

## Associations variétales et interventions fongicides contre les septorioses et la rouille brune du blé d'hiver

Bruno Mille, Claude de Vallavieille-Pope

**R**éduire les coûts de production et les résidus liés aux intrants (engrais azotés, produits phytosanitaires) tout en maîtrisant le risque de maladies constitue des objectifs majeurs de l'agriculture et de la recherche actuelle. Certaines techniques permettent de ralentir le développement des maladies fongiques : l'une d'elles est l'association de variétés différant par leurs gènes de résistance aux parasites foliaires [1].

Les associations variétales ont été étudiées pour leur faculté à freiner le développement des maladies foliaires. Les principales maladies étudiées sont l'oïdium [*Blumeria graminis* (syn. *Erysiphe graminis*) f. sp. *hordei*] [2], la rhynchosporiose (*Rhynchosporium secalis*) [3] et la rouille (*Puccinia hordei*) [4] de l'orge, la septoriose (*Stagonospora nodorum*, syn. *Septoria nodorum*) [5] du blé, le piétin verse (*Pseudocercospora herpotrichoides*) de l'orge [4] et du blé [6]. Plus récemment, elles ont également été expérimentées vis-à-vis de *Mycosphaerella graminicola* (syn. *Septoria tritici*) et *S. nodorum* et leur efficacité a été évaluée de 9 à 27 % de réduction de maladie suivant les années [7] mais elle peut

atteindre 35 % [8]. En France, l'expérience est plus récente, mais ce type de résultat a été validé avec des variétés françaises de blé : la technique des associations variétales permet de ralentir le développement de la rouille jaune [9]. Leur effet bénéfique est également observé sur les rendements d'orge de printemps en situation d'épidémies d'oïdium, avec des augmentations de 3 à 9 % pour les mélanges en Grande-Bretagne [2], de 4 % en Allemagne [10, 11] et jusqu'à 23,6 % en Pologne [12] par rapport aux variétés cultivées pures. En Suisse, où la culture sans fongicide, insecticide ni régulateur de croissance est financièrement encouragée, les associations d'orge peuvent atteindre dans certaines régions 40 % des surfaces, et les associations de blé 10 % [13].

Pour évaluer si l'association variétale permet de réduire les interventions fongicides foliaires, nous avons engagé, en 1992, un programme de raisonnement de la lutte contre les septorioses du blé tendre d'hiver, fondé sur deux hypothèses : les associations variétales ralentissent le développement des septorioses [5] ; la technique d'association variétale permet de retarder les interventions fongicides sans augmenter le risque d'une perte de rendement importante.

miques et un niveau élevé de résistance aux maladies (tableau 1). Les critères de choix sont au nombre de cinq [14] : productivité ; valeur boulangère homogène (panifiable supérieur) ; précocité à la montaison et hauteur de paille homogènes (pour limiter les phénomènes de compétition) ; maturité homogène ; résistances complémentaires vis-à-vis des agents pathogènes majeurs. Deux associations de blé d'hiver ont été retenues : une association binaire, Soissons + Delfi, et une association ternaire, Soissons + Delfi + Pactole.

Le dispositif expérimental est mis en place au champ sur le site expérimental de La Verrière (Yvelines), pendant trois années successives, de 1992 à 1994 ; il est constitué de parcelles de 20 m<sup>2</sup> (2,5 x 8 m) disposées en blocs (4 répétitions) randomisés ; chaque parcelle élémentaire est divisée en deux parties, l'une sert aux notations de maladies en cours de végétation, l'autre est réservée à l'évaluation du rendement. Le dispositif combine, d'une part, des associations variétales et leurs composants cultivés purs et, d'autre part, des programmes fongicides : l'intervention fongicide retardée est comparée à un traitement classique tel qu'il est préconisé dans les avertissements agricoles. Des témoins non traités et des témoins conformes aux pratiques de culture intensive (protection intensive) sont incorporés dans le dispositif, ce qui permet d'estimer la productivité maximale potentielle dans les conditions de l'essai.

