

PHENOTOL : Phénotypage variétal de la tolérance et des traits associés en céréales

Jean-Charles DESWARTE^{1*}, Marie-Odile BANCAL², Pierre BANCAL², Mélanie HEERS-MAKAROVSKY², Jérôme AUZANNEAU³, Katia BEAUCHENE⁴

1 - ARVALIS - Station de Villiers-le-Bâcle - ZA des Gravieres, Route de Châteaufort, 91190 Villiers-le-Bâcle
 2 - UMR 1402 Écosys-AgroParisTech - AgroParisTech - 22 place de l'Agronomie, 91120 Palaiseau

3 - AGRI-OBTENTIONS - Chemin de la Petite Minière, 78280 Guyancourt
 4 - ARVALIS - Station d'Ouzouer-le-Marché - 45 voie Romaine, Ouzouer-le-Marché, 41240 Beauce-la-Romaine

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

Résumé

- L'intolérance (inverse de la tolérance) est définie comme le ratio d'une perte de rendement relativement à une perte de surface foliaire. Elle constitue une forme d'adaptation et de réponse aux stress, complémentaire à la résistance et à l'échappement/évitement.
- La mesure de l'intolérance requiert l'évaluation de la perte de surface verte (IFVI) des couverts, idéalement à l'aide d'outils de phénotypage à haut-débit, sur des plateformes permettant l'expression des stress d'intérêt.
- L'estimation de l'IFVI par des Indices de Végétation (IV) a été calibrée sur des essais (2019 à 2021) avec mesures de référence au champ; seules des combinaisons multiples d'IVs permettent de retranscrire les IFVI. En fonction des spécifications des capteurs, les mesures d'IV peuvent être altérées; ainsi, l'estimation des IFVI par télémétrie dans un réseau d'essais nécessite des précautions de mise en œuvre.
- Les variétés testées ont montré des différences de tolérance vis-à-vis des stress; cette tolérance semble d'ailleurs présenter une part de génécité: la tolérance vis-à-vis d'un stress donné peut également se manifester vis-à-vis d'un autre
- Les mécanismes sous-jacents ne sont pas élucidés. L'équilibre entre les sources et les puits pourrait être en jeu et expliquer pour partie la génécité de la tolérance pour une phase donnée du cycle

Matériel - méthodes

- 2 essais de calibration (mesures de référence manuelles et caméras multispectrales) croisant génotypes (6 à 20 variétés) et conditions de croissance a priori contrastées (3 à 7 environnements, impliquant la fertilisation azotée et/ou l'alimentation hydrique et/ou la protection fongicide) ont été conduits en 2018-2019 (Ouzouer-le-Marché -41) et 2020-2021 (Aubigny-aux-Kaisnes -02). Ils ont permis de relier des mesures de télémétrie à des critères anatomiques.
- 2 essais supplémentaires (Villers-Saint-Christophe -02-, 2019-2020 et Orsonville -78-, 2020-2021) ainsi que des essais externes au projet ont été utilisés pour valider les proxys: des drones avec caméras à 5 capteurs ont été mobilisés.
- Une bibliothèque de 75 IVs a été utilisée pour décrire les caractéristiques du couvert: GLAI₀ et dynamique de sénescence. Des modèles de combinaison linéaire IV ont été construits et évalués selon leur RRMSE (évaluation par essai et globale inter-essai).
- Pour comparer et corriger les mesures de réflectances et les calculs d'IVs de capteurs aux spécifications hétérogènes, une démarche de « drone virtuel » a été développée à partir d'une caméra de référence multispectrale
- Les intolérances des variétés ont été calculées en écart à la modalité environnementale témoin, pour les situations où les différences d'IFVI étaient supérieures à 5%. Pour comparer les variétés et les essais, des Indices de Tolérance Normalisés sont calculés.

Résultats

- Un proxy du GLAI entre épaisseur et maturité a été élaboré à partir de mesures de référence et de 75 IVs mesurés par télémétrie. Les meilleurs proxys développés permettent d'estimer l'IFVI sans mesure destructive pour les 2 essais utilisés. Une validation externe est néanmoins requise pour asseoir sa validité.

