

**AFPP – CINQUIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE
SUR LES MÉTHODES ALTERNATIVES DE PROTECTION DES PLANTES
LILLE – 11 AU 13 MARS 2015**

**RESISTANCES DES VARIETES DE BLE TENDRE AUX MALADIES :
DES PROGRES INDENIABLES À VALORISER**

P. DU CHEYRON ⁽¹⁾ ET J. LORGEOU ⁽²⁾

⁽¹⁾ ARVALIS – Institut du végétal, route de Châteaufort, 91190 – VILLIERS LE BACLE, France,
p.ducheyron@arvalisinstitutduvegetal.fr

⁽²⁾ ARVALIS – Institut du végétal, 91720 BOIGNEVILLE, France, j.lorgeou@arvalisinstitutduvegetal.fr

RÉSUMÉ

Les progrès génétiques réalisés en matière de résistance aux maladies des variétés de blé tendre figurent parmi les leviers efficaces de réduction de la nuisibilité des maladies sur les rendements et d'ajustements de la protection phytosanitaire. Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'évolution des notes moyennes de résistance aux maladies et des écarts de rendements entre les parcelles traitées et non traitées fongicide obtenues par les variétés de blé tendre inscrites au cours des 25 dernières années. Puis il est proposé de montrer (i) comment le raisonnement du choix de variétés par zone de production, facteur de risques et conduite de culture prévisionnelle tient compte des résistances des variétés aux maladies, (ii) en quoi la connaissance des notes de résistances aux maladies et leur actualisation, justifiée par des effets de contournement et d'érosion, permet d'ajuster, à partir de diagnostic et de prévision de risques en cours de campagne, la protection de la culture.

Mots-clés : résistance, maladie, progrès génétique, choix de variétés, pilotage de la protection.

ABSTRACT

DISEASES RESISTANCES OF WHEAT VARIETIES: UNDENIABLE IMPROVEMENTS TO VALUE

Genetic improvements in diseases resistances of wheat varieties are among effective factors to reduce yield losses due to diseases and therefore to adjust fungicides doses. We start by a presentation of the evolution of diseases resistance varieties ratings and of their yield losses between treated and untreated plots on the last 25 registration years. Then the article shows (i) how, considering their disease ratings notes, to think the variety choice according to the growing zone, the diseases risks and the forecast cultural practices, (ii) how the knowledge of varieties diseases resistance ratings, actualised in case of loss of resistance genes efficacy, enables to adjust crop's protection from diagnostics and risks forecast during the campaign.

Keywords: resistance, disease, genetic improvement, varieties choice, crop's protection management.

INTRODUCTION

Sans prophylaxie et protection appropriées, les maladies foliaires du blé tendre peuvent causer des pertes de rendement élevées. En France, elles sont estimées à 17 q/ha en moyenne, avec de fortes disparités entre les régions (5q/ha en Limagne et 24 q/ha en Bretagne, par exemple) et entre les années (10 q/ha en 2003 à 27q/ha en 2008). Dans les cas les plus extrêmes, elles peuvent entraîner la destruction de la culture. Les maladies des épis, telles que le *fusarium graminearum* producteur de fusariotoxines, sont en outre responsables de la dégradation de la qualité sanitaire de la récolte. Dans un contexte de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques programmée dans le plan Ecophyto et de maîtrise des coûts de production, la résistance génétique aux bioagresseurs est un levier majeur de lutte contre les maladies fongiques et de diminution de la protection phytosanitaire.

Des efforts importants de sélection, de prise en compte par le CTPS (Comité Technique Permanent de la Sélection) dans les règles d'inscription au catalogue officiel français et de préconisation des variétés sont réalisés depuis plus d'une vingtaine d'année pour favoriser la mise en marché de variétés toujours plus résistantes que les variétés successives de référence.

Les préconisations des variétés, qui tiennent compte de l'ensemble des caractéristiques agronomiques, technologiques, de résistances aux facteurs de risques biotiques et abiotiques, sont effectuées par ARVALIS en cohérence avec les cahiers des charges des profils recherchés dans les différents contextes de production. La résistance aux maladies y est largement valorisée, tant en matière de choix de variétés qui satisfont a priori des seuils de résistance proposés dans des grilles agronomiques que de pilotage de la protection phytosanitaire en cours de campagne. Cependant, la forte pression de sélection que constitue la culture à grande échelle de variétés résistantes induit l'émergence régulière de nouvelles souches plus virulentes, comme c'est le cas des rouilles. Les niveaux de résistances des variétés doivent donc être surveillés et être régulièrement mis à jour.

Il s'agit donc dans cet article de (i) décrire les progrès génétiques réalisés au cours des dernières années en matière de résistance aux principales maladies, (ii) montrer comment la prise en compte de ces résistances diminue la nuisibilité des maladies et participe à la réduction de la protection phytosanitaire. Dans cette seconde partie est développée dans une première étape la démarche de choix a priori des variétés réalisé à partir d'une hiérarchisation des risques phytosanitaires liés aux parcelles, sachant que les variétés qui répondent simultanément à toutes les caractéristiques recherchées et qui cumulent toutes les résistances, sont rares. La seconde étape concerne la valorisation des résistances des variétés pour assurer le pilotage de la protection des parcelles en cours de campagne.

MATERIEL ET MÉTHODE

ÉTUDE DU PROGRES GENETIQUE DES RESISTANCES AUX MALADIES

Le progrès génétique apporté par les variétés inscrites successivement au catalogue officiel français peut s'apprécier à partir d'une étude des règles d'inscription du CTPS et être estimé à l'aide d'une analyse des résultats d'expérimentation obtenus par les variétés qui se sont succédées. La réalisation d'expérimentations dédiées sur le « progrès génétique » où sont comparées des variétés représentatives des différentes générations d'inscription permet des démonstrations irréfutables sur les variétés qui ont marqué l'histoire de la culture du blé tendre (Hulmel et al., 2003 ; Cormier et al., 2013). L'analyse des bases de données historiques des caractéristiques agronomiques des variétés et des résultats d'essais, est une méthode complémentaire.

