

VARIÉTÉS DE BLÉ TENDRE PRÉCOCES

# LA SÉLECTION ASSISTÉE par marqueurs génétiques



Les progrès génétiques de la sélection devraient se traduire par une augmentation des rendements, ce qui n'est pas le cas. Un projet d'ARVALIS entend dépasser cet obstacle.

**Un projet de recherche propose d'évaluer la pertinence de modèles basés sur des marqueurs moléculaires afin d'assister les sélectionneurs dans la création de variétés adaptées aux exigences du climat futur.**

**D**epuis vingt ans, le rendement moyen du blé tendre, qui progressait de 1 q/ha/an en France (figure 1), plafonne chez nous comme à l'étranger.

Ce n'est pas dû à un ralentissement du progrès génétique mais plutôt à des raisons tant agronomiques que climatiques. En effet, l'augmentation des températures moyennes a tendance à accélérer le cycle du blé : on estime que les stades « épi 1 cm » et « épiaison » ont été avancés d'une semaine par rapport à la période 1955-1980. En conséquence, la durée de la montaison, période durant laquelle se construit une part du potentiel de rendement, est raccourcie.

« **Le choix des lignées** aux durées de montaison contrastées ne s'appuiera sur aucune mesure mais sur les prédictions des modèles. »

## Faire repartir le rendement à la hausse

Entre un tiers et la moitié de la stagnation des rendements observée serait attribuable au changement climatique. Celui-ci se caractérise par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de sécheresse et d'échaudage. On estime qu'entre 2,5 et 5 millions de tonnes de blés sont ainsi perdues chaque année (6 à 13 % de la production totale nationale).

À l'horizon 2050, l'accroissement de l'échaudage devrait induire à lui seul plus de 0,2 tonne/ha de pertes supplémentaires. Or la demande mondiale

chaque année (6 à 13 % de la production totale nationale).

**RENDEMENT DU BLÉ TENDRE : en stagnation depuis le milieu des années 1990**

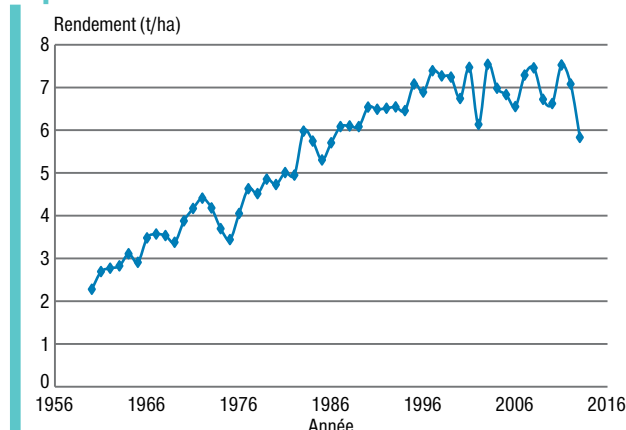


Figure 1 : Évolution du rendement en grains du blé tendre en France de 1960 à 2013. Source FAO.

en céréales est à la hausse : il est nécessaire de doubler la production mondiale d'ici là. Dans ce contexte, une telle perte de potentiel de production en France, pays exportateur significatif, accroît d'autant plus la pression sur des zones de production au potentiel souvent plus faible et plus variable.

Cependant, des études menées par ARVALIS-Institut du végétal indiquent que des mesures d'adaptation au changement climatique dans les zones de production céréalières tempérées pourraient annuler les effets néfastes de ce changement : l'effet climatique peut être contrecarré par un avancement des dates du stade « épi 1 cm » de 10 à 11 jours et de l'épiaison de 5 à 6 jours.

**Prédire l'impact d'une plus grande précocité**

Les changements climatiques qui se profilent ne sont pas nécessairement synonymes de catastrophe - à condition de pouvoir s'y adapter. En effet, l'analyse de résultats de simulations montre la possibilité d'avancer le stade « épi 1 cm » sans accroître les problèmes liés au gel. Ainsi, la durée de la montaison, déterminant clé du potentiel de rendement, serait maintenue, voire augmentée. Or les essais d'ARVALIS montrent que les variétés les plus précoces à « épi 1 cm » sont instables : l'avancement de ce stade pour les variétés précoces à la montaison est supérieur à la moyenne de l'ensemble des variétés. Créer des blés adaptés au climat futur requiert donc de s'attaquer à deux corrélations : celle entre les dates des stades « épiaison » et « épi 1 cm », et celle qui lie la précocité à « épi 1 cm » et la stabilité (figure 2).

