

**AFPP – 6<sup>e</sup> CONFÉRENCE SUR LES MOYENS ALTERNATIFS DE PROTECTION  
POUR UNE PRODUCTION INTÉGRÉE  
LILLE – 21, 22 ET 23 MARS 2017**

**MISE EN PLACE D'UN INDICATEUR DE LA NUISIBILITE DES MALADIES FOLIAIRES  
DU BLE TENDRE EN FRANCE**

D. HAMERNIG <sup>(1)</sup>, E. GOURDAIN <sup>(1)</sup>, P. DU CHEYRON <sup>(2)</sup>, G.COULEAUD <sup>(1)</sup>, F. PIRAUX <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> ARVALIS Institut du végétal Station expérimentale 91720 Boigneville

<sup>(2)</sup> ARVALIS Institut du végétal Route de Châteaufort ZA des Graviers 91190 Villiers le Bâcle

**RÉSUMÉ**

Les maladies foliaires du blé sont responsables, en France, de pertes de rendement importantes. Afin d'anticiper ce risque tout en limitant les traitements fongicides, ARVALIS Institut du végétal a mis en place un indicateur dont l'objectif est d'estimer une nuisibilité des maladies foliaires du blé *a priori* afin d'adapter le choix variétal ainsi que le programme de traitement en morte saison à un risque régional. Cet indicateur estime une distribution interannuelle de la nuisibilité en q/ha (moyenne, décile2, décile8) en fonction de la zone géographique et du profil de sensibilité à la rouille brune, la rouille jaune et la septoriose de la variété cultivée. Il repose sur un modèle statistique établi à partir des écarts de rendement traité/non traité dans plus de 2700 essais entre 2000 et 2015.

Mots-clés : nuisibilité, blé tendre, maladies cryptogamiques, modèle statistique, indicateur.

**ABSTRACT**

**DEVELOPMENT OF AN INDICATOR FOR PREDICTING SOFT WHEAT YIELD LOSS DUE TO DISEASES IN FRANCE**

Foliar wheat diseases are responsible in France for significant yield loss. In order to anticipate this risk while also limiting fungicide treatments, ARVALIS Institut du vegetal has developed an indicator which aims to estimate a priori soft wheat yield loss due to diseases in order to tailor varietal choice and provisional fungicide program to regional risk. This indicator estimates an interannual distribution of yield loss in q/ha (mean, decile2, decile8) by geographical area and varietal resistance to brown rust, yellow rust and septoria. It is based on a statistical model established on yield difference between treated and non-treated crops in more than 2700 trials between 2000 and 2015.

Keywords: yield loss, soft wheat, fungal diseases, statistical model, indicator.

## INTRODUCTION

Le blé tendre d'hiver est soumis en France à de nombreuses pressions de maladies au cours de son cycle. Ces maladies peuvent occasionner des pertes de rendement très importantes lorsque les variétés utilisées sont sensibles et que le climat est favorable au développement des maladies. Les trois maladies cryptogamiques du blé les plus préjudiciables au rendement sont la septoriose, la rouille jaune et la rouille brune. La septoriose foliaire est causée par un champignon de la famille des ascomycètes : *Zymoseptoria tritici*. Cette maladie est présente sur l'ensemble du territoire français et sa nuisibilité peut atteindre 50% dans les situations les plus exposées (Maufras J-Y., 2016). Ainsi, par sa forte fréquence et l'importance des dégâts potentiels, la septoriose foliaire est la plus importante des maladies du blé tendre en France. La rouille brune, causée par le champignon *Puccinia triticina* est assez fréquente dans le Sud de la France où elle est généralement plus sévère et plus précoce. Le développement de cette maladie est favorisé par un climat doux et humide. Elle peut être à l'origine de pertes de rendements catastrophiques atteignant parfois jusqu'à 40% sur les variétés de blé tendre les plus sensibles (Caron D. et al, 1993) voire 70% dans les cas extrêmes. La rouille jaune est due au champignon *Puccinia striiformis*. Cette maladie est devenue assez fréquente en France depuis 2012 avec l'apparition des races Warrior, et s'est étendue à l'ensemble de la France. Sa nuisibilité, qui s'est révélée spectaculaire en 2014, varie entre 10 et 70% en fonction de la sensibilité variétale et de la précocité de l'infection (Collectif Arvalis, 2016). La rouille jaune est favorisée par des printemps frais et humides avec des températures modérées (10 à 15°C). Les régions littorales Ouest et Nord présentent les risques les plus élevés.