Quelques rappels sur les règles d'inscription des variétés

Les critères et règles pris en compte par le CTPS pour l'inscription des variétés de blé tendre au catalogue Officiel Français (règlement technique consultable sur le site internet du GEVES) valorisent depuis longtemps les résistances aux bioagresseurs à la fois par des dispositifs expérimentaux appropriés (essais de valeur agronomique réalisés sans raccourcisseur avec 2 blocs bien protégées vis-à-vis des maladies avec des protections haut de gamme (T) et 2 blocs non traités (NT), ainsi que des essais spécifiques de résistance aux maladies appelés « Facteurs de Régularité de Rendement », FRR) et par le poids accordé aux résistances aux maladies dans les cotations de synthèse de valeur agronomique. Depuis 1986, le calcul des rendements moyens des variétés repose pour 50 % sur le rendement obtenu en modalité T et, pour les autres 50 %, est constitué par le rendement obtenu en modalité non traitée (NT). La prise en compte de l'écart de rendement entre T et NT a été prise en compte en 1989 et renforcée en 1994. Les cotations de rendement, exprimées en fonction de variétés témoins, sont en plus pondérées par des bonus/malus de résistance aux maladies, dont les seuils de déclenchement ont été relevés en 1997 pour les décisions d'inscription dans les différentes classes de qualité technologique (Luciani, 2004).

Les notes de résistances aux maladies

L'évaluation du progrès génétique en matière de résistance des variétés aux différentes maladies a été effectuée à l'aide de comparaisons des notes moyennes annuelles, et leurs variabilités inter-variétés, obtenues par les variétés inscrites au cours des 25 dernières années d'inscription. Les notes proviennent des caractérisations

- effectuées lors des 2 années d'épreuves du CTPS. Le GEVES (Groupe d'Etudes des Variétés et Semences) attribue des notes de 1, très sensible, à 9, totalement résistante, à toutes les variétés déposées pour les principales maladies. Ces notes reflètent les niveaux de résistances des variétés observées sur les parcelles des modalités NT des essais de Valeur Agronomique, Technologique et Environnementale (VATE), ainsi que sur les essais FRR, réalisés en conditions plus maîtrisées de phénotypage (inoculations artificielles avec des souches connues et en conditions naturelles favorisantes). Les notations d'intensité de symptômes (% de surfaces foliaires nécrosées, % d'épillets atteints), réalisées généralement à plusieurs stades des plantes par les expérimentateurs, font l'objet d'analyses statistiques et d'expertises à l'échelle de chacun des essais et des regroupements d'essais. Les notes de résistance sont ensuite déterminées à l'aide de comparaison à des témoins maintenus en essais plusieurs années et bien connus pour leurs résistances sous différentes pressions parasitaires.
- Réalisées par ARVALIS- Institut du végétal en expérimentation de post-Inscription. L'expérimentation des variétés inscrites et faisant l'objet d'intention de développement est poursuivie en Post-inscription durant 2 ans dans des dispositifs d'expérimentation similaires aux essais CTPS sur un plus grand nombre de lieux représentatifs de la diversité de conditions de cultures auxquelles les variétés sont destinées. Les résultats multiloaux et pluriannuels permettent d'améliorer la puissance des références sur tous les critères de choix des variétés par les filières. La connaissance des résistances aux maladies y est affinée et régulièrement actualisée notamment pour prendre en compte les érosions et contournements de résistance. Le tableau 1 illustre les informations mises à disposition par ARVALIS.

Les écarts de rendement traité – non traité en post inscription

L'estimation du progrès génétique en matière de nuisibilité aux principales maladies foliaires a été réalisée à partir des données historiques des essais du réseau de Post-Inscription d'ARVALIS et ses partenaires sur la période 2003 à 2014. Sont valorisés les écarts de rendements mesurés entre la modalité T et la modalité NT conduites en dispositifs contigus ou split plot dans chacun des 60 essais annuels. Comme au CTPS, seuls les essais avec plus de 5 q/ha de nuisibilité moyenne sont retenus pour évaluer les variétés sur ce critère. Le risque rouille jaune étant jusqu'ici considéré comme spécifique à

certaines variétés et inféodé à certaines régions, les essais et les variétés les plus touchés ont été retirés de l'analyse. Si le scénario parasitaire de 2014, marqué par une exceptionnelle pression de rouille jaune, devait se généraliser, il faudrait revoir ce raisonnement.

Afin de pouvoir comparer les variétés entre elles, les données ont été analysées à l'aide du modèle linéaire mixte du logiciel R, approprié aux séries incomplètes, qui permet de calculer les effets des variétés (effet fixe) ajustés des effets de l'environnement (introduit en effet aléatoire).

CHOISIR DES VARIETES ADAPTEES AUX RISQUES A PRIORI DE LA PARCELLE

La prise en compte des résistances des variétés aux maladies (tableau 1) intervient dans les préconisations de variétés dont les choix reposent sur l'ensemble des caractéristiques de valeurs agronomiques, technologiques et de résistances aux bioagresseurs. Pour un milieu agroclimatique, des risques biotiques, une conduite de culture prévisionnelle et des débouchés donnés sont déterminées les variétés les plus appropriées à répondre aux cahiers des charges. L'estimation des risques de maladies pour une parcelle donnée est appréciée à l'aide de grilles de risques ou de modèles issus de la bibliographie ou mis au point par ARVALIS.

Plusieurs exemples de raisonnements sont présentés pour illustrer la démarche. Concernant la définition des zones à risque rouille jaune, est utilisée la corrélation négative, obtenue par Coakley and Line (1981) entre l'intensité des attaques de rouille jaune et les cumuls négatifs de températures (en base 7°C) du 1er décembre au 31 janvier et avec les cumuls positifs de températures moyennes journalières pour la période du 1er avril au 30 juin. Pour le piétin verse, dont le risque est largement déterminé par les conditions agronomiques de la parcelle et le climat à la levée, la grille de risque nationale (Choisir & Décider – Intervention de printemps céréales à paille, 2014) permet d'estimer une pression potentielle de piétin verse à maîtriser.

La grille de risque agronomique d'atteindre un taux de DON supérieur à la limite réglementaire maximale de 1250 µg/kg en blé tendre qui prend en compte les effets de climat, de précédents, travail du sol et variété a aussi fait ses preuves (Mycolis ©). Enfin, des essais multilocaux et pluriannuels de « courbes de réponse à différents niveaux de protection fongicide de gamme de variétés différenciées en résistance à la septoriose » par exemple ont permis d'établir les relations permettant de calculer les niveaux d'investissement fongicides optima fonction de la nuisibilité de la maladie.

Tableau 1 : Exemple de notes de résistances aux maladies concernant les dix variétés de blé tendre les plus multipliées en 2014, Légende des notes : 1 très sensible à 9 résistant ; (Source des notes : fiches d'inscription mises en ligne par le GEVES et résultats ARVALIS)

Table 1 : Example of diseases resistance ratings of the ten most multiplied wheat varieties in 2014. On the 1 very susceptible , to 9 very resistant scale.

