



# IMPACTS DES ASSOCIATIONS INTERSPÉCIFIQUES BLÉ-POIS SUR LA PROPAGATION DES MALADIES FOLIAIRES

04/09/2025

Delrieu Marie

M2 De l'agronomie à l'agroécologie  
Tiphaine Vidal et Jérôme Enjalbert

# INTRODUCTION :

## LE BLÉ TENDRE ET SES MALADIES FOLIAIRES



Céréale la plus  
produite en France  
en 2023  
(FAO, 2024)

| Maladie                                              | Septoriose                                                                           | Rouille brune                                                                                                         | Rouille jaune                                                                        | Oïdium                                                                                                                |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Perte de rendement<br><small>(ARVALIS, 2023)</small> | Jusqu'à 40%                                                                          | Jusqu'à 50%                                                                                                           | Jusqu'à plus de 50%                                                                  | Jusqu'à 20%                                                                                                           |
| Symptômes                                            |  | <br><small>(ARVALIS, n.d)</small> |  | <br><small>(ARVALIS, n.d)</small> |

Maladies  
foliaires



Réduction  
surface verte



Perte de  
rendement

# INTRODUCTION :

## LEVIER FACE AUX MALADIES FOLIAIRES

---



**Levier chimique**

- Grande efficacité
- Impact environnemental et sanitaire  
(European Environment Agency, 2023)
- Apparition de résistance  
(Réseau de réflexion et de recherches sur les résistances aux pesticides, 2021)



**Levier variétal**

- Diversité de réponse des variétés aux maladies  
(gène de résistance, architecture...)
- Contournement des résistances  
(Aarhus University, n.d.)



**Levier diversification**

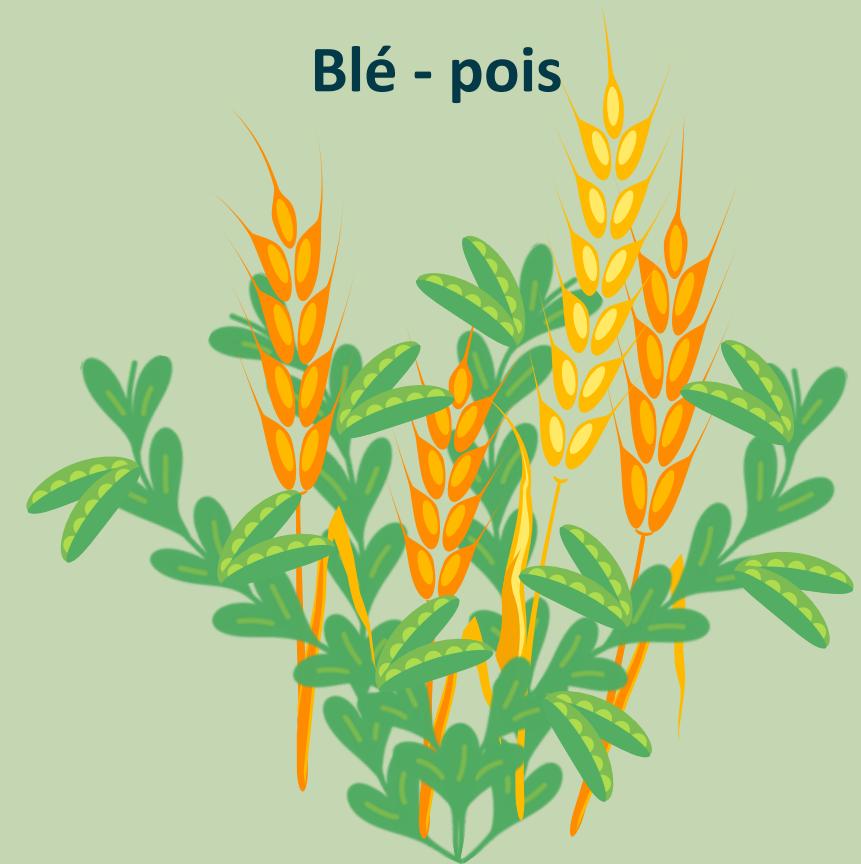
- Levier moins fréquent
- Apport de services écosystémiques  
(Tamburini et al., 2020)  
dont la réduction des maladies (-41%)  
(Bellouin et al., en 2021)



### Associations interspécifiques

Réduction de la maladie  
dans 73% des cas  
(Boudreau, 2013)

#### Blé - pois





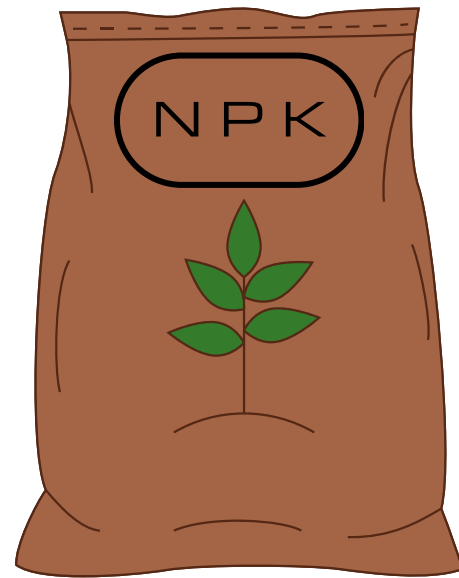
# INTRODUCTION :

## MÉLANGE BLÉ POIS : QUEL IMPACT SUR LES MALADIES

---

### Impact des associations :

(Schoeny et al., 2010)



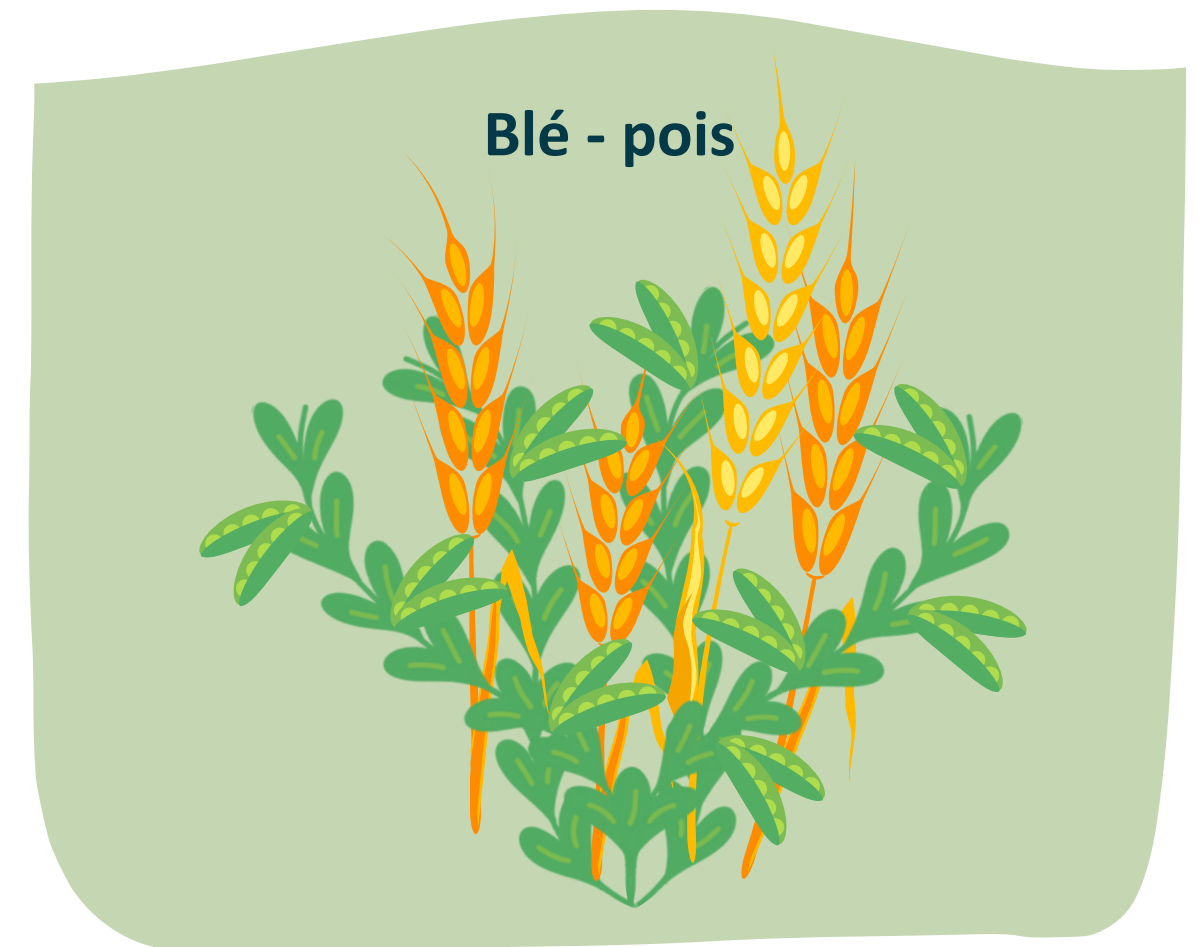
MOBiDiv

### Problématique :

Comment la propagation des maladies foliaires du blé est-elle impactée par l'association blé-pois ?

