

ARVALIS-Institut du végétal a mis au point des modèles statistiques de prévisions de rendements valables dans 23 départements français.

# Rendement du blé Des modèles statistiques précisent les facteurs clés au niveau départemental

Récemment développés par ARVALIS-Institut du végétal, des modèles de prévision des rendements du blé mettent en équation les principaux facteurs climatiques qui gouvernent la productivité au niveau départemental. Ils soulignent en particulier les différences de niveaux de contraintes et de réponses en fonction des milieux.

Connaître le volume de grains qu'il faudra rentrer dans les silos plusieurs semaines avant la récolte, voilà une donnée stratégique pour le monde agricole. La prédiction des rendements du blé est de fait un sujet étudié depuis longtemps par ARVALIS-Institut du végétal. Les travaux entrepris ont récemment abouti à un schéma de prévision des rendements pour 23 départements français (*carte 1*) couvrant 43 % de la production hexagonale de blé. Les modèles créés se fondent sur les statistiques officielles de 1986 à 2010, qui traduisent ce qui s'est passé sur les 25 dernières années. Au-delà de la stricte prédiction, ce travail a permis de mettre en lumière un certain nombre de variables déterminantes dans la construction des

rendements. Il permet d'envisager dans certaines zones des conseils bâtis à partir de ces prévisions afin d'ajuster les conduites des parcelles.

## 250 variables au départ pour chaque département

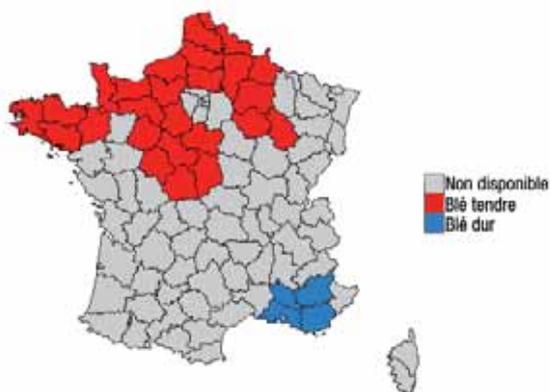
La première phase du travail a consisté à calculer un grand nombre de variables agro-météorologiques pour chacun des départements et chacune des 25 années de données. Elles caractérisent les stress hydrique et thermique, l'engorgement des sols, les excès de pluie susceptibles d'aboutir à une forte pression des maladies, le gel, l'équilibre de l'offre climatique, le quotient photothermique. Il s'agit de moyennes, de sommes ou de nombres de jours au-dessous ou

au-dessus d'un seuil donné selon les différents stades du blé. Ce travail s'est appuyé sur la définition d'une à trois situations représentatives pour chaque département. Caractérisées par une station météo avec 25 ans de données disponibles, une réserve utile, une date de semis et une précocité variétale, elles ont été identifiées par chaque expert régional d'ARVALIS-Institut du végétal.

## Trier les données les plus pertinentes

Une sélection statistique a ensuite été opérée afin de ne garder que les variables les plus explicatives des variations de rendement dans une zone donnée. Chacune des variables climatiques retenues dans un premier tri pour un départe-

### Le rendement modélisé dans 23 départements



Carte 1 : Modélisation des rendements en blé tendre et blé dur.

ment donné a ensuite été interprétée de façon critique, en se basant sur les connaissances de la croissance du blé et les corrélations entre variables. Objectif : ne retenir que les plus pertinentes sur le plan agronomique et les plus utiles. Cette phase d'analyse a conduit à déterminer 4 à 8 variables explicatives par département. Des tests statistiques et des validations croisées ont permis ensuite de valider leur robustesse.

### Le coup de chaud au remplissage déterminant comme l'excès d'eau

Un certain nombre de variables sont apparues plus significatives que d'autres et sont ressorties dans les différents départements. C'est le cas de l'excès de température au

**Un certain nombre de variables sont apparues plus significatives que d'autres.**

moment du remplissage du grain (échaudage). Il s'est révélé influencer de façon négative les rendements dans tous les cas étudiés sauf quatre. Selon les milieux, cette

donnée explique entre 4 et 30 % des variations de rendements, avec une moyenne à 13,6 %. Un certain nombre de travaux scientifiques montrent d'ailleurs qu'une partie de la stagnation des rendements en blé serait due à l'accroissement des conditions thermiques défavorables durant cette période.

