

Impacts des mélanges blé-pois sur la propagation des maladies foliaires du blé

Mémoire de master 2 réalisé par Delrieu Marie

Encadrement : Tiphaine Vidal et Jérôme Enjalbert

Dates du stage : 01/03/2025 au 31/08/2025

CHAPEAU

Les mélanges d'espèces peuvent apporter une diversité de services écosystémiques. Cependant, pour le mélange blé pois, peu d'informations existent quant à sa capacité à réduire les maladies du blé. C'est afin de répondre à cette lacune que j'ai piloté les mesures de sévérité en mélange et en culture pure de quatre maladies (septoriose, rouille brune, rouille jaune et oïdium) ainsi que la surface non verte en 2025 puis compilé pour analyse ces données avec celles de 2023 et 2024. Cela nous a permis d'observer que ce mélange menait plus fréquemment à une réduction significative de la septoriose et de la rouille brune qu'à une augmentation. Cet effet a varié en fonction des années et des variétés. De plus, nous avons observé que la proportion de surface verte était très fréquemment supérieure en mélange. Cela confirme que le mélange blé-pois, en plus d'une augmentation de rendement et de fertilisation connue (Tamburini et al., 2020; Feng et al., 2020), ne présente pas de risque d'accroissement de l'épidémie et a même tendance à augmenter la surface verte.

INTRODUCTION

Les principales causes de perte de rendement avant récolte sont les aléas climatiques et les bioagresseurs (ADEME & Gressard Consultants, 2018). Parmi eux, les maladies sont responsables de 10% à 16% des pertes de rendement (Chakraborty & Newton, 2011).

Face à cette problématique, il existe plusieurs leviers fréquemment utilisés comme l'usage de produits phytopharmaceutiques ou le choix de variétés résistantes. Or, bien que ces méthodes présentent plusieurs avantages, elles font face à des limites dont l'adaptation des pathogènes (Réseau de réflexion et de recherches sur les résistances aux pesticides, 2021; Aarhus University, n.d.). Afin de prendre en compte cette problématique, un levier moins fréquent peut être mis en place, la diversification et plus spécifiquement les mélanges d'espèces qui permettent une réduction des maladies fongiques foliaires dans 71% à 88% des cas (Boudreau, 2013).

Parmi l'ensemble des mélanges d'espèces, les mélanges céréales-légumineuses sont les plus fréquents en Europe et parmi les céréales le blé tendre est l'espèce la plus cultivée en France (FAO, 2024). Ce travail porte ainsi sur le mélange blé pois dont l'efficacité a été montrée pour les maladies du pois (Fernández-Aparicio et al., 2010; Villegas-Fernández et al., 2021). Les études portant sur l'efficacité de ce mélange face aux maladies du blé étant plus rares (Jevtić, R., 2023), nous nous sommes demandés : Comment la propagation des maladies foliaires du blé est-elle impactée par le mélange blé-pois ?

METHODOLOGIE

Modalités étudiées

Pour répondre à cette question nous avons réalisé une expérimentation (2025) et mobilisé les données de deux années d'expérimentations antérieures (2023 et 2024). Chaque saison culturale, nous avons cultivées à Gif-sur-Yvette des parcelles de 5,3 m² (1,06 x 5m) en culture pure de blé tendre (300 graines/m²), de pois ainsi qu'en mélange blé-pois intra rang (150 graines de blé /m²). Ces parcelles ont été conduites en bas intrants (fertilisation faible, herbicide pré-levée uniquement) et sans fongicides.

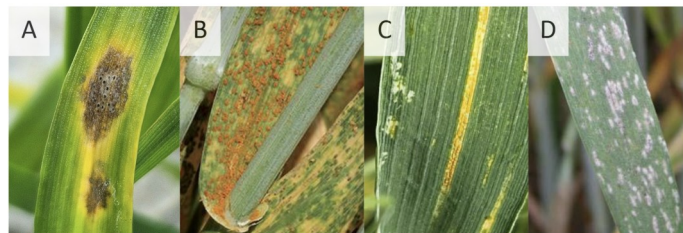


Figure 1 : Symptômes de la A) septoriose, B) rouille brune, C) rouille jaune et de D) l'oïdium du blé.