ARVALIS a mis au point des modèles de prédiction

basés sur des marqueurs génétiques afin de prédire ces trois caractères : épiaison, épi 1 cm et stabilité. Le projet prévoit de s'appuyer sur ces modèles et sur les données de marquage moléculaire afin de sélectionner un panel de lignées aux durées de montaison contrastées parmi le matériel génétique disponible chez les différents sélectionneurs partenaires du projet. Ce panel sera ensuite testé dans un réseau d'essais afin de valider les prédictions des modèles et le lien entre la durée de la montaison et le potentiel de rendement.

**Une étroite marge de manœuvre**

Avancer la date d'épiaison de six jours semble assez facile à atteindre, étant donné la variabilité génétique déjà disponible aujourd'hui en France. Toutefois, du fait d'une durée de montaison écourtée, le potentiel de rendement pourrait baisser.

La réduction du risque de gel à la montaison permet d'envisager également un avancement de la date du stade « épi 1 cm » de l'ordre de 10 jours : la durée de la montaison se trouverait alors accrue, ce qui pourrait apporter une hausse du potentiel de rendement. Les travaux menés par ARVALIS montrent qu'il est possible de modifier de manière partiellement indépendante la date du stade « épi 1 cm » et la date d'épiaison. En effet, si des gènes majeurs expliquent une part importante à la fois de la précocité à la montaison et de



En France, la majorité des variétés de blé précoces à la montaison sont aussi instables à ce stade.

© J.Y. Maurès - ARVALIS-Institut du végétal



© N. Cormac - ARVALIS-Institut du végétal

L'utilisation de modèles basés sur des marqueurs moléculaires permet de prédire avec fiabilité la précocité moyenne des variétés.

la précocité à l'épiaison, d'autres gènes aux effets moindres sont à l'origine de variations autour de ces corrélations.

Cependant, les variétés précoces réagissent beaucoup plus que les variétés tardives. Ainsi, lors d'une année plus précoce de 10 jours en moyenne (par exemple, sous l'effet d'un automne-hiver doux), les variétés les plus instables sont en avance de 18 jours sur leur moyenne, alors que les plus stables ne le sont que de 4 jours.

Il est donc primordial de tenir compte également de la stabilité des variétés, et pas seulement de leur précocité moyenne. Sans cela, des variétés avec un profil de risque de gel d'épis accru pourraient être sélectionnées malgré un climat plus clément en moyenne.

### Faciliter la sélection par la modélisation

La sélection de variétés précoces à l'épiaison n'est pas un problème pour les sélectionneurs : ce stade est facilement mesurable. En revanche, la sélection de variétés précoces à la montaison est un challenge, car elle nécessite de nombreuses mesures destructives. La sélection de variétés stables représente aussi un défi, du fait des nombreuses lignées à tester dans un large réseau d'essais.

La première phase du projet consistera donc à s'appuyer sur les modèles basés sur des marqueurs moléculaires pour créer un panel de 200 lignées aux durées de montaison contrastées, original dans sa composition génétique. La possibilité d'utiliser de

« Il faut démontrer l'intérêt qu'offre la manipulation de la durée de la montaison pour agir sur le potentiel de rendement du blé. »

## PRÉCOCITÉ : d'autant plus instable que le blé est précoce

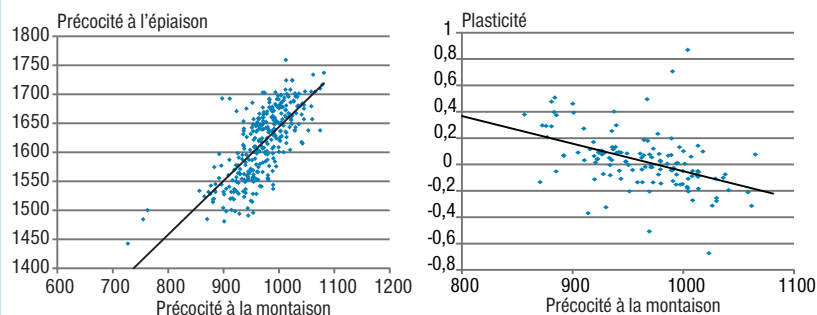


Figure 2: Corrélation entre précocité à l'épiaison et précocité à la montaison (A) et corrélation entre plasticité et précocité moyenne à la montaison (B). La plasticité est l'inverse de la stabilité. Ainsi plus les blés sont précoces à la montaison et plus ils sont instables. De manière assez intuitive, plus les variétés sont tardives à la montaison, plus elles le sont à l'épiaison.

tels modèles pour sélectionner des variétés sur des caractères difficiles à mesurer, tels que la stabilité ou la précocité à la montaison, offre une réelle avancée pour les sélectionneurs.

Potentiellement, ces modèles permettent de choisir des parents afin de tester divers croisements et d'effectuer un tri dans leur descendance. Le but est de sélectionner uniquement les lignées porteuses des versions des gènes conduisant aux performances de précocité et de

stabilité attendues.

