

*Note commune 2017*

## INRA, ANSES, ARVALIS - Institut du Végétal pour la gestion de la résistance aux fongicides utilisés pour lutter contre les maladies des céréales à paille

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

*Celles-ci se basent d'une part sur la connaissance du statut des résistances dans les populations (fréquences des résistances, régions concernées, pertes d'efficacité éventuelles observées dans les essais), et d'autre part sur la connaissance des mécanismes de résistance et les caractéristiques des souches résistantes (niveau de résistance, spectre de résistance croisée notamment). Ces différentes informations sont issues :*

- des résultats du plan de surveillance national de la résistance aux produits phytopharmaceutiques. Ce plan de surveillance, piloté par la DGAL, participe au suivi des effets non intentionnels des pratiques agricoles de l'axe 1 (surveillance biologique du territoire) du plan ECOPHYTO II. Les analyses sont réalisées, en collaboration, par le laboratoire de l'unité Résistance aux Produits Phytosanitaires de l'Anses de Lyon et les laboratoires de l'INRA,*
- des résultats d'autres plans de surveillance, comme celui du Réseau Performance animé par Arvalis Institut du végétal, et du groupe de travail « Maladies des céréales » de l'AFPP,*
- des données de terrain, notamment issues d'essais d'efficacité en situation de résistance,*
- des communications de professionnels et des sociétés phytopharmaceutiques auprès des experts du groupe de travail.*
- de la littérature scientifique.*

### Faits marquants en 2016 :

*La proportion de souches d'**helminthosporiose de l'orge** résistantes aux SDHI, est toujours en progression et, représente désormais l'essentiel des populations. La mutation C-G79R reste majoritaire.*

*Du côté de la **septoriose**, la fréquence des souches les plus résistantes aux IDM a pratiquement doublé. Elles représentent désormais près de 40 % de la population. Pour la deuxième année consécutive, des phénotypes résistants aux SDHI ont été détectés ponctuellement et à faible fréquence. Nos recommandations de limiter l'utilisation des SDHI à une seule application par saison sont maintenues sur céréales.*

## SEPTORIOSE

(*Mycosphaerella graminicola*, anamorphe *Zymoseptoria tritici*, syn. *Septoria tritici*)

### 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 affectée.

### IDM

Les souches de *Z. tritici* moyennement résistantes (TriMR) aux triazoles (principale classe d'**IDM**<sup>1</sup>) 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. Ces dernières sont plus fréquentes dans les régions de la façade atlantique.



La fréquence des souches TriMR diminue cependant rapidement ces dernières années au profit de souches plus résistantes, confirmant la dynamique quantitative de la résistance aux IDM.

Depuis 2008, plusieurs nouvelles catégories de souches présentant des niveaux de résistance moyens à forts aux IDM sont en forte progression. Elles correspondent à 2 groupes<sup>2</sup>:

- un groupe dit « **TriMR évoluées** » 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 ont été caractérisés cette année.

- un groupe dit « **MDR** » (pour MultiDrug Resistant), pour lequel les différentes catégories de souches sont très résistantes à la plupart des IDM et faiblement résistantes aux SDHI (Inhibiteurs de la Succinate DésHydrogénase, ou carboxamides), suite à l'acquisition d'un nouveau mécanisme de résistance qui permet au champignon d'excréter plus efficacement les fongicides. Ce mécanisme d'efflux accru est systématiquement combiné avec des mutations affectant la cible des IDM.

La fréquence cumulée des TriMR évoluées et des MDR est en accroissement constant depuis 2013, avec une accélération en 2016. Ces souches représentent désormais 42 % de la population sur l'ensemble des échantillons analysés (44 % dans les échantillons concernés), soit 31 % pour les TriMR évoluées (13 % en 2015) et 11 % pour les souches MDR (9 % en 2015). L'un et/ou l'autre de ces phénotypes est présent dans 95 % des populations, contre 72 % en 2015.

Dans les parcelles présentant des fréquences élevées de TriMR évoluées et/ou de MDR, l'efficacité de tous les triazoles est affectée et reste inférieure à 50 %. En situations curatives, l'efficacité d'un programme « tout triazole » ne dépasse pas 30 % même en mélangeant plusieurs triazoles entre eux.