Mesure de l'IFVI méthode 'conventionnelle'

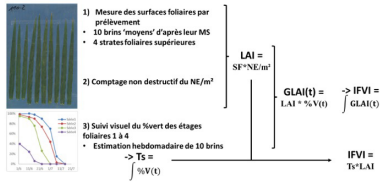
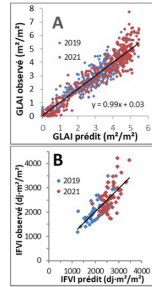
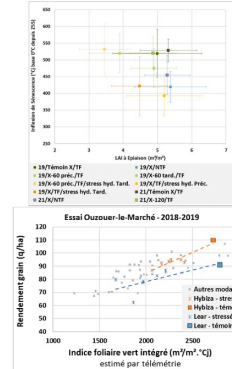
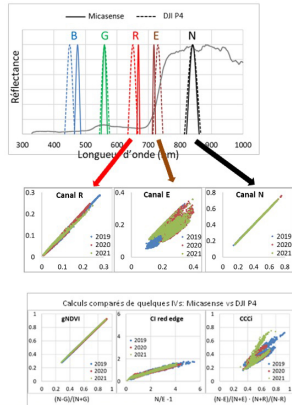


Fig 1: Transposition de la mesure manuelle de l'indice foliaire vert intégré (IFVI) à une estimation par télémétrie → estimation du GLAI (A) et calcul de l'IFVI (B) pour les essais de calibration 2019 et 2021.



- Les capteurs les plus fréquents ne mesurent que quelques longueurs d'onde (5 canaux pour les drones utilisés dans Phénol); leurs spécifications sont différentes, ce qui impacte l'estimation de certains IVs qui s'appuient sur plusieurs canaux. Ainsi, certains IVs sont robustes tels le NDVI; d'autres peuvent être fortement affectés par un décalage de la longueur d'onde effectivement mesurée.

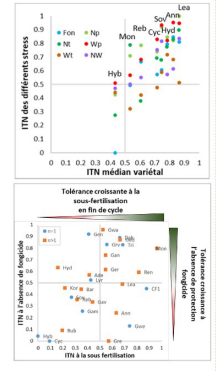
→ Fig 2: Positionnement et largeur des canaux de mesure de réflectance des caméras Micasense et DJI P4 (haut), et comparaison des réflectances mesurées (milieu) et 3 IVs calculés (bas)



- L'expression et la mesure de la tolérance requiert des dispositifs qui génèrent des stress et des symptômes. Les expérimentations Phénol ont permis de générer une diversité de stress, notamment sous Phénolfield. En impactant à la fois la surface verte des couverts (mise en place du GLAI, sénescence) et le rendement, elles ont permis d'exposer des différences variétales de tolérance. Par exemple, la variété Hybza a présenté un fort potentiel sans stress, mais l'application de stress variés a déclenché une forte perte de rendement au regard des symptômes sur feuilles; à l'inverse, Lear a présenté des pertes d'IFVI élevées pour une nuisibilité de rendement faible.

↑ Fig 3: Diversité environnementale et variétale des composantes de l'IFVI: LAI à épaisseur et délai de sénescence, pour les essais de calibration en 2019 et 2021 (mesures manuelles). Les barres d'erreur illustrent l'écart-type inter-variétés au sein d'un environnement.
 ← Fig 4: Réponses des rendements aux variations d'IFVI des variétés Lear et Hybza dans l'essai d'Ouzouer-le-Marché en 2019.

- Lorsqu'on compare les intolérances entre variétés en fonction des stress, par l'intermédiaire d'un Indice de Tolérance Normalisé, on constate que les réponses aux différentes natures de stress ne sont pas totalement indépendantes. Il semble donc qu'il y ait une certaine génécité inter-stress, qui permet aux variétés d'être tolérantes à différentes natures de stress qui s'expriment sur la même phase phénologique.



↑ Fig 5: Indices de Tolérance Normalisés mesurés pour chaque variété dans les 6 environnements stressés de l'essai d'Ouzouer-le-Marché en 2019. Une valeur d'ITN proche de 1 indique une tolérance élevée.

→ Fig 6: ITN variétaux calculés en situations de carence azotée (abscisse) ou d'absence de protection fongicide sur l'ensemble des essais Phénol. Le code couleur renseigne sur le nombre d'essais mobilisés pour le calcul de la valeur variétale d'ITN

Conclusions

- La tolérance variétale, exprimée comme une réduction de la nuisibilité Rendement d'un stress affectant la surface verte, a pu être redémontrée au cours du projet Phénol.
- Elle est indépendante, et donc cumulable, aux stratégies de résistance ou d'échappement aux autres stress; à ce titre, elle peut contribuer à des cultures plus résilientes. Elle semble également générique à différents stress.
- Son expression et sa mesure restent délicates: elles requièrent des conditions de croissance nettement différenciées, et une mesure dynamique de l'impact des stress sur l'état de la canopée.
- Le projet Phénol a permis de tester la mise en œuvre du phénotypage à haut-débit pour assurer ce suivi de canopée. Il a mis en lumière la faisabilité théorique de l'estimation de l'IFVI à l'aide d'IVs multiples, mais il a également mis en évidence la sensibilité de mise en œuvre de ces outils et d'interprétation de leurs sorties.

Financé par:



Projet FSOV 2018-0

Semencier de l'agriculture durable