L'utilisation de ces outils pourrait donc permettre de mieux rationaliser le schéma de sélection en ciblant certaines performances ou propriétés, tout en réduisant les besoins de mesures à effectuer au champ. Néanmoins, ce type d'approche n'a pas encore été mis en place pour la précocité et devra donc être testé dans ce projet.

À ce stade du projet, les seules informations disponibles sur ces lignées sont leur composition génétique : la présence ou l'absence des gènes associés aux marqueurs impliqués dans les modèles de sélection. Le choix de ces lignées ne s'appuie donc sur aucune mesure mais seulement sur les prédictions des modèles.

### Précocité et rendement seront-ils à la hauteur ?

La première année d'expérimentation sera dévolue à la validation de ces prédictions : il est prévu de tester ces 200 lignées dans un réseau d'essais comprenant 13 lieux, et de mesurer les dates des stades « épi 1 cm » et « épiaison » de chacune de



© V. Bontems - ARVALIS-Institut du végétal

La floraison du blé est régulée par un ensemble de gènes en interaction dont l'expression dépend des conditions environnementales.

ces lignées, afin de les comparer aux prédictions. La deuxième année d'expérimentation permettra de compléter les mesures de précocité mais, surtout, elle testera l'hypothèse selon laquelle une durée de montaison accrue induit une augmentation du potentiel de rendement. Cette seule année d'expérimentation sera sans doute insuffisante pour accepter ou rejeter clairement cette hypothèse, mais elle devrait préciser la relation entre la durée de la montaison et le potentiel de rendement.

Matthieu Bogard - m.bogard@arvalisinstitutduvegetal.fr  
ARVALIS-Institut du végétal

### FLORAISON DU BLÉ : après le froid, quand les jours rallongent

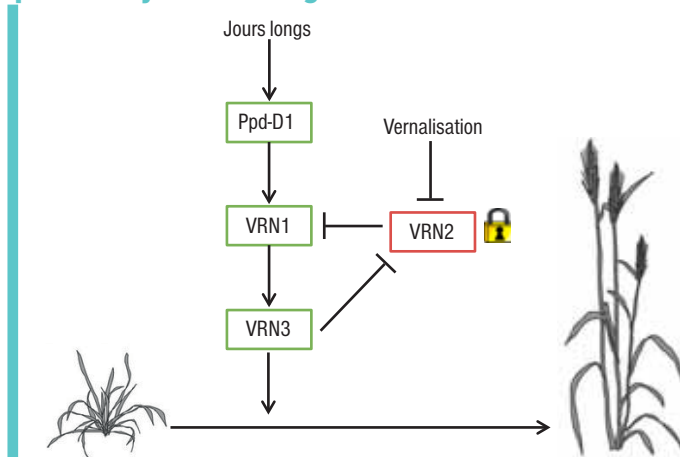


Figure 3: Réseau de gènes contrôlant la transition florale chez le blé. Une flèche indique que le gène visé s'exprime, un « T », que son expression est bloquée.

### ZOOM

## LA RÉGULATION de la floraison chez le blé

**La transition florale du blé a lieu quand l'expression de certains gènes est activée ou réprimée par d'autres selon la température et la durée du jour.**

La transition florale, qui correspond au passage de l'état végétatif à l'état reproducteur, est régulée par des facteurs génétiques et environnementaux. Ces mécanismes « synchronisent » le développement des plantes avec les conditions environnementales afin que la floraison ait lieu à un moment où les conditions sont les plus propices.

La floraison du blé est régulée par la température (qui agit aussi sur son développement) et la durée du jour ou photopériode. Ainsi, une exposition prolongée à des températures froides (avec un optimum compris entre 0 et 10 °C) permet l'acquisition de l'aptitude à fleurir et l'allongement de la durée du jour promeut également la floraison.

### Quatre gènes en interaction

De nombreux travaux ont été menés afin de comprendre les mécanismes moléculaires à l'origine de cette capacité des plantes à percevoir l'environnement extérieur. Chez le blé, ces travaux ont permis de déterminer le réseau de gènes régulant la transition florale et dont l'expression est conditionnée par les facteurs environnementaux (figure 3).

Au cœur de ce réseau, une boucle de rétroaction négative entre les gènes VRN1, 2 et 3 bloque la transition florale. L'exposition aux températures froides durant l'hiver (ou vernalisation) réprime l'expression du gène VRN2.

Avec l'allongement de la durée du jour, l'induction du gène Ppd-D1 augmente l'expression du gène VRN1, ce qui induit l'expression du gène VRN3 en aval du réseau. Ce dernier conditionne la production d'un signal « florigène » qui migre des feuilles vers l'apex et déclenche la transition florale au niveau du méristème apical. Les modèles de prédiction de la précocité développés par ARVALIS s'appuient notamment sur des marqueurs génétiques situés à proximité de ces gènes.