Dans le cadre de la protection intégrée des cultures et dans un contexte de réduction de l'application de produits phytosanitaires, il est indispensable d'évaluer le risque de nuisibilité des maladies avant d'envisager de mettre en place une éventuelle stratégie de lutte. En particulier, si le recours aux produits fongicides est envisagé, il doit se raisonner au regard de la pression maladie attendue. Le risque de nuisibilité dépend notamment de l'année climatique et du secteur géographique mais également de la sensibilité variétale. En effet, la résistance variétale constitue un levier agronomique très efficace sur lequel il est possible de jouer pour réduire le risque de nuisibilité (Collectif Arvalis, 2016). A partir de nombreux essais au champ, ARVALIS Institut du végétal a déjà pu faire un lien entre la nuisibilité attendue et la dépense fongicide optimale sous plusieurs hypothèses du prix du quintal (voir Tableau III). Cependant, ceci nécessite de disposer d'une estimation a priori de la nuisibilité attendue sur une parcelle. C'est pourquoi, ARVALIS Institut du végétal a décidé de développer un indicateur de nuisibilité régionale *a priori*. Cet indicateur estime une nuisibilité moyenne associée à une fréquence de risque par zone géographique et par profil de sensibilité de la variété cultivée. L'indicateur tient compte de la septoriose, de la rouille brune et de la rouille jaune qui sont les maladies les plus nuisibles sur blé tendre. Pour la construction de cet indicateur de nuisibilité, une approche de modélisation statistique proche de celle utilisée par Chevalier-Gerard (1994) a été choisie. Cette méthode, qui nécessite de disposer d'une large base de données, a permis de valoriser les résultats des essais menés par ARVALIS Institut du végétal et ses partenaires sur une période de plus de dix ans. L'objectif de l'indicateur de nuisibilité est d'aider à la conception d'un programme fongicide morte saison adapté au risque mais aussi d'identifier les variétés dont le profil de sensibilité est approprié au contexte maladie de la zone afin de limiter les traitements et dépenses fongicides.

## MATERIEL ET MÉTHODES

### DONNEES

Les données utilisées dans cette étude sont issues des essais d'évaluation des variétés ou d'évaluation de produits fongicides qui sont conduits chaque année par ARVALIS-Institut du végétal et ses partenaires. Dans chaque essai, les variétés sont étudiées selon deux conditions « bien protégées vis-à-vis des maladies » et « non protégées vis-à-vis des maladies » que nous simplifierons par la suite en traitée /non traitée. Les traitements fongicides réalisés dans les essais

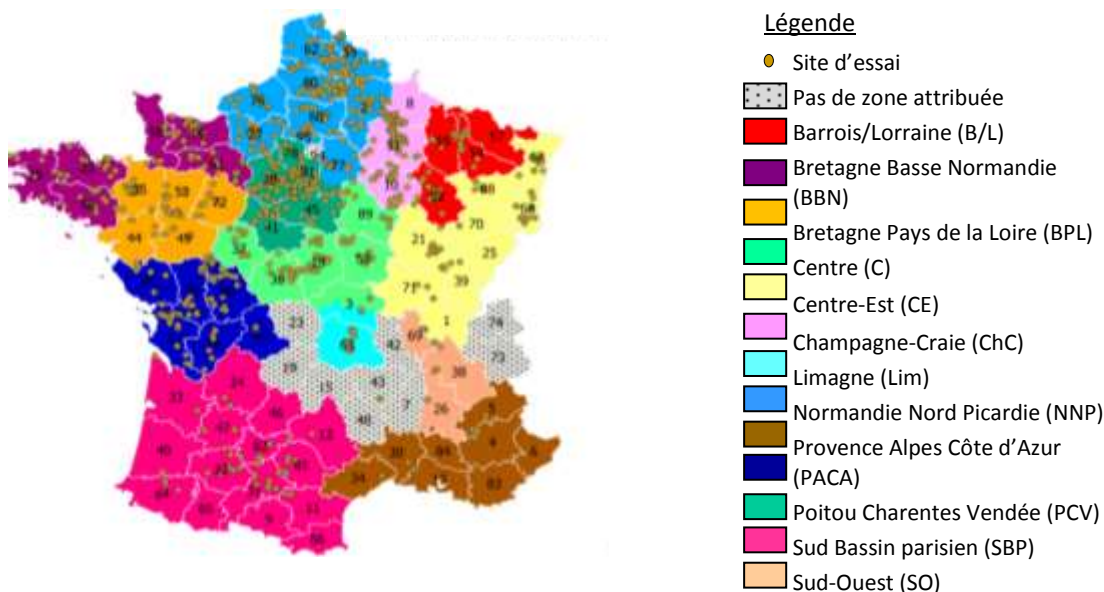
ont été définis en fonction des stratégies préconisées dans chaque région. Ils ont pour objectif d'assurer un bon niveau global de protection fongicide de l'essai afin de pouvoir estimer le rendement atteignable sans maladie. Pour chaque variété, la perte de rendement due aux maladies (ou nuisibilité) moyenne est donc calculée par la différence entre le rendement en condition traitée et le rendement en condition non traitée. Il a été considéré que cette nuisibilité est attribuable uniquement à la rouille jaune, la rouille brune ou la septoriose car l'oïdium, le piétin-verse ou la fusariose des épis restent des maladies moins fréquentes et moins nuisibles sur blé tendre. Au total, la base de données intègre les résultats de plus de 2700 essais mis en place entre 2000 et 2015 dans 750 sites français différents.