### Maladies du blé :

- Septoriose : +10% à +67% de sévérité  
(Sarunaite et al., 2009)
- Oïdium : -59% à -71% de sévérité  
(Jevtić et al., 2023)





# MATERIEL ET METHODE :

## DESCRIPTION DES SITES

---



Culture pure  
de blé

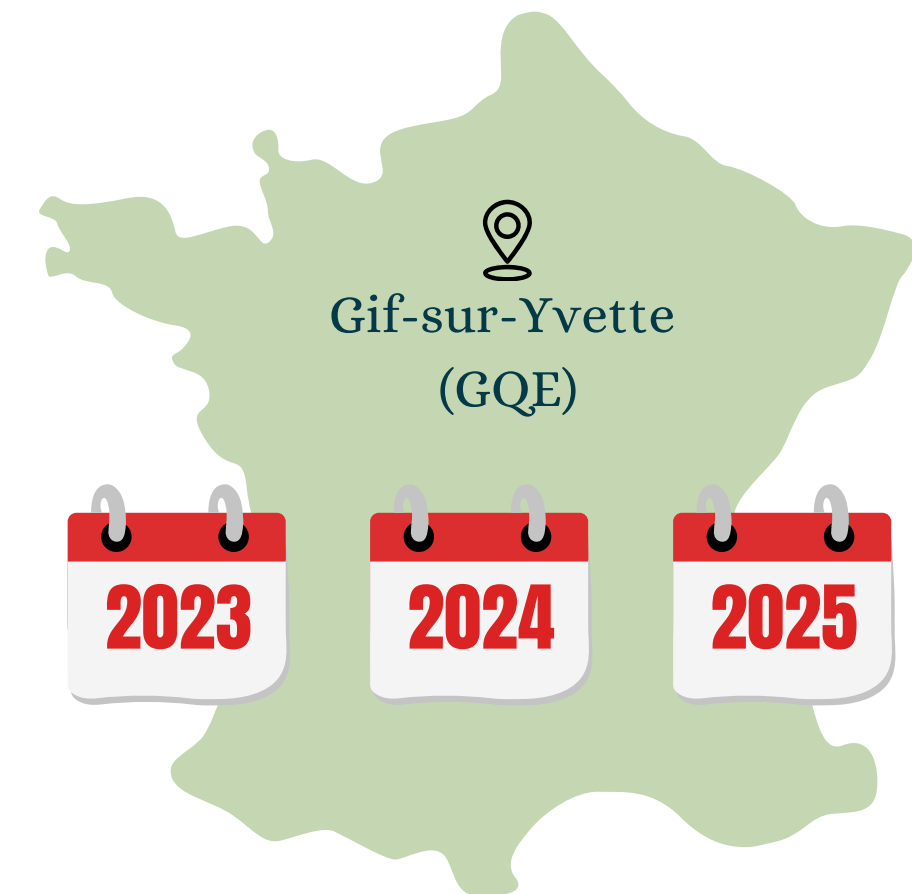
300 graines  
de blé/m<sup>2</sup>

Essais au champs

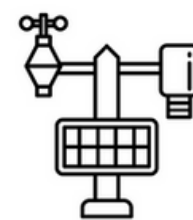


Association blé pois  
intra rang

150 graines de  
blé/m<sup>2</sup>



- Bas intrant
- Sans fongicides



- Température
- Hauteur des précipitations

Suivi épidémiologique  
avec inoculation naturelle

# MATERIEL ET METHODE :

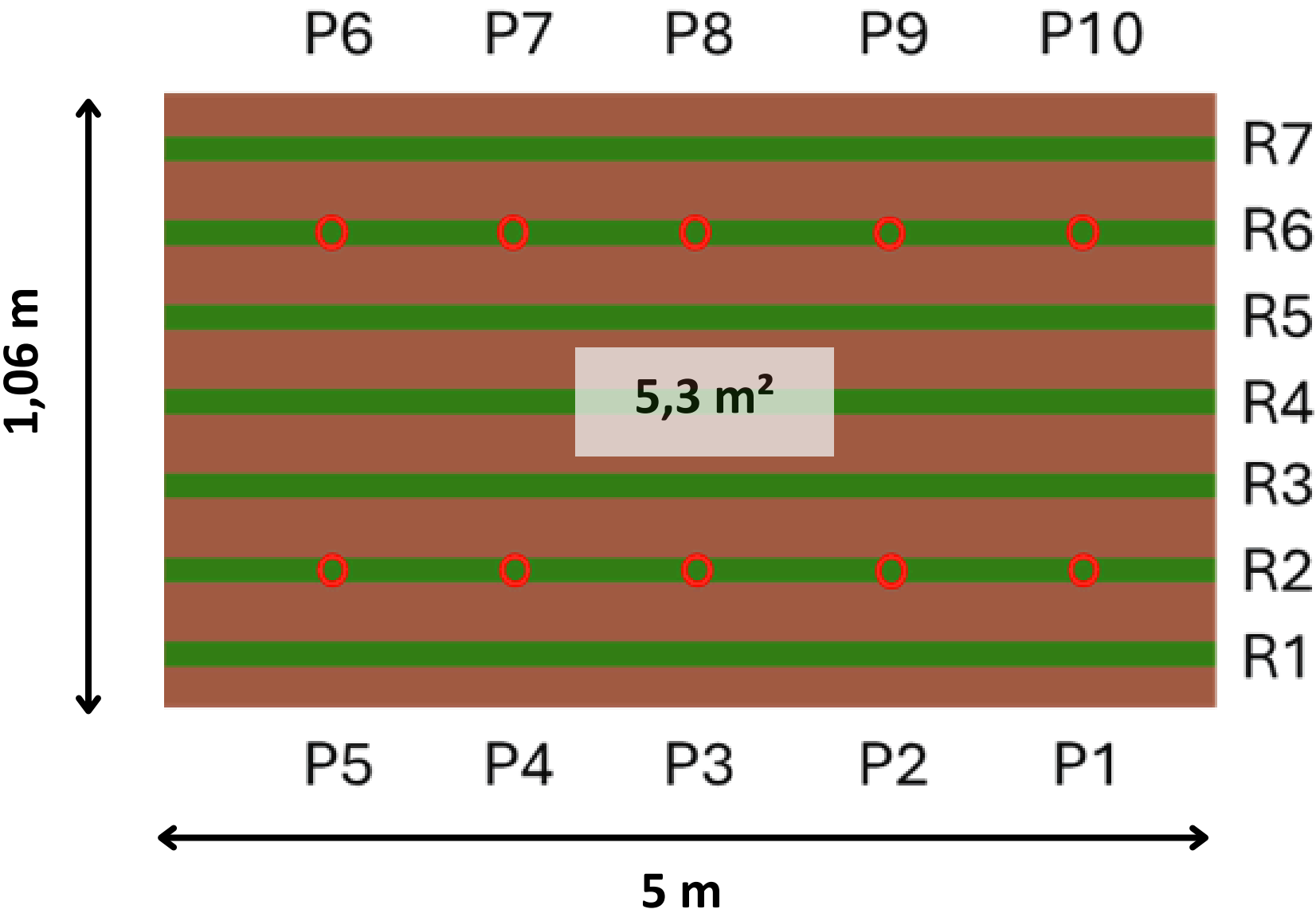
## PANEL DE VARIÉTÉ OBSERVÉ

---

| Variété   | Résistance maladies |    |    |    | Précocité |           |          | Hauteur | Présence |      |      |
|-----------|---------------------|----|----|----|-----------|-----------|----------|---------|----------|------|------|
|           | STB                 | RJ | RB | OD | groupe    | montaison | épiaison |         | 2023     | 2024 | 2025 |
| Accroc    | 5,5                 | 7  | 4  | 6  | 5         | 4         | 7,5      | 3,5     | /        | Oui  | /    |
| Acienda   | 4                   | 6  | 5  | 4  | 5         | 5         | 7,5      | 2,5     | /        | Oui  | Oui  |
| Altigo    | 5,5                 | 3  | 7  | 6  | 3         | 4         | 6,5      | 3,5     | /        | /    | Oui  |
| Bergamo   | 5                   | 6  | 5  | 4  | 1         | 2         | 5,5      | 4       | Oui      | /    | /    |
| Gerry     | 6                   | 5  | 4  | 4  | 4         | 3         | 7        | 3       | /        | Oui  | Oui  |
| Gwenn     | 8                   | 7  | 6  | 7  | 2         | 3         | 6        | 4,5     | /        | /    | Oui  |
| Izalco_CS | 7,5                 | 8  | 5  | 4  | 5         | 5         | 8        | 4,5     | /        | /    | Oui  |
| Pakito    | 4                   | 7  | 4  | 4  | 3         | 3         | 6,5      | 3       | /        | Oui  | Oui  |
| Renan     | NA                  | 5  | 6  | 6  | 2         | 1         | 6        | 4       | /        | /    | Oui  |
| Sogood    | 4                   | 9  | 7  | 6  | 1         | 3         | 5,5      | 3       | /        | /    | Oui  |
| Soissons  | 5                   | 6  | 2  | 7  | 5         | 4         | 7        | 3       | /        | /    | Oui  |
| Titlis    | 5                   | 8  | 8  | 5  | 1         | 3         | 5        | 5,5     | Oui      | /    | Oui  |

