

Des différences de sensibilité de variétés de blé et d'orge à la maladie des pieds chétifs

Robin COMTE¹, Thomas ARMAND², Marlène SOUQUET², Elodie PICHON², Patrice SENELLART^{3*}, Romain VALADE⁴, Cindy VITRY⁴, Emmanuel JACQUOT²

1 – ARVALIS Institut du végétal, 21 Chemin de Pau, 64121 Montardon, FRANCE

2 – PHIM, INRAE, CIRAD, Institut Agro, Univ. Montpellier, Cirad TA A-120/K, Campus international de Baillarguet, 34398, Montpellier, FRANCE

3 – Cetac, Centre Technique pour l'Amélioration des Céréales, 7 rue Coq-Héron, 75030 Paris Cédex 01

4 – ARVALIS Institut du Végétal, 91720 Boigneville, FRANCE

*Coordinateur du projet : Patrice.Senellart@kws.com

INTRODUCTION

Les céréales sont exposées à de nombreuses maladies virales, dont la maladie des pieds chétifs (MPC), causée par le Wheat Dwarf Virus (WDV) et transmis par la cicadelle *Psammotettix alienus*, figure parmi les plus dommageables. Présente dans la majorité des régions céréalières du monde, cette maladie peut entraîner des pertes de rendement pouvant atteindre 90 % en cas de forte pression (Lindblad et Waern, 2002). La lutte contre la MPC repose principalement sur des pratiques agronomiques (gestion des repousses, semis tardifs) et sur l'usage d'insecticides visant à limiter les populations de cicadelles vectrices. Toutefois, l'efficacité de ces stratégies reste partielle et parfois insuffisante.

Le recours à des variétés résistantes et/ou tolérantes constitue une alternative durable face au WDV, mais la majorité des variétés de blé et d'orge restent sensibles. Historiquement, seuls quelques cultivars de blé ont montré une réduction de l'infection ou des symptômes, sans réelle limitation des pertes de rendement. Récemment, des accessions de *Triticum* spp., dont le blé d'hiver Fisht, ont permis d'identifier des QTL de résistance et de tolérance associés à une faible perte de rendement et à une réduction du titre viral (Pfrieme et al., 2022 ; Buerstmayr et Buerstmayr, 2023). En orge, les connaissances sont limitées et seule la variété Post est décrite comme tolérante au WDV (Habekuß et al., 2009). Bien que prometteuses, ces ressources génétiques sont peu adaptées ou peu disponibles pour les céréaliers français, justifiant la recherche de nouveaux déterminants génétiques au sein de larges panels de variétés.

Le projet de recherche FSOV WDV avait donc pour ambition de caractériser, par différentes approches complémentaires de terrain et de laboratoire, du matériel en possession de plusieurs des principaux obtenteurs français de blé et d'orge de manière à identifier les ressources à privilégier dans les programmes de création variétale centrés sur la lutte contre le virus des pieds chétifs.

MÉTHODOLOGIE

Essais au champ en micro-parcelles

- ▶ 22 essais de variétés de blé tendre d'hiver et d'orge d'hiver

Essais au champ en cages insect-proof

- ▶ 9 essais de variétés d'orge d'hiver
- ▶ 12 essais de variétés de blé tendre d'hiver

Nombre de variétés en essais micro-parcelles

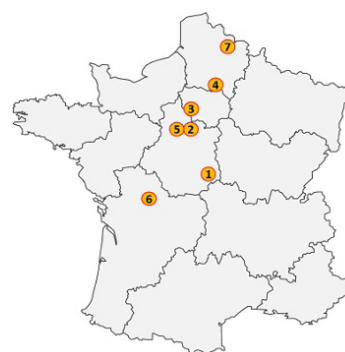
	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2023/2024
Orge d'hiver	≈ 76	≈ 60	≈ 50	≈ 14
Blé tendre d'hiver	≈ 350	≈ 180	≈ 70	≈ 24

Essais au champ en micro-parcelles

Les essais ont été mis en place sur plusieurs sites expérimentaux (Fig. 1), incluant des micro-parcelles (2 m²) implantées sur des sites d'obteneurs et des parcelles plus grandes (20 m²) sur le site Arvalis du Subdray (Fig. 2).