Les contaminations naturelles de septorioses sont essentiellement dues à *M. graminicola*. Elles sont renforcées arti-

### Matériel et méthodes

Les variétés associées doivent optimiser le rendement et la qualité de la récolte par l'homogénéité des caractères agrono-

B. Mille, C. de Vallavieille-Pope : Inra, Unité de pathologie végétale et épidémiologie, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France.  
<mille@versailles.inra.fr>

Tirés à part : B. Mille

Thème : Protection phytosanitaire.

Tableau 1

## Notes de résistance des variétés aux maladies foliaires majeures du blé d'hiver

Variétés	Rouille jaune	Septorioses	Rouille brune
Soissons	7	6	1
Delfi	2	4	3
Pactole	8	6	7

(Bulletin des Variétés Céréales 1994, GEVES.)  
Variétés notées de 1 (sensible) à 9 (très bon niveau de résistance).

## Resistance scores for major winter wheat foliar diseases in pure stands

ficiellement par une pulvérisation d'environ 25 ml/m<sup>2</sup> d'une suspension titrée à 10<sup>6</sup> spores de *M. graminicola*/ml, au cours du mois de mars, pour obtenir un développement suffisant des infections réparties uniformément sur chaque bloc. Les spores sont produites au laboratoire sur milieu malt-agar [15] en boîtes de Petri à partir d'isolats prélevés sur le lieu d'expérimentation. Suivant les conditions de l'année, la rouille brune s'installe naturellement vers la fin du mois de mai.

Les applications fongicides foliaires sont réalisées de la manière suivante : le traitement « classique » correspond à une décision raisonnée après observation de la maladie en culture monovariétale. Il est appliqué dès que des nécroses sont observables sur au moins l'une des trois feuilles apicales sur 50 % des plantes. Il est préconisé dans les avertissements agricoles élaborés par les services de la protection des végétaux. Le traitement « retardé », objet de notre étude, est appliqué plus tardivement quand une pluie d'intensité suffisante pour être supposée contaminatrice pour la septoriose (pluviométrie supérieure à 5 mm par jour et pycnides observables sur les nécroses) intervient après le stade d'intervention « classique ». La protection « intensive » correspond au mode de culture intensif (3 pulvérisations foliaires en 1993 et 2 pulvérisations en 1994) ; elle est également raisonnée en fonction des indications des avertissements agricoles. Une spécialité à base de tébuconazole (250 g de matière active par hectare) a été retenue pour son action spécifique vis-à-vis des maladies foliaires ; son activité vis-à-vis des maladies du pied n'a pas été établie, ce qui permet d'étudier le facteur traitement des maladies foliaires de manière isolée.

Les notations portent sur l'évaluation visuelle du pourcentage de surface nécro-

sée sur chaque étage foliaire atteint mais non sénescent, aux trois stades suivants : « dernière feuille étalée » (stade 8 de l'échelle de Feekes), « gonflement » (stade 9) et « fin floraison » (stade 10-5-3) ; 50 plantes sont prélevées de manière aléatoire sur chaque parcelle élémentaire, seul le maître brin est noté. Des parcelles adjacentes aux parcelles préalablement notées sont récoltées à maturité pour une évaluation du rendement. Les résultats obtenus sur les associations variétales sont comparés à la moyenne (appelée valeur théorique) des observations effectuées sur les variétés pures. L'efficacité de la technique d'association variétale (appelée « efficacité association », EA) est estimée soit vis-à-vis de l'intensité de la maladie par la réduction de surface nécrosée (SN) :

$$EAm = [(SN \text{ théorique} - SN \text{ observée}) \times 100] / SN \text{ théorique}$$

soit par l'augmentation de rendement (R), exprimée en pourcentage des valeurs théoriques

$$EAR = [(R \text{ observé} - R \text{ théorique}) \times 100] / R \text{ théorique}$$

Les différents traitements ont été comparés par analyse de la variance.

