

## Note Commune

# INRA, ANSES, ARVALIS – Institut du végétal 2014 pour la gestion de la résistance aux fongicides utilisés pour lutter contre les maladies des céréales à pailles

*Cette note co-redigée par des représentants de l'INRA, de l'ANSES et d'ARVALIS - Institut du végétal, dresse l'état des lieux des résistances aux fongicides utilisés pour lutter contre les maladies foliaires des céréales à paille et formule des recommandations pour limiter les risques de résistance et maintenir une efficacité satisfaisante.*

*Pour la campagne 2014 l'émergence de souches d'helminthosporiose de l'orge résistantes aux SDHI est soulignée et l'accent est mis sur la limitation à une seule application de SDHI par saison. Ces dernières informations proviennent d'études menées par les sociétés phytosanitaires.*

## SEPTORIOSE

(*Mycosphaerella graminicola*,

anamorphe *Zymoseptoria tritici*, syn. *Septoria tritici*)

### Résistance aux QoI

La résistance aux QoI (strobilurines) concerne l'ensemble des régions céréalières françaises. Son implantation est généralisée sur tout le territoire y compris dans les régions du Sud et l'efficacité de toutes les strobilurines est fortement compromise.

### Résistance aux IDM

Les souches de *S. tritici* moyennement résistantes aux triazoles (principale classe d'IDM) restent largement majoritaires dans toutes les régions françaises. Pour mémoire, ces souches sont faiblement résistantes, et pour une part, entièrement sensibles au prochloraze, en particulier dans les régions de la façade atlantique. Plusieurs **phénotypes émergents**, notamment plus résistants aux triazoles et au prochloraze sont détectés depuis 2008. Ces phénotypes émergents restent stables entre 2012 et 2013, et sont le plus souvent minoritaires bien que retrouvés régulièrement dans les populations (9.2 % en moyenne sur l'ensemble des échantillons mais présents dans 47 % des populations, contre 52 % en 2012).

Ils correspondent à 2 sous-groupes<sup>(1)</sup>:

- un sous-groupe dit **non MDR** pour lequel les différentes catégories de souches présentent de forts niveaux de résistance à un ou quelques triazoles, liés à la sélection de nouvelles combinaisons de mutations dans le gène cible des IDM.
- un sous-groupe dit **MDR** (pour MultiDrug Resistant) qui progresse en nombre de parcelles portant de fortes proportions (>30%). Les isolats de ce sous-groupe sont très résistants à la plupart des IDM et faiblement résistants aux SDHI (Inhibiteurs de la Succinate DésHydrogénase, comprenant les carboxamides), suite à l'acquisition d'un nouveau mécanisme de résistance qui permet au champignon d'excréter plus efficacement les fongicides.

Etant donné les faibles fréquences moyennes de ces nouvelles souches, l'efficacité des fongicides ne semble pas affectée par cette évolution récente des populations. Les premiers résultats d'étude de la pression sélective montrent que tous les unisites testés (triazoles, imidazoles, SDHI) seuls ou en mélange pourraient exercer une pression de sélection sur tout ou partie de ces populations émergentes.

### Résistance aux SDHI

En 2012, une souche de *Mycosphaerella graminicola* a été collectée sur blé dans une parcelle d'essai du nord de la France et portant le changement T79N sur la sous-unité C de la succinate déshydrogénase. Ce phénotype résistant est également associé à des facteurs de résistance modérés aux SDHI. En 2013, aucune souche résistante (CarR) n'a été détectée, tous les isolats testés se sont avérés sensibles aux SDHI. Compte-tenu de la fréquence et des facteurs de résistance observés à ce stade, il n'y a pas lieu de craindre pour l'efficacité des SDHI en pratique en 2014.

## Recommandations

Malgré une érosion de l'activité de tous les triazoles au champ, l'époxiconazole, le prothioconazole, et le metconazole demeurent les plus efficaces.

