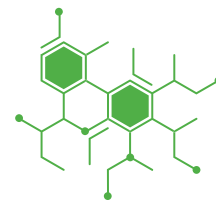


MESSAGE

Modélisation et Evaluation des composantes de la réSiStance Au GEI des céréales



Jean-Charles DESWARTE^{1*}, Elyse CHAMPIGNEULLE², Valérie DUFAYET³, Guillaume BARRAL-BARON⁴, Gemma MOLERO⁴, Gabriel BEUDIN⁵

1 - ARVALIS – Station de Villiers-le-Bâcle - ZA des Gravieres, Route de Châteaufort, 91190 VILLIERS-LE-BACLE

2 - ARVALIS – Station de Châlons-en-Champagne – Complexe agricole du Mont Bernard, 51035 CHALONS-EN-CHAMPAGNE

3 - INRAE Unité expérimentale du Domaine d'Epoisses – Domaine expérimental d'Epoisses, 21110 BRETENIERE

4 - KWS-MOMONT – 7 Rue de Martinval, 59246 MONS-EN-PEVELE

5 - RAGT 2n – 1 route d'Epincy, 28150 LOUVILLE-LA-CHENARD

*Coordinateur du projet : Jean-Charles DESWARTE, jc.deswarte@arvalis.fr

CONTEXTE

- Le risque de gel des céréales à paille est globalement faible en France: de l'ordre d'une année sur 10 sur la partie Est. Il est néanmoins très préjudiciable car il peut conduire à la destruction totale de la culture et imposer un resemis.
 - Le changement climatique se manifeste par une hausse des températures, y compris pendant l'hiver, limitant en apparence le risque de gel. Cependant, les conditions de baisse des températures sont aussi importantes que les minimas atteints car elles conditionnent l'acquisition de l'endurcissement au froid.
 - Des températures plus élevées peuvent affecter la résistance au gel des cultures en limitant l'endurcissement et en accélérant le développement phénologique.
 - L'évaluation variétale de la résistance au froid reste donc nécessaire pour les producteurs français, mais les supports expérimentaux peuvent ne pas être systématiquement discriminants. Les essais au champ restent aléatoires, et l'évaluation réalisée historiquement à Chaux-des-Prés (39) représente des caractéristiques physiologiques pas toujours rencontrées en plaine
- Le projet MESSAGE cherche à explorer des méthodes complémentaires à l'évaluation de la résistance au gel du matériel génétique. Il vise à comparer des méthodes au champ, en conditions semi-contrôlées et totalement contrôlées, et à explorer leurs complémentarités. La consolidation d'un modèle dynamique de résistance au froid enrichit l'approche expérimentale avec la possibilité de circonscrire les scénarii de gel ; elle permet également d'objectiver l'évolution du risque de gel et les parades potentielles.

RÉSEAU D'ESSAIS EN EXTÉRIEUR

- M&M : 18 expérimentations ont été conduites au champ ou en conditions semi-contrôlées entre 2020-2021 et 2022-2023, en France et à l'étranger (Allemagne, Pologne, USA) (fig 1). Elles visaient à évaluer la résistance au gel de 29 variétés de blé tendre, dont 9 témoins historiques utilisés par l'INRAE pour établir la note CTPS. La conduite des essais était conforme aux recommandations locales, et les dégâts de gel ont été notés visuellement quelques semaines après les pics de froid.
- Sur les 12 essais de screening menés au champ, 5 sont inutilisables pour la discrimination variétale (intensité du froid insuffisante, hétérogénéité de l'essai). Les 6 essais en conditions semi-contrôlées (Chaux-des-Prés, Hohenheim) sont plus discriminants.
- 73% de la variance des notations émane des essais, contre 17% pour les génotypes et 9% pour l'interaction GxE. L'effet variétal capté par le réseau est faiblement significatif (p value <0.1).
- L'envirotypage des conditions de froid à l'aide du modèle permet d'explicitier certaines interactions (fig 2): les essais Chaux-des-Prés 2023 et Champaign n'ont pas permis d'endurcissement complet, à la différence Varsovie et Hohenheim 2021

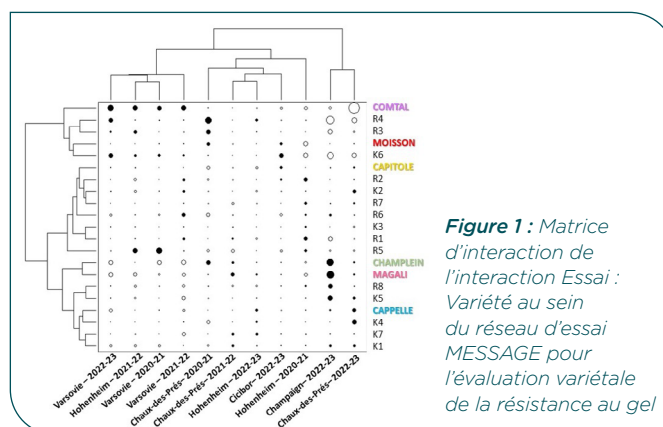


Figure 1 : Matrice d'interaction de l'interaction Essai : Variété au sein du réseau d'essai MESSAGE pour l'évaluation variétale de la résistance au gel