## Résultats

Les notations réalisées aux stades « dernière feuille étalée » et « gonflement » ne donnent pas lieu à des résultats permettant de comparer les différentes situations, si bien que seules les observations au stade « fin floraison » sont présentées.

## Évolution des maladies sur les variétés cultivées pures

Les situations épidémiques sont différentes suivant les années (tableau 2) : en 1992, les septorioses sont bien installées et restent dominantes par rapport aux autres maladies foliaires (jusqu'à 34,7 % de surface nécrosée, SN, en moyenne sur les deux feuilles apicales) ; en 1993, les septorioses sont tout d'abord dominantes avant que la rouille brune n'explose et soit finalement le principal facteur de nécrose foliaire (jusqu'à 98,3 % de SN en moyenne) ; en 1994, les septorioses se développent régulièrement tout au long de l'année, la rouille brune est présente mais sa progression (jusqu'à 30,4 % de SN en moyenne) est gênée par les pluies abondantes.

Pour ces trois années, *M. graminicola* et *S. nodorum* ont été conjointement observés, mais la proportion relative des deux agents pathogènes n'a pas été mesurée.

## Interaction entre associations variétales et protection fongicide foliaire

En 1992, sur les témoins « non traités », l'effet association variétale est positif (19,3 % pour l'association binaire et 12,2 % pour l'association ternaire) (tableau 2) ; il est également observable pour le traitement « retardé » (36,3 et 27,7 %, respectivement). La différence entre valeur théorique et valeur observée est statistiquement significative pour l'intervention retardée. La protection fongicide « classique » reste préférable sur variétés pures alors que, sur les associations variétales, le traitement « retardé » donne les meilleurs résultats (20,5 et 20,1 % de surface foliaire nécrosée). En 1993, le raisonnement des interventions fongicides, fondé *a priori* sur le développement des septorioses, n'est pas cohérent avec la situation sanitaire de rouille brune dominante, ce qui donne lieu à un développement important des surfaces nécrosées. L'effet association variétale se traduit par des valeurs observées inférieures ou égales aux valeurs théoriques (de 0 à 8,2 %) mais n'est pas statistiquement significatif ; il est nul dans les situations de protection « intensive ». La protection fongicide classique donne les meilleurs résultats aussi bien sur variétés pures que sur associations varié-

Tableau 2

Surface foliaire nécrosée, exprimée en pourcentage de la surface foliaire totale sur les 2 feuilles apicales du blé d'hiver au stade « fin floraison » sur la moyenne des composants semés purs (théorique) et sur les associations variétales (observé) et effet des associations variétales (EAm)

Interventions fongicides	Soissons + Delfi			Soissons + Delfi + Pactole		
	Théorique	Observé	EAm	Théorique	Observé	EAm
<b>Année 1992</b>						
<b>Septorioses seules développées</b>						
Non traité	34,7	28,0	19,3	32,0	28,1	12,2
Classique <sup>1</sup>	25,1	23,7	5,6	23,0	21,8	5,2
Retardé <sup>2</sup>	32,2	20,5	36,3*	27,8	20,1	27,7
<b>Année 1993</b>						
<b>Septorioses puis rouille brune dominante</b>						
Non traité	98,3	95,7	2,6	85,5	78,5	8,2
Classique <sup>1</sup>	64,5	62,8	2,6	58,7	54,1	7,8
Retardé <sup>2</sup>	74,0	71,9	2,8	63,3	61,8	2,4
Protection intensive <sup>3</sup>	37,1	37,0	0,3	35,5	35,5	0,0
<b>Année 1994</b>						
<b>Septorioses dominantes et rouille brune</b>						
Non traité	30,4	23,6	22,4	25,0	19,0	24,0
Classique <sup>1</sup>	3,7	4,5	- <sup>4</sup>	3,6	4,1	-
Retardé <sup>2</sup>	8,5	8,6	-	6,9	8,4	-
Protection intensive <sup>3</sup>	3,0	3,8	-	2,8	3,7	-

<sup>1</sup> Quand 50 % des plantes ont l'une de leurs 3 feuilles apicales nécrosée.