# MATERIEL ET METHODE :

## FREQUENCE ET POSITIONNEMENT DES MESURES



| Année | Période de mesure | Fréquence de mesure (jours) | Nb par modalité de parcelles |
|-------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 2023  | 24/05 au 28/06    | 14 à 21                     | 3                            |
| 2024  | 15/05 au 02/07    | 4 à 10                      | 1                            |
| 2025  | 13/05 au 01/07    | 7                           | 2                            |

**2025**      1,5 mois      10 variétés      320 parcelles évaluées      3200 plantes observés

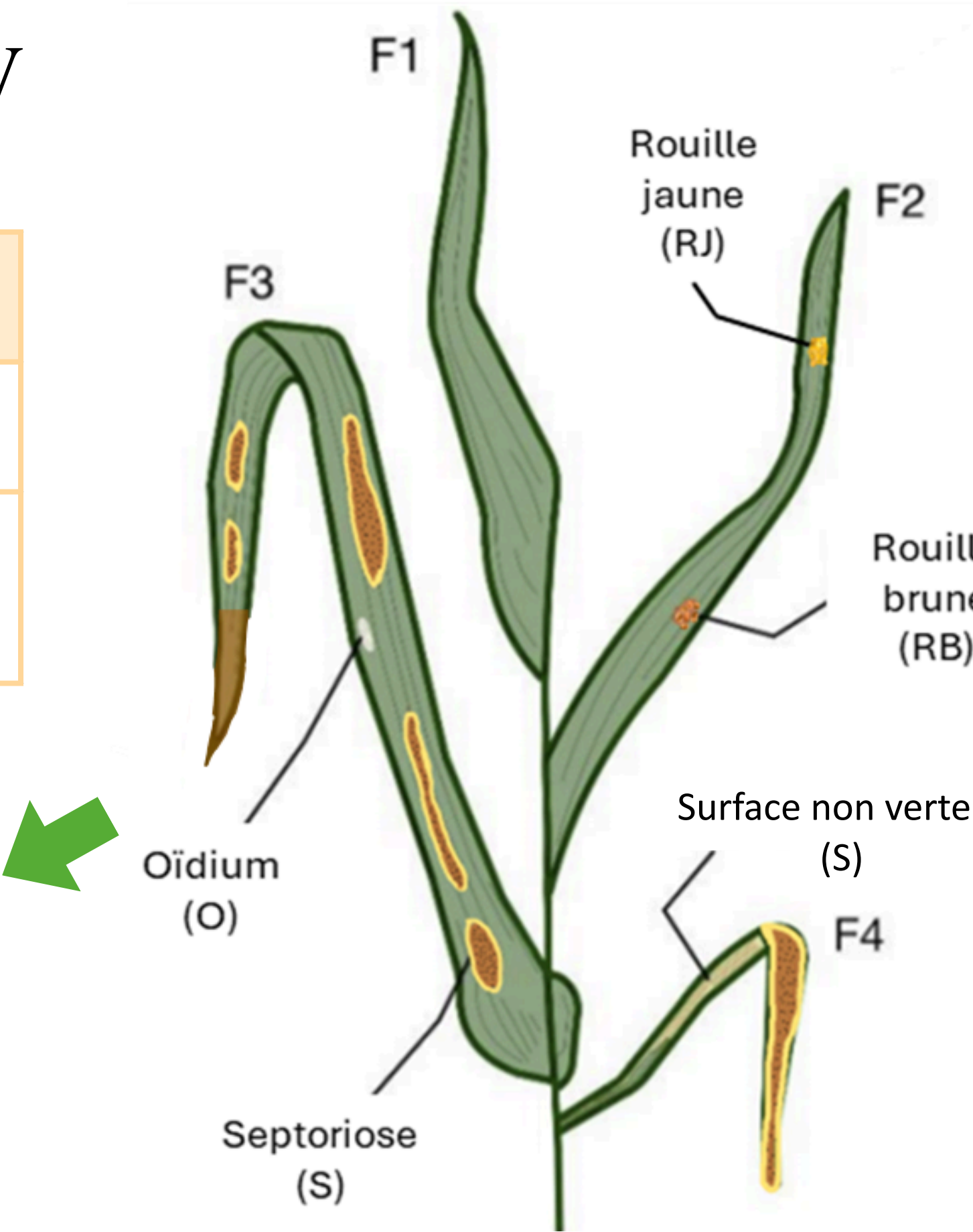


# MATERIEL ET METHODE :

## MESURE DE SÉVÉRITÉ ET DE SNV

|                      | Sévérité                  | Surface non verte   |
|----------------------|---------------------------|---------------------|
| Quoi                 | % surface sporulante      | % surface non verte |
| Sur quelles feuilles | Pas totalement sénescence |                     |

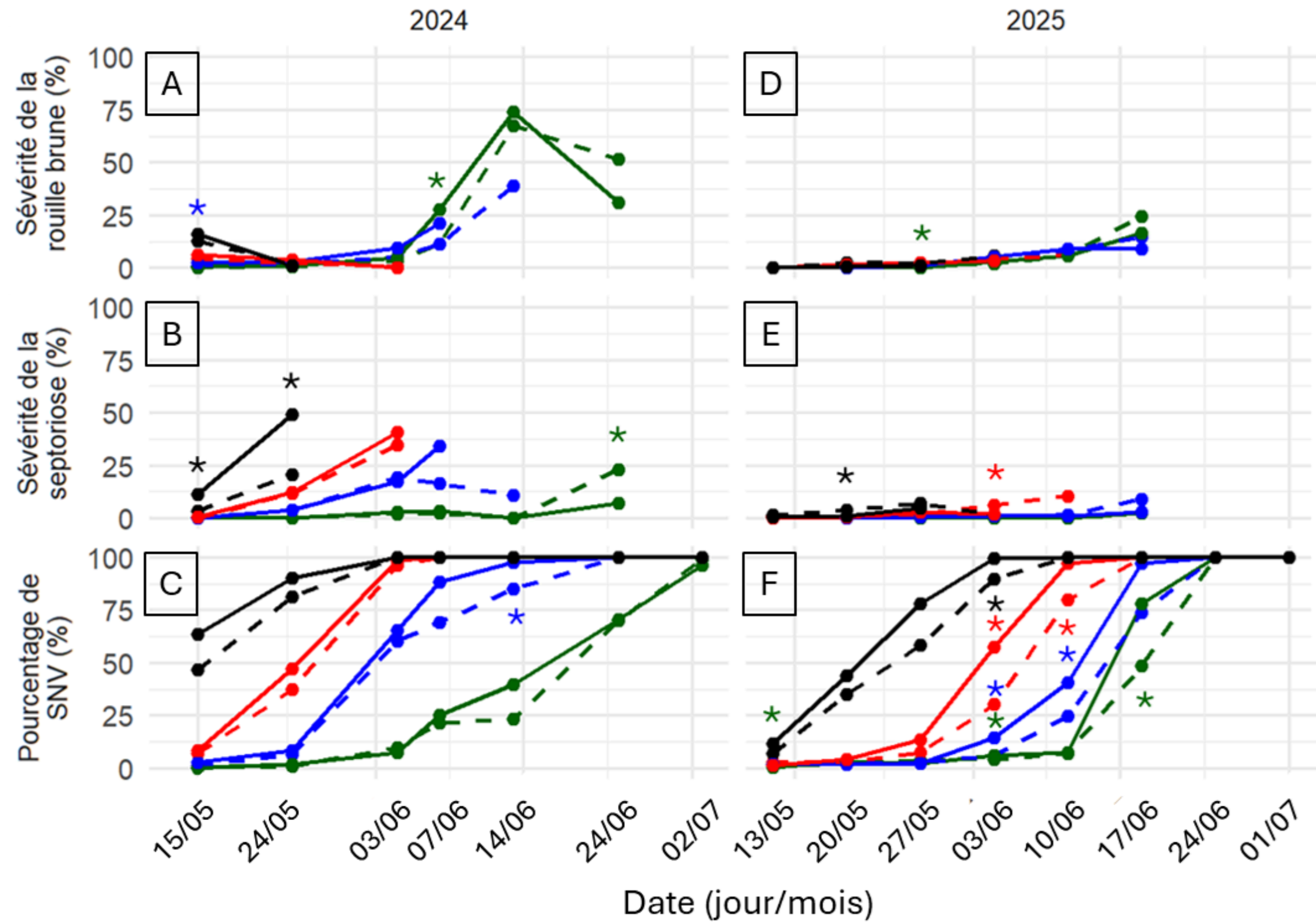
| Plante 1-R1 | Z   | RJ | RB | O  | S   |
|-------------|-----|----|----|----|-----|
| Feuille 1   | 0%  | 0% | 0% | 0% | 0%  |
| Feuille 2   | 0%  | 5% | 5% | 0% | 10% |
| Feuille 3   | 20% | 0% | 0% | 5% | 35% |
| Feuille 4   | 45% | 0% | 0% | 0% | 45% |



# MATERIEL ET METHODE : ANALYSE DE DONNÉES



(ARVALIS, n.d)