Essais au champ en cages insect-proof

Les essais en cages insect-proof (de taille réduite, soit environ 3 × 3 m) ont été menés sur certains de ces sites. Ces essais ont bénéficié d'apports de cicadelles virulifères issues d'élevages.



N°	Département	Nom du site	Partenaire
1	18	Le Subdray	Arvalis
2	28	Réclainville	Lidea
3	78	Maule	Secobra
4	60	Aiguisy	Asur Plantbreeding
5	28	Allones	KWS Momont
6	86	Brux	DSV
7	59	Auchy-lez-Orchies	Lemaire Deffontaines

Figure 1 : Carte de France et tableau présentant les sites ayant accueillis des essais au champ.



Figure 2 : Photos de dispositifs d'essais au champ : en micro-parcelles de 2m² (gauche) et en petites parcelles de 20m² (droite).



Figure 3 : Photos représentant un dispositif d'essai en cage insect-proof vu de l'extérieur (gauche) et vu de l'intérieur (droite).

Suivi des insectes vecteurs de virus

Afin d'évaluer la pression exercée par la cicadelle *P. alienus* et par les pucerons ailés sur les essais conduits au champ, des pièges englués (dimensions 25 x 40 cm) et des cuvettes jaunes ont été installés à l'automne sur les parcelles expérimentales. Ces dispositifs ont permis de capturer les insectes depuis la levée des cultures jusqu'aux premières gelées. Les pièges ont fait l'objet de relevés bi-hebdomadaires, comprenant l'identification et le dénombrement des cicadelles, ainsi que le dénombrement des pucerons ailés. Le statut sanitaire d'une partie des individus capturés a été déterminé par des diagnostics moléculaires (qPCR).

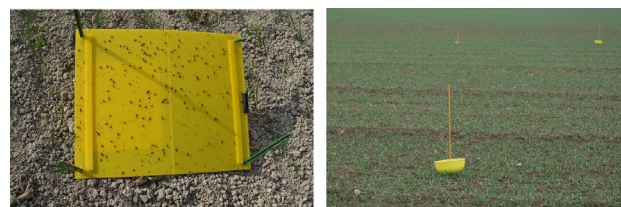


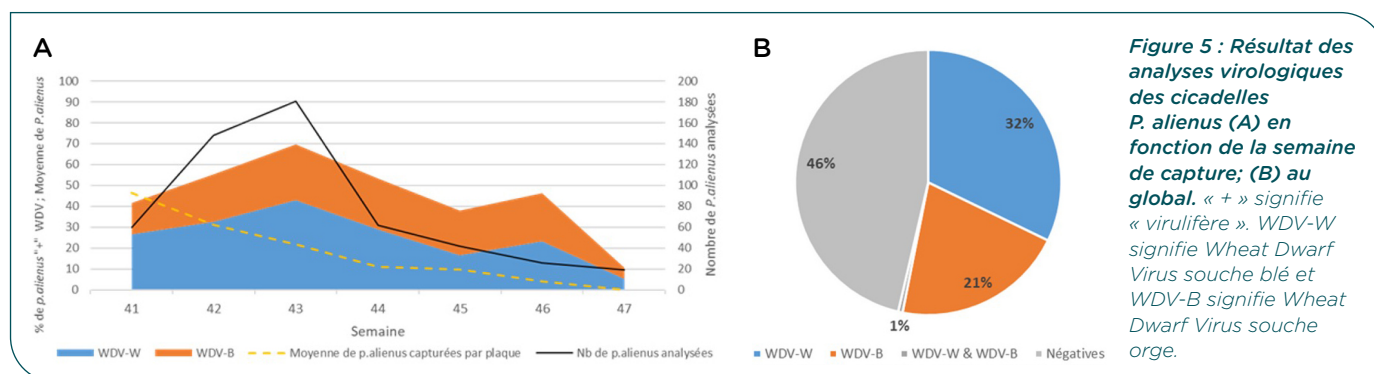
Figure 4 : Photos représentant un dispositif d'essai en cage insect-proof vu de l'extérieur (gauche) et vu de l'intérieur (droite).