Autre variable particulièrement significative, associée elle aussi au remplissage : l'excès de pluie, décisif dans tous les départements situés le plus au nord-ouest de l'Hexagone. Cette donnée, qui explique 15,7 % des variations de rendements observés, a été identifiée comme régulièrement défavorable au rendement dans ces régions. En 2007, ce sont ces excès de pluviométrie qui ont par exemple conduit à une augmentation de la pression des maladies ainsi qu'à un engorgement des sols à l'origine d'une réduction de l'activité photosynthétique au moment du remplissage. Il est aussi probable que cette donnée explique de mauvais rendements observés en Bretagne, notamment.

### Hydromorphie ou stress hydrique jouent selon les sols dominants

La saturation des sols en eau durant l'hiver et les bonnes conditions de croissance, en particulier le stress hydrique à mi-remplissage, sont apparues également cruciales

### Une modélisation des données climatiques à venir

Tous les modèles départementaux de prévision de rendement ont été construits à partir des données climatiques complètes pour un cycle de culture. Or pour être efficaces, ils doivent être capables de donner une indication sur le rendement avant que le blé n'ait terminé son cycle. Ils intègrent donc une modélisation du climat « fréquentiel », fonction du climat passé des vingt dernières années. Cependant, avec le changement climatique en cours et une tendance vers des conditions plus chaudes, l'utilisation de la médiane pluriannuelle peut être mise en défaut. Il faut alors s'appuyer sur un sous-échantillon de l'historique climatique, en ne prenant en compte que les années les plus chaudes.



dans certains secteurs, selon notamment le type de sol dominant. La saturation en eau traduit l'hydromorphie pendant les phases précoces. Elle influence tôt le rendement et s'est avérée significative dans tous les départements sauf six, expliquant en moyenne 17,5 % des différences de productivité, d'autant plus que les sols y sont hydromorphes. La satisfaction des besoins en eau au stade grain laiteux est ressortie aussi dans tous les départements sauf six. Elle serait responsable de 1 à 35 % des variations de rendements. Moins important en bordure océanique, cet indicateur s'est révélé plus prédictif dans les zones plus continentales et les départements du sud de la France. Toujours durant cette phase des grains laiteux, l'équilibre entre le rayonnement et la température est également apparu comme essentiel dans la majorité des départements étudiés.

## Peu de marge dans le Nord-Ouest

Ces résultats mettent notamment en évidence la nécessité de préserver la structure du sol dans les zones sensibles à l'engorgement ou le besoin d'augmenter la protection des blés dans les cas de fortes pressions maladies. Ils montrent que dans la partie nord-ouest de la France, le rendement final est surtout influencé par ce qui se passe lors du remplissage. À l'inverse, dans les départements plus au centre de l'Hexagone, les phases plus précoces ont davantage d'importance. Ces résultats ont donc des implications sur la conduite des cultures. Ils révèlent que dans le nord-ouest de la France, les facteurs

2

### 2011 : un test plutôt réussi en cas extrême

Ces modèles régionaux ont été testés sur la récolte 2011, qui s'est caractérisée par un printemps exceptionnellement chaud et sec dans toutes les régions de production du blé française. Cela a permis de voir ce qu'ils pouvaient donner dans des conditions à la limite de leur champ de validité. Dans tous les départements, au moins une des variables agrométéorologiques a pris une valeur dépassant les *maxima* ou les *minima* observés durant les 25 dernières années. Malgré cela, les prévisions ne se sont avérées déraisonnables que dans six cas.

L'excès de température au moment du remplissage influence le rendement de façon significative... Et négative.



qui influencent le rendement sont déterminés une fois toutes les interventions culturales effectuées, notamment les apports en azote et en fongicides. Plus que sur la conduite du blé en lui-même, c'est donc sur la résistance variétale au stress thermique ou aux maladies, notamment, qu'il semble nécessaire de jouer pour accroître les rendements.