Nous avons choisi d'observer les maladies foliaires les plus fréquentes et/ou nuisibles du blé : la septoriose, la rouille jaune, la rouille brune et l'oïdium. Ces maladies ont aussi pour avantage d'avoir des symptômes reconnaissables à l'œil nu et un panel de variété pour lequel la sensibilité a été évaluée (Figure 1).

Au sein de ce panel, chaque année nous avons étudié des variétés de blé présentant différentes sensibilités aux maladies étudiées (Tableau 1). Au total, 12 variétés de blé ont été étudiées dont certaines deux années. Pour le pois, c'est la variété de pois "Flambo" qui a été choisie ainsi que la variété "Aviron" en 2023.

Mesures effectuées

Sur 10 plantes par parcelle, nous avons régulièrement effectué deux mesures sur chaque feuille : une mesure de sévérité pour les maladies et une mesure de surface non verte (Figure 2). La sévérité consiste en une estimation visuelle de la proportion de la surface foliaire présentant des symptômes de sporulation pour chacune des maladies. Ces symptômes sont pour la septoriose la présence de pycnides, pour les rouilles et l'oïdium la présence de pustules caractéristiques de ces maladies. Nous avons aussi effectué une mesure de la surface non verte qui consiste à une estimation visuelle de la proportion de surface foliaire non verte.

Tableau 1: Tableau représentant différentes caractéristiques des variétés étudiées. Z, RJ, RB et O représentent les notes ARVALIS de la résistance des variétés à la septoriose, la rouille jaune, la rouille brune et l'oïdium respectivement (de 0 très sensible à 9 très résistant). Les présences indiquent quelles années chacune des variétés a été observée.

Variété	Résistance maladies				Présence		
	Z	RJ	RB	OD	2023	2024	2025
Accroc	5,5	7	4	6	/	Oui	/
Acienda	4	6	5	4	/	Oui	Oui
Altigo	5,5	3	7	6	/	/	Oui
Bergamo	5	6	5	4	Oui	/	/
Gerry	6	5	4	4	/	Oui	Oui
Gwenn	8	7	6	7	/	/	Oui
Izalco_CS	7,5	8	5	4	/	/	Oui
Pakito	4	7	4	4	/	Oui	Oui
Renan	NA	5	6	6	/	/	Oui
Sogood	4	9	7	6	/	/	Oui
Soissons	5	6	2	7	/	/	Oui
Titlis	5	8	8	5	Oui	/	Oui

Tableau 2 : Tableau représentant les moyennes sur la période d'étude des températures moyennes, minimale et maximale journalière observées ainsi que la somme des précipitations pour chaque année d'étude (2023, 2024 et 2025).

	2023	2024	2025
Température moyenne (°C)	17,2	15,5	18
Température minimale moyenne (°C)	11,8	11,2	12,2
Température maximale moyenne (°C)	22,7	20,2	23,9
Somme des précipitations (mm)	97	130	61

Tableau 3 : Tableau représentant la sévérité moyenne de la septoriose, la rouille brune, la rouille jaune et l'oïdium pour les trois années d'observation (2023, 2024 et 2025).

Année	Septoriose	Rouille brune	Rouille jaune	Oïdium
2023	10	6	2	0
2024	12	9	0	0
2025	2	3	0	0

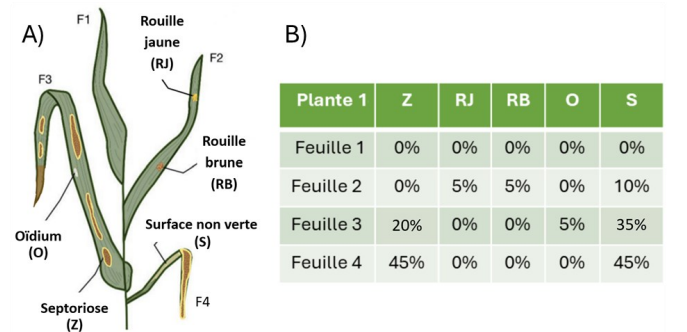


Figure 2 : Schéma de synthèse de la méthode de mesure de la sévérité et de la surface non verte (SNV). A) Représentation d'une plante présentant 4 feuilles (F1 à F4) ainsi que les symptômes des différentes maladies et la SNV. B) Exemple de grille de notation de la sévérité et de la SNV pour la plante représentée en B avec Z la septoriose, RJ la rouille jaune, RB la rouille brune, O l'oïdium et S la SNV.