### SDHI

La résistance aux SDHI est déterminée par une modification de la cible affectant les sous-unités B, C ou D de la succinate deshydrogénase. Au moins quinze génotypes ont été détectés dans les populations européennes de *Z. tritici*: B-N225T ; B-T268I ; B-T268A ; B-I269V ; C-H152R ; C-W80S ; C-T79N ; C-T79I ; C-N86A ; C-N86S ; C-R151S ; C-V166M ; C-R33S ; C-I161S ; D-D129E. Ces génotypes sont associés à des niveaux de résistance faibles à forts, selon les molécules, la modification C-H152R étant considérée comme potentiellement la plus dommageable pour l'efficacité au champ.

<sup>1</sup> IDM : Inhibiteur de DéMéthylation.

<sup>2</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.

Enfin, le mécanisme d'efflux accru (MDR) concerne également, dans une faible mesure, les SDHI.

Les génotypes résistants spécifiquement aux SDHI sont principalement détectés en Irlande, en Angleterre et aux Pays-Bas. Leur fréquence peut représenter jusqu'à 30 % des souches parmi les échantillons collectés selon un mode de capture aléatoire, voire davantage dans des essais ciblés.

En France, la résistance a été détectée pour la première fois en 2012 (un isolat du nord de la France portant le changement C-T79N, associé à des facteurs de résistance faibles à moyens). La résistance aux SDHI a de nouveau été détectée, sur la base d'une dose discriminante de boscalid, en 2015 (2 populations suspectes avec faibles fréquences de souches résistantes) et en 2016 (7.5 % des populations analysées et 15 sites de collecte parmi 60). La mutation **C-H152R**, n'a pour l'instant pas été identifiée en France. Il n'a pas non plus été décelé de souches associant les deux mécanismes de résistance aux SDHI (mutation de cible + efflux) accru. En France, il n'y a pas lieu de craindre pour l'efficacité des SDHI en pratique pour 2017.

Ces constats nous incitent cependant à maintenir une pression de sélection aussi faible que possible sur ce mode d'action et légitiment notre recommandation de n'utiliser les SDHI qu'une seule fois par saison.

### 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 efficacité reste toutefois insuffisante, y compris lorsque plusieurs triazoles sont associés entre eux. A noter que le tébuconazole, dans certains essais, semble retrouver un niveau d'activité digne d'intérêt, à l'image de ce qui avait pu être constaté avec le prochloraze à la fin des années 2000, mais ceci n'est pas systématique.

L'activité des triazoles sur septoriose doit donc être complétée avec de préférence un fongicide multisite (chlorothalonil, folpel, mancozèbe) ou un SDHI, voire du prochloraze dans les régions au sud de la Loire où ce dernier est le mieux valorisé. Pour limiter et diversifier la pression de sélection fongicide, en particulier sur les souches « TriMR évoluées », on alternera les modes d'action, ainsi que les molécules au sein d'un même mode d'action. De plus, on limitera les applications de SDHI à une seule application par saison, quelle que soit la dose<sup>3</sup>. Cette recommandation vise à limiter la sélection de souches MDR et la sélection de souches spécifiquement résistantes aux SDHI. L'introduction, d'un multisite dans les programmes de traitement est recommandée dès la première application. Une deuxième application de multisite au T2 est également à considérer, malgré les pénalités parfois observées en mélange en conditions de traitement curatives. Les associations triazole+SDHI+multisite présentent régulièrement les meilleures efficacités tout en limitant, grâce à l'action du multisite, la sélection de la résistance aux SDHI, et secondairement une éventuelle progression de la résistance aux triazoles.

Enfin, trois années d'essais confirment que la pratique du fractionnement s'accompagne d'une meilleure efficacité dans les situations où la pression de la maladie est à la fois forte et continue. Elle s'accompagne toutefois d'une plus forte sélection des souches les plus résistantes (TriMR évoluées et MDR) aux unisites utilisés. Il est nécessaire de ne pas multiplier le nombre de traitements avec des unisites et de s'en tenir aux pratiques actuelles dans les situations où 4 applications d'unisites ne sont pas absolument nécessaires.