Nom	Résistances aux maladies									
	Piétin verse	Oïdium	Rouille jaune	Septoriose tritici	Rouille brune	Fusariose épi	Risque mycotoxine (DON)	Nuisibilité globale maladies moitié Nord (Septoriose dominante hors effet rouille jaune)	Nuisibilité globale maladies Sud (Septoriose et rouille brune dominante hors effet rouille jaune)	
RUBISKO	2	6	7	6.5	8	5.5	5.5	6	6	
AREZZO	1	6	6	6	4	(5.5)	4.5	6	6	
HYSTAR (h)	2	4	7	6	6	(5.5)	5	5	6	
APACHE	2	5	8	4.5	5	7	6.5	4	4	
CELLULE	3	6	8	7	5	5	4	6	6	
PAKITO	3	4	8	4	5	5	5	4	3	
SY MOISSON	3	7	8	4.5	6	6	5.5	4	5	
SOLEHIO	2	6	8	7	5	5	5	6	6	
OREGRAIN	2	5	7	5	7	5.5	6.5	5	6	
BOREGAR	7	7	5	6.5	3	(3)	4	6		

RESULTATS ET DISCUSSION

PROGRES GENETIQUE EN MATIERE DE RESISTANCE AUX MALADIES

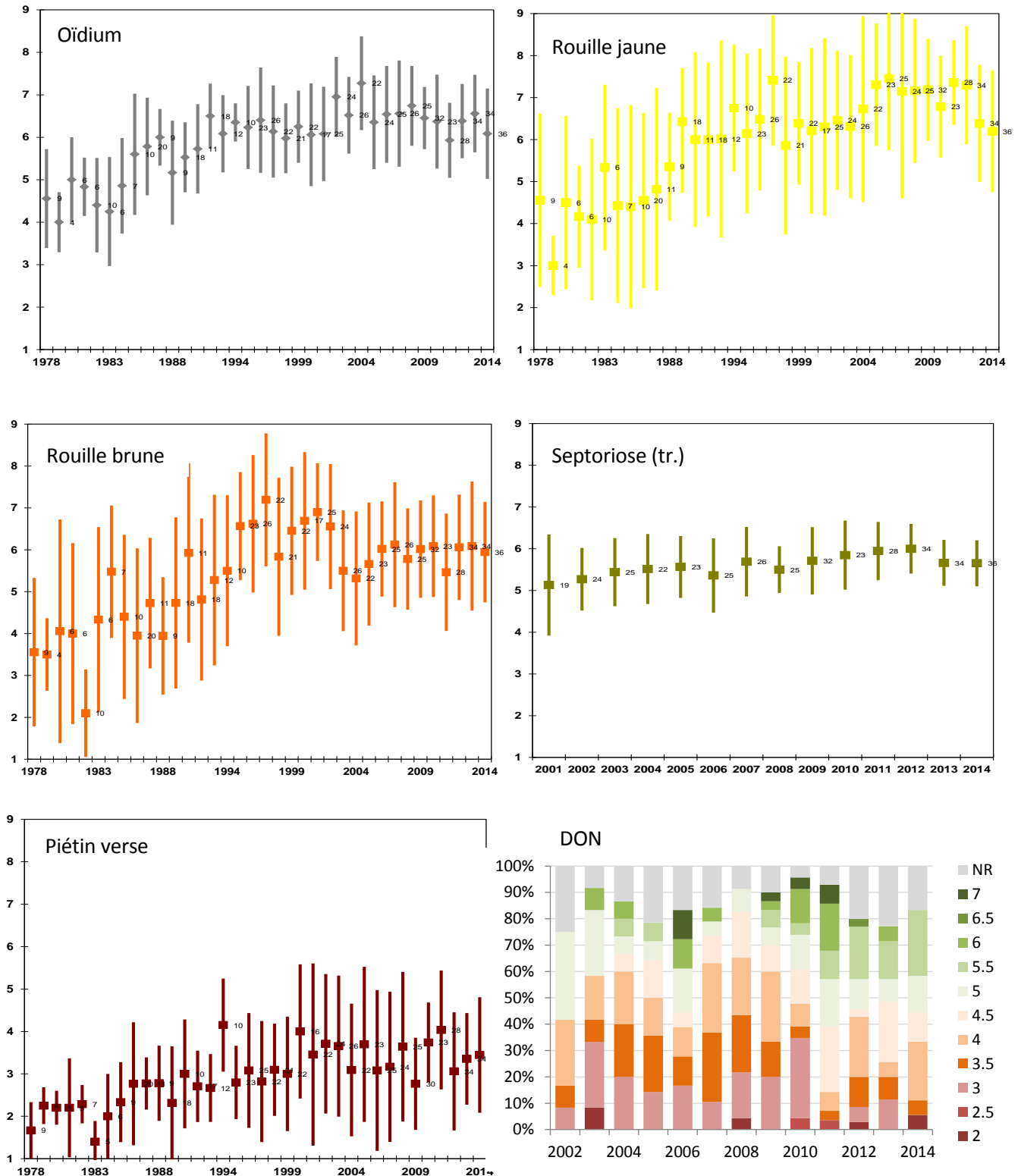
Evolution des notes de résistances aux maladies

Des améliorations des niveaux de résistance des variétés de blé tendre à toutes les maladies sont constatées tant en valeurs moyennes, qu'en valeurs minimales et maximales (Figures 1 à 6). Les améliorations sont lentes, bien que progressives, en piétin verse. C'est en rouille jaune, qu'ils ont été les plus rapides au cours de 30 dernières années. Les contournements de résistance fréquents avec l'évolution des souches obligent toutefois les sélectionneurs à diversifier les sources de résistances. La progression des résistances à l'oïdium et la rouille brune ressort comme avoir été la plus marquée jusqu'au début des années 2000. La prise en compte de la résistance à la septoriose *tritici*, qui s'est imposée à la place de *nodorum*, mais dont la nuisibilité est importante dans un grand nombre de régions, justifie cette cible de sélection. La résistance à la fusariose des épis fait l'objet d'améliorations depuis une quinzaine d'années, avec une augmentation du nombre des variétés plus résistantes à *f. graminearum* et aux DON ainsi qu'une diminution des variétés très sensibles.

Les progrès de résistance aux différentes maladies ne sont pas simultanés tant en matière d'évolution globale historique qu'en matière de profils de résistances des variétés. Par exemple les progrès en fusarioses des épis sont récents, alors que les gains les plus significatifs en rouille atteignent depuis plusieurs années d'assez bons niveaux qui semblent difficiles à dé plafonner. La recherche de résistances partielles et les pressions de sélection simultanées sur toutes les maladies sont des éléments explicatifs. L'analyse détaillée des profils des variétés (tableau 1) montre les difficultés à cumuler simultanément toutes les résistances dans des variétés qui répondent aux cahiers des charges des attentes des filières, c'est d'ailleurs ce qui complexifie le choix de variétés et la diminution de la protection phytosanitaire.