Des informations sur l'année d'étude, le lieu, la variété semée et sa note de résistance à la septoriose, à la rouille brune et à la rouille jaune sont également renseignées dans cette base. Les notes de résistance sont établies par le GEVES/CTPS lors de l'inscription de la variété et ajustées par ARVALIS Institut du Végétal pendant les deux années de suivi en post-inscription. En effet, elles peuvent avoir évolué au cours des années en raison de phénomènes de contournements de résistance.

### DEFINITION DE ZONES D'ETUDE

Afin de proposer une estimation régionalisée de la nuisibilité, treize zones d'études ont été définies à partir d'une expertise de spécialistes variétés et maladies. La définition des zones résulte d'un compromis entre la nécessité d'avoir une pression parasitaire relativement homogène au sein d'une zone et un nombre d'essais par zone suffisant pour une analyse statistique robuste. Les différentes zones retenues sont présentées sur la Figure 1.

Figure 1 : Représentation des zones d'étude et localisation des sites d'essai  
(Representation of study areas and localization of trials sites)



### DEFINITION DES PROFILS DE SENSIBILITE VARIETALE

La sensibilité des variétés à la rouille brune, la rouille jaune et la septoriose est décrite par trois notes quantitatives distinctes pour chacune des maladies qui sont attribuées en fonction du pourcentage de symptômes foliaires observé sur une variété. Ces notes varient de 1 (les plus sensibles) à 9 (les plus résistantes). Une variété est qualifiée de « très sensible » (TS), « moyennement sensible » (MS) ou « résistante » (R) à une maladie donnée en fonction de la valeur de sa note de sensibilité à cette maladie. Les seuils de notes définissant l'appartenance à une classe de sensibilité sont affichés pour chacune des maladies dans le Tableau I.

Afin de caractériser le profil de sensibilité d'une variété aux trois maladies simultanément, une variable qualitative unique nommée « profil global » a été créée. Elle est constituée par l'assemblage des profils de sensibilité de la variété à chaque maladie. Ainsi, chaque niveau de cette variable correspond à une combinaison de modalités possibles pour les trois variables : « profil de sensibilité à la septoriose », « profil de sensibilité à la rouille jaune » et « profil de sensibilité à la rouille brune ». Le facteur « profil global » comporte ainsi  $3^3=27$  niveaux différents (Tableau II). Dans cet article, seuls quelques-uns de ces vingt-sept profils seront présentés dans les résultats (profils n°1, 6, 8, 23 et 27).

Tableau I : Définition des profils de sensibilité en fonction des notes de sensibilité à la septoriose, la rouille jaune et la rouille brune  
(Definition of susceptibility profiles based on susceptibility scores to septoria, yellow rust and brown rust)

Maladie/ profil de sensibilité	Très sensible (TS)	Moyennement sensible (MS)	Résistante (R)
Septoriose	note $\leq$ 4.5	4.5<note $\leq$ 6	note $>$ 6
Rouille Jaune	note $\leq$ 4	4<note $\leq$ 6	note $>$ 6
Rouille Brune	note $\leq$ 4	4<note $\leq$ 6	note $>$ 6

Tableau II : Description des profils globaux  
(Description of the global profiles)

Profil global	Sensibilité à la rouille jaune	Sensibilité à la septoriose	Sensibilité à la rouille brune
1	TS	TS	TS
2	TS	MS	TS
3	TS	TS	MS
4	MS	TS	TS
5	MS	TS	MS
6	MS	MS	TS
7	TS	MS	MS
8	MS	MS	MS
9	R	TS	MS
10	MS	RS	R
11	R	MS	TS
12	TS	MS	R
13	MS	R	TS
14	TS	R	MS
15	R	TS	TS
16	TS	TS	R
17	TS	R	TS
18	TS	R	R
19	R	MS	MS
20	R	TS	R
21	MS	R	MS
22	R	MS	MS
23	MS	MS	R
24	R	MS	R
25	MS	R	R
26	R	R	MS
27	R	R	R

## MODELE UTILISE

Un même modèle linéaire mixte (fonction lmer du package lme4 de R) a été ajusté indépendamment dans chacune des treize zones définies.

L'objectif du modèle est d'estimer une nuisibilité par profil global et par zone. Le facteur profil global constitue donc un facteur explicatif considéré comme un effet fixe du modèle. De plus, d'autres facteurs explicatifs sont inclus dans le modèle comme l'année de l'essai afin de prendre en compte l'effet annuel du climat, le numéro de l'essai qui peut expliquer des différences de nuisibilité au sein d'une même zone géographique et le facteur variété qui, en dehors du niveau de résistance aux maladies, caractérise en partie la précocité et le potentiel de rendement qui peuvent expliquer des différences de nuisibilité. Les interactions entre ces différents facteurs ont également été ajoutées au modèle à l'exception de l'interaction variété\*essai qui est confondue avec les résidus du modèle.