Une station météorologique positionnée sur le site nous a aussi permis d'obtenir des données climatiques notamment la température et la hauteur des précipitations.

Analyse de données

Chaque année et pour chacune des situations (date de mesure, variété, numéro de feuille, maladie ou SNV), nous avons effectué un test statistique (test de Wilcoxon) afin de savoir s'il y avait une différence significative de maladie ou SNV entre culture pure et mélange. Nous avons aussi calculé la différence de valeur entre culture pure et mélange pour savoir si la différence tendait vers une augmentation ou une diminution de la maladie ou surface non verte en mélange.

RESULTAT ET DISCUSSION

Variations interannuelles

Tout d'abord, on observe des variations climatiques entre les années sur la période d'étude (Tableau 2). En 2024, il a fait plus froid et les précipitations ont été plus importantes que lors des autres années. On observe aussi des variations de niveau de maladie entre les années (Tableau 3). En 2024, la sévérité de la septoriose et de la rouille brune a été plus importante que les autres années. Comme la septoriose est dispersée par la pluie et que l'infection par la rouille brune est favorisée par l'humidité, il est possible que ces conditions météorologiques aient mené à un développement plus important de ces maladies en 2024. Pour ce qui est de la rouille jaune et de l'oïdium, la sévérité moyenne ayant été très faible au cours des 3 années (0 à 2%), il est difficile de conclure. Pour cette même raison, nous ne présenterons ici que les résultats pour la septoriose et la rouille brune.

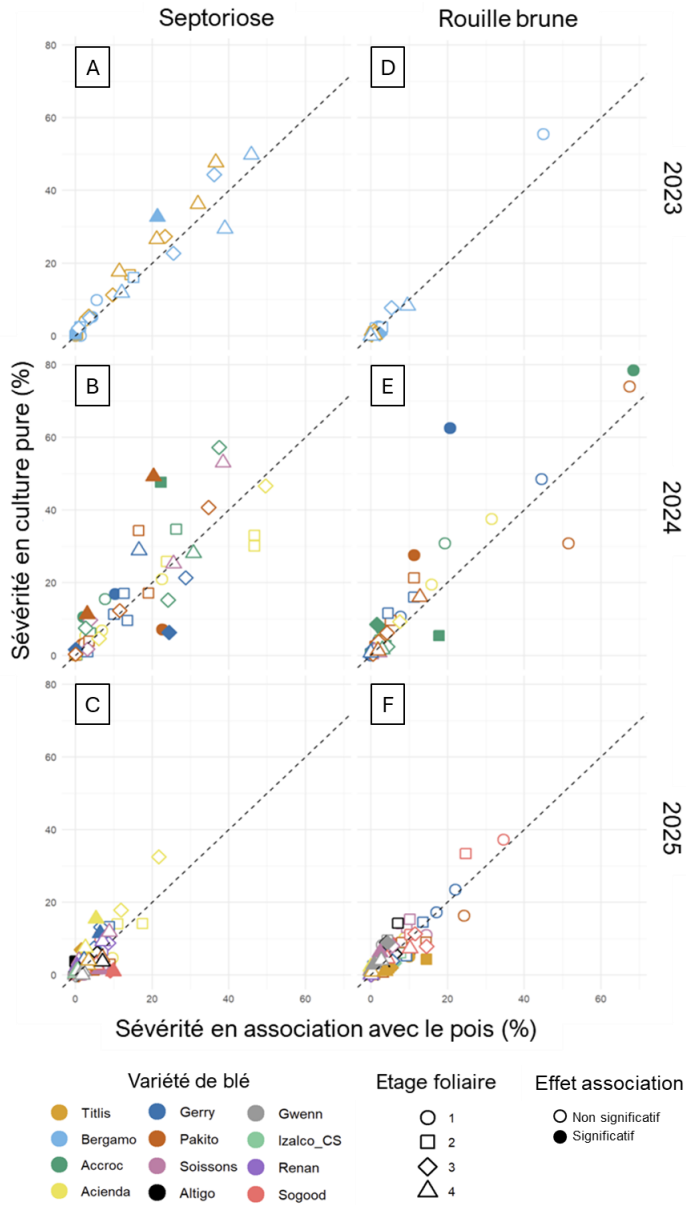


Figure 3 : Graphique représentant la sévérité de la septoriose et de la rouille brune en culture pure en fonction de celle en association pour les années 2023, 2024 et 2025.

