11774,68944              | 0,205516779                                                                     |
| 21          | 0        | 7207,353004              | 0,07223186                                                                      |
| 21          | 0,7      | 1557,525219              | 0,015609468                                                                     |
| 21          | 3,3      | 1992197,73               | 19,96574152                                                                     |
| 21          | 13,4     | 7919023,683              | 79,36420043                                                                     |
| 21          | 22,6     | 58094,05296              | 0,582216729                                                                     |
| 22          | 0        | 122847,0418              | 0,720622453                                                                     |
| 22          | 0,7      | 18908,67935              | 0,110918576                                                                     |
| 22          | 3,3      | 3121195,889              | 18,30897842                                                                     |
| 22          | 13,4     | 13376981,24              | 78,46955769                                                                     |
| 22          | 22,6     | 407418,5473              | 2,389922855                                                                     |
| 23          | 0        | 301993,0534              | 2,159091713                                                                     |
| 23          | 0,7      | 40251,75991              | 0,287778942                                                                     |
| 23          | 3,3      | 2080167,893              | 14,87210785                                                                     |
| 23          | 13,4     | 11219070,45              | 80,21046101                                                                     |
| 23          | 22,6     | 345558,3194              | 2,470560483                                                                     |
| 24          | 0        | 1483,991729              | 0,00383256                                                                      |
| 24          | 0,7      | 647,7491808              | 0,001672878                                                                     |
| 24          | 3,3      | 6389230,789              | 16,50084148                                                                     |
| 24          | 13,4     | 32329273,61              | 83,49365308                                                                     |
| 25          | 0        | 1885716,228              | 3,084495372                                                                     |
| 25          | 0,7      | 381298,012               | 0,62369509                                                                      |
| 25          | 3,3      | 29077294,28              | 47,56218264                                                                     |
| 25          | 13,4     | 29791015,11              | 48,7296269                                                                      |
| 26          | 0        | 72080,27622              | 1,258097401                                                                     |
| 26          | 0,7      | 10463,34561              | 0,038737391                                                                     |
| 26          | 3,3      | 10922344,17              | 40,43669468                                                                     |
| 26          | 13,4     | 16006083,94              | 59,25771238                                                                     |
| 31          | 0        | 51808,14015              | 0,267559905                                                                     |
| 31          | 0,7      | 10316,00969              | 0,053276388                                                                     |
| 31          | 3,3      | 4735668,666              | 24,45706517                                                                     |
| 31          | 13,4     | 13138951,94              | 67,85529701                                                                     |
| 31          | 22,6     | 1426447,977              | 7,366801522                                                                     |
| 41          | 0        | 25038,22668              | 0,248873007                                                                     |
| 41          | 0,7      | 4679,941529              | 0,046517317                                                                     |
| 41          | 3,3      | 3652812,037              | 36,30793529                                                                     |
| 41          | 13,4     | 6378113,585              | 63,39667439                                                                     |