Type de culture

--- Association

— Culture pure

Etage foliaire

1

2

3

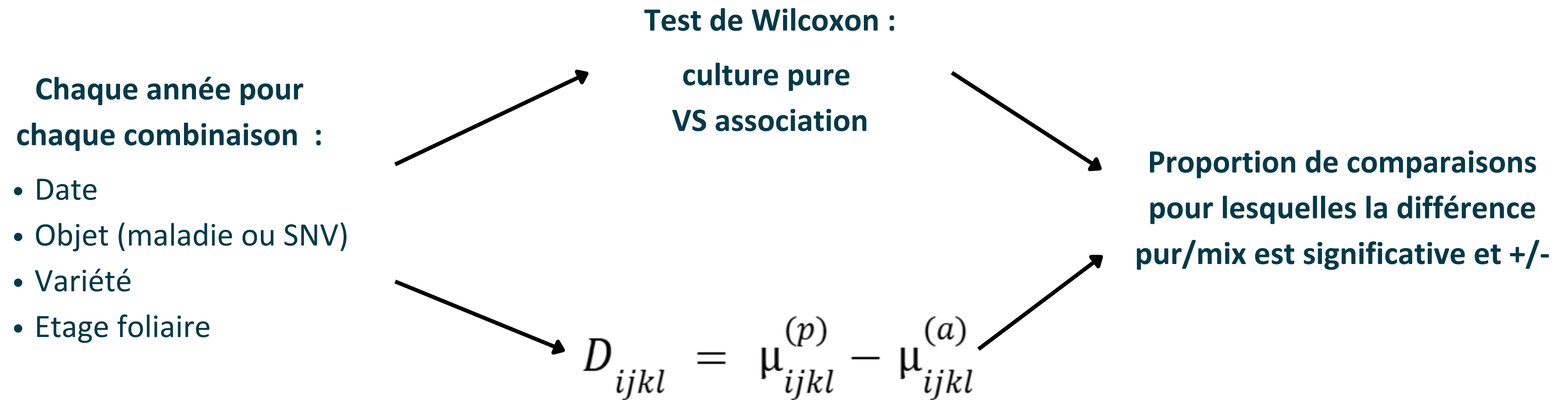
4



Comparaison  
difficiles des  
différentes  
dynamiques

# MATERIEL ET METHODE : ANALYSE DE DONNÉES

---



D : différence entre pur et mélange pour la date i, l'étage foliaire j, la variété k et l'objet l

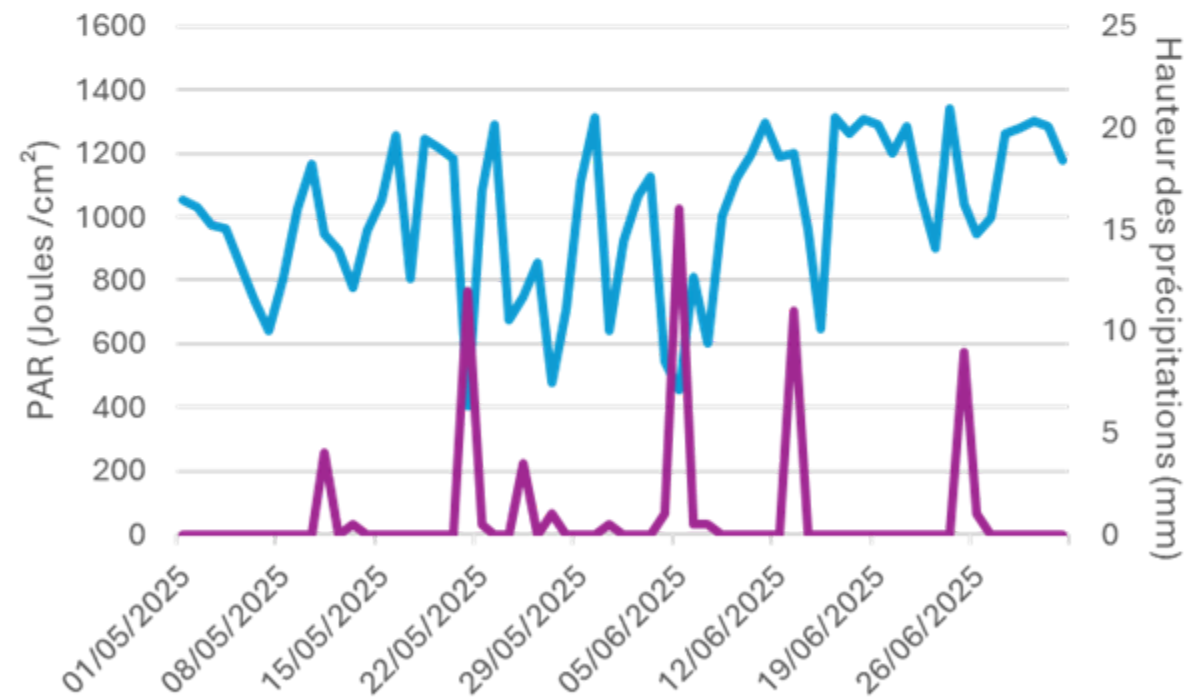
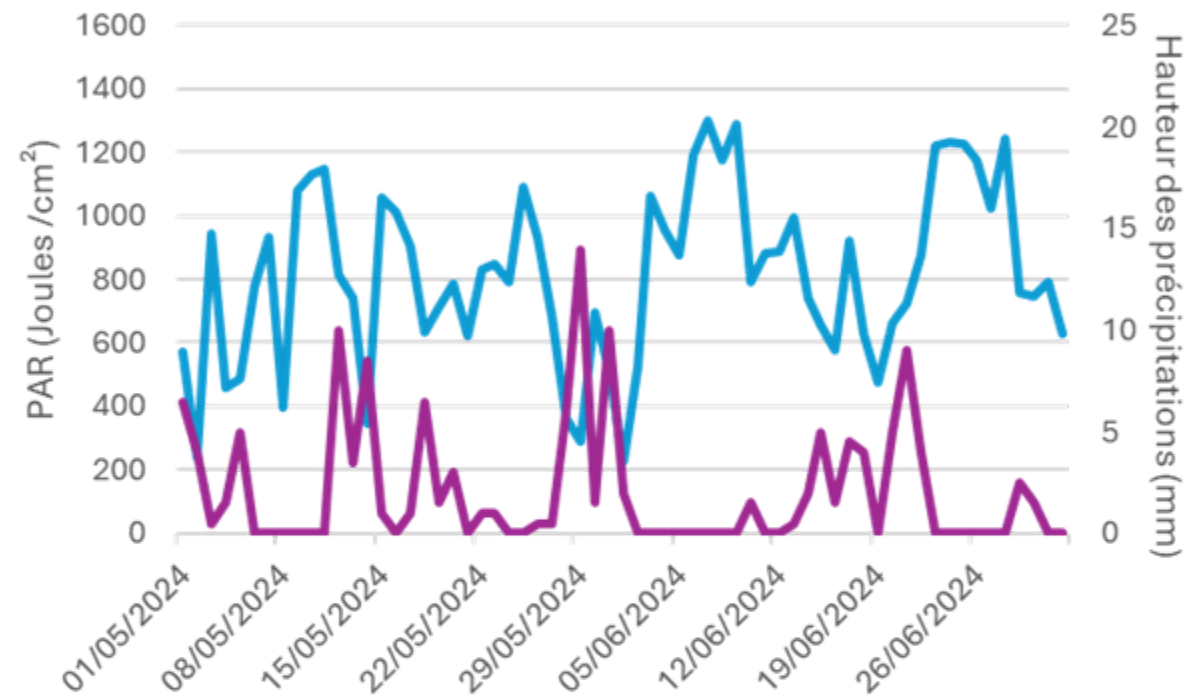
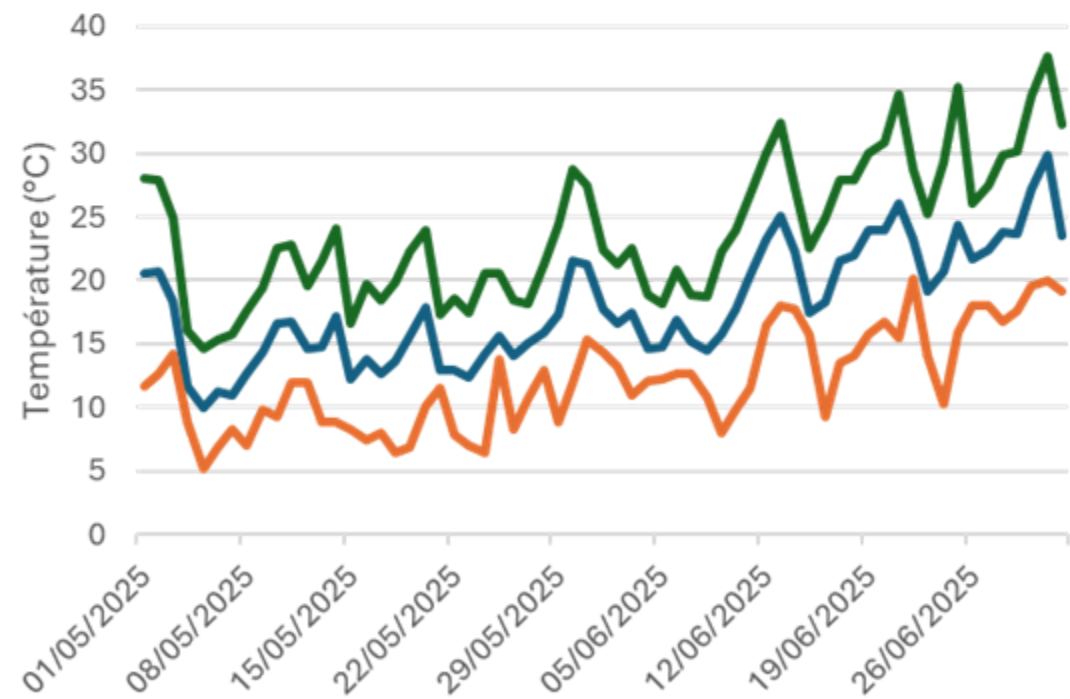
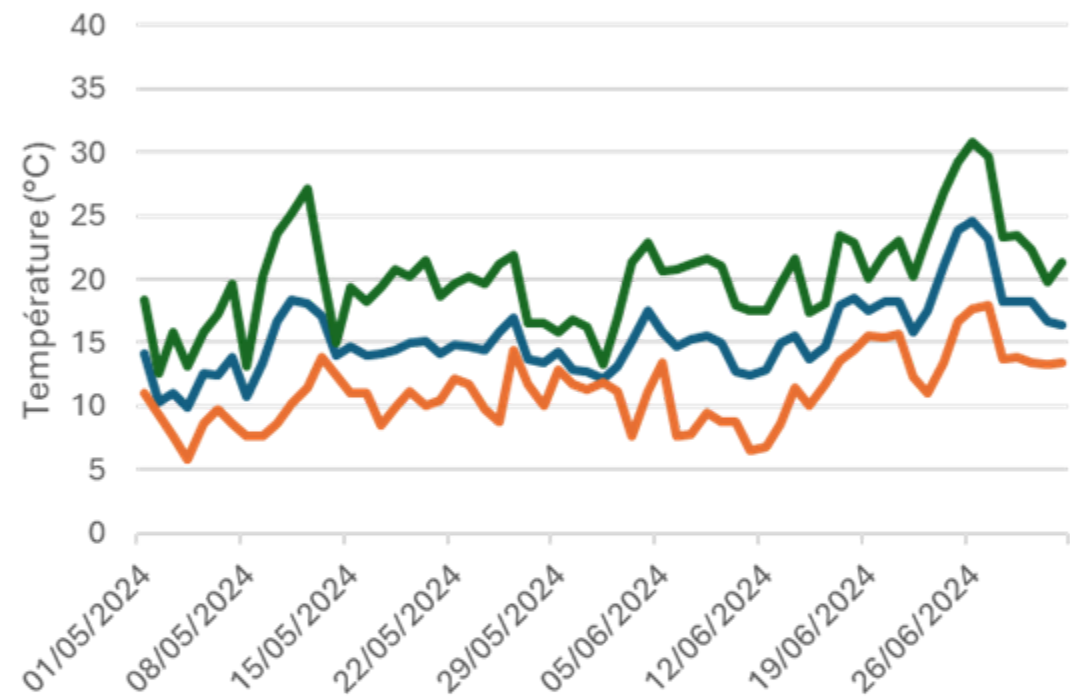
(p) : moyenne des valeurs observées en culture pure

