

TOLÉRANCE À LA SÉCHERESSE DU BLÉ TENDRE

DES OUTILS DE SÉLECTION de variétés plus tolérantes

© N. Cornec - ARVALIS-Institut du végétal

La tolérance à la sécheresse constitue un enjeu majeur pour les sélectionneurs et les producteurs de céréales à paille. Un projet de recherche collaboratif visant à fournir des outils d'identification des variétés tolérantes vient de livrer ses résultats.

En savoir plus

Plus de détails sur les cinq grands types de stress hydriques, ainsi que sur quelques dispositifs high-tech permettant d'identifier des indicateurs de stress hydriques sur <http://arvalis.info/136>.

Les cultures peuvent répondre au stress hydrique de trois manières différentes : l'esquive, l'évitement et la tolérance (voir *Perspectives Agricoles* n° 443, avril 2017, « Tolérance du tournesol à la sécheresse : des améliorations à portée de main »). Ces réponses mettent en œuvre un ensemble d'adaptations du métabolisme qui peuvent pénaliser la productivité si elles sont activées alors que la plante ne subit pas de stress hydrique. C'est le cas, par exemple, d'un cycle cultural trop court (esquive) alors que les conditions climatiques sont favorables. La tolérance reste la stratégie

privilegiée car elle permet de préserver un potentiel élevé en situation favorable, tout en limitant les pertes de production lors des années sèches.

Un travail de simulation des stress hydriques a d'abord été mené, afin d'objectiver la fréquence et la nature des stress hydriques rencontrés par les blés français (voir *En savoir plus*). À l'échelle nationale, près de 50 % des surfaces ne rencontrent pas de stress hydrique, ou un stress tardif qui impacte très peu le rendement. Pour l'autre moitié des situations, on peut répartir les scénarios de stress selon la date d'entrée en stress et/ou le retour de pluies en fin de cycle qui améliore le confort hydrique. Ces différents scénarios sont évidemment variables selon la région, l'année et la profondeur de sol. Il est légitime de penser que des adaptations physiologiques spécifiques pourraient apporter un bénéfice variable selon le profil de stress.

Pas de lien significatif entre potentiel de rendement et perte liée au stress hydrique

Face à ces scénarios de stress, les variétés de blé tendre répondent-elles de la même manière ?

Qu'est-ce que le FSOV ?

Le Fonds de Soutien à l'Obtention Végétale est destiné à financer des programmes de recherche visant à accélérer l'amélioration variétale (critères agronomiques ou technologiques, recherche de diversité génétique, méthodologie). Ces programmes sont choisis suite à appels à projet, et font l'objet de communications accessibles à tous pour permettre la diffusion des résultats. Il est possible de consulter les résumés de ces travaux sur le site internet du FSOV : <http://www.fsov.org/>.

Un réseau d'essais a été mis en place en différents lieux pour comparer le comportement d'un ensemble de variétés commerciales face à des conditions très variées. Les 37 essais ainsi regroupés présentent des conditions de croissance très diverses, avec des rendements moyens s'échelonnant de 50 à 115 q/ha, et des déficits hydriques s'étalant de 0 à 280 mm.

Ainsi, il a été possible d'analyser le comportement de 70 variétés, en quintaux perdus pour 100 mm de déficit de consommation en eau. En moyenne, les pertes de rendement sont de l'ordre de 12-15 q/ha pour 100 mm d'eau manquante. Par contre, il s'avère difficile de mettre en évidence des différences variétales de réponse au stress hydrique compte tenu de la variabilité des résultats (figure 1). Seules les variétés les plus extrêmes sont significativement différentes, avec des variétés « tolérantes » qui perdent 5-8 q/ha pour 100 mm de déficit hydrique, et des variétés « sensibles » qui

perdent 15-18 q/ha pour 100 mm. Néanmoins, les variétés « tolérantes » qui ressortent sont des variétés plutôt atypiques, anciennes et à faible potentiel. Lorsque la perte de rendement liée au stress hydrique est exprimée en pourcentage du rendement de la variété, il n'y a pas de lien significatif entre le potentiel (rendement en l'absence de stress) et la perte de production en présence de stress : la variabilité génétique au sein du panel variétal commercial à la disposition des produc-

« Les différences entre variétés actuelles sont réduites et difficiles à mesurer avec fiabilité, ce qui rend la préconisation délicate »

teurs serait donc faible, ou alors les différences variétales sont fortement masquées par d'autres caractéristiques physiologiques influençant le rendement dans un ensemble de situations culturales très variées (comportement vis-à-vis des maladies ou du stress azoté, résistance au froid).