|    |      |             |             |
|----|------|-------------|-------------|
| 42 | 0    | 520205,5776 | 11,39619479 |
| 42 | 0,7  | 105444,5783 | 2,309984755 |
| 42 | 3,3  | 3193346,732 | 69,95696115 |
| 42 | 13,4 | 745733,5971 | 16,33685931 |
| 43 | 0    | 114270,4175 | 2,560264745 |
| 43 | 0,7  | 12412,29368 | 0,278101355 |
| 43 | 3,3  | 1768749,345 | 39,62938693 |
| 43 | 13,4 | 2567794,559 | 57,53224697 |
| 52 | 0    | 133594,1176 | 0,144268182 |
| 52 | 0,7  | 31975,35679 | 0,034530163 |
| 52 | 3,3  | 39621745,85 | 42,78749217 |
| 52 | 13,4 | 52813918,91 | 57,03370948 |
| 53 | 0    | 194447,5018 | 0,203078094 |
| 53 | 0,7  | 48414,38861 | 0,050563271 |
| 53 | 3,3  | 48802684,47 | 50,96880167 |
| 53 | 13,4 | 45732669,68 | 47,76252364 |
| 53 | 22,6 | 971895,5327 | 1,015033316 |
| 54 | 0    | 6660,019626 | 0,011089856 |
| 54 | 0,7  | 2122,725625 | 0,003534632 |
| 54 | 3,3  | 24215645,52 | 40,32240631 |
| 54 | 13,4 | 35830632,28 | 59,66296921 |
| 72 | 0    | 429364,3161 | 2,141872735 |
| 72 | 0,7  | 74801,44367 | 0,373145058 |
| 72 | 3,3  | 16236009,14 | 80,99290976 |
| 72 | 13,4 | 3306035,549 | 16,49207244 |
| 73 | 0    | 513362,2952 | 1,00738847  |
| 73 | 0,7  | 71529,54889 | 0,140364891 |
| 73 | 3,3  | 45598169,1  | 89,47885386 |
| 73 | 13,4 | 4776654,266 | 9,37339278  |
| 74 | 0    | 5662486,108 | 39,03055881 |
| 74 | 0,7  | 406865,1548 | 2,804452682 |
| 74 | 3,3  | 8438476,145 | 58,16498851 |
| 82 | 0    | 221780,0671 | 1,1731305   |
| 82 | 0,7  | 26372,85312 | 0,13950216  |
| 82 | 3,3  | 12463674,26 | 65,9280007  |
| 82 | 13,4 | 6193151,171 | 32,75936664 |
| 83 | 0    | 302750,6909 | 1,474867213 |
| 83 | 0,7  | 32731,76143 | 0,159454638 |
| 83 | 3,3  | 9447643,466 | 46,02473259 |
| 83 | 13,4 | 10744192,62 | 52,34094555 |
| 91 | 0    | 1130391,913 | 20,65495763 |
| 91 | 0,7  | 120992,7455 | 2,210826177 |
| 91 | 3,3  | 2275331,324 | 41,57573276 |
| 91 | 13,4 | 1946022,976 | 35,55848344 |
| 93 | 0    | 2766593,032 | 63,74654035 |
| 93 | 0,7  | 71244,48893 | 1,641582132 |

|    |     |             |             |
|----|-----|-------------|-------------|
| 93 | 3,3 | 1502151,782 | 34,61187752 |
|----|-----|-------------|-------------|

Annexe 4 : Résultat du test post-hoc de Dunn d'analyse des cultures et moyennes d'IFT

| Groupe 1 | Groupe 2 | Différence moyenne Z | Valeur p   | Significativité |
|----------|----------|----------------------|------------|-----------------|
| BDH      | BDP      | 4,745173666          | 1,0416E-06 | *               |
| BDH      | BTH      | -273,2282676         | 0          | *               |
| BDP      | BTH      | -52,70476908         | 0          | *               |
| BDH      | BTN      | -299,4075084         | 0          | *               |
| BDP      | BTN      | -90,65752419         | 0          | *               |
| BTH      | BTN      | -166,2327997         | 0          | *               |
| BDH      | BTP      | -64,84198561         | 0          | *               |
| BDP      | BTP      | -36,96249991         | 2,294E-299 | *               |
| BTH      | BTP      | 19,12371018          | 8,0145E-82 | *               |
| BTN      | BTP      | 84,9865542           | 0          | *               |
| BDH      | CZH      | -409,0538457         | 0          | *               |
| BDP      | CZH      | -84,31341474         | 0          | *               |
| BTH      | CZH      | -315,4054057         | 0          | *               |
| BTN      | CZH      | 33,14752153          | 3,074E-241 | *               |
| BTP      | CZH      | -76,10133598         | 0          | *               |
| BDH      | CZP      | -6,434401606         | 6,198E-11  | *               |
| BDP      | CZP      | -8,04149042          | 4,4376E-16 | *               |
| BTH      | CZP      | 23,68552674          | 2,542E-124 | *               |
| BTN      | CZP      | 48,6282022           | 0          | *               |
| BTP      | CZP      | 16,11253529          | 1,0415E-58 | *               |
| CZH      | CZP      | 43,71810943          | 0          | *               |
| BDH      | LIF      | -217,6769124         | 0          | *               |
| BDP      | LIF      | -85,86219131         | 0          | *               |
| BTH      | LIF      | -106,8137016         | 0          | *               |
| BTN      | LIF      | 4,745407868          | 1,0404E-06 | *               |
| BTP      | LIF      | -74,63691496         | 0          | *               |
| CZH      | LIF      | -17,60340103         | 1,1598E-69 | *               |
| CZP      | LIF      | -46,72320374         | 0          | *               |
| BDH      | MID      | 44,82501137          | 0          | *               |
| BDP      | MID      | 30,22457389          | 5,632E-201 | *               |
| BTH      | MID      | 89,170755            | 0          | *               |
| BTN      | MID      | 123,329147           | 0          | *               |
| BTP      | MID      | 71,06728738          | 0          | *               |
| CZH      | MID      | 118,0154336          | 0          | *               |
| CZP      | MID      | 31,04516986          | 6,628E-212 | *               |
| LIF      | MID      | 118,2292904          | 0          | *               |
| BDH      | MIE      | 412,0450164          | 0          | *               |
| BDP      | MIE      | 68,42056745          | 0          | *               |
| BTH      | MIE      | 1969,451982          | 0          | *               |
| BTN      | MIE      | 658,9355861          | 0          | *               |
| BTP      | MIE      | 200,3330805          | 0          | *               |
| CZH      | MIE      | 1451,141826          | 0          | *               |
| CZP      | MIE      | 52,58798781          | 0          | *               |