Le modèle utilisé est donc le suivant :

$$\begin{aligned} \text{Nuisibilité} = & \mu + \text{effet profil}_{\text{global}} + \text{effet essai} + \text{effet année} + \text{effet variété} \\ & + \text{interaction année} \times \text{variété} + \text{interaction profil}_{\text{global}} \times \text{année} \\ & + \text{interaction profil}_{\text{global}} \times \text{essai} + \text{résiduelle} \end{aligned}$$

Dans ce modèle, l'effet profil global est considéré comme un effet fixe puisque toutes ses modalités sont définies et associés à des paramètres à estimer qui interviennent dans la moyenne du modèle. Les autres facteurs du modèle sont pris en compte comme des effets aléatoires qui comportent de nombreux niveaux dont seulement un nombre restreint est observé dans le jeu de données (seule une partie des années, des variétés et essais possibles a été étudiée). Les niveaux observés des facteurs à effets aléatoires sont ainsi modélisés en tant qu'observations d'une variable aléatoire normale, de moyenne nulle et de variance inconnue, à estimer.

Chaque modèle par zone a été évalué en calculant leur écart-type résiduel ou RSME (« Root Mean Square Error »). La RMSE a été obtenue en comparant les nuisibilités observées dans la base de données ayant servi à la construction des modèles aux nuisibilités prédites par ces modèles :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\text{moyenne}(\text{nuisibilité}_{\text{prédite}} - \text{nuisibilité}_{\text{observée}})^2}$$

## CONSTRUCTION DE L'INDICATEUR DE NUISIBILITE

L'indicateur de nuisibilité a été construit à partir des sorties des différents modèles par zone. Ces sorties ont permis de calculer une moyenne ajustée de la nuisibilité par zone et par profil de résistance variétale, ainsi que la variabilité autour de cette nuisibilité moyenne. Suite à l'analyse des sorties des modèles, il a été supposé qu'au sein d'une même zone, la variabilité de la nuisibilité est la même pour tous les profils et qu'elle peut être décrite par une loi normale dont la variance est obtenue à partir des résultats des modèles.

L'indicateur de nuisibilité final fournit ainsi une valeur médiane de nuisibilité ainsi que les déciles 2 et 8 pour une zone donnée et un profil global de sensibilité variétale donné. Afin d'estimer une nuisibilité globalement représentative d'une zone et d'un profil de résistance variétale donné, un minimum de 20 données et 4 variétés pour chaque combinaison zone/profil de résistance variétale au total est exigé pour calculer une valeur de l'indicateur.