RÉSULTATS

Suivi des cicadelles *P. alienus*

Entre 2020 et 2023, 2 906 cicadelles de l'espèce *P. alienus* ont été capturées sur les différents sites d'essais. Les captures ont révélé une variabilité interannuelle marquée, avec une présence élevée des cicadelles dès la semaine 41 et diminuant progressivement jusqu'à la fin de la saison (Fig. 5A).

Les analyses moléculaires réalisées sur un sous-échantillon de 2 077 cicadelles ont révélé que plus de 50 % d'entre elles étaient porteuses du WDV (Fig. 5B). Parmi celles-ci, environ 30 % étaient virulifères vis-à-vis de l'isolat spécifique au blé (WDV-W), tandis qu'environ 20 % l'étaient vis-à-vis de l'isolat spécifique à l'orge (WDV-B). La proportion de cicadelles virulifères a présenté une variation temporelle importante, atteignant jusqu'à 70 % en semaine 43, avant de chuter à 10 % en semaine 47 (Fig. 5A).



Réponse des génotypes de blé tendre d'hiver au WDV

Les essais au champ ont permis d'identifier des génotypes de blé présentant des niveaux de sensibilité variés face au WDV. Les variétés Fisht, MV Vekni, Agrounia, MV Martina et Mirleben ont montré une moindre sensibilité au WDV sur la base des symptômes par rapport au témoin sensible Rubisko (Fig. 6). À l'inverse, les variétés Nemo, Chevignon et RGT Tweeteo ont présenté des symptômes plus marqués, indiquant une sensibilité importante au virus WDV.

En cages insect-proof, en raison des sélections successives de génotypes au fil des années, peu de variétés sont communes aux essais 2022, 2023 et 2024. Cependant, ces essais ont permis de confirmer le comportement peu sensible des variétés Fisht et MV Vekni sur la base des symptômes, comparativement au témoin sensible Rubisko et au témoin tolérant à la JNO, RGT Tweeteo (Fig. 7).

Essais en micro-parcelles

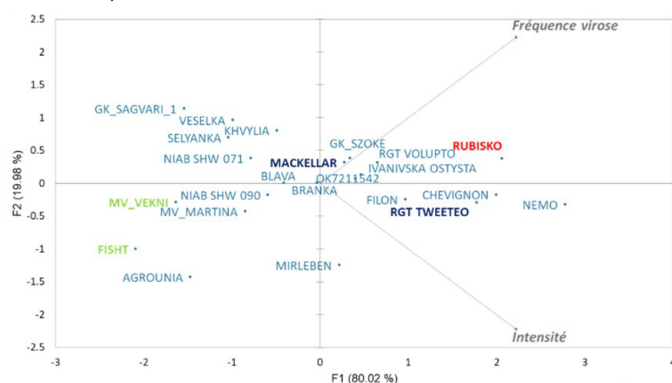


Figure 6 : Biplot des notes de fréquence de plantes symptomatiques et d'intensité des symptômes pour 23 variétés de blé sur la base des deux premières dimensions. Compilation de sept essais, sur cinq sites et sur trois années. Les deux axes représentent les dimensions 1 et 2 d'une analyse en composantes principales (ACP) qui expliquent respectivement 80.02 % et 19.98 % de la variance de l'ensemble des données. Les axes gris représentent les paramètres Fréquence virose et Intensité de la maladie. En rouge, apparaît la variété témoin sensible Rubisko, en vert les variétés « références » peu sensibles (Fisht et Mv Vekni), en bleu foncé apparaissent les variétés tolérantes à la JNO (Mackellar et RGT Tweeteo), et en bleu clair les autres variétés de l'étude.