<sup>3</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*, *B. graminis* f. sp. *triticales*<sup>4</sup> et *B. graminis* f. sp. *hordei*)

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

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 la plus faible intensité de traitement dans les zones où le triticales est davantage cultivé.

### QoI

La résistance aux **strobilurines** chez l'oïdium du blé et de l'orge est, probablement, toujours fortement implantée en France mais reste peu fréquente dans le Sud.

### IDM

Bien que la résistance aux deux classes d'**IBS** (IDM et « amines ») soit largement installée en France sur oïdium du blé et de l'orge, de nombreuses molécules conservent une activité intéressante, bien que plusieurs mutations affectant la cible des IDM soient identifiées dans les populations.

### Aza-naphthalenes

Des souches d'**oïdium du blé** résistantes au **quinoxifène** (quinolines) et au **proquinazid** (quinazolinones), 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 quinoxifène peut être affectée par des souches résistantes, le proquinazid, bien que présentant une résistance croisée avec le quinoxifène, reste efficace en toutes situations, à sa dose d'emploi.

### Autres anti-oïdiums spécifiques

A ce jour, aucune résistance spécifique au cyflufenamid (phényl-acétamide) n'a été rapportée chez l'oïdium du blé. Depuis 2009, des souches d'oïdium du blé moyennement résistantes à la métrafénone (benzophénone) 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. En 2015, dans certains essais de Champagne, des résultats décevants ont été obtenus avec la métrafénone sur oïdium du blé (analyses de résistance non disponibles). La pyriofénone partageant le même mode d'action que la métrafénone, devrait également être concernée (caractérisation des souches non disponible).

## Recommandations

Les efficacités des IBS, de la métrafénone et du proquinazid sont variables en essai. Le cyprodinil ne présente plus d'efficacité suffisante sur oïdium du blé et de l'orge. A l'exception du cyflufenamid, les substances actives et les modes d'actions vis-à-vis desquels des souches résistantes ont été identifiées (métrafénone, proquinazid, quinoxifène, cyprodinil, « amines »), devront être utilisés de préférence associés à une autre molécule active sur oïdium. La famille des QoI ne doit plus être considérée comme efficace sur oïdium dans la plupart des régions françaises. Par précaution, il est recommandé de modérer si possible les pressions de sélection **sur oïdium du triticales** pour préserver la situation favorable actuellement observée. Concernant **l'oïdium de l'orge**, les triazoles demeurent une solution efficace.

<sup>4</sup> L'analyse de génomes a récemment permis de démontrer que l'oïdium du triticales résulte de l'hybridation naturelle entre l'oïdium du blé et du seigle (Menardo, F., et al. (2016). "Hybridization of powdery mildew strains gives rise to pathogens on novel agricultural crop species." *Nature Genetics* **48**(2): 201-205.)



## PIETIN-VERSE (*Oculimacula spp.*)<sup>5</sup>

### IDM

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**.

### Anilinopyrimidines

Des souches d'*Oculimacula yallundae* résistant spécifiquement au **cyprodinil** continuent d'être détectées en France à une fréquence parfois non anodine (18 à 28 % dans 3 essais sur 5 en 2015), mais sans incidence pratique démontrée sur son efficacité. Néanmoins son efficacité moyenne décroît régulièrement depuis une dizaine d'années.

### MDR

Des **souches** présentant des niveaux de résistance faibles vis-à-vis du prothioconazole, du boscalid et du cyprodinil (résistance multidrogues ou MDR) sont observées à des fréquences non négligeables (12 à 52 % en 2015), sans que leur présence n'affecte l'efficacité de ces spécialités.

### Aza-naphtalènes

La métrafénone ne semble pas concernée par la MDR, ni par une résistance spécifique.



## Recommandations

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. La lutte chimique présente des niveaux d'efficacité généralement faibles et le plus souvent économiquement non rentables.