(a) : moyenne des valeurs observées en association



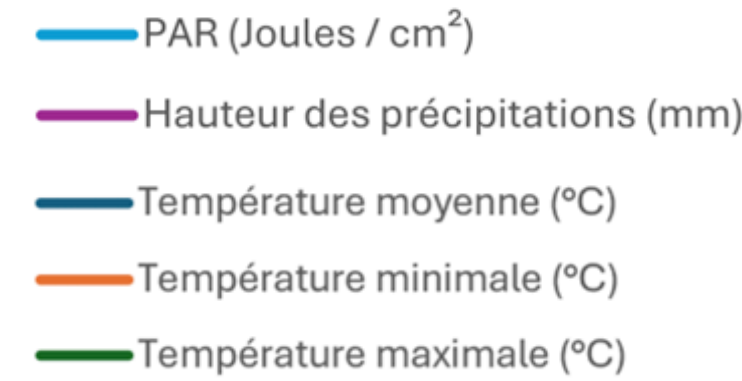
# RESULTAT ET DISCUSSION :

## CLIMAT EN FONCTION DES ANNEES



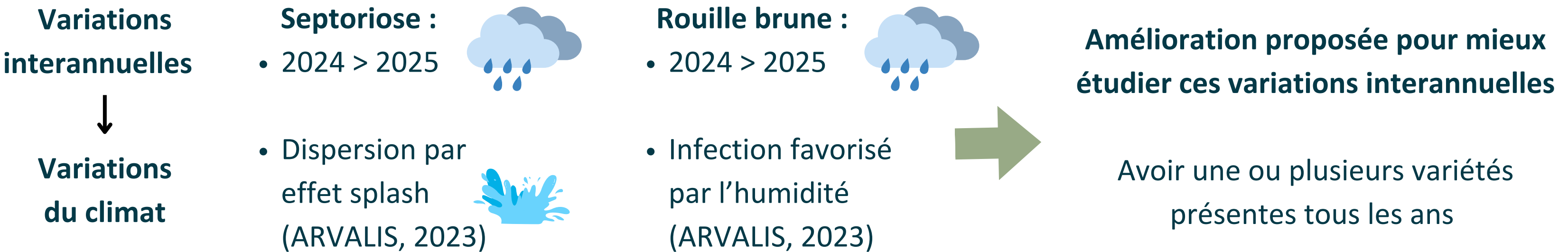
### Variation interannuelles :

- Température :  
2025 > 2024 = 2023
- Précipitation :  
2024 > 2025 = 2023





# RESULTAT ET DISCUSSION : VARIABILITÉ INTERANUELLE DE PRESSION MALADIE



| Année | Septoriose |          | Rouille brune |          | Rouille jaune |          | Oïdium    |          |
|-------|------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|-----------|----------|
|       | Incidence  | Sévérité | Incidence     | Sévérité | Incidence     | Sévérité | Incidence | Sévérité |
| 2023  | 69         | 10       | 50            | 6        | 27            | 2        | 1         | 0        |
| 2024  | 60         | 12       | 74            | 9        | 3             | 0        | 2         | 0        |
| 2025  | 23         | 2        | 50            | 3        | 8             | 0        | 0         | 0        |

Principales maladies observés :

Incidence toujours suffisante

Maladie mise hors étude :

Incidence insuffisante

# RESULTAT ET DISCUSSION :

## IMPACT GLOBAL DES ASSOCIATIONS SUR LES MALADIES

| Maladie | Année | % effet significatif + | % effet significatif - | Différence moyenne |
|---------|-------|------------------------|------------------------|--------------------|
| 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                |
| J       | 2023  | 0                      | 17,7                   | -2,9               |
| J       | 2024  | 0                      | 3,6                    | -0,7               |
| J       | 2025  | 0                      | 3,5                    | -1,3               |

**Septoriose :**

- Effet positif

**Rouille brune :**

- Effet plutôt positif

**Rouille jaune :**

- Effet toujours négatif mais faible

**Septoriose et rouille brune :**

- Cohérent avec la bibliographie : réduct° dans la majorité des cas des maladies fongiques (Boudreau, 2013)
- Effets défavorables aux maladies (barrière, densité) (Beillouin et al., 2021)
- Effets pouvant être favorable aux maladies (microclimat) (Boudreau, 2013)

Etude du lien entre association et microclimat

Opposé à la bibliographie pour blé féverole (Zhang et al., 2019)

➡ Essai inoculé face à la faible sévérité

# RESULTAT ET DISCUSSION :

## IMPACT GLOBAL DES ASSOCIATIONS SUR LES MALADIES

| Maladie | Année | % effet<br>significatif + | % effet<br>significatif - | Différence<br>moyenne |
|---------|-------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 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                   |
| J       | 2023  | 0                         | 17,7                      | -2,9                  |
| J       | 2024  | 0                         | 3,6                       | -0,7                  |
| J       | 2025  | 0                         | 3,5                       | -1,3                  |

### Variations interannuelles :

Plus la sévérité observée est importante plus l'effet observé est significatif quel que soit son sens