|     |     |              |            |   |
|-----|-----|--------------|------------|---|
| LIF | MIE | 442,0653438  | 0          | * |
| MID | MIE | 21,68736496  | 1,35E-104  | * |
| BDH | MIS | 213,5508703  | 0          | * |
| BDP | MIS | 33,86240884  | 1,192E-251 | * |
| BTH | MIS | 1221,294049  | 0          | * |
| BTN | MIS | 512,7968537  | 0          | * |
| BTP | MIS | 137,4738566  | 0          | * |
| CZH | MIS | 1065,595289  | 0          | * |
| CZP | MIS | 30,82910446  | 5,339E-209 | * |
| LIF | MIS | 344,709669   | 0          | * |
| MID | MIS | -9,913711822 | 1,8145E-23 | * |
| MIE | MIS | -449,268769  | 0          | * |
| BDH | ORH | -149,6334952 | 0          | * |
| BDP | ORH | -32,63675683 | 6,176E-234 | * |
| BTH | ORH | 240,5219698  | 0          | * |
| BTN | ORH | 240,3741785  | 0          | * |
| BTP | ORH | 17,0439914   | 1,9368E-65 | * |
| CZH | ORH | 434,8062871  | 0          | * |
| CZP | ORH | -11,08260382 | 7,6188E-29 | * |
| LIF | ORH | 159,9486446  | 0          | * |
| MID | ORH | -70,74809599 | 0          | * |
| MIE | ORH | -1145,146157 | 0          | * |
| MIS | ORH | -700,2252443 | 0          | * |
| BDH | ORP | 153,6431518  | 0          | * |
| BDP | ORP | 29,23231079  | 3,768E-188 | * |
| BTH | ORP | 553,3751137  | 0          | * |
| BTN | ORP | 438,0216034  | 0          | * |
| BTP | ORP | 126,0813632  | 0          | * |
| CZH | ORP | 665,4569971  | 0          | * |
| CZP | ORP | 27,97369749  | 1,698E-172 | * |
| LIF | ORP | 312,9579022  | 0          | * |
| MID | ORP | -13,82659639 | 8,808E-44  | * |
| MIE | ORP | -256,9832584 | 0          | * |
| MIS | ORP | -28,19964269 | 2,953E-175 | * |
| ORH | ORP | 385,152594   | 0          | * |
| BDH | PHI | -60,98005331 | 0          | * |
| BDP | PHI | -30,53642918 | 4,281E-205 | * |
| BTH | PHI | 44,58675952  | 0          | * |
| BTN | PHI | 120,6951566  | 0          | * |
| BTP | PHI | 12,6871449   | 3,484E-37  | * |
| CZH | PHI | 115,6006924  | 0          | * |
| CZP | PHI | -11,04689638 | 1,1346E-28 | * |
| LIF | PHI | 102,8475125  | 0          | * |
| MID | PHI | -66,37682341 | 0          | * |
| MIE | PHI | -232,8306398 | 0          | * |
| MIS | PHI | -153,2448701 | 0          | * |