Conditions	Site	20-21	21-22	22-23
Champ	Varsovie (PL)	X	X	X
Champ	Zosin (PL)	X	X	
Champ	Radawiec (PL)	X	X	
Champ	Cicibor (PL)			X
Champ	Champaign (USA)			X
Champ	St Hilaire en W (F)	X	X	X
Bacs exté.	Hohenheim (All)	X	X	X
Altitude, couv. mob.	Chaux-des-Prés (F)	X	X	X

Figure 2 : Liste des expérimentations en extérieur conduites pendant le projet MESSAGE

ESSAIS EN CONDITIONS CONTRÔLÉES

- M&M : Un protocole en enceintes climatiques a été initié et consolidé pour permettre de discriminer la résistance de 28 variétés (fig. 3). Il a été mis en œuvre à 8 reprises afin de tester la reproductibilité des tests et d'estimer sa sensibilité.
- Ces essais ont permis de mettre en avant l'effet des géotypes (88% de la variance observée dans la série d'essais), avec un effet Essai limité (11%) et une quasi-absence d'interaction GxE (1%).
- Les notations plante à plante présentent cependant une grande variabilité; combiné à des effectifs réduits (36 à 48 individus/géotype au total), la capacité de discrimination des variétés est limitée (fig 4).
- Le classement variétal de résistance au froid observé en conditions contrôlées est légèrement différent de celui retenu sur la base des notes CTPS ($r^2=0.65$) (fig 5). Certaines modifications de classement (Cappelle/Capitole) pourraient être en partie dues à des différences de durées d'endurcissement.

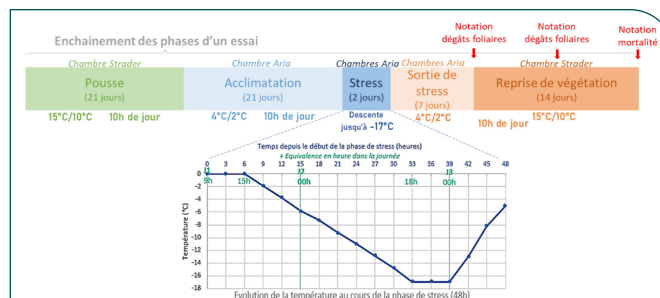


Figure 3 : Illustration de la séquence thermique appliquée en conditions contrôlées pour évaluer des variétés vis-à-vis du froid, et photographie des plantes dans une enceinte grand froid avant application du stress

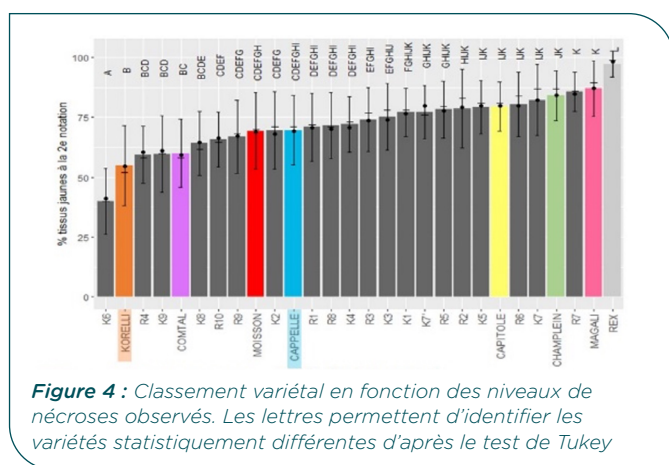


Figure 4 : Classement variétal en fonction des niveaux de nécroses observés. Les lettres permettent d'identifier les variétés statistiquement différentes d'après le test de Tukey

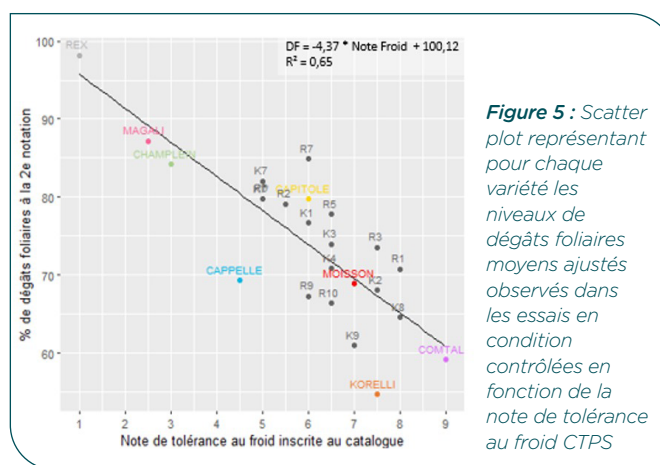


Figure 5 : Scatter plot représentant pour chaque variété les niveaux de dégâts foliaires moyens ajustés observés dans les essais en condition contrôlée en fonction de la note de tolérance au froid CTPS