Figures 1 à 6 : Evolution des notes de résistance aux maladies des variétés de blé tendre inscrites au cours des 13 à 35 dernières années ; présentation des moyennes des variétés inscrites la même année et intervalle de variabilité intra annuelle entre variétés représentée par + ou- 1 écart type. En étiquette le nombre de variétés inscrites l'année donnée. Sources des données : bulletins d'inscription du GEVES et base de données historiques d'ARVALIS

Figures 1 to 6 : Evolution of diseases resistance ratings of the wheat varieties registered during the last 13 to 35 years; means an standard deviation by registration year.



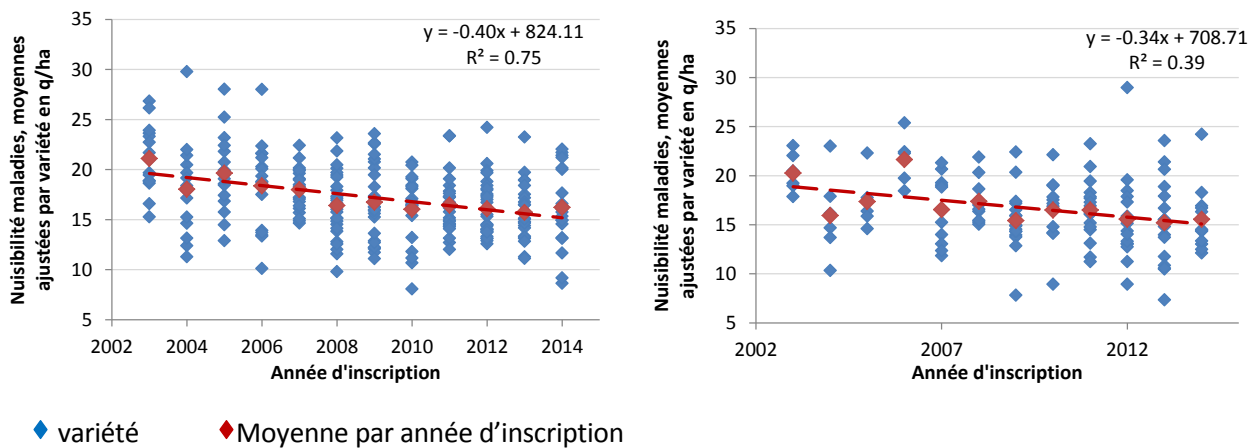
Nuisibilités mesurées par les écarts T-NT

La nuisibilité des maladies foliaires estimée par les écarts de rendements au sein des essais entre les parcelles T et NT reflète le niveau de sensibilité globale des variétés aux principales maladies observées dans les essais, c'est-à-dire essentiellement la septoriose et la rouille brune. Les résultats obtenus avec le modèle mixte mettent en évidence les effets des variétés. La tendance à la baisse du niveau moyen de la nuisibilité sur les variétés inscrites au cours des 12 dernières est significative. Elle traduit une amélioration du niveau de résistance globale aux maladies des variétés (figure 7). Les pentes des droites de régression entre les écarts de rendement T et NT et les années d'inscription sont de respectivement -0.4q/ha/an dans les essais de la zone nord et de -0.3q/ha/an le sud. Il existe néanmoins une variabilité annuelle importante liée à la diversité des profils inscrits chaque année.

Figure 7 : Evolution de la nuisibilité des maladies sur les variétés en fonction de leurs années d'inscription, (Source : Essais Variétés de Post-Inscription)

Dans un contexte de la moitié nord de la France dominé par la septoriose à gauche, dans un contexte sud France dominé par la septoriose et la rouille brune à droite (hors effet rouille jaune).

Figure 7 : Evolution of yield loss due to diseases according to the varieties registration years



Ces données sont cohérentes avec les références obtenues par Oury et al. (2012) qui a mis en évidence à partir des données CTPS une différence de progrès génétique de -0.4 q/ha/an entre la modalité T bien protégée vis-à-vis des maladies (gain de $0,9\text{ q/ha/an}$) et la modalité non traitée avec des fongicides (gain de $1,3\text{q/ha/an}$). Ces résultats illustrent le poids élevé attribué à la résistance aux maladies dans les protocoles et règles d'inscription qui visent à la mise en marché de variétés plus tolérantes aux principales maladies foliaires.

CHOISIR DES VARIETES ADAPTEES AUX RISQUES A PRIORI DE LA PARCELLE

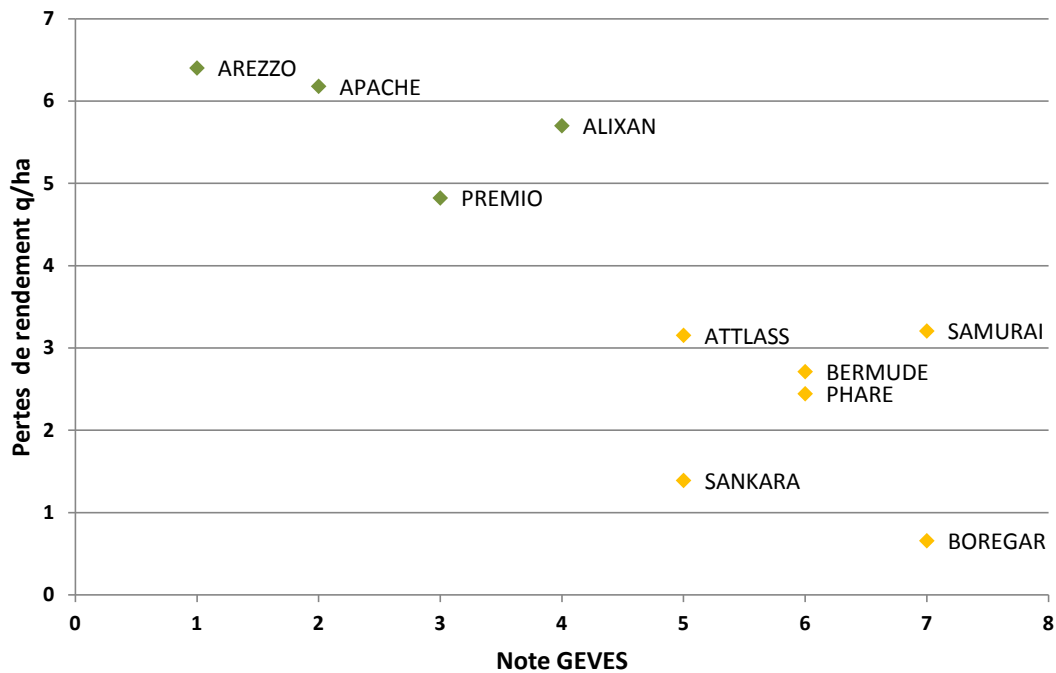
La première règle de décision agronomique mobilisée dans la préconisation des variétés repose sur l'évaluation des risques spécifiques liés à la parcelle. Sont développés ci-après les cas du piétin verse, de l'oïdium, la rouille jaune et la fusariose des épis.