La sélection de variétés tolérantes devra donc inclure des ressources génétiques plus diversifiées, et s'appuyer sur des caractéristiques physiologiques révélatrices de la performance des variétés, avec ou sans stress hydrique.

Des profils différents pour un même résultat

En situation de contrainte hydrique, on peut aisément imaginer des optimisations de comportement autour de trois aspects du métabolisme : extraire davantage d'eau du sol (utilisation de la ressource), mieux valoriser cette ressource en biomasse (transformation photosynthétique en biomasse) et/ou mieux convertir cette biomasse

RÉPONSES VARIÉTALES AU STRESS HYDRIQUE : la plupart des variétés perdent 10 à 15 q/ha pour 100 mm de déficit hydrique

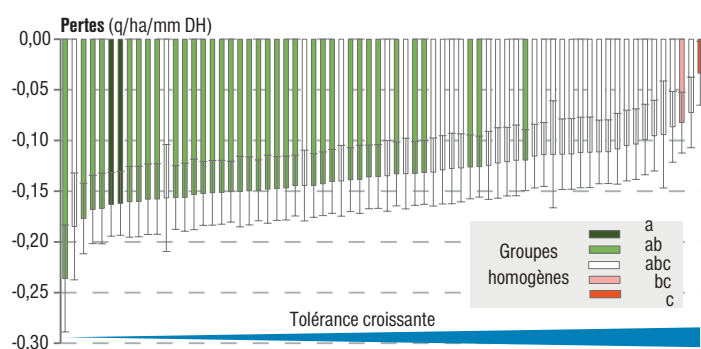


Figure 1 : Pertes de rendement estimées par variétés, pour un ensemble de 70 variétés testées dans au moins huit situations. (Variétés inscrites entre 1974 et 2013 ; médiane : 2006.) La perte est exprimée en q/ha pour 100 mm d'eau manquant ; la barre d'erreur indique l'écart-type de l'estimation. Les différences de couleur distinguent les groupes homogènes. Le classement est délicat compte tenu des fortes variations de comportement.

En situation de sécheresse, les feuilles de blé se redressent et s'enroulent. Ce port « en baïonnette » est davantage la manifestation du stress qu'une indication de tolérance variétale.



Un isotope du carbone pour tracer la respiration des plantes

Le ^{13}C est un isotope* naturel, rare et stable (c'est-à-dire non radioactif) du carbone présent dans l'atmosphère sous forme de $^{13}\text{CO}_2$. Grâce à la photosynthèse, les plantes prélèvent du dioxyde de carbone ($^{12}\text{CO}_2$ et $^{13}\text{CO}_2$) dans l'atmosphère et le fixent dans leurs parties aériennes, dont les grains. La teneur en ^{13}C que l'on retrouve dans les tissus traduit un équilibre entre transpiration et photosynthèse, qui est mesuré par l'efficacité de transpiration.

(*) Un isotope du carbone est un atome dont la masse est différente (ici supérieure) de celle de l'atome de carbone habituel.

en grain (réallocation de la biomasse vers les organes récoltés). Pour tenter d'identifier des différences variétales et la meilleure combinaison de ces trois fonctions, un essai a été conduit sous les serres mobiles du site Arvalis du Magneraud (17). Huit variétés ont été testées en conditions sèches (aucune pluie à partir de la mi-montaison) et irriguées (pilotage de l'irrigation à l'évapotranspiration maximale de la culture avec la méthode Irrinov). Les variétés avaient été choisies notamment pour leurs comportements *a priori* très différents. Si certaines variétés ont pu se distinguer sur l'un ou l'autre des critères, on peut constater que des performances finales (rendement moyen ou rapport sec/irrigué) similaires peuvent être atteintes avec par des combinaisons de propriétés différentes (tableau 1).