|     |     |              |            |   |
|-----|-----|--------------|------------|---|
| ORH | PHI | -1,290191599 | 0,09849207 |   |
| ORP | PHI | -137,2751833 | 0          | * |
| BDH | PPR | -111,0750927 | 0          | * |
| BDP | PPR | -41,53105614 | 0          | * |
| BTH | PPR | 30,73448857  | 9,854E-208 | * |
| BTN | PPR | 129,0958512  | 0          | * |
| BTP | PPR | -1,900120983 | 0,02870862 | * |
| CZH | PPR | 130,5563785  | 0          | * |
| CZP | PPR | -17,48943919 | 8,6223E-69 | * |
| LIF | PPR | 102,0723507  | 0          | * |
| MID | PPR | -77,74717608 | 0          | * |
| MIE | PPR | -365,7092461 | 0          | * |
| MIS | PPR | -251,0239707 | 0          | * |
| ORH | PPR | -34,26999426 | 1,099E-257 | * |
| ORP | PPR | -217,9648083 | 0          | * |
| PHI | PPR | -19,06604024 | 2,4178E-81 | * |
| BDH | PTC | -307,3408277 | 0          | * |
| BDP | PTC | -90,40220104 | 0          | * |
| BTH | PTC | -172,1665758 | 0          | * |
| BTN | PTC | 1,502174825  | 0,06652598 |   |
| BTP | PTC | -84,78961252 | 0          | * |
| CZH | PTC | -32,55423191 | 9,121E-233 | * |
| CZP | PTC | -48,36793139 | 0          | * |
| LIF | PTC | -3,641082717 | 0,00013575 | * |
| MID | PTC | -123,1477121 | 0          | * |
| MIE | PTC | -688,3359838 | 0          | * |
| MIS | PTC | -534,6954408 | 0          | * |
| ORH | PTC | -249,1955008 | 0          | * |
| ORP | PTC | -451,9822295 | 0          | * |
| PHI | PTC | -121,0161545 | 0          | * |
| PPR | PTC | -130,1710324 | 0          | * |
| BDH | PTF | -122,8619058 | 0          | * |
| BDP | PTF | -93,030939   | 0          | * |
| BTH | PTF | -78,31094245 | 0          | * |
| BTN | PTF | -38,34134454 | 0          | * |
| BTP | PTF | -78,2156688  | 0          | * |
| CZH | PTF | -47,41003678 | 0          | * |
| CZP | PTF | -62,70145199 | 0          | * |
| LIF | PTF | -39,0719392  | 0          | * |
| MID | PTF | -118,6607224 | 0          | * |
| MIE | PTF | -194,9153497 | 0          | * |
| MIS | PTF | -161,5586148 | 0          | * |
| ORH | PTF | -97,39394993 | 0          | * |
| ORP | PTF | -156,1106526 | 0          | * |
| PHI | PTF | -89,56719359 | 0          | * |
| PPR | PTF | -83,89756559 | 0          | * |

|     |     |              |            |   |
|-----|-----|--------------|------------|---|
| PTC | PTF | -38,90189284 | 0          | * |
| BDH | SOJ | 405,9635659  | 0          | * |
| BDP | SOJ | 108,1719928  | 0          | * |
| BTH | SOJ | 708,0654753  | 0          | * |
| BTN | SOJ | 615,9251796  | 0          | * |
| BTP | SOJ | 257,04056    | 0          | * |
| CZH | SOJ | 793,4061609  | 0          | * |
| CZP | SOJ | 78,52256632  | 0          | * |
| LIF | SOJ | 476,25181    | 0          | * |
| MID | SOJ | 59,27074873  | 0          | * |
| MIE | SOJ | 182,1070411  | 0          | * |
| MIS | SOJ | 326,7242882  | 0          | * |
| ORH | SOJ | 599,3266989  | 0          | * |
| ORP | SOJ | 302,061977   | 0          | * |
| PHI | SOJ | 293,9426157  | 0          | * |
| PPR | SOJ | 407,7606686  | 0          | * |
| PTC | SOJ | 630,0253486  | 0          | * |
| PTF | SOJ | 230,5134818  | 0          | * |
| BDH | TRN | 333,3560489  | 0          | * |
| BDP | TRN | 60,92617898  | 0          | * |
| BTH | TRN | 1068,379051  | 0          | * |
| BTN | TRN | 593,0620976  | 0          | * |
| BTP | TRN | 184,8868248  | 0          | * |
| CZH | TRN | 1066,067252  | 0          | * |
| CZP | TRN | 47,94112675  | 0          | * |
| LIF | TRN | 410,1749956  | 0          | * |
| MID | TRN | 14,99220362  | 4,1284E-51 | * |
| MIE | TRN | -65,66160838 | 0          | * |
| MIS | TRN | 234,8859646  | 0          | * |
| ORH | TRN | 757,0070795  | 0          | * |
| ORP | TRN | 181,2387427  | 0          | * |
| PHI | TRN | 212,0278192  | 0          | * |
| PPR | TRN | 328,8639511  | 0          | * |
| PTC | TRN | 616,065262   | 0          | * |
| PTF | TRN | 187,2625247  | 0          | * |
| SOJ | TRN | -199,8075863 | 0          | * |
| BDH | TTH | 268,3633509  | 0          | * |
| BDP | TTH | 48,26659677  | 0          | * |
| BTH | TTH | 939,4998477  | 0          | * |
| BTN | TTH | 543,2977212  | 0          | * |
| BTP | TTH | 162,0918966  | 0          | * |
| CZH | TTH | 967,0963403  | 0          | * |
| CZP | TTH | 39,95175094  | 0          | * |
| LIF | TTH | 375,6348305  | 0          | * |
| MID | TTH | 3,404676461  | 0,00033121 | * |
| MIE | TTH | -178,7668401 | 0          | * |