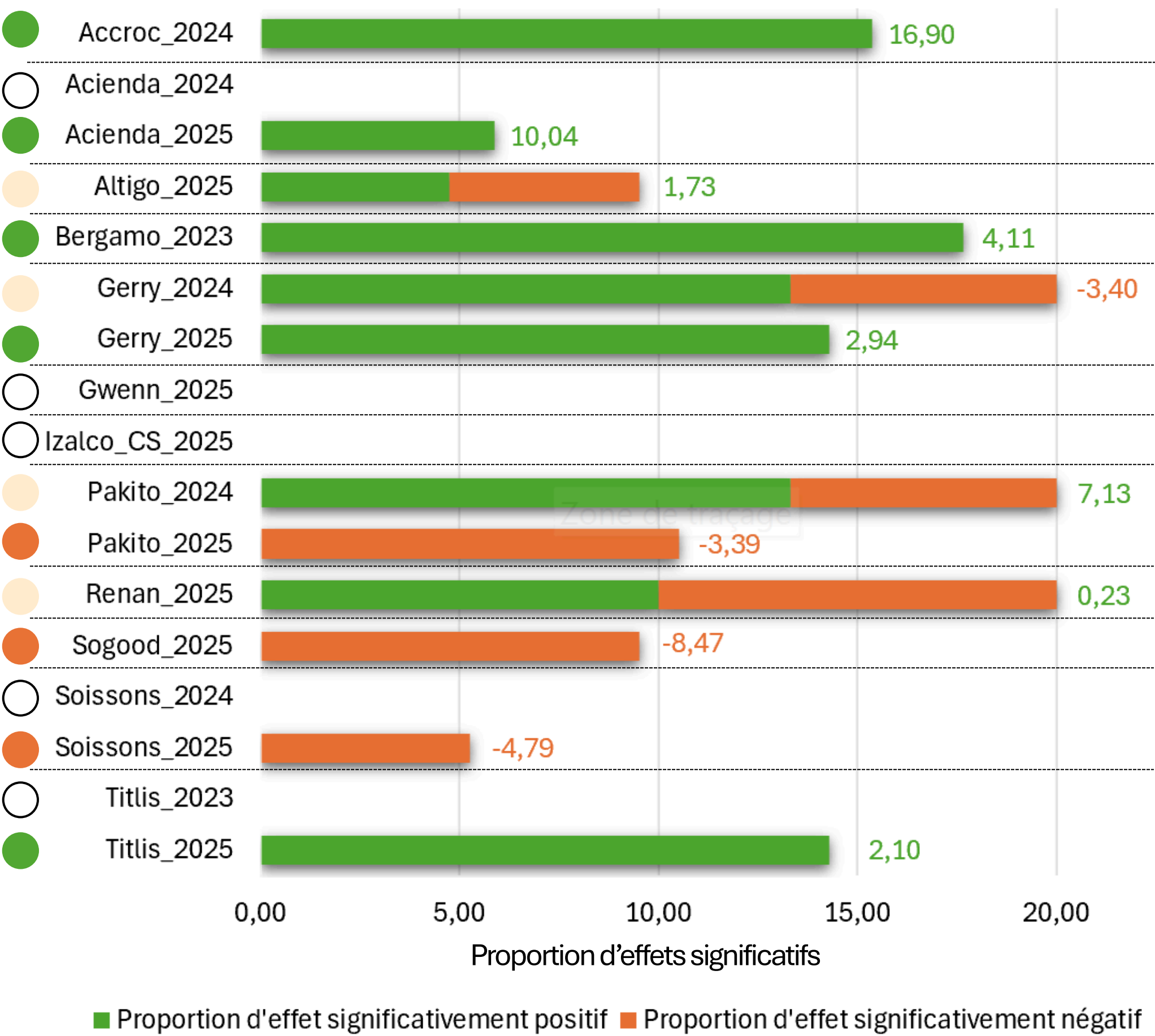
Cohérent avec les observations de Borg et al., 2018 sur les associations variétales



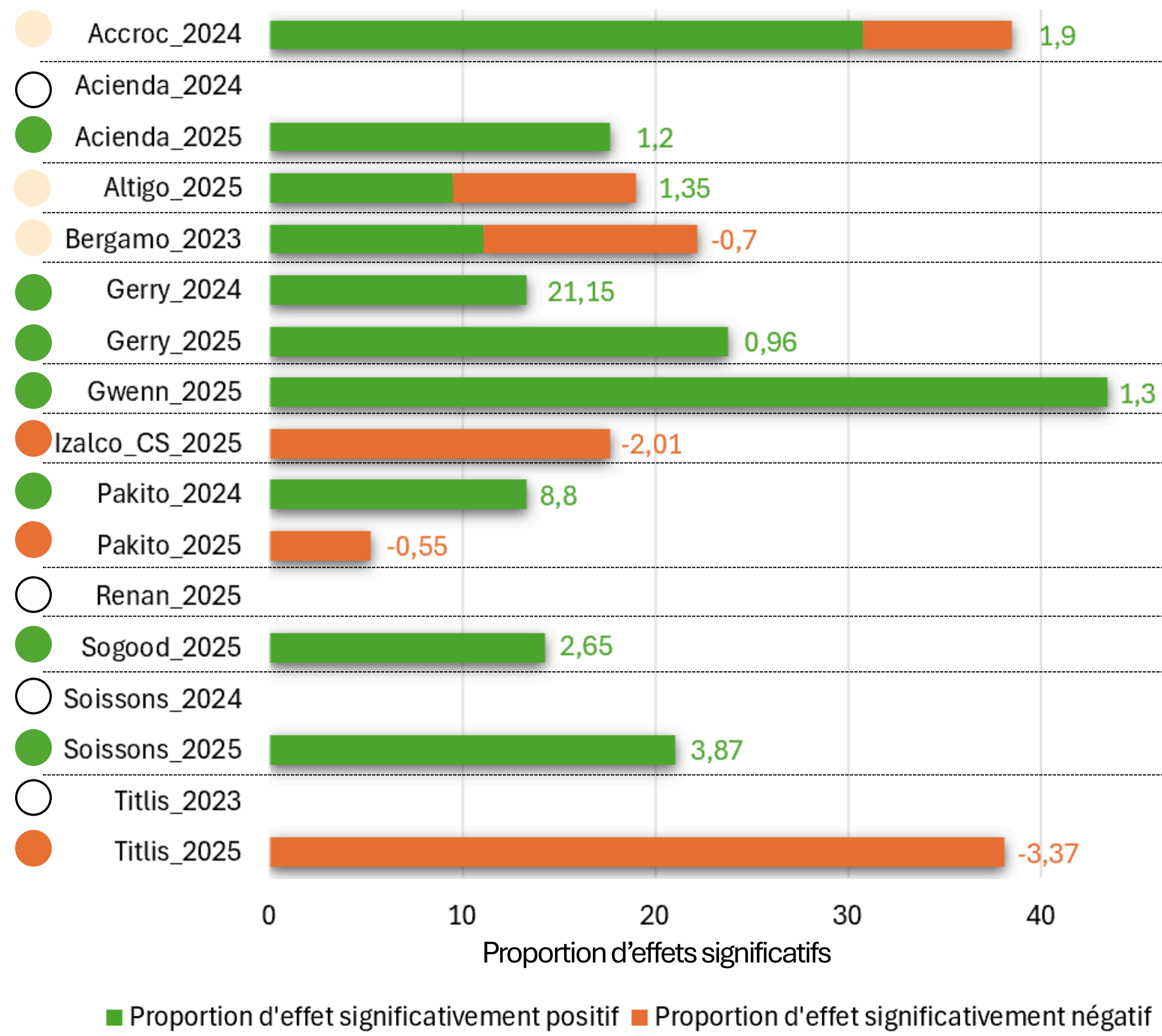
Besoin d'une gamme de niveau de maladie au sein d'une même variété de blé et année