MODÉLISATION DYNAMIQUE

- M&M : Un modèle dynamique de résistance au froid des cultures (Lecomte et al, 2003) a été utilisé pour envirotyper les scénarii de froid dans le réseau d'essais en extérieur (fig 6). Des données supplémentaires issues de l'INRAE, d'Arvalis et du projet FSOV MESSAGE ont été utilisées pour enrichir le modèle (effets du rayonnement, approche de la transition florale). Cette nouvelle version du modèle a été appliquée sur des données météorologiques historiques de 11 stations Météo France du quart Nord-Est de la France pour évaluer l'évolution des scénarii de gel et tester les meilleures parades génétiques.
- L'analyse de séries chronologiques de dégâts de gel indique une rupture climatique vers 1987: depuis cette période, les épisodes de gel sont plus rares et moins intenses, sans pour autant disparaître.
- D'un point de vue variétal, il semble équivalent de viser un endurcissement plus rapide ou une résistance maximale accrue (fig 7), mais les 2 paramètres semblent être corrélés dans le modèle.
- Il est possible d'améliorer la capacité de prédiction de dégâts de gel dans le modèle (passage de 61% à 74%) en incluant un facteur de rayonnement (qui traduit soit une synthèse accrue d'osmolytes, soit de la photoinhibition); l'impact de l'approche de la transition florale reste difficile à intégrer faute d'observations adéquates.

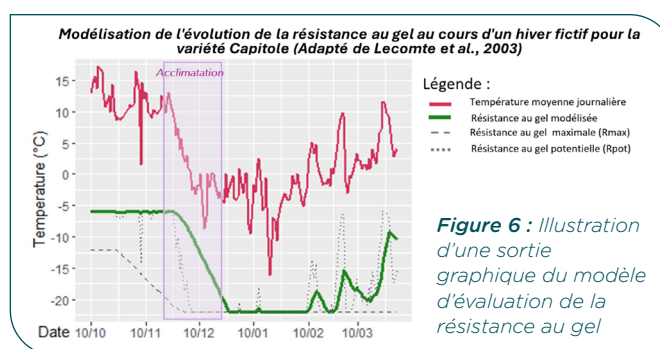


Figure 6 : Illustration d'une sortie graphique du modèle d'évaluation de la résistance au gel

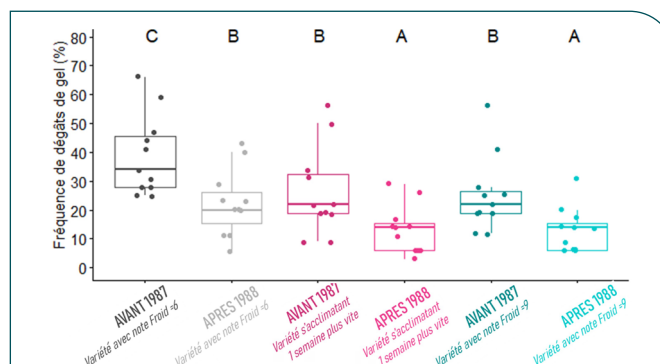


Figure 7 : Comparaison des fréquences annuelle de dégâts de gel simulés pour 11 stations météorologiques du Nord-Est de la France, selon la période et les caractéristiques de résistance variétale

CONCLUSIONS

- ▶ L'évolution climatique a généré une réduction des dégâts de gel, avec une rupture à la fin des années 1980. Depuis, leur occurrence et leur intensité est diminuée mais pas disparue. Les nouvelles conditions climatiques (douceur automnale, fluctuations thermiques hivernales) pourraient générer des défauts d'endurcissement préjudiciables aux cultures
- ▶ Les essais en extérieur restent aléatoires même en les positionnant dans des milieux a priori exposés. De plus, la variation inter-annuelle des scénarii de froid génère des interactions GxE qui peuvent rendre l'interprétation des données d'essais compliquée. L'utilisation d'un modèle dynamique de résistance au gel doit permettre d'apporter une plus-value aux résultats d'essais
- ▶ L'expérimentation en conditions contrôlées permet de sécuriser l'acquisition de données et de limiter l'interaction G*E. Le protocole utilisé dans le projet MESSAGE reproduit partiellement le classement variétal obtenu à Chaux-des-Prés. Il peut néanmoins être optimisé, soit pour diversifier les scénarii de gel (modification des conditions d'endurcissement ou de stress), soit pour accroître la discrimination variétale (modification des effectifs et du mode de notation des dégâts).



KWS