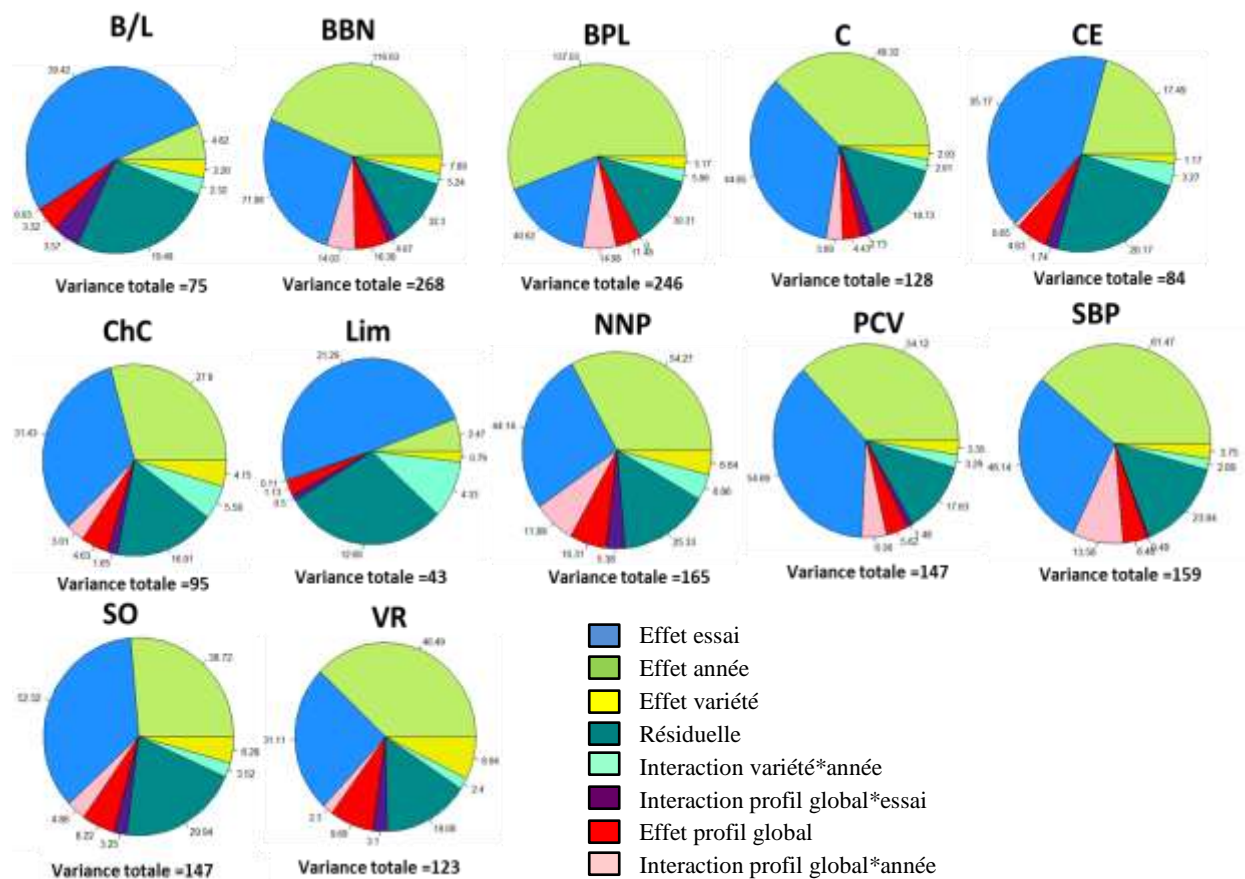
## RESULTATS

### IMPORTANCE RELATIVE DES EFFETS

L'utilisation du modèle décrivant la nuisibilité *a priori* a permis de quantifier l'importance relative des différentes variables explicatives du modèle. Pour chaque variable, l'importance relative a été calculée en divisant la variance expliquée par cette variable par la variance totale de la nuisibilité. La Figure 2 présente ainsi l'importance relative des différentes variables explicatives dans chaque zone.

Figure 2 : Représentation de la part de variance expliquée par les facteurs des modèles de nuisibilité par zone

(Representation of the part of variance explained by the factors of the models of yield loss by area)



Ces résultats révèlent tout d'abord qu'une partie non négligeable de la variabilité de la nuisibilité n'est pas expliquée par les variables étudiées (la résiduelle est comprise entre 12 et 30% selon la zone).

De plus, l'importance de chaque facteur dans la variabilité totale de la nuisibilité diffère selon les zones considérées. En effet, dans les zones où la nuisibilité est très variable, l'année explique souvent une grande partie de la variabilité de la nuisibilité. Au contraire, dans les zones où elle est plus faible, c'est l'effet de l'essai (c'est-à-dire les effets intra-régionaux) qui explique la plus grande partie de cette variabilité.

Les effets des facteurs « année » et « essais » expliquent la plus grande partie de la variabilité observée au sein d'une zone. L'effet « profil de résistance global » arrive en troisième position mais son importance reste relativement faible (1 à 10% de la variabilité) devant les effets du climat de l'année et de la variabilité intra-régionale. L'interaction « profil global \* année », quant à elle, peut expliquer jusqu'à 8.5% de la variabilité dans certaines régions, alors qu'elle est très peu explicative dans d'autres régions. Cette interaction traduit que l'importance relative des trois maladies étudiées peut plus ou moins varier entre année selon la région. Enfin, l'interaction « profil global\*essai » reste généralement assez faible (< 5%), montrant que l'importance relative des trois maladies est assez homogène au sein d'une région.

## EVALUATION DU MODELE

Les calculs de RMSE des différents modèles par zone sont présentés dans le Tableau III.

Tableau III : Calculs des RMSE en q/ha des modèles par zone  
(RMSE calculated for each model by area (q/ha))

Zone	RMSE (en q/ha)
B/L	3.7
BBN	4.9
BPL	4.7
C	3.7
CE	3.9
ChC	3.4
Lim	2.9
NNP	4.3
PCV	3.6
SBP	4.3
SO	4.8
VR	3.6

Ce tableau révèle que les modèles par zone testés ont une bonne valeur explicative de la nuisibilité puisque leur écart-type résiduel (RMSE) est inférieure à 5 q/ha. L'indicateur de nuisibilité, qui repose sur l'analyse à travers ces modèles des essais d'années climatiques passées, permet ainsi de donner une bonne idée de la gamme de nuisibilité à laquelle il faut s'attendre dans une zone et pour un profil de sensibilité variétale donné.