**Ces résultats montrent que dans la partie nord-ouest de la France, le rendement final est surtout influencé par ce qui se passe lors du remplissage.**

### Davantage de souplesse au Centre et au Sud

Dans les zones situées plus au centre et au sud de la France, le raisonnement peut être différent car le potentiel de rendement de l'année est significativement lié à des facteurs survenant alors que les pratiques culturales peuvent encore être ajustées. Dans ces zones, il est donc possible d'envisager des modifications des conduites de culture sur la base des résultats des modèles. Attention, dans les cas où ce dernier se trouve en dehors de sa zone de fiabilité, de tels conseils peuvent s'avérer risqués. La mise en œuvre des modèles sur 2011 (*encadré 2*) a montré que sans expertise supplémentaire, ils pouvaient conduire à de mauvaises décisions. Pour éviter ces écueils, les modèles intègrent systématiquement une comparaison entre les valeurs prises par les différentes variables sur l'année en cours et celles enregistrées les années antérieures lors de leur calibration. ■

Jean-Charles Deswartes

jc.deswartes@arvalisinstitutduvegetal.fr

David Gouache

ARVALIS-Institut du végétal

**L'hydromorphie en hiver pénalise la croissance des plantes dans la plupart des cas.**

### Une meilleure prédiction après l'épiaison

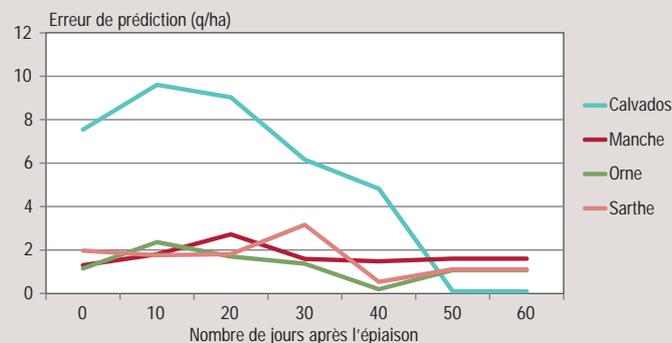


Figure 1 : Évolution de l'erreur de précision après l'épiaison.

Dans beaucoup de départements, une réduction de l'erreur moyenne de prédiction a été observée dans les 10 à 30 jours après l'épiaison, au fur et à mesure que les conditions de fin de cycle se précisent. Rapidement lors de cette période, l'erreur des modèles s'avère systématiquement inférieure à celle réalisée sans, en s'appuyant uniquement sur la moyenne départementale pluriannuelle. Il est donc apparu judicieux d'utiliser ceux-ci au début du remplissage. C'est dans la région Centre que ce type de prévisions semble le plus efficace, compte tenu du poids des variables déterminées avant ce stade dans le modèle régional.



© ARVALIS-Institut du végétal

### Des prévisions qui se précisent à partir de juin

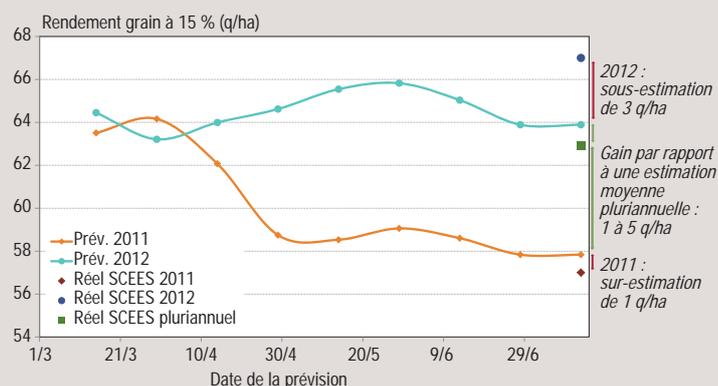


Figure 2 : Évolution de l'erreur de précision du modèle pour 4 départements. Exemple du Cher (18).