<sup>2</sup> Quand une pluie d'intensité supérieure à 5 mm par jour est intervenue depuis le traitement fongicide (1) précédent.

<sup>3</sup> Deux pulvérisations fongicides en 1993, trois en 1994 ; (EAm) efficacité association = pourcentage de diminution de surface nécrosée par rapport à la moyenne des composants semés purs.

<sup>4</sup> Maladies trop faiblement développées.

\* Différence statistiquement significative au seuil de 5 % entre valeur théorique et valeur observée.

## Percentage of necrotic foliar area on the top two leaves of winter wheat in June and association efficiency

tales (62,8 et 54,1 % de surface nécrosée) ; la protection « intensive » permet un contrôle nettement accru des nécroses (jusqu'à 37 et 35,5 % de surface nécrosée). En 1994, l'effet association n'est observable que sur les parcelles non traitées (22,4 et 24 % d'efficacité) et n'est pas statistiquement significatif. La protection fongicide « classique » donne les meilleurs résultats aussi bien sur les variétés pures que sur les associations variétales (3,6 à 4,5 % de surface nécrosée), mais la protection « retardée » permet également un très bon niveau de contrôle des développements nécrotiques sur variétés pures et sur associations (6,9 à 8,6 % de surface nécrosée) ; la protection « intensive » permet un résultat équivalent à la protection « classique » (2,8 à 3,8 % de surface nécrosée).

Pour la protection « retardée », la pulvérisation fongicide a été appliquée de 7 à 20 jours après celle de la protection « classique » suivant les années (respectivement 10, 7 et 20 jours en 1992, 1993 et 1994).

## Influence des programmes fongicides sur les rendements

En 1992, un développement important de piétin échaudage (*Gaeumannomyces graminis*) réduit fortement les rendements de toutes les parcelles : les résultats ne sont pas présentés. En 1993, l'effet association est observable sur les parcelles non traitées (7,8 et 9,4 %) et sur le traitement « retardé » appliqué à l'association ternaire (10,7 %) (tableau 3), mais il n'est jamais statistiquement significatif. La protection fongicide « retardée » permet un rendement équivalent au traitement « classique » pour l'association binaire, ou supérieure pour l'association ternaire (73,3 q/ha au lieu de 68,5 q/ha pour le traitement « classique » sur variétés pures), laquelle contient une variété résistante à la rouille brune. En 1994, l'effet association variétale n'est visible que sur les parcelles non traitées (8 et 4,6 %) et n'est toujours pas statistiquement signifi-

catif. La protection fongicide « retardée » permet des rendements équivalents à ceux du traitement « classique » pour les variétés pures et pour les associations.

## Discussion et conclusion

L'effet association variétale est essentiellement marqué sur les parcelles non traitées, mais aussi en situation de protection tardive (appelée intervention fongicide « retardée »). En présence de traitements fongicides classiquement appliqués, il est réduit ou nul, mais il intervient quand l'association comporte une variété résistante à la maladie prédominante (comme la variété Pactole présente dans l'association ternaire et résistante à la rouille brune). Son efficacité anti-fongique (calculée en pourcentage de réduction de surface nécrosée par rapport aux variétés cultivées pures) varie de 2,6 à 24,3 % avec une moyenne de 15,1 % sur les trois années d'expérimentation en l'absence de protection fongicide. Son efficacité exprimée en pourcen-

**Tableau 3**

**Rendements du blé d'hiver, exprimés en quintaux par hectare, sur la moyenne des composants semés purs (théorique) et sur les associations variétales (observé) et effet des associations variétales (EAR)**