Mélanges et maladies

D'un point de vue général pour la rouille brune et la septoriose, on observe un constat commun : l'association a rarement un impact significatif, dans 12 à 21% et dans 9 à 13% des cas respectivement

(Figure 3). Cependant, quand celui-ci est significatif, on observe le plus souvent moins de sévérité en mélange qu'en culture pure ce qui est cohérent avec la bibliographie présentant que les mélanges d'espèces permettent dans 75% des cas de réduire les maladies (Boudreau, 2013). Or, on observe aussi que concernant les cas où une différence significative est observée, l'effet varie en fonction des années, des variétés et des maladies étudiées.

Tout d'abord, pour les maladies étudiées on peut observer des différences interannuelles dans les effets (Tableau 4). On observe pour la septoriose qu'en 2023 et 2024 l'effet du mélange, quand il était significatif, était plus important qu'en 2025. Pour la rouille brune, on observe qu'en 2024 l'effet du mélange, quand il était significatif, était plus important qu'en 2023 et 2025. Ces effets plus massifs, concordent avec les années au cours desquelles la sévérité a été la plus importante. Ainsi, il est possible que plus la sévérité observée est importante plus l'effet observé est significatif ce qui est cohérent avec les observations faites dans le cadre des associations variétales (Borg et al., 2018).

Ensuite, l'impact des associations varie en fonction des variétés mais reste rarement stable entre les années pour une même variété (Figures 4 et 5). Pour les deux maladies étudiées, on observe des variétés pour lesquelles la maladie réduit (par exemple sur la rouille brune pour la variété Gerry), pour d'autres il n'y a pas d'effet (par exemple sur la septoriose pour la variété Gwenn) et pour certaines la maladie augmente en mélange (par exemple sur septoriose pour la variété Sogood). Ainsi des différences entre variétés sont observées, ce qui est cohérent avec les observations de Kinane et Lyngkjaer (2002), montrant des différences d'effets du mélange sur l'antracnose du pois protéagineux en fonction de la variété de pois dans l'association orge pois. De plus, il est fréquent qu'un effet significatif observé pour une variété à une année ne se retrouve pas une autre année d'observation. Parmi les quatre variétés observées deux années, seul Gerry montre un effet de même type pour la rouille brune. Ces différences peuvent être liées à des différences interannuelles climatiques, de sol ou d'inoculum par exemple.

Enfin, pour une variété et une année, une réduction de la septoriose en mélange est observée ce ne sera pas forcément le cas pour la rouille brune et inversement.

Hypothèse quant aux variations observées

Ici, les causes des effets observés n'ont pas été étudiées. Comme on observe à la fois des diminutions et des augmentations (plus rares) de la sévérité de ces maladies en mélange, une hypothèse est qu'il y ait un équilibre entre des mécanismes positifs et négatifs. Parmi les mécanismes limitant la maladie en mélange, on peut citer l'effet barrière et l'effet densité qui sont connus pour être présents en mélange (Figure 6). Cependant, cela peut être compensé dans certains cas par un effet microclimat pouvant être délétère. Si l'humidité du couvert est plus importante en mélange, cela peut favoriser le développement fongique et augmenter la sévérité.

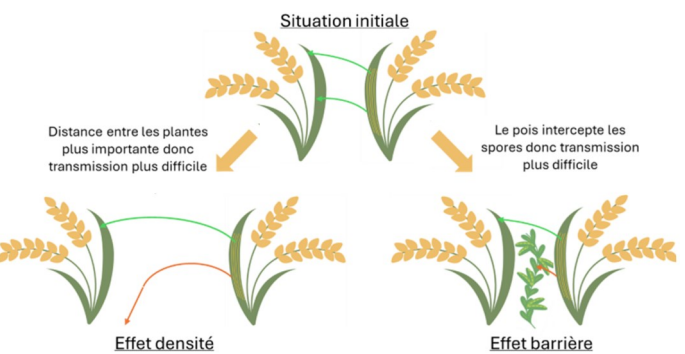


Figure 6 : Schéma expliquant les principes d'effets densité et barrière.