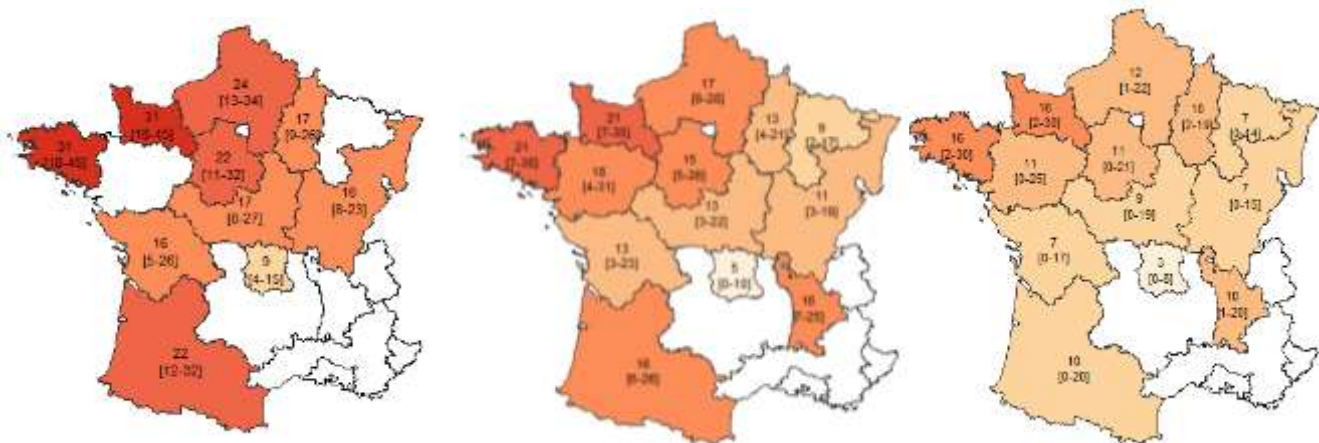
#### INDICATEURS DE NUISIBILITE

Les sorties (moyenne, décile 2 et décile 8) de l'indicateur de nuisibilité sont présentées sous la forme de cartes de nuisibilité par profil de résistance variétale afin de visualiser la variabilité spatiale de la nuisibilité. Trois exemples de ces cartes qui représentent un profil sensible aux trois maladies (profil n°1), un profil moyennement sensible aux trois maladies (profil n°8) et un profil résistant aux trois maladies (profil n°27) sont présentés dans la Figure 3.

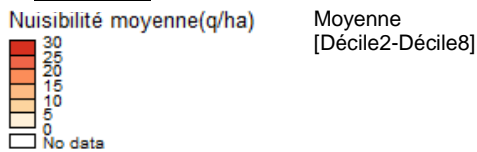
La comparaison de ces trois profils témoigne d'une nuisibilité par zone décroissante entre respectivement le profil sensible, moyennement sensible et résistant. De plus, il existe de fortes disparités de nuisibilité entre les zones. Ainsi, la Limagne est une zone où la nuisibilité moyenne est faible quel que soit le profil : elle atteint 9 q/ha pour un profil sensible, 5 q/ha pour un profil moyennement sensible, et moins de 3 q/ha pour un profil résistant. Parallèlement, le niveau moyen de nuisibilité est très fort en Bretagne Basse Normandie. Il atteint plus de 30 q/ha pour un profil sensible, 21q/ha pour un profil moyennement sensible et 16 q/ha pour un profil résistant. Ceci s'explique par les pressions maladies qui sont souvent plus importantes dans le Nord-Ouest où le climat doux et humide favorise le développement des maladies fongiques.

Par ailleurs, il existe également une interaction entre le profil global et la zone. En effet, le gain de rendement que l'on peut attendre en utilisant dans une zone donnée une variété résistante plutôt qu'une variété sensible dépend de la zone géographique et, en particulier de la pression maladie de cette zone. En effet, ce gain est par exemple de 6 q/ha en Limagne contre 15 q/ha en Bretagne Basse Normandie. De plus, en considérant l'ensemble des vingt-sept profils de sensibilité possibles (cartes non intégralement présentées), l'interaction entre profil global et zone s'explique aussi par le fait que l'importance relative des maladies est différente selon les régions. Dans ce cas, l'indicateur de nuisibilité permet d'aider les agriculteurs à choisir une variété dont le profil de résistance aux maladies foliaires est adapté à leur région car il permet de comparer les performances de différents profils de sensibilité au sein d'une région. Ainsi, pour évaluer la pertinence de cultiver une variété résistante à une maladie en particulier, il est possible de comparer les cartes de plusieurs profils dont seul le niveau de sensibilité à cette maladie diffère.

Figure 3 : Cartes de nuisibilité (q/ha) entre trois profils globaux différents  
 (Yield loss (q/ha) maps between three different global profiles)  
 Profil n°1 (sensible)      Profil n°8 (moyennement sensible)      Profile n°27 (très sensible)