|     |     |              |            |   |
|-----|-----|--------------|------------|---|
| MIS | TTH | 124,4136587  | 0          | * |
| ORH | TTH | 649,5994427  | 0          | * |
| ORP | TTH | 108,1075074  | 0          | * |
| PHI | TTH | 183,393968   | 0          | * |
| PPR | TTH | 288,5519563  | 0          | * |
| PTC | TTH | 564,1225222  | 0          | * |
| PTF | TTH | 175,0529017  | 0          | * |
| SOJ | TTH | -250,4349034 | 0          | * |
| TRN | TTH | -89,71145358 | 0          | * |
| BDH | TTP | 54,22758857  | 0          | * |
| BDP | TTP | 42,58349546  | 0          | * |
| BTH | TTP | 86,84490398  | 0          | * |
| BTN | TTP | 112,6863416  | 0          | * |
| BTP | TTP | 74,79029361  | 0          | * |
| CZH | TTP | 108,1739445  | 0          | * |
| CZP | TTP | 41,99458582  | 0          | * |
| LIF | TTP | 109,6353723  | 0          | * |
| MID | TTP | 17,05813829  | 1,5205E-65 | * |
| MIE | TTP | 5,19720066   | 1,0116E-07 | * |
| MIS | TTP | 28,46931807  | 1,405E-178 | * |
| ORH | TTP | 73,29838965  | 0          | * |
| ORP | TTP | 31,30361257  | 2,083E-215 | * |
| PHI | TTP | 70,80169833  | 0          | * |
| PPR | TTP | 78,95129209  | 0          | * |
| PTC | TTP | 112,4881861  | 0          | * |
| PTF | TTP | 116,1031071  | 0          | * |
| SOJ | TTP | -23,12316065 | 1,354E-118 | * |
| TRN | TTP | 10,07636682  | 3,5138E-24 | * |
| TTH | TTP | 18,62246636  | 1,0563E-77 | * |

Annexe 5 : Résultats du test post-hoc de Dunn comparant les moyennes d'IFT et les régions

| Groupe 1 | Groupe 2 | Différence moyenne Z | Valeur p   | Significativité |
|----------|----------|----------------------|------------|-----------------|
| 11       | 21       | 54,6747682           | 0          | *               |
| 11       | 22       | -9,896546332         | 2,1545E-23 | *               |
| 21       | 22       | -79,66053937         | 0          | *               |
| 11       | 23       | -27,73410198         | 1,355E-169 | *               |
| 21       | 23       | -97,58139679         | 0          | *               |
| 22       | 23       | -23,6701455          | 3,661E-124 | *               |
| 11       | 24       | -1,777366981         | 0,03775394 | *               |
| 21       | 24       | -78,37756969         | 0          | *               |
| 22       | 24       | 12,89199239          | 2,4968E-38 | *               |
| 23       | 24       | 39,45236374          | 0          | *               |
| 11       | 25       | 288,5316789          | 0          | *               |
| 21       | 25       | 261,1745571          | 0          | *               |
| 22       | 25       | 444,3871378          | 0          | *               |
| 23       | 25       | 445,1492839          | 0          | *               |
| 24       | 25       | 563,7472633          | 0          | *               |
| 11       | 26       | 193,3131707          | 0          | *               |
| 21       | 26       | 150,3228004          | 0          | *               |
| 22       | 26       | 281,4386477          | 0          | *               |
| 23       | 26       | 293,1048522          | 0          | *               |
| 24       | 26       | 325,8014906          | 0          | *               |
| 25       | 26       | -137,4451842         | 0          | *               |
| 11       | 31       | 62,75177019          | 0          | *               |
| 21       | 31       | 0,788901783          | 0,21508471 |                 |
| 22       | 31       | 99,7935587           | 0          | *               |
| 23       | 31       | 120,0276583          | 0          | *               |
| 24       | 31       | 105,504891           | 0          | *               |
| 25       | 31       | -357,8251728         | 0          | *               |
| 26       | 31       | -191,7192182         | 0          | *               |
| 11       | 41       | 168,8286781          | 0          | *               |
| 21       | 41       | 126,6778591          | 0          | *               |
| 22       | 41       | 222,031789           | 0          | *               |
| 23       | 41       | 235,4768722          | 0          | *               |
| 24       | 41       | 236,9220605          | 0          | *               |
| 25       | 41       | -94,15125747         | 0          | *               |
| 26       | 41       | 1,410075237          | 0,07925873 |                 |
| 31       | 41       | 147,789531           | 0          | *               |
| 11       | 42       | 277,4836258          | 0          | *               |
| 21       | 42       | 248,4260912          | 0          | *               |
| 22       | 42       | 330,9024165          | 0          | *               |
| 23       | 42       | 340,628757           | 0          | *               |
| 24       | 42       | 344,988324           | 0          | *               |
| 25       | 42       | 100,041124           | 0          | *               |
| 26       | 42       | 162,3603866          | 0          | *               |