Tableau 4 : Tableau représentant pour chaque combinaison d'année et de maladie (Z pour septoriose et B pour rouille brune), le pourcentage de cas où une réduction ou une augmentation significative a été observée ainsi que la différence moyenne (Différence) observées parmi les cas significatifs.

Maladie	Année	% réduction	% augmentation	Différence
Z	2023	9,1	0	4,1
Z	2024	9,5	3,2	5,6
Z	2025	5	4	0,1
B	2023	5,9	5,9	-0,7
B	2024	12,7	1,6	7,7
B	2025	13,6	7	0,4

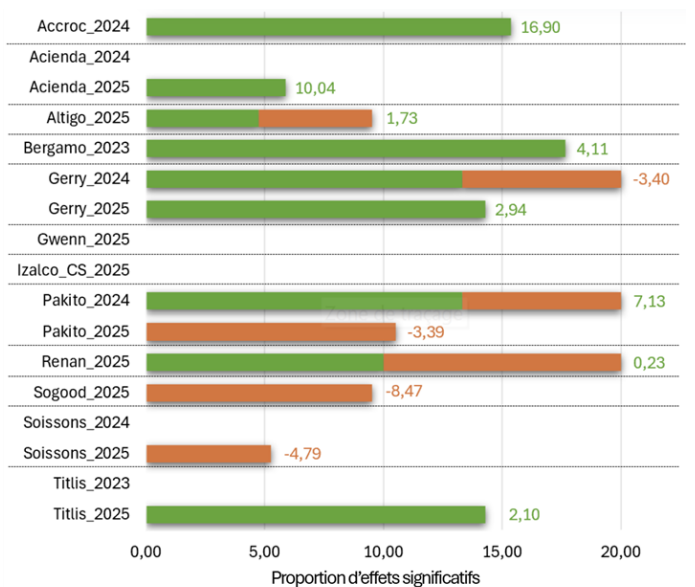


Figure 4 : Graphique en barre représentant le pourcentage de cas où une réduction (en vert) ou une augmentation (en orange) significative de la septoriose est observée en mélange pour chaque variété et année. Les valeurs indiquées correspondent à la différence moyenne parmi les cas significatifs.

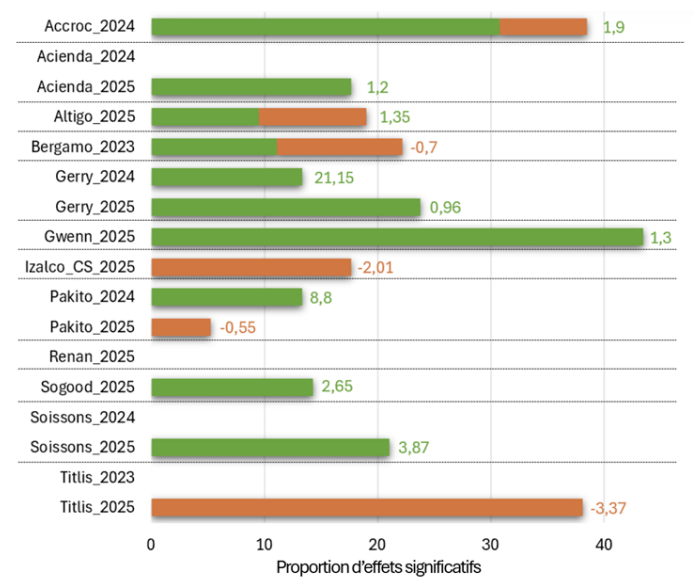


Figure 5 : Graphique en barre représentant le pourcentage de cas où une réduction (en vert) ou une augmentation (en orange) significative de la rouille brune est observée en mélange pour chaque variété et année. Les valeurs indiquées correspondent à la différence moyenne parmi les cas significatifs.