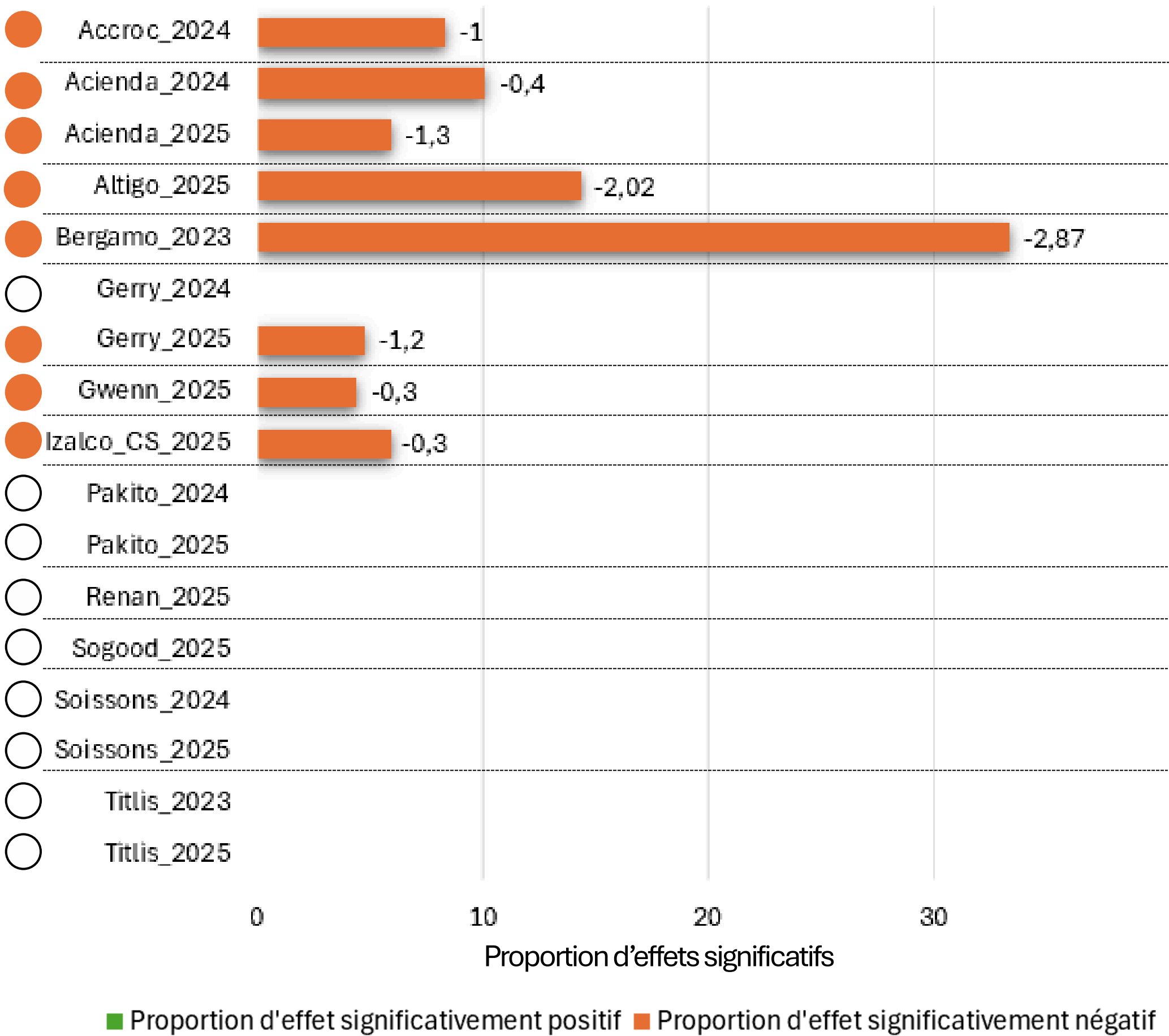
RESULTAT : IMPACT  
DES ASSOCIATIONS  
SUR LA SEPTORIOSE  
PAR VARIETE



# RESULTAT : IMPACT DES ASSOCIATIONS SUR LA ROUILLE BRUNE PAR VARIETE



RESULTAT : IMPACT  
DES ASSOCIATIONS  
SUR LA ROUILLE  
JAUNE PAR VARIETE



# DISCUSSION : IMPACT DES ASSOCIATIONS SUR LES MALADIES EN FONCTION DES VARIÉTÉS

---

## Différences d'effets entre variétés

Cohérent avec la bibliographie : même observation faite par Kinane et Lyngkjaer en 2002

Peut être lié à :

- Gènes de résistances
- Traits morphologiques impactant le microclimat

Trop peu de variétés



Effet confondu avec la variété

Obtenir des informations sur ces facteurs :

- Identificat° des gènes de résistance
- Mesure de dynamique de hauteur, couverture du sol, angle foliaire

Années 2024 et 2025

GWAS Blé-pois



- 200 variétés de blé
- 2 variétés de pois



Etudier l'aptitude à l'association par l'intermédiaire d'une GWAS (Genome-wide association study)



1 notation de maladies et SNV



Mesure de traits



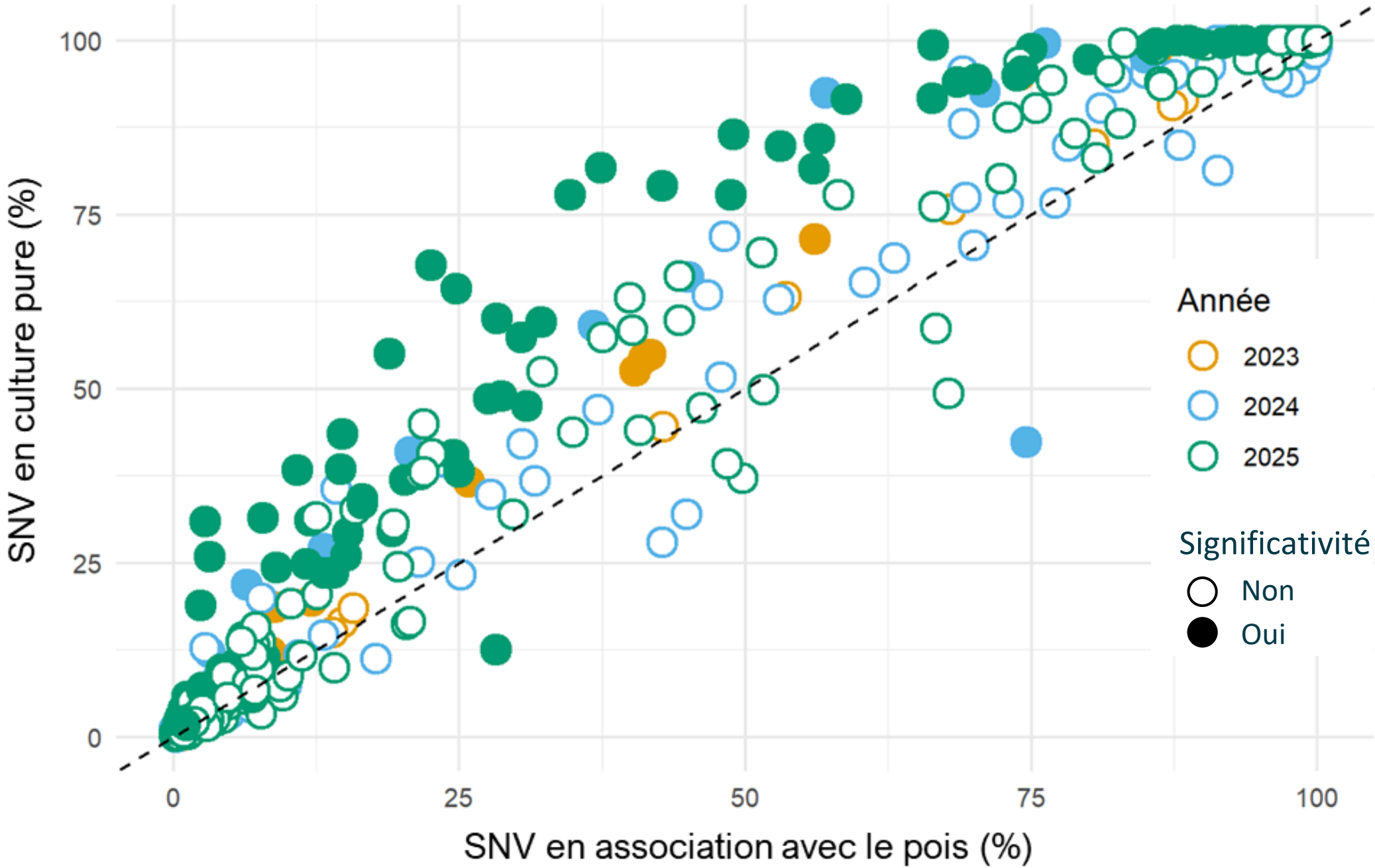
Meilleure compréhension des différences d'effets entre variétés





| Année | % effet<br>significatif + | % effet<br>significatif - | Différence<br>moyenne |
|-------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 2023  | 36.11                     | 0.00                      | 9.00                  |
| 2024  | 10.83                     | 0.83                      | 12.16                 |
| 2025  | 29.38                     | 2.19                      | 12.71                 |