En revanche, l'action des triazoles doit généralement être renforcée par des fongicides multisites (chlorothalonil, mancozèbe) ou du prochloraze ou un SDHI. Pour limiter la pression de sélection fongicide, en particulier sur les phénotypes émergents, on diversifiera les modes d'actions et les molécules au sein d'un même mode d'action. En particulier, on limitera les applications de SDHI à une seule application par saison quelle que soit la dose<sup>(2)</sup>. Dans le même objectif, l'introduction du chlorothalonil dans les programmes de traitement est recommandée dès le premier traitement.

<sup>(1)</sup>Leroux P, Walker AS, Multiple mechanisms account for resistance to sterol 14 $\alpha$ -demethylation inhibitors in field isolates of *Mycosphaerella graminicola*. (2011). *Pest Management Science* 67(1), 47-59

<sup>(2)</sup>Le fractionnement d'une dose pleine en deux applications doit être comptabilisé comme deux applications indépendantes.



### OÏDIUM DU BLE, DU TRITICALE ET DE L'ORGE (*B. graminis f. sp tritici* et *B. graminis f. sp hordei*)

Cette maladie est peu préjudiciable ces dernières années sauf sur triticales.

La résistance aux strobilurines est probablement toujours fortement implantée en France mais reste peu fréquente dans le Sud.

Bien que la résistance aux deux classes d'IBS (IDM et « amines ») soit largement installée en France, de nombreuses molécules conservent une activité intéressante.

Des souches d'oïdium du blé résistantes au quinoxifène et au proquinazid, présentant des facteurs de résistance variables, sont

décélées en France (surtout localisées en Champagne) et dans d'autres pays européens. Si l'activité du quinoxifène peut être affectée, le proquinazid, bien que présentant une résistance croisée avec le quinoxifène, reste efficace en toutes situations.

Le cyflufénamid et la métrafénone représentent deux modes d'action différents des fongicides précédemment cités. En 2013, aucune résistance spécifique au cyflufénamid n'a été rapportée. Par contre depuis 2009, des souches d'oïdium du blé moyennement résistantes à la métrafénone sont observées en France à faible fréquence. Plus récemment, des souches fortement résistantes à la métrafénone ont été détectées à très faible fréquence en France, comme dans le reste de l'Europe, mais elles n'ont pas progressé en 2013.

En l'absence de nouvelles données depuis 2007, l'oïdium du triticales est toujours considéré comme sensible à l'ensemble des anti-oïdium utilisés sur blé, en raison de races plus spécifiques sur les variétés de triticales et de la plus faible intensité de traitement dans les zones d'élevage où le triticales est davantage cultivé.



### Recommandations

Les recommandations de 2013 sont maintenues : Au même titre que de nombreux IBS, la métrafénone, mais aussi le cyflufénamid, le proquinazid restent efficaces dans la pratique sur les populations actuelles d'oïdium. Néanmoins, pour diminuer la pression de sélection sur les anti-oïdium pour lesquels des souches résistantes ont été identifiées (métrafénone, quinoxifène, cyprodinil, « amines »), ces derniers devront être utilisés de préférence associés à une autre molécule active sur cette cible. La famille des QoI ne doit plus être considérée comme efficace sur oïdium dans la plupart des régions françaises. Le cyprodinil ne présente plus d'efficacité suffisante sur oïdium.

### PIETIN-VERSE (*Oculimacula spp.*)<sup>3</sup>

L'espèce dominante en France est *Oculimacula yallundae* (type rapide) et les souches rencontrées actuellement sont plus fréquemment résistantes à la plupart des IDM, notamment au prochloraze mais pas au prothioconazole.



Des souches résistant spécifiquement au cyprodinil continuent d'être détectées en France à une fréquence parfois non négligeable au sein des deux espèces d'*Oculimacula spp.* mais sans incidence pratique notable.

Vis-à-vis du prothioconazole, du boscalid et du cyprodinil, des souches multi-résistantes (MDR) présentant des niveaux de résistance faibles sont, depuis quelques années, régulièrement observées, sans que leur présence n'affecte l'efficacité de ces spécialités. La métrafénone ne semble pas concernée par ce phénomène, ni par une résistance spécifique.