Interventions fongicides	Soissons + Delfi			Soissons + Delfi + Pactole		
	Théorique	Observé	EAR	Théorique	Observé	EAR
<b>Année 1993</b>						
<b>Septorioses puis rouille brune dominante</b>						
Non traité	57,6	62,1	7,8	60,8	66,5	9,4
Classique <sup>1</sup>	70,1	71,5	2,0	68,5	64,9	- 5,3
Retardé <sup>2</sup>	68,9	69,6	1,0	66,2	73,3	10,7
Protection intensive <sup>3</sup>	79,2	81,6	3,0	75,8	75,7	- 0,1
<b>Année 1994</b>						
<b>Septorioses dominantes et rouille brune</b>						
Non traité	68,6	74,1	8,0	71,0	74,3	4,6
Classique <sup>1</sup>	85,9	82,3	- 4,2	83,0	82,5	- 0,6
Retardé <sup>2</sup>	83,2	83,7	0,6	82,0	81,1	- 1,1
Protection intensive <sup>3</sup>	88,1	86,1	- 2,3	85,8	82,6	- 3,7

<sup>1</sup> Quand 50 % des plantes ont l'une de leurs 3 feuilles apicales nécrosées.

<sup>2</sup> Quand une pluie d'intensité supérieure à 5 mm par jour est intervenue depuis le traitement fongicide (1) précédent.

<sup>3</sup> Deux pulvérisations fongicides en 1993, trois en 1994 ; (EAR) efficacité association = pourcentage d'augmentation de rendement par rapport à la moyenne des composants semés purs.

**Yield of winter wheat (q per ha) and association efficiency**

tage de gain de rendement est plus faible : elle varie de 4,6 % à 9,4 % avec une moyenne de 7,5 % pour les années 1993 et 1994. La protection fongicide « classique » est préférable pour les variétés pures, mais une protection fongicide « retardée » est efficace sur les associa-

tions variétales dans la mesure où celles-ci comportent au moins un composant résistant à la maladie dominante ; cette protection retardée est même parfois préférable pour les associations variétales (augmentation de 7 % du rendement de l'association ternaire par rapport au trai-

tement « classique » sur les variétés pures en 1993).

Comme dans nos pays voisins, la technique d'association variétale pourrait être envisagée avec des variétés répondant aux critères de compatibilité agronomique. L'agriculteur peut réaliser lui-même le mélange, ce qui n'occasionne aucune dépense supplémentaire. Mais actuellement, la commercialisation des récoltes produites par une association variétale n'est pas encore autorisée sur notre territoire. Cette pratique culturale est possible pour l'autoconsommation ou pour les productions contractualisées. L'association variétale peut entrer dans les itinéraires à niveaux d'intrants réduits, créant la possibilité de réduire ou supprimer les pulvérisations fongicides foliaires quand les situations sanitaires le permettent, ou encore de choisir des spécialités moins rémanentes et moins coûteuses dans le cas d'une pulvérisation tardive ; elle peut permettre d'augmenter les rendements sans investissement d'intrant supplémentaire. Bien que son efficacité soit modérée, elle participe à la limitation des risques sanitaires et peut compléter d'autres techniques (agronomiques, résistances variétales, traitements chimiques des semences, etc.) dans les systèmes de protection intégrée. Elle peut également intéresser l'agriculture biologique et, à plus long terme, devrait allonger les temps d'utilisation des variétés, en particulier en retardant la

**Summary**

**Cultivar mixtures and fungicide sprays against leaf and glume blotch and brown rust in winter wheat**

B. Mille, C. de Valavieille-Pope

*Cultivar mixtures slow down the progression of foliar fungal diseases. Field experiments conducted over 3 years showed that chemical sprays against leaf and glume blotch and brown rust could be delayed in cultivar mixtures of winter wheat as compared to the treatment schedule in pure stands.*

*Mixture efficiency was mainly visible in unsprayed plots. It could, however, also be observed when fungicide treatments were delayed by 7 to 20 days, compared to the classical treatment schedule, for mixed stands including one or two susceptible cultivars along with one cultivar resistant to the major foliar diseases. Over the 3 years, a 15% reduction in necrotic leaf area and a 7.5% increase in yield were observed in mixed stands as compared to pure stands without treatment. The classical fungicide program (spray applied when 50% of the plants have necroses on one of the top three leaves) was preferable for pure stands, but a "delayed" fungicide program was possible and sometimes even preferable for mixed cultivars (yield supplement of 7% with a three-cultivar mixture as compared to pure stands with the classical treatment in 1993).*