L'identification de variétés tolérantes à la sécheresse reste donc une tâche difficile. Il faudrait dans l'idéal considérer un ensemble de situations

présentant des niveaux de confort hydrique variés. Cette approche nécessite de nombreux essais coûteux dont les résultats sont dépendants des conditions climatiques subies. Il est donc préférable que les sélectionneurs identifient des traits physiologiques stables, faciles à repérer sur un grand nombre de variétés en test. Idéalement, ils sont mesurables avec des outils automatisés et précis : on parle de phénotypage à haut débit. Certains de ces traits ont déjà été analysés et validés dans d'autres contextes pédoclimatiques, notamment en Australie ou au Mexique, où les conditions de croissance sont plus sévères et les rendements plus faibles. Ces méthodes ont fait l'objet de tests au cours du projet⁽¹⁾, et de retours d'expérience auprès des sélectionneurs.

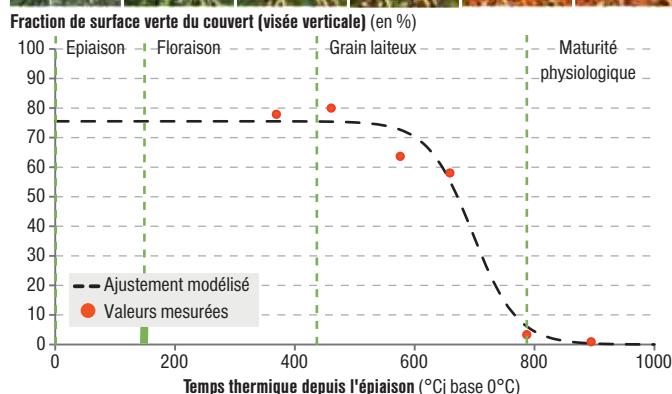
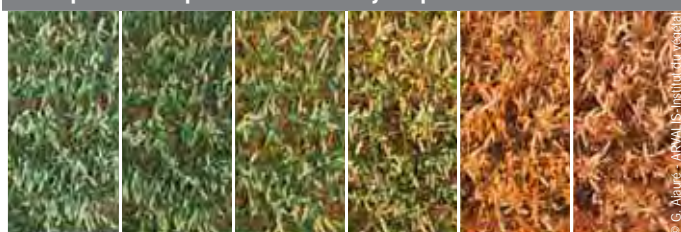
Le maintien d'une surface verte abondante et surtout durable dans le temps (on parle de *stay green*) a montré une corrélation génotypique forte avec le potentiel de rendement. Ce trait est mesurable assez aisément à l'aide de techniques d'analyse d'images. Toutefois, il nécessite des mesures fréquentes pour décrire précisément le niveau de fermeture du rang ou la date d'apparition de la sénescence. L'automatisation est donc envisageable à l'aide de robots (type Phénomobile) ou de drones équipés de caméras multispectrales ou d'appareils photo numériques standard (voir *En savoir plus*).

L'efficacité de la transpiration, un autre indicateur du rendement ?

De nombreux travaux académiques décrivent de manière détaillée les processus de transpiration et de photosynthèse à l'échelle des feuilles en mesurant des différences de composition isotopique dans les tissus (encadré). L'efficacité de transpiration, c'est-à-dire la quantité de sucres produits par litre d'eau transpiré, est à la fois contrôlée par les conditions de milieu et par le comportement propre à la variété. Cet indicateur permettrait donc de qualifier précisément les conditions de stress hydrique subies par la culture, mais aussi d'identifier des variétés dont les feuilles ont une photosynthèse plus efficace vis-à-vis de l'eau.

L'application de cette méthode dans le cadre de notre projet a fourni des résultats plus nuancés : elle permet de bien qualifier les conditions d'alimentation en eau de chaque essai, en particulier lorsque la contribution en eau du sol est difficile à évaluer avec les outils traditionnels (sols pierreux ou remontées capillaires issues de craie ou de nappe phréatique peu profonde). Malheureusement, cette méthode ne permet pas de caractériser directement le comportement des variétés en situation de ressources en eau variées. La multiplicité des traits physiologiques associés

La dynamique de sénescence des feuilles d'une variété est corrélée à son potentiel de rendement en situation favorable, mais pas à sa réponse au stress hydrique.