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, dans les régions où il est encore efficace. La métrafénone étant active sur piétin verse et sur oïdium, il faut limiter son utilisation à une application par saison, ciblant l'un ou l'autre de ces pathogènes. Une alternance annuelle des modes d'action entre maladies du pied et du feuillage est recommandée pour limiter le risque de résistance.

<sup>5</sup> Leroux P, Gredt M, Remuson F, Micoud A, Walker AS, Fungicide resistance status in French populations of the wheat eyespot fungi *Oculimacula acuformis* and *Oculimacula yallundae* (2013). *Pest Management Science* 69 (1):15-26.

## HELMINTHOSPORIOSE DU BLE

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

### Qol

En Europe du Nord, certaines souches de *Drechslera tritici-repentis* présentent des mutations dans le gène codant pour le cytochrome b (cible des **Qol**), soit en position 129 (F129L; faible niveau de résistance), soit en position 143 (G143A; fort niveau de résistance) ou encore en position 137 (G137R; faible niveau de résistance). Ces trois 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%. Depuis 2015, la mutation G143A est devenue dominante. En France, ces 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.



### SDHI

Aucune donnée de monitoring relative à la sensibilité de l'helminthosporiose du blé aux **SDHI** n'est actuellement disponible. Leur utilisation sur cette cible présente par ailleurs peu d'intérêt, leur activité sur cette maladie étant limitée.

## Recommandations

Rappel : la lutte agronomique est à privilégier. 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.

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

## HELMINTHOSPORIOSE DE L'ORGE

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

### QoI

La résistance aux QoI est déterminée par une mutation affectant le gène codant pour le cytochrome b (F129L). Cette substitution induit des niveaux de résistance faibles à modérés selon la substance active. En France, la résistance de *Pyrenophora teres* aux QoI est bien implantée avec des fréquences très variables selon les parcelles étudiées (0 %-100 %). Tous échantillons confondus, la fréquence moyenne est relativement stable ces dernières années (30 %).

En situation de résistance, l'efficacité au champ de toutes les strobilurines est affectée. L'azoxystrobine est la molécule la plus pénalisée, alors que la pyraclostrobine est la molécule la moins impactée. La picoxystrobine et la trifloxystrobine présentent toutes les deux des efficacités intermédiaires et similaires entre elles.



### IDM

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.

### SDHI

La résistance spécifique aux **SDHI** est déterminée par au moins dix substitutions affectant les sous unités B, C et D de la succinate déshydrogénase (complexe respiratoire II ; une sur la sous-unité B, six sur la sous-unité C et trois sur la sous-unité D<sup>6</sup>). Les mutations ayant potentiellement le plus fort impact sur l'efficacité *in planta* sont C-G79R, C-H134R et C-S135R.

Cette résistance spécifique est détectée dans les populations européennes depuis 2012. Sa fréquence est depuis lors en progression en France et en Europe du nord. Elle représenterait environ 60 % des isolats collectés en France (vs 55 % en 2015 et 45 % en 2014).

La mutation portant le changement G79R sur la sous unité C (C-G79R) est dominante dans les populations françaises et européennes (>75 % des isolats résistants) et induit des niveaux de résistance faibles à élevés selon les matières actives, malgré une résistance croisée entre tous les SDHI. La fréquence des souches portant des mutations différentes de C-G79R augmente également et atteint en France jusqu'à 30 % des souches génotypées.

<sup>6</sup> Une sur la sous unité B : H277 Y/R/L, six sur la sous-unité C : G79R, H134R, S135R, N75S, R64K, K49E et trois sur la sous unité D : D145G, H134R, D124N/E. Une mutation supplémentaire sur la sous-unité D est en cours de validation : D-E178K

Au champ, l'impact de ces souches résistantes sur l'efficacité des SDHI est probable et dépendante de leur fréquence. Il est cependant mal évalué en raison de l'utilisation systématique des SDHI en mélange.

### Anilinopyrimidines

Le cyprodinil est le seul mode d'action homologué : il présente une efficacité stable depuis 2007, bien que modérée.