### Recommandations

Les niveaux d'efficacité observés en essais sont généralement faibles. Le cumul de plusieurs substances actives (cyprodinil, métrafénone,...) est souvent nécessaire pour obtenir une efficacité satisfaisante. Le prochloraze n'est plus efficace sur piétin verse et est à réserver à la lutte contre la septoriose. La métrafénone étant active sur piétin verse et sur oïdium, il faut limiter son utilisation à une application par saison. Une alternance des modes d'action, annuelle pied/feuilles et entre années pour le premier traitement est recommandée pour limiter le risque de résistance.

Rappel : la lutte contre le piétin doit d'abord s'envisager via l'agronomie et la génétique avec des variétés résistantes au champignon ou à la verse. Les variétés avec des notes de sensibilité GEVES, notées 5 et au-delà, ne justifient pas de traitement mais doivent faire l'objet d'une utilisation raisonnée, comme les fongicides.

<sup>(3)</sup>Leroux P, et al. Fungicide resistance status in French populations of the wheat eyespot fungi *Oculimacula acuformis* and *Oculimacula yallundae* (2012). Pest Management Science Online

### HELMINTHOSPORIOSE DU BLE

(*Pyrenophora tritici-repentis*,  
anamorphe *Drechslera tritici-repentis*)



En Europe du Nord, certaines souches de *Drechslera tritici-repentis* présentent des mutations dans le gène codant pour le cytochrome b (la cible des QoI), soit en position 129 (faible niveau de résistance), soit en position 143 (fort niveau de résistance). Ces deux mutations peuvent être retrouvées dans une même population. L'efficacité des strobilurines pourrait alors être sévèrement affectée si les fréquences de souches fortement résistantes augmentaient fortement. En France, ces deux mutations sont détectées régulièrement sur les très rares échantillons ayant fait l'objet d'analyses. Aucune baisse d'efficacité n'a été observée à ce stade.

### Recommandations

Utiliser les strobilurines en association avec un triazole efficace sur helminthosporiose du blé (notamment prothioconazole, tébuconazole, propiconazole) dans les situations agronomiques favorables et là où la maladie est formellement identifiée.

Rappel : privilégier la lutte agronomique : la solution la plus efficace et la plus économique pour limiter le développement de l'helminthosporiose reste de cultiver une variété résistante. En cas de précédent blé, l'enfouissement des résidus pailleux réduit l'inoculum disponible et l'importance des infections primaires. Il permet d'éviter de recourir à un traitement spécifique.

## HELMINTHOSPORIOSE DE L'ORGE

(*Pyrenophora teres*,  
anamorphe *Helminthosporium teres*)



En France, la résistance de *Pyrenophora teres* aux QoI est bien implantée et semble stabilisée depuis 2006. La mutation se situe en position 129 (cytochrome b) et induit des niveaux de résistance faibles à modérés. En situation de résistance, l'efficacité au champ de toutes les strobilurines

est affectée. L'azoxystrobine est la molécule la plus pénalisée par la résistance, alors que la pyraclostrobine est la molécule la moins impactée. La picoxystrobine et la trifloxystrobine présentent toutes les deux des résultats intermédiaires et similaires entre eux.

Une dérive de sensibilité des IDM a été observée, associée à une dérive de l'efficacité de ces fongicides. Le prothioconazole reste le triazole le plus efficace sur cette maladie.

Le cyprodinil et les SDHI représentent deux autres modes d'action.

Concernant la résistance spécifique aux SDHI, des souches de *Pyrenophora teres* avaient été collectées en 2012 dans le nord de l'Allemagne en parcelles de production. Dans un premier temps, la mutation H277Y sur la sous-unité B a été identifiée sur deux souches, puis à la faveur d'analyses complémentaires, deux autres mutations ont été identifiées : G79R et H134R, toutes les deux sur la sous-unité C.

En 2013, ces mêmes mutations ont de nouveau été trouvées avec deux autres sur la sous-unité C : S135R et N75S. Ainsi, actuellement 5 mutations sont identifiées sur les sous unités B et C de la succinate déshydrogénase. La fréquence de ces souches résistantes est en progression en France et en Europe du nord.