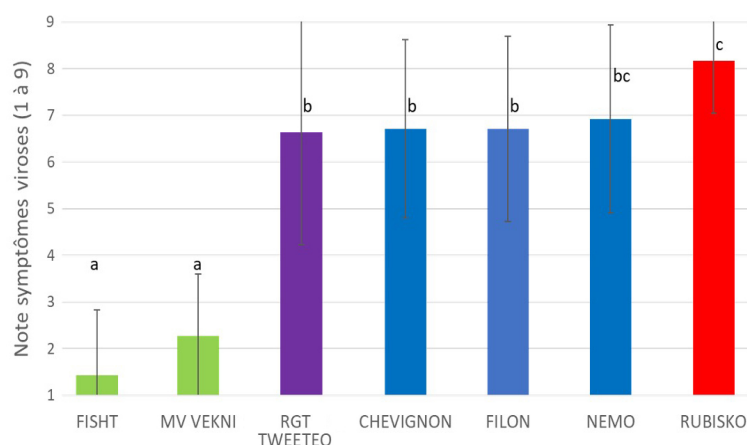


Figure 7 : Histogramme représentant la note de symptômes virozes (pieds chétifs) en fonction du génotype cultivé dans des dispositifs en cages insect-proof. Compilation de 12 essais menés en cages insect-proof (4 sites, 2 années). La note symptômes virozes est une échelle de 1 à 9 : 1 signifiant l'absence de symptômes et 9 la disparition des plantes. En rouge, apparaît la variété témoin sensible Rubisko, en vert les variétés « références » peu sensibles (Fisht et MV Vekni), en violet apparaît la variété tolérante à la JNO (RGT Tweeteo), et en bleu les autres variétés de l'étude. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard. Les lettres identiques (a, b, c) indiquent que les groupes correspondants ne diffèrent pas significativement entre eux, tandis que des lettres différentes montrent des différences significatives ($p < 0,05$; ANOVA avec test post-hoc de Duncan).

Réponse des génotypes d'orge d'hiver au WDV

Concernant l'orge d'hiver, au champ, le génotype Post s'est distingué par une faible symptomatologie, suivi par 11 autres variétés, qui ont montré une symptomatologie significativement plus faible que le témoin Etincel. En revanche, les 38 autres variétés étudiées ont présenté une sensibilité statistiquement comparable à celle du témoin (Fig. 8). En cages insect-proof, les contaminations importantes dues à l'introduction de pucerons vecteurs de la JNO dans le dispositif n'ont pas permis de classer les variétés selon leur niveau de sensibilité au WDV.