Mélanges et surface non verte

Pour avoir une vue plus générale de l'impact des maladies en association, nous avons regardé la surface non verte (Figure 7). D'un point de vue général, l'association n'a pas toujours un impact significatif mais quand celui-ci est significatif, il est très généralement positif (93% à 100% des cas significatifs), c'est-à-dire que la feuille est donc

plus verte (Tableau 5). Cette observation concorde avec les observations de Feng et al (2020) montrant une augmentation significative de la surface verte des feuilles de maïs en association avec le soja par rapport à la culture pure de maïs. Elle peut avoir plusieurs causes comme une réduction des maladies, une différence de nutrition azotée ou des modifications écophysiologiques (Gooding, 2000). Ici, du faible niveau de maladie, il est probable que le principal effet soit écophysiologique (non lié aux maladie), comme par une réduction de la concurrence par exemple (Carton et al., 2019 ; Justes et al., 2014).

De plus, des variations, bien que plus faibles, existent entre les années et les variétés (Figure 8). En effet, 2024, bien que la différence moyenne entre pur et mélange varie peu des autres années, la proportion de cas significatifs est beaucoup plus faible. L'année 2024 a aussi été celle présentant la plus grande SNV moyenne. Ainsi, il est possible l'effet observé soit d'autant plus significatif que la SNV est faible. Du point de vue des variétés, la majorité des variétés suivent la tendance globale de réduction de la SNV en association bien que certaines variétés présentes en 2025 ne présentent pas d'effet significatif en 2024 et qu'Altigo, se détache par une augmentation systématique de la SNV si le cas est significatif.

CONCLUSION/PERSPECTIVES

Pour conclure, l'association blé-pois a un effet général plutôt neutre sur les maladies étudiées, qui est probablement causé par l'implication de différents mécanismes ayant des effets opposés. Malgré cela, elle induit très fréquemment une augmentation significative et importante de la proportion de surface verte. Ainsi, comme l'impact des maladies foliaires se fait principalement par le biais d'une réduction de la surface verte, dans le cadre d'une application réelle, l'utilisation d'une association blé-pois ne semble pas présenter de risque. Cependant, il serait intéressant de confronter les résultats aux rendements qui n'étaient pas disponibles au moment du stage.

Pour confirmer cela et mieux comprendre les variations d'effets observées entre les années, les résultats obtenus dans une autre étude menée en parallèle pourraient être mobilisés. Elle a pour objectif d'étudier l'aptitude à l'association du blé. Pour cela 200 variétés de blé ont été cultivées en culture pure et en associations avec 2 variétés de pois. Sur ces parcelles (comprenant celle étudiées ici), ont été effectué une notation de maladie et SNV ainsi que des mesures de traits incluant le rendement. Ainsi, lié à l'information génétique des variétés cela pourrait permettre une meilleur compréhension des différences d'effets entre variétés et savoir si l'effet observé sur la surface non verte se retrouve sur le rendement.

Bibliographie

- Aarhus University. (n.d.). Retrieved August 18, 2025, <https://agro.au.dk/forskning/internationale-platforme/wheatrust/yellow-rust-tools-maps-and-charts/races-changes-across-years>
- ADEME, & Gressard Consultants. (2018). https://librairie.ademe.fr/ged/2769/2_potentiel_leviers_prod_agr_synthese.pdf
- Borg, J et al. (2018). Field Crops Research, 221, 298–313
- Boudreau, M. A. (2013). Annual Review of Phytopathology, 51, 499–519
- Carton, N et al. (2019), Innovations Agronomiques, 74, 129-141
- Chakraborty, S. et al. (2011). In Plant Pathology, 60(1), 2–14.
- FAO. (2024). FAOSTAT – QCL. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>
- Feng, L. et al. (2020). European Journal of Agronomy, 118, 126092
- Fernández-Aparicio, M. et al. (2010). Crop Protection, 29(7), 744–750.
- Gooding, M. J. et al. (2000). Annals of Applied Biology, 136(1), 77–84.
- Jevtić, R. et al. (2023). Plants, 12(11).
- Justes, E. et al. (2014). Innovations Agronomiques, 40, 1-24
- Réseau de réflexion et de recherches sur les résistances aux pesticides. (2021). Pest Management Science, 77(6), 2697–2709.
- Tamburini, G. et al. (2020). Science Advances, 6(45), eaba1715
- Villegas-Fernández, Á. M. et al. (2021). Agronomy, 11(4)