La mutation portant le changement G79R sur la sous unité C (C-G79R) est dominante dans les populations Française et induit des niveaux de résistances faibles à élevés selon les matières actives. Il y a résistance croisée entre tous les SDHI. Pour le moment, l'efficacité au champ n'est pas affectée. Certains isolats portent à la fois une mutation pour les SDHI et une pour les QoI (F129L).

### Recommandations

Toujours associer les SDHI et les strobilurines avec des fongicides efficaces présentant d'autres modes d'action (en particulier prothioconazole ou cyprodinil). Diversifier les modes d'action en pratiquant l'alternance.

Eviter au maximum les doubles applications, en particulier de SDHI. Éviter également les doubles applications pour les strobilurines, le prothioconazole, l'époxiconazole et le cyprodinil.

### RAMULARIOSE DE L'ORGE

(*Ramularia collo-cygni*)



Observée pour la première fois en France en 2002, la ramulariose s'est rapidement étendue dans toutes les zones de culture des orges et escourgeons. Les analyses réalisées depuis 2008 ont révélé des fréquences élevées de souches de *R. collo-cygni* fortement résistantes

aux strobilurines (QoI) et présentant un cytochrome b modifié en position 143. L'efficacité de cette classe de fongicides est en pratique fortement affectée.

A ce jour, la famille des SDHI n'est pas affectée par la résistance. Toutefois, la crainte est forte d'exercer une pression de sélection importante avec le bon niveau d'efficacité observé pour les derniers représentants de cette famille chimique.

### Recommandations

La ramulariose, difficile à distinguer du reste du complexe, est prise en compte avec les grillures. Les matières actives les plus efficaces sur le complexe grillures/ramulariose sont : un multisite, le chlorothalonil ou parmi les unisites, le prothioconazole et certains SDHI. La famille des SDHI faisant partie des moyens de lutte les plus performants, la maîtrise durable de la maladie passe par une limitation du recours à ces fongicides et à une association systématique avec un autre mode d'action toujours actif sur ramulariose.

## RHYNCHOSPORIOSE DE L'ORGE (*Rhynchosporium secalis*)

Quelques souches résistantes aux strobilurines et présentant la substitution G143A (cytochrome b) ont été décelées en France en 2008 mais n'ont plus été retrouvées, bien que recherchées depuis cette date.



### Recommandations

Associer les triazoles à un autre mode d'action efficace.



### ROUILLES DES CÉREALES

(*P. recondita*, *P. striiformis*, *P. hordei*)



Dans l'état actuel des connaissances, ni la rouille brune, ni la rouille jaune, ni la rouille naine ne sont concernées par des phénomènes de résistance en pratique vis-à-vis des triazoles comme des strobilurines.

### Recommandations

Tenir compte des potentialités intrinsèques sur rouilles des substances actives entrant dans les programmes. Actuellement, les associations de triazoles et de strobilurines continuent de procurer les meilleures solutions contre ces parasites. Les SDHI sont d'un intérêt secondaire pour la lutte contre les rouilles. Éviter leur emploi si seules les rouilles constituent une menace dans une parcelle de céréales à pailles pour assurer leur durabilité sur d'autres maladies.

## FUSARIOSES DES CEREALES

(*M. majus*, *M. nivale*, *F. graminearum*,  
*F. culmorum*, *F. avenaceum*,  
*F. tricinctum*, *F. poae* et *F. langsethiae*)



Les années 2007, 2008, 2012 et 2013 ont été marquées par des attaques de *Microdochium spp.* (fusariose des épis). Depuis 2007, la résistance de

*Microdochium spp.* aux strobilurines est largement implantée, avec de forts niveaux de résistance. Ce phénomène est généralement déterminé par la substitution G143A dans le cytochrome b, mais d'autres mécanismes pourraient être impliqués. Cette mutation semble plus implantée chez *M. majus* et entraîne des baisses d'efficacité en pratique des strobilurines.