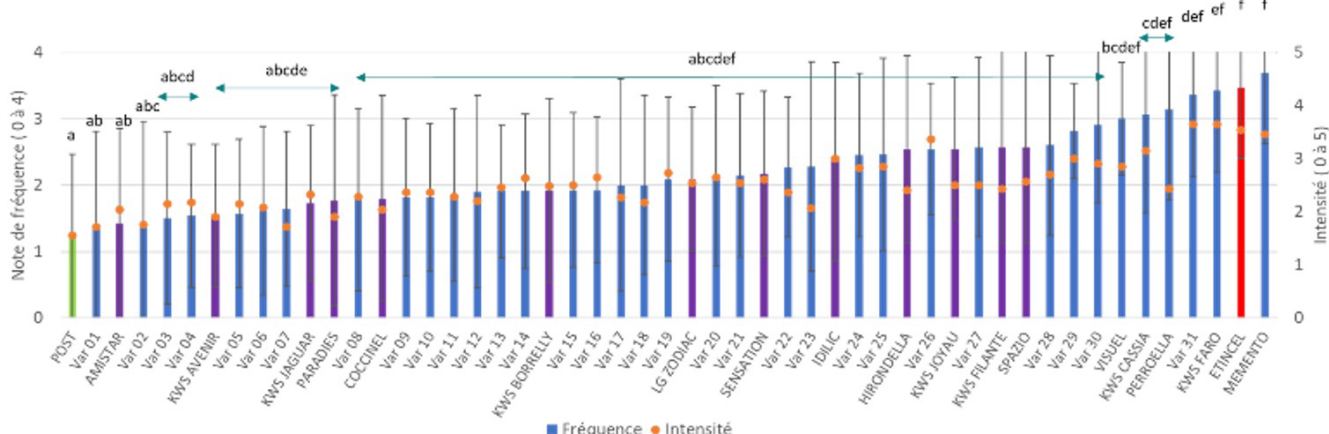


Figure 8 : Histogramme représentant les notes de symptômes de pieds chétifs (fréquence et intensité de la maladie) en fonction du génotype. Compilation de 9 essais menés sur 6 sites (3 années). La note de fréquence est représentée par des histogrammes et correspond à une échelle de 0 à 4 : 0 signifiant l'absence de symptôme, et 4 signifiant que 100% des plantes de la parcelle présentent des symptômes. La note d'intensité est représentée par un point orange et correspond à une échelle de 0 à 5 : 0 signifiant l'absence de symptôme, et 5 signifiant la disparition des plantes. En rouge, apparaît la variété témoin sensible Etincel, en vert la variété « référence » peu sensible (Post), en violet apparaissent les variétés tolérantes à la JNO (Amistar, Hironde, ...), et en bleu les autres variétés de l'étude. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard sur la variable « Note de fréquence ». Les lettres identiques (a, b, c, d, e, f) indiquent que les groupes correspondants ne diffèrent pas significativement entre eux, tandis que des lettres différentes montrent des différences significatives sur la variable « Note de fréquence » ($p < 0,05$; ANOVA avec test post-hoc de Tukey).

CONCLUSION

Un large panel de variétés de blé et d'orge, inscrites ou non au catalogue français, a été étudié dans le cadre de ces travaux de recherche. L'interprétation des résultats a toutefois été compliquée par la présence de co-infections avec la jaunisse nanisante de l'orge (JNO), une maladie virale transmise par les pucerons et fréquemment observée dans les parcelles de céréales à paille. Cette co-infection a pu interférer avec l'expression des symptômes de la maladie des pieds chétifs (MPC), rendant plus difficile l'évaluation précise des symptômes attribuables exclusivement à l'infection par le virus WDV. Cette difficulté était d'autant plus marquée sur l'orge d'hiver, espèce plus sensible que le blé à cette maladie. Néanmoins, grâce à un nombre important d'essais répartis sur plusieurs sites et années, il a été possible d'identifier des géotypes d'intérêt de blé et d'orge.

Concernant le blé tendre d'hiver, les variétés de référence Fisht et MV Vekni se sont distinguées du témoin sensible sur la base des symptômes. D'autres variétés de blé, telles que Agrounia, MV Martina et Mirleben, semblent afficher un comportement proche de celui des référents peu sensibles. Une étude plus approfondie de ces variétés pourrait permettre d'identifier les caractères responsables de cette moindre sensibilité ainsi que les traits génétiques associés.

En ce qui concerne l'orge d'hiver, plusieurs cultivars dont Var 01 et Var 02 montrent des résultats prometteurs en termes de diminution de symptômes. Par ailleurs, les variétés Amistar, KWS Avenir, KWS Jaguar et Paradies, tolérantes à la JNO, présentent également un bon comportement vis-à-vis de la maladie des pieds chétifs, suggérant un potentiel cumul de tolérances (à la JNO et à la maladie des pieds chétifs) déjà présent dans des variétés commerciales.

REMERCIEMENTS

Merci aux partenaires du projet FSOV « Résistance/tolérance contre la maladie des pieds chétifs sur blé et sur orge ».

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Buerstmayr, M., Buerstmayr, H.** (2023). Two major quantitative trait loci control wheat dwarf virus resistance in four related winter wheat populations. *Theor. Appl. Genet.* 136, 103. <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04349-3>
- Habekuß, A., Riedel, C., Schliephake, E., & Ordon, F.** (2009). Breeding for resistance to insect-transmitted viruses in barley - an emerging challenge due to global warming. *Journal für Kulturpflanzen* 61, 53-61.
- Lindblad, M., Sigvald, R.** (2004). Temporal spread of wheat dwarf virus and mature plant resistance in winter wheat. *Crop Prot.* 23, 229-234. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.011>
- Pfrieme, A.-K., Ruckwied, B., Habekuß, A., Will, T., Stahl, A., Pillen, K., Ordon, F.** (2022). Identification and validation of quantitative trait loci for wheat dwarf virus resistance in wheat (*Triticum* spp.). *Front. Plant Sci.* 13:828639. doi: 10.3389/fpls.2022.828639.

