

Note commune

**INRA, ANSES, ARVALIS - Institut du Végétal 2015
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.

A l'issue de la campagne 2014 la fréquence des souches d'helminthosporiose de l'orge résistantes aux SDHI a fortement progressé en France et notre recommandation de limiter l'utilisation des SDHI à une seule application par saison est maintenue, sur orge comme sur blé.

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 majoritaires dans toutes les régions françaises. Pour mémoire, ces souches sont faiblement à moyennement résistantes aux IDM, et pour une part, entièrement sensibles au prochloraze, en particulier dans les régions de la façade atlantique. Cependant, plusieurs catégories de souches présentant des niveaux de résistance moyens à forts aux IDM sont détectées depuis 2008. Leur fréquence, stable entre 2012 et 2013, a fortement progressé en 2014. Ces souches représentent désormais 13 % de la population sur l'ensemble des échantillons analysés (24 % dans les échantillons concernés). Ces phénotypes sont présents dans 45 % des populations, contre 37 % en 2013). En Angleterre et en Irlande des pertes partielles d'efficacité des IDM ont été corrélées avec de fortes fréquences de ces souches.

Elles correspondent à 2 sous-groupes⁽¹⁾ :

- un sous-groupe dit **non MDR** (ou TriMR évolués) 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. De nouveaux génotypes sont caractérisés chaque année.

- un sous-groupe dit **MDR** (pour MultiDrug Resistant) qui progresse en nombre de parcelles portant de fortes proportions (> 30 %) de ce type d'isolats. Ceux-ci 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 fréquences parfois élevées localement de ces nouvelles souches, l'efficacité des IDM pourrait se trouver affectée. Les IDM étant le plus souvent utilisés en mélange avec un autre mode d'action (chlorothalonil ou SDHI), l'impact pratique de ces souches est mal apprécié.

Résistance aux SDHI

En 2012, une souche de *Mycosphaerella graminicola* résistante aux SDHI 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 est associé à des facteurs de résistance modérés aux SDHI. En 2013 comme en 2014, aucune souche résistante (CarR) n'a été détectée en France, tous les isolats testés se sont avérés sensibles aux SDHI. Dans les autres pays européens, exerçant notamment des pressions de sélection supérieures avec les SDHI, la détection d'isolats résistant spécifiquement aux SDHI reste exceptionnelle. Dans ce contexte, il n'y a pas lieu de craindre pour l'efficacité des SDHI en pratique en 2015.



Recommandations

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

Leur activité sur septoriose doit être renforcée en ayant recours à une spécialité associant de préférence un fongicide multisite (chlorothalonil, mancozèbe) ou un SDHI, voire du prochloraze dans les régions où celui-ci est encore valorisé. Pour limiter et diversifier la pression de sélection fongicide, en particulier sur les phénotypes évolués on alternera 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⁽²⁾. Dans le même objectif, l'introduction du chlorothalonil dans les programmes de traitement est recommandée dès le premier traitement.

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

(2) 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 quinoxyfène et au proquinazid**, présentant des facteurs de résistance variables, ont été décelées en France dans les années 2000 (surtout localisées en Champagne) et dans d'autres pays européens. En 2013 tous les isolats collectés en France étaient sensibles au proquinazid. Par ailleurs, si l'activité du quinoxyfène peut être affectée par des souches résistantes, le proquinazid, bien que présentant une résistance croisée avec le quinoxyfène, reste efficace en toutes situations.



Le **cyflufénamid et la métrafénone** représentent deux modes d'action différents des fongicides précédemment cités. A ce jour, 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 (UK et D), en 2013 et 2014.

Concernant **l'oïdium du triticales**, en l'absence de nouvelles données depuis 2007, celui-ci 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 où le triticales est davantage cultivé.

Concernant **l'oïdium de l'orge**, les triazoles demeurent une solution efficace.

Recommandations

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, quinoxyfène, 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.

PIÉTIN-VERSE (*Oculimacula spp.*)⁽³⁾

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 *Oculimacula spp.* mais sans incidence pratique notable sur son efficacité.

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.

(3) Leroux P, Gredt M, Remuson F, Micoud A, Walker AS, Fungicide resistance status in French populations of the wheat eyespot fungi *Oculimacula acufiformis* and *Oculimacula yallundae* (2013). Pest Management Science 69 (1):15-26.

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. En 2014, la fréquence d'isolats résistants, toutes mutations confondues, collectés dans l'Est de l'Europe dépasse le plus souvent 30%. 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 cependant observée au champ.



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 des fongicides concernés. 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, depuis 2012, dix mutations ont été détectées sur les sous unités B, C et D de la succinate déshydrogénase (complexe II). Une sur la sous unité B : H277Y, six sur la sous-unité C : G79R, H134R, S135R, N75S, R64K, K49E et trois sur la sous unité D : D145G, H134R, D124N/E.

La fréquence de ces souches résistantes est en progression en France et en Europe du nord. Elles représenteraient près de 45% de la population collectée en France (vs 33% en 2013). Les mutations ayant le plus fort impact sur l'efficacité en serres sont C-G79R et C-H134R.

La mutation portant le changement G79R sur la sous unité C (C-G79R) est dominante dans les populations Française et Européenne (>75%) et induit des niveaux de résistances faibles à élevés selon les matières actives malgré une résistance croisée entre tous les SDHI.

Au champ l'impact de ces souches résistantes sur l'efficacité des SDHI est probable et variable selon leur fréquence. Il est cependant mal apprécié en raison de leur utilisation systématiquement en mélange.



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.

Limiter l'utilisation des SDHI à une seule application par saison. Limiter également à une seule application par saison, l'utilisation des strobilurines, du prothioconazole, de l'époxiconazole et du 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, aucun cas de résistance avérée aux SDHI n'a été rapporté.



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 commune*)

Deux isolats résistants aux strobilurines et présentant la substitution G143A (cytochrome b) ont été décelés en France en 2008 une première fois, puis à nouveau en 2013 à 200 km de distance, mais n'ont plus été retrouvés, bien que recherchés en 2014.

Recommandations

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



ROUILLES DES CEREALES

(*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. Eviter leur emploi si seules les rouilles constituent une menace dans une parcelle de céréales à pailles pour favoriser 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. D'après des analyses de 2008, 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 entre espèces de *Microdochium spp.* pourrait avoir évolué. La présence de *M. nivale* serait plus fréquemment détectée. Par ailleurs, au champ, le thiophanate-méthyl semble plus efficace que par le passé sur les souches de *Microdochium* en présence de *M. nivale* en particulier.

Les isolats de *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* et *F. langsethiae* restent pratiquement tous 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 possède 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 de 2012 et 2013.

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 un QoI comme la dimoxystrobine ou encore le thiophanate-méthyl.

RECOMMANDATIONS⁽⁴⁾ GÉNÉRALES POUR 2015

- **Préférer des variétés peu sensibles** aux maladies et éviter d'utiliser des variétés de blé, 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.
- **Limiter 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.

⁽⁴⁾ 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 céréales

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

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