|    |    |              |            |   |
|----|----|--------------|------------|---|
| 31 | 42 | 274,4619947  | 0          | * |
| 41 | 42 | 143,9328946  | 0          | * |
| 11 | 43 | 165,934401   | 0          | * |
| 21 | 43 | 128,7938725  | 0          | * |
| 22 | 43 | 200,95776    | 0          | * |
| 23 | 43 | 213,1568897  | 0          | * |
| 24 | 43 | 206,2698558  | 0          | * |
| 25 | 43 | -39,33820708 | 0          | * |
| 26 | 43 | 29,42728434  | 1,23E-190  | * |
| 31 | 43 | 141,7849316  | 0          | * |
| 41 | 43 | 25,34493318  | 5,11E-142  | * |
| 42 | 43 | -102,4190723 | 0          | * |
| 11 | 52 | 223,8612118  | 0          | * |
| 21 | 52 | 184,7611296  | 0          | * |
| 22 | 52 | 356,6023766  | 0          | * |
| 23 | 52 | 362,2304896  | 0          | * |
| 24 | 52 | 462,0774846  | 0          | * |
| 25 | 52 | -164,9034156 | 0          | * |
| 26 | 52 | 23,14701686  | 7,789E-119 | * |
| 31 | 52 | 258,7162428  | 0          | * |
| 41 | 52 | 14,09516567  | 2,0335E-45 | * |
| 42 | 52 | -161,8241048 | 0          | * |
| 43 | 52 | -19,99035167 | 3,3412E-89 | * |
| 11 | 53 | 296,5204311  | 0          | * |
| 21 | 53 | 271,3147204  | 0          | * |
| 22 | 53 | 470,9486101  | 0          | * |
| 23 | 53 | 468,3469417  | 0          | * |
| 24 | 53 | 624,0220535  | 0          | * |
| 25 | 53 | 2,153748001  | 0,01562997 | * |
| 26 | 53 | 149,2966878  | 0          | * |
| 31 | 53 | 384,0127084  | 0          | * |
| 41 | 53 | 98,4242569   | 0          | * |
| 42 | 53 | -101,12012   | 0          | * |
| 43 | 53 | 40,8055372   | 0          | * |
| 52 | 53 | 195,9957643  | 0          | * |
| 11 | 54 | 181,6311501  | 0          | * |
| 21 | 54 | 135,1385527  | 0          | * |
| 22 | 54 | 284,4546375  | 0          | * |
| 23 | 54 | 295,3508867  | 0          | * |
| 24 | 54 | 352,4829589  | 0          | * |
| 25 | 54 | -228,5922682 | 0          | * |
| 26 | 54 | -40,82812251 | 0          | * |
| 31 | 54 | 183,7099602  | 0          | * |
| 41 | 54 | -30,11928276 | 1,355E-199 | * |
| 42 | 54 | -191,7722166 | 0          | * |
| 43 | 54 | -51,92993181 | 0          | * |