Le piétin verse

L'estimation du risque de piétin verse est largement déterminée par le potentiel infectieux, le milieu physique et la date de semis de la parcelle. Dans les situations de semis précoces en précédent blé sur limons battants, le choix variétal est le meilleur moyen de lutte, aussi efficace, sinon plus, qu'une intervention phytosanitaire. Les variétés les plus résistantes au piétin verse, ayant une note ≥ 5 , ne valorisent pas de traitement, même en présence de piétin verse (figure 8) Ces variétés possèdent aujourd'hui quasiment toutes le gène de résistance Pch1. A ce jour, aucun signe de contournement de ce gène n'a été rapporté en France. Le rythme des inscriptions des variétés résistantes s'est accéléré depuis le début des années 2000, avec en moyenne 5 à 6 nouvelles variétés résistantes par an (figure 9).

Figure 8 : Pertes de rendement dues au piétin verse en fonction de la note de résistance variétale (source : 4 essais inoculés 2011 – 2012)

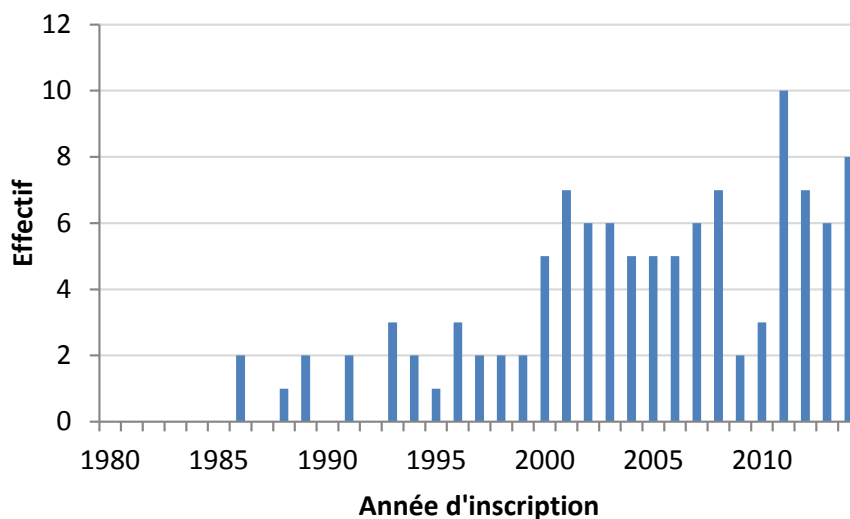
Figure 8 : Yield losses due to eyespot according to the variety resistance rating.



Avec un seuil de rentabilité estimé 3 à q/ha, les variétés résistantes (note ≥ 5) ne valorisent pas de traitement fongicide anti piétin verse.

Figure 9 : Nombre de variétés inscrites par an avec une note de résistance au piétin verse ≥ 5
Source : Résultats d'inscription des variétés par le CTPS

Figure 9 : Number of varieties registred with an eyespot resistance rating ≥ 5



En cours de campagne, la connaissance des notes de résistance contribue au pilotage de la protection. Dans le cas d'une variété sensible ou moyennement sensible (note ≤ 4), l'observation associée à des grilles de risques nationales ou régionales, prenant en compte les caractéristiques et conduite de culture de la parcelle, le climat et le niveau de sensibilité des variétés permettent d'ajuster la décision de traitement.

L'oïdium

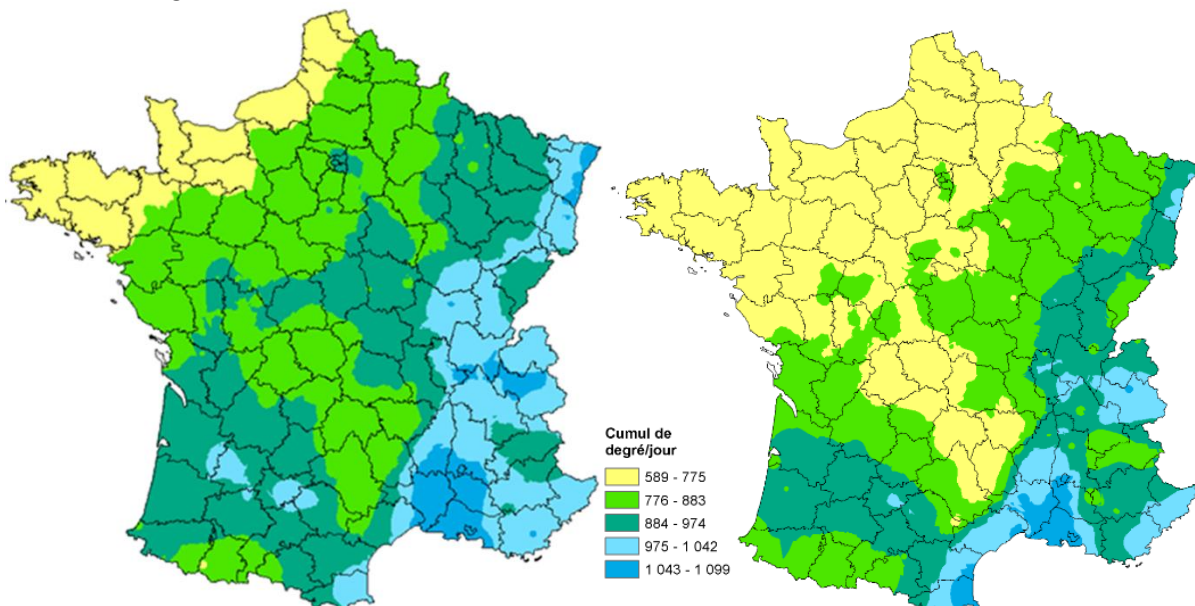
Excepté en Champagne, l'oïdium est resté très discret sur blé tendre au cours de cette décennie. Certes la grande majorité des variétés cultivées présente un excellent niveau de résistance, mais les conditions climatiques des mois de mars et avril des dernières années, combinée à une meilleure maîtrise de la fertilisation azotée et de la densité de semis (connues pour réduire le risque oïdium), peut y avoir contribué. La fréquence d'apparition et intensité des symptômes d'oïdium sont potentiellement élevées en terre de craie, sur les cranettes du nord de la France, ou sur des parcelles abritées (fond de vallon, lisière de bois peu ventée...). Le choix d'une variété avec une note de résistance ≥ 7 , permet généralement d'éviter un anti oïdium spécifique dans le programme fongicide, même dans ces situations à risque.