La résistance aux benzimidazoles et aux thiophanates, sélectionnée chez *Microdochium spp.* dans les années 70, était toujours détectée dans le suivi réalisé en 2008. Ces souches cumulent également fréquemment, mais pas systématiquement, la résistance aux strobilurines. Depuis deux à trois ans, la répartition pourrait avoir évolué et la présence de *M. nivale* serait plus fréquemment détectée. Au champ, le thiophanate-méthyl semble plus efficace que par le passé sur les souches de *Microdochium* en présence de *M. nivale*.

Les souches de *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* et *F. langsethiae* restent pratiquement toutes sensibles aux benzimidazoles et thiophanates. Enfin, aucune dérive de sensibilité aux IDM n'a été observée pour ces espèces de *Fusarium spp.* sur lesquelles la plupart des strobilurines ont peu ou pas d'efficacité.

### Recommandations

***Microdochium spp.*** : parmi les IBS, seul le prothioconazole présente une bonne efficacité en pratique. Le prochloraze et le fenpropimorphe présentent des potentialités intéressantes. Les strobilurines ne présentent plus d'intérêt sur *M. majus* et *M. nivale* depuis la généralisation de la résistance. Le thiophanate-méthyl peut avoir un intérêt au vu des résultats aux champs en 2012 et 2013, à confirmer.

***Fusarium spp.*** : pour contrôler les diverses espèces de *Fusarium* en particulier *F. graminearum*, il est possible d'utiliser des IDM tels que le prothioconazole, le tébuconazole ou le metconazole ou encore le thiophanate-méthyl.

## RECOMMANDATIONS <sup>4</sup> GÉNÉRALES POUR 2014

- **Préférer des variétés peu sensibles** aux maladies et éviter d'utiliser des variétés de blé ou d'orge sensibles sur toute l'exploitation.
- **Diversifier les variétés** à l'échelle de l'exploitation, de la micro-région et d'une année sur l'autre pour favoriser la durabilité des résistances génétiques.
  - Privilégier les pratiques culturales permettant de réduire le risque parasitaire, notamment en **limitant l'inoculum primaire** (ex. rotation, labour, date de semis, gestion des repousses de céréales notamment dans l'interculture ...) ou la progression de la maladie (densité, azote).
- **Ne traiter que si nécessaire**, en fonction du climat, des conditions de culture, des modèles et des observations.
- **Raisonner le positionnement** des interventions en fonction du développement des maladies grâce à des méthodes fiables d'observation et/ou de prévision du développement de l'épidémie.
- **Limitier le nombre d'applications chaque campagne avec des matières actives de la même famille** (caractérisées généralement par une résistance croisée positive). De même, dans le cas où une même matière active peut être utilisée en traitement de l'épi et en traitement des semences, éviter si possible de cumuler 2 traitements avec la même molécule.
- **Diversifier les modes d'action en alternant ou en associant les molécules dans les programmes de traitements, pour minimiser le risque de développement de résistance.**
- **Recourir lorsque cela est possible et utile aux fongicides multisites**, moins susceptibles de sélectionner des populations résistantes, en particulier sur septoriose.
- **Il est préférable de limiter l'utilisation des SDHI et des QoI, à une seule application** par campagne.
- **Pour les IDM**, vis-à-vis des maladies des céréales, les substances actives les plus efficaces peuvent être utilisées même en situation de résistance. **Eviter de recourir à la même molécule, plus d'une fois par campagne.** Par ailleurs, leurs performances seront améliorées en association avec des molécules ayant d'autres modes d'action, voire, dans le cas de mélanges, entre certains IDM complémentaires. Dans le cas d'association de plusieurs triazoles, il faut tenir compte des molécules qui composent le mélange et éviter de les réutiliser pour une autre application.

*NB : La présente note ne prend pas en compte la question des SDHI en traitement de semence. Pour ceux qui sont autorisés à l'heure actuelle, ils sont en effet sans activité revendiquée sur les maladies foliaires considérées et donc peu susceptibles d'exercer une quelconque pression de sélection. En revanche dès que des solutions en traitement des semences, actives sur les maladies foliaires seront disponibles, il conviendra de prendre pleinement en compte ce type de traitement dans la gestion du risque de résistance. Enfin, dans les deux cas, il convient de raisonner la gestion de la résistance des maladies de la semence, charbon nu et Microdochium en particulier.*

<sup>(4)</sup> Nos recommandations visent à limiter la pression de maladie et les risques d'émergence de la résistance, réduire la sélection par les fongicides des résistances émergentes, gérer l'efficacité face à une situation de résistance établie dans la pratique.