### Recommandations

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

Limitier l'utilisation des SDHI, mais aussi des strobilurines (QoI), du prothioconazole, du cyprodinil et de chaque autre IDM à une seule application par saison, toutes maladies confondues. Par ailleurs, l'apport des QoI sur le plan de l'efficacité, dans le cadre de mélanges IDM+SDHI+QoI a pu être démontré en essai. En revanche l'utilisation généralisée de ce mélange triple pourrait accélérer la sélection des souches portant la résistance multiple aux QoI et SDHI, déjà identifiées dans de nombreuses régions européennes. Enfin le coût (perte de fitness) associé à cette résistance multiple n'est pas clairement démontré. Nous recommandons donc de recourir à ces mélanges trois voies uniquement sur les variétés sensibles à l'helminthosporiose<sup>7</sup>, c'est-à-dire dans les situations qui justifient un renfort de protection contre cette maladie.

Par ailleurs, l'association de 2 SDHI, même appartenant à deux groupes chimiques différents, ne permet pas en pratique de gérer la résistance aux SDHI, étant donné les génotypes présents dans les populations. Ce type de mélange ne sera comptabilisé que comme une seule application de SDHI et vise principalement à accroître l'efficacité des molécules SDHI en renforçant leurs efficacités mutuelles.

<sup>7</sup> La variété *Etincel*, par exemple, première variété cultivée, peu sensible à l'helminthosporiose, ne justifie pas de recourir à des mélanges triples triazole+SDHI+QoI

## 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.

### QoI

Cette résistance est déterminée par la substitution G143A affectant le cytochrome b et est caractérisée par de forts niveaux de résistance.

Les analyses réalisées depuis 2008 révèlent des fréquences élevées de souches de *R. collo-cygni* résistantes aux **strobilurines**. L'efficacité de cette classe de fongicides est, en pratique, fortement affectée.

### SDHI

En 2015, des isolats portant une résistance très élevée aux **SDHI** et associés aux substitutions C-H142R ou C-H149R de la succinate deshydrogénase ont été détectés dans le sud de l'Allemagne à une fréquence parfois élevée. Une troisième mutation C-N83S, associée à un plus faible facteur de résistance a également été détectée ailleurs en Europe en 2016. Aucun monitoring n'a pour l'instant été pratiqué en France mais il serait nécessaire. La prudence est donc de rigueur.

En présence de résistance, les efficacités des SDHI sont affectées et les meilleurs résultats sont obtenus avec des mélanges trois voies : SDHI+QoI+chlorothalonil.



### IDM

Des isolats fortement résistants aux triazoles ont été identifiés dès 2015 à l'issue d'un monitoring conduit en Allemagne exclusivement. Les souches les plus résistantes présentent des niveaux de résistance très élevés à tous les triazoles, associées à plusieurs combinaisons de mutations affectant le gène CYP51. Ces souches résistances sont associées à des baisses d'efficacité en conditions contrôlées. Dans des essais du Sud de l'Allemagne, de faibles efficacités ont été rapportées pour des modalités associant SDHI+IDM depuis 2015. En France, en 2016, de faibles efficacités de ces mélanges ont été également signalées ponctuellement, sans que l'on puisse formellement les associer à la résistance (en l'absence d'analyses).

## 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 le chlorothalonil (multisite) ou, parmi les unisites, le prothioconazole et les 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 actif sur ramulariose.

## RHYNCHOSPORIOSE DE L'ORGE

*(Rhynchosporium commune)*

### Qol

Deux isolats résistants fortement aux **strobilurines** et présentant la substitution G143A (cytochrome b) ont été décelés une première fois en France en 2008, puis à nouveau en 2012 à 200 km de distance. Cette substitution n'a pas été retrouvée lors des monitoring menés en 2013 et 2014 en France. En 2014 au Royaume Uni, et en 2015 en Espagne, quelques rares isolats présentant cette mutation ont été isolés.

### SDHI

Vis-à-vis des SDHI, un monitoring conduit en 2013, n'a pas permis de détecter de souches résistantes.

### 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 strobilurines ou des triazoles. Quelques isolats de rouille brune sont très ponctuellement détectés dans les populations européennes (faibles niveaux de résistance, liés à la substitution Y134F de CYP51 ou à la surexpression de ce gène).