# RESULTAT ET DISCUSSION : IMPACT GLOBAL DES ASSOCIATIONS SUR LA SNV

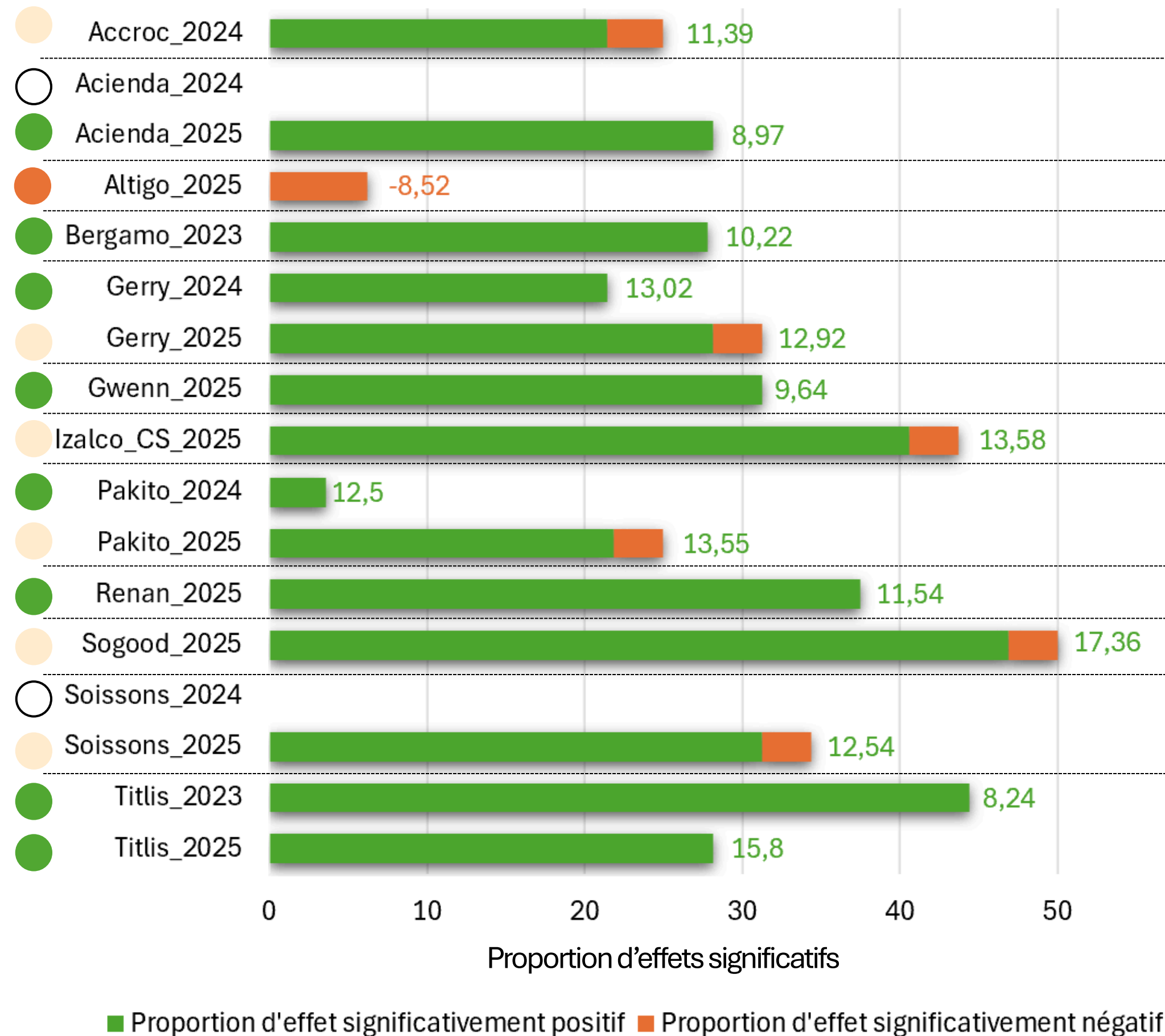


**Effet positif en accord avec la bibliographie :**  
Augmentat° de la surface verte du maïs en association avec le soja (Feng et al, 2020)

- Causes possibles :**
- Maladies : septoriose et rouille jaune réduisent de la surface verte (Gooding, 2000)
  - Nutrition ou modifications physiologiques : complémentarité de niche (Carton et al., 2019 ; Justes et al., 2014)

- Variations interannuelles :**
- Plus la SNV est importante moins l'effet observé est significatif

# RESULTAT ET DISCUSSION : IMPACT DES ASSOCIATIONS SUR LA SNV PAR VARIETE



- Effet toujours significativement +
- Effet variant
- Effet toujours significativement -
- Aucun effet observé

**Tendance ne variant pas beaucoup  
entre les variétés excepté pour Altigo**

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES :

## Effet de l'association



(ARVALIS, n.d)  
**Faible et variable**

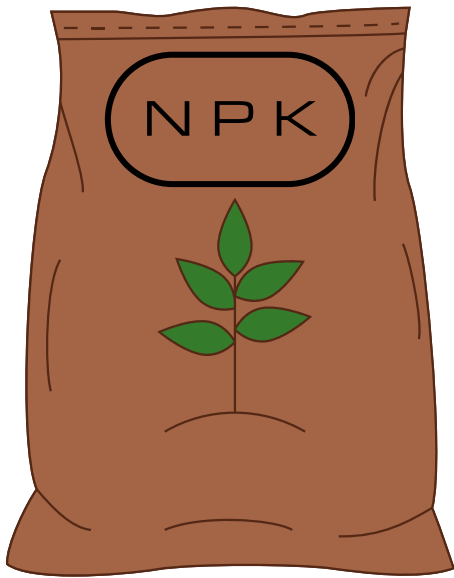


**Effet globalement positif**



## Autres apports des associations :

(Schoeny et al., 2010)



**GWAS  
Blé-pois**

Etudier l'aptitude à l'association par l'intermédiaire d'une GWAS (Genome-wide association study)



Evaluation en lien avec le rendement

Meilleure compréhension des différences d'effets entre variétés

# BIBLIOGRAPHIE :

---

- Aarhus University. (n.d.). Races – Changes across years. Retrieved August 18, 2025. <https://agro.au.dk/forskning/internationale-platforme/wheatrust/yellow-rust-tools-maps-and-charts/races-changes-across-years> consulté le 22/01/2025
- ARVALIS. (2023, June 5). Maladies des céréales à paille (360 p.). ARVALIS.
- ARVALIS. (s.d.). \*Les Fiches Accidents\*. ARVALIS-infos.fr. [https://fiches.arvalis-infos.fr/liste\\_fiches.php?fiche=acc&type=AC](https://fiches.arvalis-infos.fr/liste_fiches.php?fiche=acc&type=AC) consulté le 3 septembre 2025
- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., & Makowski, D. (2021). Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27(19), 4697–4710. <https://doi.org/10.1111/gcb.15747>
- Borg, J., Kiær, L. P., Lecarpentier, C., Goldringer, I., Gauffreteau, A., Saint-Jean, S., Barot, S., & Enjalbert, J. (2018). Unfolding the potential of wheat cultivar mixtures: A meta-analysis perspective and identification of knowledge gaps. *Field Crops Research*, 221, 298–313. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.006>
- Boudreau, M. A. (2013). Diseases in intercropping systems. *Annual Review of Phytopathology*, 51, 499–519. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102246>
- Carton, N., Viguier, L., Bedoussac, L., Journet, E., Naudin, C., Piva, G., Corre-Hellou, G., & Justes, E. (2019). Produire des légumineuses à graines au moyen de l'association avec une céréale: Cas de la lentille et du lupin blanc d'hiver. [https://agritrop.cirad.fr/592777/1/Cartron&al2019\\_Innovations\\_Agronomiques.pdf](https://agritrop.cirad.fr/592777/1/Cartron&al2019_Innovations_Agronomiques.pdf) consulté le 22/01/2025
- European Environment Agency. (2023). How pesticides impact human health and ecosystems in Europe [Briefing]. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/how-pesticides-impact-human-health> consulté le 22/01/2025
- FAO. (2024). FAOSTAT – QCL. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>
- Feng, L., Raza, M. A., Shi, J., Ansar, M., Titriku, J. K., Meraj, T. A., Shah, G. A., Ahmed, Z., Saleem, A., Liu, W., Wang, X., Yong, T., Yuan, S., Feng, Y., & Yang, W. (2020). Delayed maize leaf senescence increases the land equivalent ratio of maize soybean relay intercropping system. *European Journal of Agronomy*, 118, 126092. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126092>
- Gooding, M. J., Dimmock, J. P. R. E., France, J., & Jones, S. A. (2000). Green leaf area decline of wheat flag leaves: The influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield. *Annals of Applied Biology*, 136(1), 77–84. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2000.tb00011.x>



# BIBLIOGRAPHIE :

---

- Jevtić, R., Župunski, V., Grčak, M., Živančev, D., & Knežević, D. (2023). Cereal–Pea Intercropping Reveals Variability in the Relationships among Yield, Quality Parameters, and Obligate Pathogens Infection in Wheat, Rye, Oat, and Triticale, in a Temperate Environment. *Plants*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/plants12112067>
- Justes, E., Bedoussac, L., Hellou, G. C., Fustec, J., Hinsinger, P., Jeuffroy, M., Journet, E., Louarn, G., Naudin, C., & Pelzer, E. (2014). Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l’acquisition des ressources abiotiques. [https://www.researchgate.net/publication/269279266\\_Les\\_processus\\_de\\_complementarite\\_de\\_niche\\_et\\_de\\_facilitation\\_determinent\\_le\\_fonctionnement\\_des\\_associations\\_vegetales\\_et\\_leur\\_efficacite\\_pour\\_l\\_acquisition\\_des\\_ressources\\_abiotiques](https://www.researchgate.net/publication/269279266_Les_processus_de_complementarite_de_niche_et_de_facilitation_determinent_le_fonctionnement_des_associations_vegetales_et_leur_efficacite_pour_l_acquisition_des_ressources_abiotiques) consulté le 22/01/2025
- Kinane, J., & Lyngkjaer, M. F. (2002). Effect of barley-legume intercrop on disease frequency in an organic farming system. *Plant Protection Science*, 38(SI 1-6th Conf EFPP), 227–231. <https://doi.org/10.17221/10360-pps>
- Réseau de réflexion et de recherches sur les résistances aux pesticides. (2021). Monitoring systems for resistance to plant protection products across the world: Between redundancy and complementarity. *Pest Management Science*, 77(6), 2697–2709. <https://doi.org/10.1002/ps.6275>
- Sarunaite, L., Deveikyte, I., Semaskiene, R., & Kadžiulienė, Ž. (2009). The influence of grain legumes on spring wheat yield formation and phytosanitary state. *Agronomy Research*, 7(Special Issue I), 465–470. <https://www.researchgate.net/publication/284223489>
- Schoeny, A., Jumel, S., Rouault, F., Lemarchand, E., & Tivoli, B. (2010). Effect and underlying mechanisms of pea-cereal intercropping on the epidemic development of ascochyta blight. *European Journal of Plant Pathology*, 126(3), 317–331. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9548-6>
- Shtienberg, D. (1991). Effect of foliar diseases of wheat on the physiological processes affecting yield under semi-arid conditions. *Plant Pathology*, 40(4), 533–541. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1991.tb02416.x>
- Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T. C., Kremen, C., Van Der Heijden, M. G. A., Liebman, M., & Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*, 6(45), eaba1715. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>
- Zhang, C., Dong, Y., Tang, L., Zheng, Y., Makowski, D., Yu, Y., Zhang, F., & van der Werf, W. (2019). Intercropping cereals with faba bean reduces plant disease incidence regardless of fertilizer input; a meta-analysis. *European Journal of Plant Pathology*, 154(4), 931–942. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01711-4>