*Cahiers Agricultures 2001 ; 10 : 125-9.*

diminution des niveaux de résistances variétales liée à la sélection des pathogènes virulents vis-à-vis des variétés majoritairement emblavées. De même, en permettant une réduction des interventions fongicides, le risque d'apparition des pathogènes résistants aux fongicides pourrait être réduit [16] ■

## Références

1. Finckh MR, Wolfe MS. Diversification strategies. In : Jones DG, ed. *The epidemiology of plant diseases*. London : Chapman and Hall, 1998 : 231-59.
2. Wolfe MS, Barrett JA. Can we lead the pathogen astray? *Plant Dis* 1980 ; 64 : 148-55.
3. Jeger MJ, Jones DG, Griffiths E. Disease progress of non-specialised fungal pathogens in intraspecific mixed stands of cereal cultivars. II. Field experiments. *Ann Appl Biol* 1981 ; 98 : 199-210.
4. Gieffers W, Hesselbach J. Krankheit und Ertrag verschiedener Getreidesorten im Rein- und Mischbau. I. Sommergerste (*Hordeum vulgare* L.). *Z Pflanzenkr Pflanzenschutz* 1987 ; 95 : 46-62.
5. Mille B, Jouan B. Influence of varietal associations on the development of leaf and glume blotch and brown leaf rust in winter bread wheat. *Agronomie* 1997 ; 17 : 247-51.
6. Saur L, Mille B. Développement de *Pseudocercospora herpotrichoides* sur des variétés de blé tendre d'hiver cultivées en mélange. *Agronomie* 1997 ; 17 : 113-8.
7. Mundt CC, Brophy LS, Schmitt ME. Choosing crop cultivars and mixtures under high versus low disease pressure: a case of study with wheat. *Crop Protection* 1995 ; 14 : 509-15.
8. Mundt CC, Hoffer ME, Ahmed HU, et al. Population genetics and host resistance. In : Lucas JA, Bowyer P, Anderson HM, eds. *Septoria on cereals: a study of pathosystems*. Wallingford, England : CAB International, 1999 : 115-30.
9. Vallavieille-Pope C (de), Goyeau H, Lannou C, Mille B. La culture de céréales en mélange pour lutter contre les maladies foliaires. *Phytoma* 1991 ; 424 : 28-36.
10. Ibenthal WD, von Meier zu Beerentrop H, Nabizadeh F. Ertragsniveau und Krankheitsbefall von Sommergerste in Sortenmischungen. *Z Pflanzenkr Pflanzenschutz* 1985 ; 92 : 37-46.
11. Nitzsche W, Hesselbach J. Sortenmischungen statt Viellinien-sorten. 1. Sommergerste (*Hordeum vulgare* L.). *Z Pflanzenkr Pflanzenschutz* 1983 ; 90 : 68-74.
12. Czembor HJ, Gacek ES. The use of cultivar and species mixtures to control diseases and for yield improvement in cereals in Poland. In : Limpert E, Finckh MR, Wolfe MS, Eds. *Population studies of airborne pathogens on cereals as a means of improving strategies for disease control*. Cost, European cooperation on scientific and technical research. 1996 : 177-84.
13. Wolfe MS, Vallavieille-Pope C (de), Lannou C, et al. Mélanges variétaux de blés ou d'orges. Théorie, pratique et exemples. *Phytoma* 1997 ; 497 : 28-32.
14. Saulas P. *Mise au point de la technique de mélange de variétés, pour une conduite du blé d'hiver à faible niveau d'intrants*. Mémoire d'Ingénieur, Montpellier, 1993 ; 100 p.
15. Champion R. *Identifier les champignons transmis par les semences*. Paris : Éd. INRA, 1997 ; 398 p.
16. Forrer HR, Grindat D. Strategie zur Vermeidung von Fungizidresistenz im Getreidebau. *Mitt Schweiz Landw* 1985 ; 33 : 39-51.