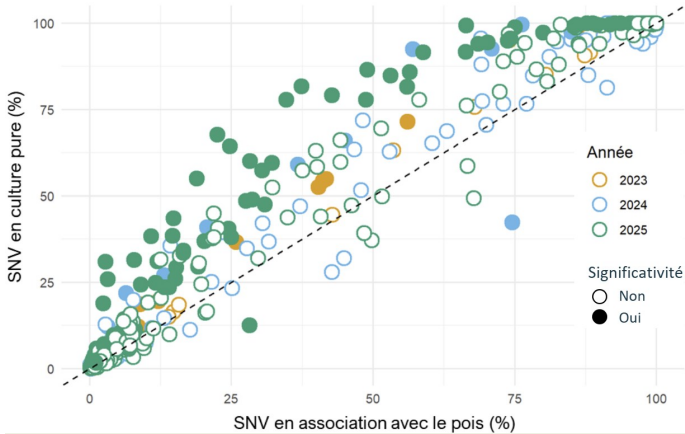


Figure 7 : Graphique représentant la SNV en culture pure en fonction de celle en association pour les années 2023, 2024 et 2025.

Tableau 5 : Tableau représentant pour chaque année le pourcentage de cas où une réduction ou une augmentation significative de SNV a été observée ainsi que la différence moyenne (Différence) observées parmi les cas significatifs.

Année	% réduction	% augmentation	Différence
2023	36.11	0.00	9.00
2024	10.83	0.83	12.16
2025	29.38	2.19	12.71

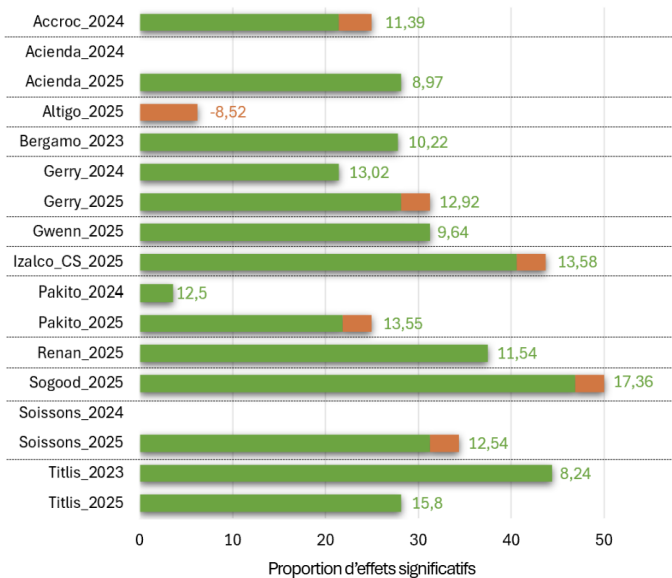


Figure 8 : Graphique en barre représentant le pourcentage de cas où une réduction (en vert) ou une augmentation (en orange) significative de la SNV est observée en mélange pour chaque variété et année. Les valeurs indiquées correspondent à la différence moyenne parmi les cas significatifs.

L'auteur



Après des études en biologie et écologie à l'Université Paris Saclay, j'ai intégré AgroParisTech afin d'approfondir mes connaissances en agroécologie. Je m'intéresse particulièrement à la gestion agroécologique de la santé des cultures, via le biocontrôle (stage réalisé en 2024), les cultures associées (stage présenté ici) ou encore les résistances variétales (CDD actuel).

Remerciements



Nous souhaitons remercier l'Unité expérimentale Versailles Saclay pour l'implantation des essais, Inas Ahmed pour l'acquisition des données en 2024 ainsi que Hirley Gasperi et Godfred Amoakoh pour leur aide dans l'acquisition des données de 2025.

Soutien financier



Nous souhaitons remercier le GIS Grandes Cultures pour le financement de ce stage ainsi que les projets Mobidiv et Cobreding ayant permis entre autre de financer l'implantation de l'essai.