|    |    |              |            |   |
|----|----|--------------|------------|---|
| 52 | 54 | -88,37136186 | 0          | * |
| 53 | 54 | -260,9291507 | 0          | * |
| 11 | 72 | 365,7628587  | 0          | * |
| 21 | 72 | 348,8368764  | 0          | * |
| 22 | 72 | 518,664386   | 0          | * |
| 23 | 72 | 518,8455615  | 0          | * |
| 24 | 72 | 611,395268   | 0          | * |
| 25 | 72 | 173,2895966  | 0          | * |
| 26 | 72 | 261,3454839  | 0          | * |
| 31 | 72 | 445,3941959  | 0          | * |
| 41 | 72 | 196,396048   | 0          | * |
| 42 | 72 | -9,376448367 | 3,4116E-21 | * |
| 43 | 72 | 122,0237505  | 0          | * |
| 52 | 72 | 303,0986114  | 0          | * |
| 53 | 72 | 184,5030812  | 0          | * |
| 54 | 72 | 346,9953573  | 0          | * |
| 11 | 73 | 379,1101827  | 0          | * |
| 21 | 73 | 367,8460718  | 0          | * |
| 22 | 73 | 576,4989823  | 0          | * |
| 23 | 73 | 569,221346   | 0          | * |
| 24 | 73 | 733,1675778  | 0          | * |
| 25 | 73 | 198,1507177  | 0          | * |
| 26 | 73 | 289,2929097  | 0          | * |
| 31 | 73 | 502,4987695  | 0          | * |
| 41 | 73 | 200,8113738  | 0          | * |
| 42 | 73 | -20,23193214 | 2,5627E-91 | * |
| 43 | 73 | 118,0666469  | 0          | * |
| 52 | 73 | 378,5418629  | 0          | * |
| 53 | 73 | 222,4329303  | 0          | * |
| 54 | 73 | 419,9755414  | 0          | * |
| 72 | 73 | -19,79057546 | 1,7946E-87 | * |
| 11 | 74 | 577,3306877  | 0          | * |
| 21 | 74 | 585,8129749  | 0          | * |
| 22 | 74 | 770,9327035  | 0          | * |
| 23 | 74 | 763,3968054  | 0          | * |
| 24 | 74 | 878,7024771  | 0          | * |
| 25 | 74 | 518,9115007  | 0          | * |
| 26 | 74 | 558,7411227  | 0          | * |
| 31 | 74 | 716,2122155  | 0          | * |
| 41 | 74 | 443,7439394  | 0          | * |
| 42 | 74 | 199,524257   | 0          | * |
| 43 | 74 | 323,2671865  | 0          | * |
| 52 | 74 | 637,7735266  | 0          | * |
| 53 | 74 | 543,8172644  | 0          | * |
| 54 | 74 | 663,1401232  | 0          | * |
| 72 | 74 | 327,6898433  | 0          | * |

|    |    |              |            |   |
|----|----|--------------|------------|---|
| 73 | 74 | 387,4911199  | 0          | * |
| 11 | 82 | 304,9389705  | 0          | * |
| 21 | 82 | 278,5999357  | 0          | * |
| 22 | 82 | 429,35683    | 0          | * |
| 23 | 82 | 434,2557377  | 0          | * |
| 24 | 82 | 498,3369396  | 0          | * |
| 25 | 82 | 68,87843005  | 0          | * |
| 26 | 82 | 170,4402745  | 0          | * |
| 31 | 82 | 351,5559838  | 0          | * |
| 41 | 82 | 129,302311   | 0          | * |
| 42 | 82 | -58,72785641 | 0          | * |
| 43 | 82 | 71,69767707  | 0          | * |
| 52 | 82 | 187,2851376  | 0          | * |
| 53 | 82 | 72,0170381   | 0          | * |
| 54 | 82 | 236,5201643  | 0          | * |
| 72 | 82 | -82,54841822 | 0          | * |
| 73 | 82 | -77,37705199 | 0          | * |
| 74 | 82 | -393,1040956 | 0          | * |
| 11 | 83 | 290,5073267  | 0          | * |
| 21 | 83 | 262,0758396  | 0          | * |
| 22 | 83 | 410,0712594  | 0          | * |
| 23 | 83 | 415,8361041  | 0          | * |
| 24 | 83 | 475,6955641  | 0          | * |
| 25 | 83 | 43,3795192   | 0          | * |
| 26 | 83 | 148,8895301  | 0          | * |
| 31 | 83 | 330,9159352  | 0          | * |
| 41 | 83 | 112,6687459  | 0          | * |
| 42 | 83 | -71,83689528 | 0          | * |
| 43 | 83 | 58,80241758  | 0          | * |
| 52 | 83 | 160,9728151  | 0          | * |
| 53 | 83 | 44,82541179  | 0          | * |
| 54 | 83 | 211,7854869  | 0          | * |
| 72 | 83 | -104,5705062 | 0          | * |
| 73 | 83 | -103,1231799 | 0          | * |
| 74 | 83 | -413,1411824 | 0          | * |
| 82 | 83 | -21,21132931 | 3,753E-100 | * |
| 11 | 91 | 322,907083   | 0          | * |
| 21 | 91 | 297,0842112  | 0          | * |
| 22 | 91 | 390,6894678  | 0          | * |
| 23 | 91 | 399,2662649  | 0          | * |
| 24 | 91 | 412,0613031  | 0          | * |
| 25 | 91 | 149,9882697  | 0          | * |
| 26 | 91 | 213,3903847  | 0          | * |
| 31 | 91 | 332,6065794  | 0          | * |
| 41 | 91 | 186,6538359  | 0          | * |
| 42 | 91 | 29,85179374  | 4,16E-196  | * |