La rouille jaune

La rouille jaune ne concerne généralement que les régions du nord de la Loire, et plus particulièrement les zones littorales ouest et nord, bien que les épidémies de 2012, puis de 2014 aient concerné des zones géographiques plus vastes (figures 10 et 11). Cette intensification des dégâts foliaires coïncide avec l'émergence dans toute l'Europe d'une nouvelle race, appelée race Warrior. Cette race cumule un nombre élevé de virulences. Dans ce contexte, il est recommandé d'être prudent dans les années à venir en évitant les variétés sensibles (notes ≤ 4) quelle que soit la région de culture.

Figures 10 et 11 : Cartes du risque potentiel rouille jaune sur blé tendre élaborées à partir des modèles de Coakley et Line (1981) ($sT_{moy} < 7^{\circ}C$ entre le 01/12 et le 31/01 + $sT_{moy} > 7^{\circ}C$ entre le 01/04 et le 30/06). Risque pluriannuel sur la période 1992-2012 à gauche, risque annuel pour l'année 2014 à droite.

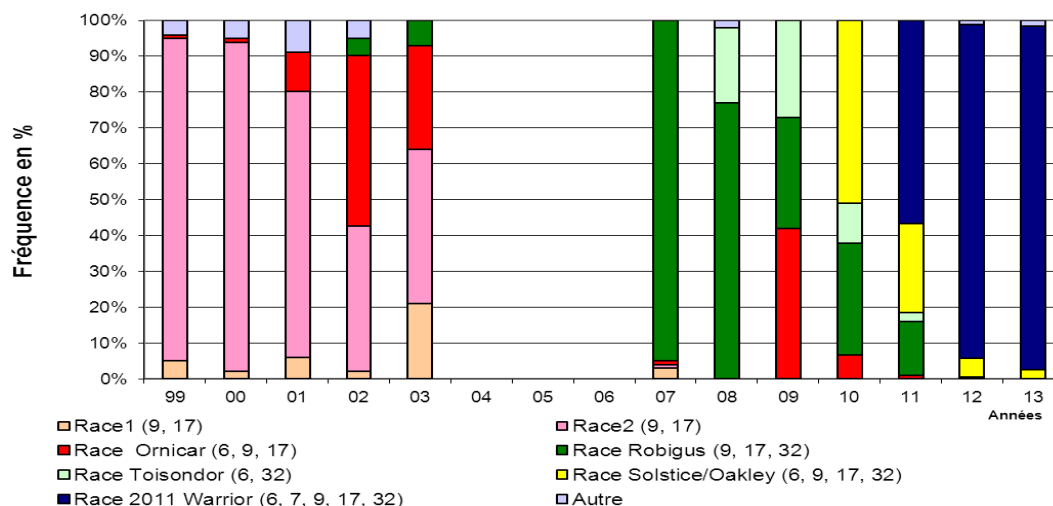
Figures 10 and 11 : Maps of wheat stripe rust potential risk developed according to the Coakley and Line models (1981). Multiannual risk over the period 1992-2012 on the left, annual risk for the year 2014 on the right.



Les variétés les plus résistantes, qui ont des notes de 8 et 9, ne présentent généralement pas de symptôme, tout au plus quelques stries. Elles ne justifient pas de traitement contre la maladie, même en cas de forte épidémie. Un atout précieux, dans le cas d'années telles que 2014 ou un, voire deux traitements supplémentaires au programme de protection de base, ont dû être appliqués sur les variétés les plus sensibles.

Si elle est efficace, la résistance variétale contre la rouille jaune peut également se montrer fragile. En effet, comme le révèle le suivi des populations réalisé par l'INRA Bioger, les races de rouille jaune évoluent rapidement, en s'adaptant à la pression de sélection exercée par les principaux gènes de résistances des variétés cultivées (figure 12).

Figure 12 : Fréquence annuelle des pathotypes de rouille jaune de 1999 à 2013 prélevées en France.
Figure 12 : Annual frequency of wheat stripe rust detected in France between 1999 and 2013.



Les nombres indiqués derrière le nom de chaque race entre parenthèses désignent les virulences du parasite capable de contourner les gènes de résistance Yr6, Yr7, Yr9, Yr17, Yr32, parmi les plus fréquents au stade plantule dans les variétés. (Claude de Vallavieille-Pope, Marc Leconte, INRA Bioger, 2014)

Ces évolutions vers des races de plus en plus virulentes, s'accompagnent de changements de niveau de résistance de certaines variétés. Ainsi plusieurs cas de contournements rapides ont été observés ces dernières années. Parmi les plus récents, il est à citer Toisondor en 2007 (note de résistance de 6→3) et Alixan en 2007 (8→3) suite au contournement du gène Yr32, ou Allez (8→6) et Laurier (6→2) suite à l'arrivée de la race Warrior. Il faut donc rester vigilant, y compris avec une variété *a priori* résistante. Mais malgré les risques avérés de contournement, la résistance variétale reste un levier fiable de lutte contre la rouille jaune. En comparant les cotations obtenues à l'inscription des variétés inscrites avant l'apparition de la race Warrior, aux cotations théoriques qu'elles auraient eues en 2014, sur un effectif de 39 variétés, 74 % auraient sensiblement la même cotation (ou plus), 15 % perdraient 2 points, et seulement 10 % (4 variétés) apparaissent très nettement plus sensibles qu'à l'inscription (Tableau 2).

Tableau 2 : Note de résistance à la rouille jaune des variétés inscrites avant l'arrivée de la race Warrior en 2011 et réévaluées après en 2014.

Table 2 : Resistance rating to wheat stripe rust of varieties registered before the Warrior race arrival in 2011 and reassessed in 2014.

écart entre notes estimées en 2014 (1) et notes obtenues lors de l'inscription (2)	0 ou +	-1	-2	-3	-4 ou -
Nombre de variétés par classe d'écarts de notes	22	7	6	2	2
% des effectifs des variétés	56	18	15	5	5

- (1) Notes attribuées par ARVALIS à partir de synthèses pluriannuelles de notations dans des essais multiloceaux et spécifiques
- (2) Notes attribuées par le GEVES dans le cadre des épreuves CTPS

La fusariose, liée à *f. graminearum*

Les infections par *f.graminearum* peuvent causer des pertes de rendement et produire des fusariotoxines. Or pour respecter la limite maximale en déoxynivalénol (DON) de 1250 µg/kg pour les lots de blé tendre non transformés destinés à l'alimentation humaine (règlementation européenne CE/1881/2006 et CE/1126/2007) le risque est à limiter. L'accumulation de DON dans les grains de blé résulte d'une combinaison de plusieurs facteurs de risque aggravants : un climat propice au développement de la maladie et la présence de résidus contaminés en surface lors de la floraison. Le climat à la floraison étant difficilement prévisible au moment de l'implantation, le travail du sol et les choix de variétés offrent une marge de manœuvre (Barrier Guillot et al., 2006).