## Annexe : Classification abrégée des fongicides

MODE D'ACTION	CIBLE	NOM DU GROUPE	FAMILLE CHIMIQUE	MOLECULES	
<b>Mitose et division cellulaire</b>	<b>Microtubules</b>	BMC (Méthyl Benzimidazoles Carbamates)	benzimidazoles	<i>thiophanate ethyl</i> <b>thiophanate-methyl</b>	
<b>Respiration</b>	<b>Complexe mitochondrial II : succinate-déshydrogénase</b>	SDHI (Succinate dehydrogenase inhibitors)	phenyl-benzamides	<i>benodanil</i> <i>flutolanil</i> <i>mepronil</i>	
			pyridinyl-ethyl-benzamides	<i>fluopyram</i>	
			furancarboxamides	<i>fenfuram</i>	
			oxathiin- carboxamides	carboxine * <i>oxycarboxine</i>	
			thiazole- carboxamides	<i>thiifluzamide</i>	
				pyrazole- carboxamides	<b>bixafen</b> <i>furametpyr</i> <i>isopyrazam</i> <i>penflufen</i> <i>penthiopyrad</i> <i>sedaxane</i> * <b>fluxapyroxad</b>
				pyridine- carboxamides	<b>boscalid</b>
		<b>Complexe mitochondrial III: cytochrome b</b>	QoI (Quinone Outside Inhibitors)	methoxy-acrylates	<b>azoxystrobine</b> <b>picoxystrobine</b>
	methoxy-carbamates			<b>pyraclostrobine</b>	
	oximino-acetates			<b>krésoxim-methyl</b> <b>trifloxystrobine</b>	
oximino-acetamides	<b>dimoxystrobine</b> <b>fluoxastrobine</b>				
<b>Synthèse des acides amines et des protéines</b>	<b>Biosynthèse de la méthionine</b>	AP (Anilino-Pyrimidines)	anilinoypyrimidines	<b>cyprodinil</b>	
<b>Transduction du signal</b>	<b>Mécanisme inconnu</b>	Aza-naphthalenes	quinolines	<b>quinoxifène</b>	
<b>Biosynthèse des lipides membranaires</b>	<b>C14-demethylation des stérols</b>	IDM (De-MethylationInhibitors)	quinazolines	<b>proquinazid</b>	
			imidazoles	<b>prochloraze</b> *	
			triazoles	<b>bromuconazole</b> <b>cyproconazole</b> <b>difénoconazole</b> * <b>époconazole</b> <i>fluquinconazole</i> <i>flusilazole</i> <i>flutriafol</i> <b>metconazole</b> <i>myclobutanil</i> <b>propiconazole</b> <b>tébuconazole</b> * <b>tétraconazole</b> <i>triadiménol</i> <i>triticonazole</i> *	
			triazolinethiones	<b>prothioconazole</b> *	
			morpholines	<b>fenpropimorphe</b>	
		<b><math>\Delta^{14}</math> réductase et <math>\Delta^8 \rightarrow \Delta^7</math> isomérase des stérols</b>	Amines	pipéridines	<b>fenpropidine</b>
				spirokétalamines	<b>spiroxamine</b>
	<b>Mode d'action inconnu</b>	<b>Mécanisme inconnu</b>	Phenyl-acétamide	phenyl-acetamide	<b>cyflufénamid</b>
		<b>Disruption de l'actine ?</b>	Benzophénone	benzophénone	<b>métrafénone</b>
	<b>Multisites</b>	<b>Plusieurs sites d'action</b>	Dithiocarbamates	dithiocarbamates	<b>mancozèbe</b>
Chloronitriles			chloronitriles	<b>chlorothalonil</b>	

En gras, les molécules autorisées en traitement foliaire sur céréales

En italique, molécules non autorisées sur céréales

\* substances actives que l'on retrouve en traitement des semences