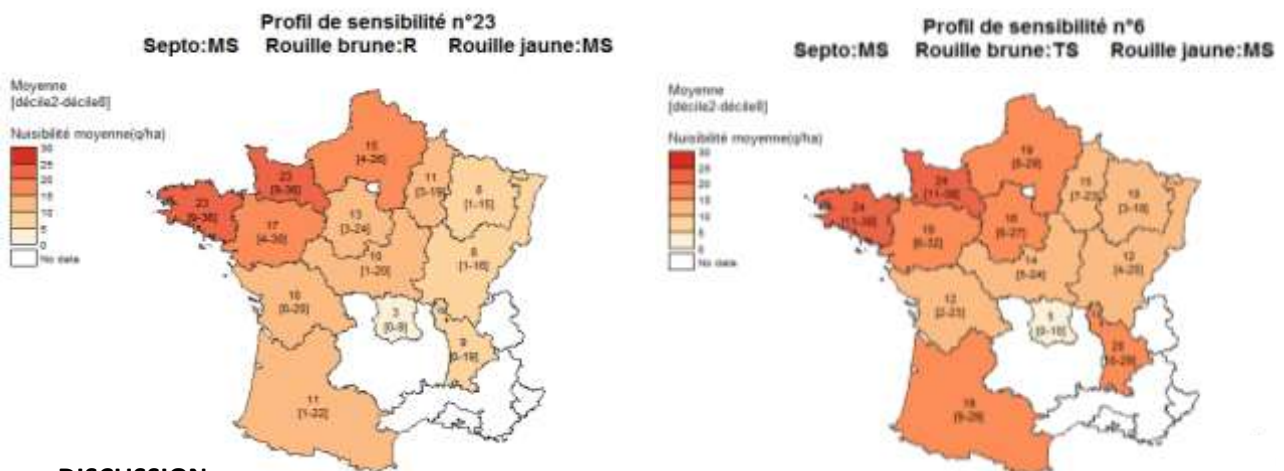


**LEGENDE**



Par exemple, la Figure 4 permet d'évaluer la pertinence de cultiver des variétés sensibles à la rouille brune en fonction des zones. On observe que le gain moyen apporté par l'utilisation d'une variété résistante par rapport à une variété très sensible en Barrois-Lorraine n'est que de 2q alors qu'il est de 11q en Vallée de Rhône. Il est donc judicieux de cultiver des variétés résistantes à la rouille brune en Vallée du Rhône alors que cela semble peu pertinent en Barrois-Lorraine.

Figure 4 : Cartes de nuisibilité (q/ha) de deux profils globaux contrastés pour la sensibilité à la rouille brune (profils n°23 et n°6)  
 (Yield loss (q/ha) maps of two contrasting global profiles for brown rust (profiles n°23 and n°6))



**DISCUSSION**

L'indicateur de nuisibilité construit permet de calculer dans chaque zone le gain moyen de rendement apporté par le choix d'une variété résistante par rapport à une variété sensible. De plus, l'intervalle interdécile D2-D8 associé à la nuisibilité moyenne rend compte du risque associé à cette prévision dans une zone considérée. Cependant, il apparaît que cet intervalle se révèle souvent assez élevé, ce qui complique le choix variétal pour les agriculteurs. Ces derniers pourront tout de même prendre des décisions en fonction de leur aversion au risque grâce à la connaissance des fréquences de risque de nuisibilité.

La prise en compte dans le modèle de certains facteurs qui peuvent expliquer une variabilité intrarégionale de la nuisibilité pourrait permettre de diminuer la variabilité autour de la nuisibilité moyenne estimée par zone et par profil. En effet, certaines pratiques agronomiques ont une influence sur le développement de maladies (nature du précédent cultural, travail du sol, densité de semis, dates de semis, enfouissement des résidus, fertilisation azotée, etc.) (Collectif Arvalis, 2013). De plus, une étude sur la nuisibilité en Poitou-Charentes a mis en évidence un rôle du type de sol sur la nuisibilité (Keller L., 2015). Il pourrait également être envisagé d'étudier la nuisibilité à plus grande échelle pour mieux prendre en compte la variabilité intrarégionale mais ceci nécessiterait un grand nombre de données bien réparties dans chaque zone.

En outre, la forte variabilité autour de la nuisibilité moyenne par profil global et par zone s'explique aussi et surtout par une grande variabilité interannuelle liée à des différences climatiques non prévisibles *a priori*. Il serait donc intéressant de disposer d'un indicateur complémentaire dynamique capable d'ajuster le risque de nuisibilité prévu par l'indicateur *a priori* en fonction de données climatiques acquises en cours de campagne. Un tel indicateur permettrait de moduler en conséquence les doses ou le nombre de traitements fongicides prévus initialement.

L'estimation par l'indicateur d'une nuisibilité attendue *a priori* permet néanmoins d'appréhender l'enjeu lié à la sensibilité variétale et d'évaluer la réduction fongicide permise par l'utilisation de variétés résistantes. Même si seule la nuisibilité due à la septoriose et à la rouille brune a été prise en compte pour le calcul de l'optimisation de la dépense fongicide (90 essais de 2010 à 2016, ARVALIS Institut du végétal), le Tableau III permet de calculer l'investissement fongicide optimal sur blé en fonction de la nuisibilité attendue et sous plusieurs hypothèses de prix du blé dans les zones où la pression rouille jaune est faible ou pour des variétés résistantes à cette maladie. Connaissant une estimation de la nuisibilité attendue grâce à l'indicateur de nuisibilité, l'utilisation de ce tableau permet ainsi de comparer les dépenses fongicides optimales entre plusieurs profils variétaux en se basant sur l'indicateur de nuisibilité pour calculer les nuisibilités théoriques et de calculer le gain économique apporté par l'utilisation de variétés résistantes. Dans les situations à forte pression rouille jaune, il faut garder à l'esprit que l'estimation de l'investissement fongicide calculé peut être biaisée. Néanmoins, en effectuant tout de même les calculs à titre d'exemple pour la zone Bretagne Basse Normandie, en estimant un prix du blé à 14 €/q et en se basant sur une nuisibilité moyenne estimée sur les cartes de la Figure 3, l'investissement fongicide optimal calculé est de 103 €/ha pour une variété sensible du profil n°1, 71€/ha pour une variété moyennement sensible du profil n°8 et 56€/ha pour une variété résistante du profil n°27. Ces calculs se basent sur un risque moyen mais, en fonction de leur aversion au risque, les agriculteurs peuvent aussi considérer une nuisibilité attendue égale au décile 8 de l'indicateur de nuisibilité pour calculer leur investissement fongicide optimal.