Le choix d'une variété peu ou moyennement sensible (note ≥ 4) permet dans la plupart des cas, hors précédents maïs et sorgho, d'éviter le recours à un traitement spécifique vis-à-vis des fusarioses, quel que soit le climat à la floraison. En cas de présence de résidus de cannes de maïs ou de sorgho, le choix d'une variété peu sensible (note ≥ 6) est alors indispensable pour réduire le risque de contamination et de production de fusariotoxines. Mais, la résistance totale n'existant pas, une variété peu sensible ne permet de s'affranchir du traitement spécifique dans ces situations qu'en cas de climat sec autour de la floraison. C'est pourquoi il est recommandé de réaliser un labour ou un broyage des résidus pour diminuer le risque, permettant ainsi d'accéder à une gamme de choix variétal plus large.

ADAPTER LA PROTECTION AUX VARIETES

La septoriose et la rouille brune concernent la quasi-totalité des zones de culture du blé tendre en France avec des nuisibilités variables selon le climat de l'année, la protection et les variétés. Pour ces deux maladies très fréquentes, la nuisibilité globale sur le rendement est un bon indicateur pour choisir une variété en fonction du risque et des prévisions de protection et pour définir un programme fongicide prévisionnel de base qui doit être adapté en cours de campagne à la pression parasitaire de l'année.

La septoriose

Le choix d'une variété résistante à la septoriose permet d'abaisser la pression parasitaire et donc la nuisibilité. Cependant, l'efficacité n'est souvent que partielle et ne permet pas de faire l'impasse totale de traitement fongicide sans perte de rendement. De plus, le développement de champignons résistants aux matières actives utilisées contre la septoriose renforce l'intérêt d'exploiter les résistances des variétés.

Avec une reproduction sexuée répandue entraînant un brassage génétique important, la diversité des populations de septoriose est énorme. Cela explique probablement que les pertes de résistance des variétés ne sont pas aussi marquées que dans le cas des rouilles. Il s'agit plutôt d'érosion de résistance que de contournement.

La rouille brune

De la très sensible à la totalement résistante, la gamme des variétés cultivées offre une palette de comportements très différenciés aux attaques de rouille brune. Mais comme dans le cas de la rouille jaune, les résistances de type spécifique à la rouille brune peuvent être rapidement contournées. Le suivi des populations de rouille brune réalisé par l'INRA de BIOGER permet de surveiller leur évolution et l'émergence de nouvelles virulences. Par exemple, Orvantis, inscrite en 2000 avec une note de résistance de 8 à la rouille brune, a dû être déclassée à 3 en 2005 suite à un changement de population et au contournement du gène de résistance Lr37 (Goyeau et al, 2007). Plus récemment, l'émergence de races virulentes sur Lr24 en 2009 et Lr 28 en 2011 a provoqué la perte de résistance parfois importante de quelques variétés protégées par ces gènes comme Aerobic (8 \rightarrow 4). Ces nouvelles souches sont aujourd'hui présentes sur tout le territoire, bien qu'elles restent largement minoritaires sur les principales variétés cultivées (Goyeau et al, 2014).

La nuisibilité globale

La nuisibilité globale liées aux principales maladies foliaires, c'est-à-dire septoriose et rouille brune, hors risques spécifiques tels que la rouille jaune, le piétin verse, ou la fusariose sur épis, peut être appréciée en fonction de la région et de la variété. L'analyse des pertes de rendement mesurées sur les essais variétés de 2008 à 2014, hors effet rouille jaune, révèle comme attendu un effet variété très significatif, s'échelonnant de 10 q/ha pour les plus résistantes à plus de 25q/ha pour les plus sensibles (figures 13 et 14).

La prise en compte des nuisibilités des maladies, à ajuster à la région, permet de calculer une dépense fongicide optimale a priori (Tableau 3). Le choix d'une variété peu sensible, à 10 q/ha de nuisibilité, permet d'économiser près de 30 euros de charges de fongicides par rapport à une variété assez sensible, à 20 q/ha de nuisibilité moyenne.

En cours de campagne, les conditions climatiques, les diagnostics de maladies et la connaissance des résistances aux maladies conduisent à renforcer, alléger ou modifier, les programmes prévisionnels.

Les ajustements en cours de saison sont possibles sur blé tendre grâce à des modèles agro climatiques, comme TOP sur piétin verse, ou Septolis sur septoriose. Le « Bulletin de Santé du Végétal » (BSV) est un deuxième outil utile pour constater et estimer le risque de présence d'une maladie à l'échelle des petites régions. Enfin, des règles de décisions basées sur des observations faites sur les parcelles et tenant compte des sensibilités variétales permettent également d'ajuster le programme de traitement fongicide à l'année.

Figure 13 : Echelle de nuisibilité des maladies mesurée par variété sur les essais Nord France de 2008 à 2014, hors effet rouille jaune

Figure 13 : Yield loss due to diseases measured by variety on northern France trials from 2008 to 2014, without stripe rust effects

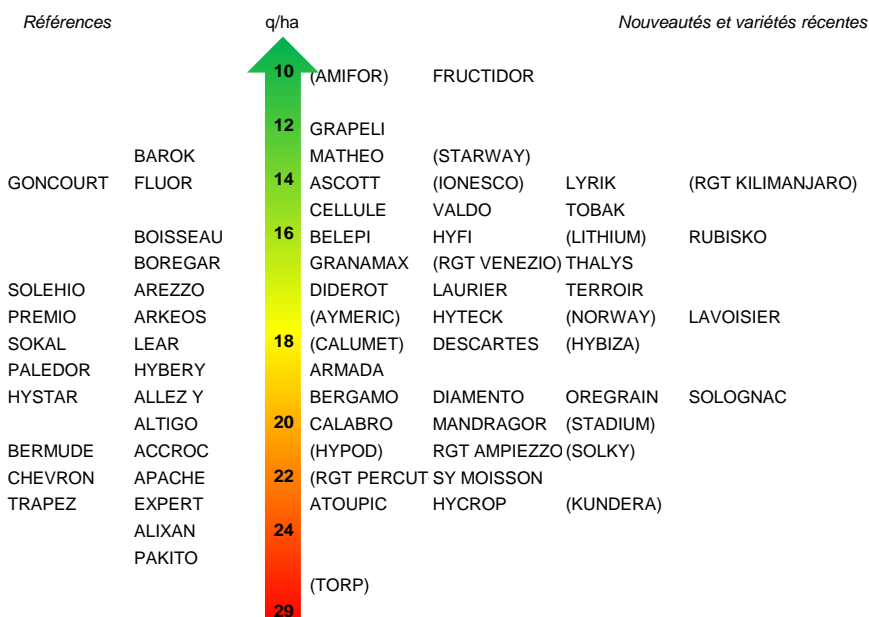


Figure 14 : Echelle de nuisibilité des maladies mesurée par variété sur les essais Sud France de 2008 à 2014, hors effet rouille jaune