CONSTITUTION DU RENDEMENT : les variétés se distinguent sur la consommation d'eau, la conversion en biomasse ou le transfert vers les grains en fin de cycle

Variété	Précocité épiaison	Consom. Eau	Efficience d'utilisation	Indice de récolte	Rendement grain	Rapport sec/irrigué
v1	102%	102%	103%	99%	104%	104%
v2	99%	100%	102%	100%	103%	96%
v3	103%	102%	98%	102%	102%	101%
v4	99%	100%	102%	100%	102%	98%
v5	105%	103%	99%	99%	101%	100%
v6	99%	99%	102%	99%	99%	98%
v7	97%	98%	93%	107%	98%	103%
v8	98%	97%	101%	92%	90%	99%

Tableau 1 : Données variétales exprimées en pourcentage de la moyenne des 8 variétés, variable par variable, caractérisant leur mode d'élaboration du rendement, en situation sèche ou avec irrigation. Les variétés testées (Alixan, Apache, Boregar, Garcia, Hyfi, Hystar, Rubisko, Soissons) ne sont pas identifiées dans le tableau pour respecter les clauses de confidentialité du projet. Les classements variétaux ne sont pas bousculés entre les deux conduites.

à l'élaboration du rendement rend l'interprétation des résultats complexe et incertaine. En particulier la variabilité des modes de mise en place des grains ou de réallocation de la biomasse en fin de cycle (indice de récolte) peut masquer des différences d'efficience de photosynthèse ou de transpiration.

Une autre méthode high-tech a été testée - l'imagerie thermique réalisée à partir de drone. Elle repose sur un principe simple : la transpiration rafraîchit la feuille. Le niveau de transpiration d'une plante modifie la température mesurée au niveau du couvert, permettant en principe de

classer les variétés suivant leur niveau de transpiration. Cependant, la régulation stomatique qui contrôle la transpiration est très dépendante de l'ensoleillement, et la transpiration est elle-même directement influencée par les mouvements d'air. L'utilisation d'images thermiques nécessite donc des conditions météorologiques très stables au moment de l'acquisition : pas de nuage ni de vent, ni de turbulence. D'autre part, la température mesurée au niveau du couvert est directement dépendante de la quantité de surface transpirante vue ; des différences de stades, de développement foliaire ou de structure de la végétation peuvent fortement biaiser l'interprétation de la mesure. De telles contraintes opérationnelles rendent donc la technique difficile d'utilisation pour des équipes de sélectionneurs qui ont besoin de données fiables, quelles que soient les conditions de l'année, sur un panel de variétés aux phénologies disparates.

La tolérance à la sécheresse reste donc un trait difficile à quantifier en sélection variétale, étant donné la complexité des mécanismes physiologiques mis en jeu. Les différences entre variétés actuelles sont réduites et difficiles à mesurer avec fiabilité, ce qui rend la préconisation délicate. Pour créer de nouvelles variétés productives et plus tolérantes à la sécheresse, il est nécessaire de mettre en œuvre des réseaux d'expérimentation spécifiques, avec des méthodes d'évaluation des lignées précises et déployables sur de grands effectifs. Equipes académiques, sélectionneurs et instituts techniques poursuivent leurs travaux dans ce sens, notamment à travers le projet Investissement d'avenir BREEDWHEAT^[2].

(1) Les partenaires du projet « Identification des traits de tolérance à la sécheresse et élaboration des outils d'aide à leur évaluation » sont Arvalis-Institut du végétal (coordination), Bayer, Florimond-Desprez, INRA, IPS2 Paris-Saclay, Limagrain Europe, National Institute of Agricultural Botany (GB), RAGT-2n, Saaten-Union Recherche, Secobra Recherches et Unisigma.

(2) Plus d'informations sur <http://www.breedwheat.fr/>.

Pour pouvoir exploiter pleinement les images thermiques prises depuis un drone, il ne faut ni nuage, ni vent, ni turbulence – des conditions difficiles à réunir.