Tableau III : Dépense fongicide optimale théorique sur blé en €/ha en fonction de la pression parasitaire attendue et sous cinq hypothèses du prix du quintal (CHOISIR Céréales à Paille, 2016)

(Optimal wheat fungicide expenses in €/ha according to expected disease pressure and five quintal price hypothesis)

Nuisibilité attendue Prix du blé €/q	5q/ha	10q/ha	15q/ha	20q/ha	25q/ha	30q/ha	35q/ha	40q/ha
12€/q	20	35	49	64	79	94	109	124
13€/q	22	37	53	68	83	98	114	129
14€/q	24	40	56	71	87	103	119	134
15€/q	26	42	58	75	91	107	123	140
16€/q	28	44	61	78	95	111	128	145

## CONCLUSION

L'estimation d'un indicateur de nuisibilité *a priori* à partir d'une large base de données d'écart de rendement sur des variétés protégées ou non par un programme fongicides en France a permis de mettre en évidence l'intérêt de choix de profils variétaux globalement résistants aux 3 maladies foliaires dominantes que sont la rouille brune, la rouille jaune et la septoriose. Cet intérêt est d'autant plus marqué dans les zones à forte pression maladie. Il a également permis de hiérarchiser l'importance relative de ces maladies par région. Compte tenu du nombre élevé de critères qui rentrent dans le choix d'une variété, cet indicateur doit aider à mettre l'accent sur les maladies les plus nuisibles de la région. Néanmoins, la forte variabilité autour de cet indicateur montre que d'autres facteurs non pris en compte dans le modèle pèsent sur le résultat. Il convient donc de l'utiliser avec précaution, c'est-à-dire comme une aide au choix variétal et à la définition d'un programme de traitement en morte saison.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le pôle maladie et le pôle variété d'ARVALIS Institut du végétal ainsi que les partenaires du réseau Performance qui ont mis en place les essais dont sont issues les données nécessaires à la construction de l'indicateur de nuisibilité ainsi que les équipes régionales qui ont suivi ces essais. Ils remercient également les ingénieurs d'ARVALIS Institut du végétal dont Guénoël GRIGNON, Xavier LE BRIS, Fabrice MOREAU, Claude MAUMENE et Benoit PAGES qui ont participé à la réflexion pour la mise en œuvre de cet indicateur.

## BIBLIOGRAPHIE

Arvalis-infos, 2013- Combiner résistances variétales et agronomie contre les maladies [en ligne]  
Disponible sur: <http://www.arvalis-infos.fr/combiner-resistances-varietales-et-agronomie-contre-les-maladies-@/view-12040-arvarticle.html>

Arvalis-Institut-du-Végétal CHOISIR-Céréales à paille, 2016- Synthèse nationale 2015-2016

Arvalis- Institut du végétal. Fiche accident - Reconnaître au champ la rouille jaune [en ligne]  
Disponible sur : < [http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche\\_accident/fiches\\_accidents.php?mode=fa&type\\_cul=1&type\\_acc=4&id\\_acc=48](http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=1&type_acc=4&id_acc=48)>  
(Consulté le 03/02/2016)

Caron D., Barrault G., Albertini L., 1993. Epidémiologie de la rouille brune du blé (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) dans le Sud-Ouest de la France. Thèse. INPT, Toulouse.

Chevalier-Gerard G., 1994. Modélisation de la perte de rendement due aux maladies cryptogamiques sur blé tendre d'hiver. Application à la conception d'itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants à l'aide du simulateur "déciblé" Thèse. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.

Keller L., 2015. Comment caractériser la nuisibilité des maladies foliaires sur blé tendre en Poitou-Charentes pour adapter les préconisations. Rapport de stage de licence professionnelle Techniques et Technologies Végétales. ESA, Angers.

Maufras J-Y, 2016- La septoriose, une maladie propagée par les éclaboussures de pluie [en ligne]  
Disponible sur :< <http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/la-septoriose-une-maladie-propagee-par-les-eclaboussures-de-pluie-@/view-9994-arvarticle.html?servername=www.arvalis-infos.fr>>