|    |    |              |            |   |
|----|----|--------------|------------|---|
| 43 | 91 | 136,2303247  | 0          | * |
| 52 | 91 | 217,7193364  | 0          | * |
| 53 | 91 | 152,3943042  | 0          | * |
| 54 | 91 | 248,7466181  | 0          | * |
| 72 | 91 | 49,52984806  | 0          | * |
| 73 | 91 | 63,7305564   | 0          | * |
| 74 | 91 | -174,7398933 | 0          | * |
| 82 | 91 | 101,7688558  | 0          | * |
| 83 | 91 | 115,8225385  | 0          | * |
| 11 | 93 | 450,5108639  | 0          | * |
| 21 | 93 | 434,09524    | 0          | * |
| 22 | 93 | 529,7780511  | 0          | * |
| 23 | 93 | 535,6828565  | 0          | * |
| 24 | 93 | 556,113986   | 0          | * |
| 25 | 93 | 319,3881653  | 0          | * |
| 26 | 93 | 370,1000402  | 0          | * |
| 31 | 93 | 478,7839678  | 0          | * |
| 41 | 93 | 330,3306624  | 0          | * |
| 42 | 93 | 163,9904991  | 0          | * |
| 43 | 93 | 264,6764595  | 0          | * |
| 52 | 93 | 382,980116   | 0          | * |
| 53 | 93 | 324,3264     | 0          | * |
| 54 | 93 | 409,0303412  | 0          | * |
| 72 | 93 | 218,9974169  | 0          | * |
| 73 | 93 | 240,3612656  | 0          | * |
| 74 | 93 | 3,356386123  | 0,00039484 | * |
| 82 | 93 | 265,4633483  | 0          | * |
| 83 | 93 | 278,5471778  | 0          | * |
| 91 | 93 | 140,9798765  | 0          | * |

**Directeur de recherche :**  
**Francis ISSELIN**

**Caroline PAUCHON**  
**PRI/DAE5**  
**ADAGE**  
**2024-2025**

## **Haies et produits phytosanitaires : quelles relations ? Les haies sont-elles des pièges écologiques ?**

**Résumé :** Ce rapport étudie la pression phytosanitaire exercée sur les haies agricoles en raison de leur proximité avec des parcelles en grandes cultures conventionnelles. L'objectif principal de cette recherche est de déterminer si ces haies, souvent considérées comme des refuges ou des habitats pour la biodiversité, peuvent devenir des "pièges écologiques". C'est-à-dire que les haies qui jouent un rôle crucial dans la préservation de la biodiversité peuvent-elles du fait de leur exposition aux produits phytosanitaires devenir des habitats de mauvaise qualité, mettant en danger la faune et la flore qu'elles abritent sans pour autant cesser de les attirer ?

Les résultats de l'étude montrent que l'exposition des haies aux produits phytosanitaires varie fortement selon les régions et selon les cultures au sein même des grandes cultures.

L'étude met également en évidence l'importance de certaines cultures, comme la pomme de terre, qui génèrent une pression phytosanitaire élevée sur les haies voisines. Cependant, certaines limitations méthodologiques, notamment l'exclusion des systèmes de culture biologique et viticole, ainsi que la division des haies par régions, empêchent une évaluation complète de l'exposition phytosanitaire des haies à l'échelle nationale.

Ce travail constitue une première étape vers une meilleure compréhension des risques phytosanitaires pour les haies agricoles et ouvre des pistes pour de futures recherches afin de mieux évaluer leur rôle potentiel en tant que pièges écologiques.

**Mots Clés :** haies, pression phytosanitaire, Indicateur de Fréquence de Traitement, grandes cultures