Figure 14 : Yield loss due to diseases measured by variety on southern France trials from 2008 to 2014, without stripe rust effects

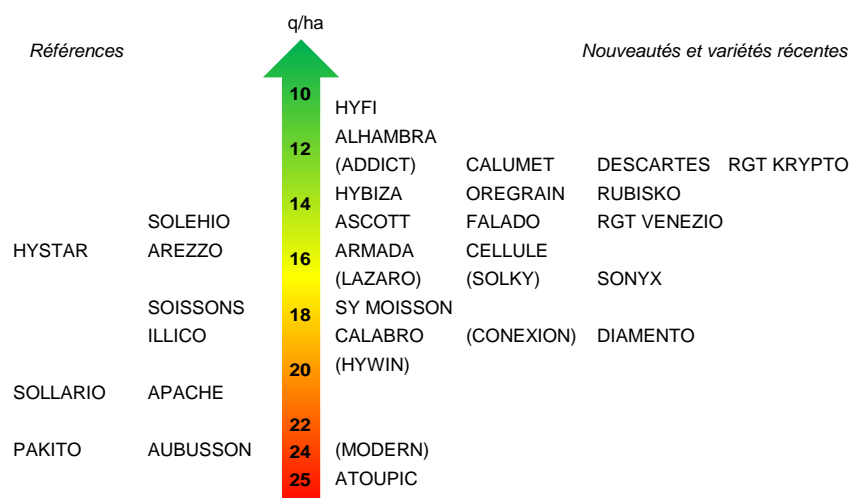


Tableau 3 : Dépense fongicide optimale théorique sur blé en fonction de la pression parasitaire supputée et sous 9 hypothèses du prix du quintal du blé (synthèse de 172 essais d'ARVALIS)

Table 3 : Theoretical optimal fungicide expense on wheat according to the expected disease pressure and under 9 wheat price hypothesis (synthesis of 172 ARVALIS trials)

Nuisibilité attendue q/ha Prix blé €/q ²	5 q/ha	10 q/ha	15 q/ha	20 q/ha	25 q/ha	30 q/ha	35 q/ha	40 q/ha
12 €/q	20	32	44	57	69	81	93	105
13 €/q	22	35	47	60	73	85	98	111
14 €/q	24	37	50	63	77	90	103	116
15 €/q	25	39	53	67	80	94	108	122
16 €/q	27	41	56	70	84	98	113	127
17 €/q	29	43	58	73	88	102	117	132
18 €/q	30	45	61	76	91	106	121	137
19 €/q	32	47	63	79	94	110	126	141
20 €/q	33	49	65	81	98	114	130	146

CONCLUSION

L'étude des notes de résistance aux maladies des variétés inscrites successivement au cours des 25 dernières années et des écarts de rendements obtenus en essais variétés de post-inscription entre la modalité bien protégée vis-à-vis des maladies et la modalité non traitée permet de conclure à un progrès génétique significatif en matière de résistance à chacune des maladies. Même si les résistances aux maladies ne sont pas les seuls critères de choix, du fait de nécessaires compromis à effectuer pour satisfaire des objectifs de qualité technologique, de productivité et d'adaptation aux contraintes abiotiques, les profils des variétés proposées aujourd'hui permettent de diminuer la nuisibilité des maladies et le recours à la protection.

La valorisation des résistances des variétés aux maladies, pas toujours aisée du fait que les variétés multi-résistantes à tous les agents pathogènes sont rares, s'effectue à 2 étapes de la conduite de la culture. La première est celle du choix de variétés qui passe par une hiérarchisation et une quantification des risques phytosanitaires liés à la parcelle afin de déterminer les variétés qui satisfont des notes seuil de résistance pour les maladies à plus gros risque ou à souhait d'impasse ou d'allègement de protection prévisionnelle et dont les autres caractéristiques font l'objet de compromis.

Le second levier de valorisation des progrès génétiques, qui représente lui aussi des enjeux significatifs en terme technico-économique et d'IFT, est le raisonnement de la protection en cours de campagne en fonction de diagnostics et de la connaissance des résistances des variétés aux maladies en cours de développement et susceptibles de se déclencher.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les collègues d'ARVALIS qui réalisent les essais, participent à l'analyse et la gestion des bases de données et contribuent à la diffusion des résultats. Merci aussi à l'équipe « maîtrise des maladies » avec laquelle se bâtissent les approches de protection intégrée.

BIBLIOGRAPHIE

Barrier Guillot B. et al., 2006. Réduire les facteurs de risques et leurs interactions. Perspectives Agricoles n°324.

Brancourt-Hulmel M., Doussinault G., Lecomte C., Bérard P., Le Buanec B., Trottet M., 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Science* 43, 37–45

Coakley S. M., Line R.F., 1981. Quantitative relationship between climatic variables and stripe rust epidemics on winter wheat. *The American Phytopathological Society*, 71, 461-467.

Cormier F., Faure S., Dubreuil P., Heumez E., Beauchene K. Lafarge S., Praud S., Le Gouis J., 2013. A multi- environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet* DOI 10.1007/s00122-013-2191-9

Goyeau et al, 2007. Blé et résistance variétale : le cas de la rouille brune. *Phytoma* n°631, 21-25

Goyeau et al, 2014. Réseau national de suivi des populations de rouille brune du blé : synthèse des résultats 2013.

Luciani, A., 2004. Etude du progrès génétique chez différentes espèces de grande culture. Rapport de l'étude réalisée par le GEVES pour le compte du Comité Technique Permanent de la Sélection, Septembre 2004. 181 pp. + annexes.

Oury F.X., Godin C., Maillard A., Chassin A., Gardet O. Giraud A., Heumez E., Morlais J.Y., Rolland B., Rousset M., Trottet M., et Charmet G. 2012. A study of genetic progress due to selection reveals a negative effect of climate change on bread wheat yield in France. *Europ. J. Agronomy* 40 (2012) 28–38.

Site internet du GEVES : <http://geves.zarcrom.fr/>