### 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**, à l'exception du benzovindiflupyr, sont d'un intérêt secondaire pour lutter contre les rouilles. Eviter d'y recourir lorsque leur contribution à l'efficacité contre les rouilles du mélange concerné n'est pas décisive.



## 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, 2013 puis 2016 ont été marquées par des attaques de *Microdochium spp.* (fusariose des épis) parfois extrêmement sévères

### QoI

La résistance aux QoI est généralement déterminée par la substitution G143A portée par le cytochrome b, mais d'autres mécanismes plus rares pourraient être impliqués. Les niveaux de résistance sont forts pour toutes les molécules

Depuis 2007, la résistance de *Microdochium spp.* aux **strobilurines** est largement implantée sur le territoire, et en particulier pour *M. majus* (analyses de 2008).

Cette résistance entraîne des baisses d'efficacité en pratique des strobilurines.

### BMC

La résistance au **thiophanate-méthyl** (benzimidazoles) est déterminée par la substitution E198A affectant la  $\beta$ -tubuline et est associée à de forts niveaux de résistance.

Cette résistance, sélectionnée chez *Microdochium spp.* dans les années 70, était toujours détectée dans le dernier suivi réalisé entre 2008 et 2012. Les souches concernées cumulent fréquemment, mais pas systématiquement, la résistance aux strobilurines (résistance multiple). Ces résistances sont implantées chez *M. majus* et *M. nivale*.

L'année 2016 a permis de confirmer la prépondérance de *M. majus* par rapport à *M. nivale* sur épis.

Au champ, le thiophanate-méthyl semble plus efficace que par le passé sur les souches de *Microdochium spp.* en présence de *M. nivale* en particulier.

Les isolats de *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* et *F. langsethiae* restent pratiquement tous sensibles au thiophanate-méthyl.

### IDM

Faute de suivi, aucune dérive de sensibilité aux **IDM** n'a été caractérisée pour ces espèces de *Fusarium spp.* sur lesquelles la plupart des strobilurines ont peu ou pas d'efficacité. L'ultra-dominance des triazoles sur ce segment de la protection justifierait un monitoring sur ces espèces.



## Recommandations

**Microdochium spp.** : parmi les IBS (IDM + « amines »), seul le prothioconazole présente une bonne efficacité en pratique. Le prochloraze possède des potentialités intéressantes. Les strobilurines (QoI) ne présentent plus d'intérêt sur *M. majus* et *M. nivale* depuis la généralisation de la résistance. Le thiophanate-méthyl (BMC) peut avoir un intérêt au vu des résultats aux champs de 2012 et 2013 et participer à l'alternance des modes d'action.

**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 (BMC).

## CHARBON NU de l'ORGE

(*Ustilago nuda*)

### SDHI

Quatre phénotypes résistants d'*Ustilago nuda* ont été identifiés (CarR1 à CarR4). Ils se distinguent entre eux par leur niveau de résistance aux différents fongicides SDHI, ainsi que par leur spectre de résistance croisée. Ils ne présentent pas de résistance croisée avec d'autres modes d'action (résistance spécifique aux SDHI). Les niveaux de résistance sont en général faibles à moyens pour la plupart des SDHI. Ces quatre phénotypes sont associés à quatre mutations uniques affectant les sous-unités B, C ou D de la succinate deshydrogénase (SDH), cible des SDHI.

La résistance d'*U. nuda* à la carboxine (SDHI) a été identifiée au champ à la fin des années 80<sup>8</sup>. Depuis d'autres SDHI (sedaxane, fluopyram) sur le charbon ont été développés sur cette cible. En 2016, une collecte de 302 épis charbonnés, a été analysée, majoritairement en provenance de parcelles agricoles, sur 20 sites correspondant à 13 départements.

43 % des épis étaient résistants aux SDHI et le phénotype CarR2 était majoritairement représenté, y compris dans les parcelles sans traitement de semences SDHI. A noter que les phénotypes CarR1 et CarR2 ont été caractérisés à la fin des années 80, suite à leur sélection par la carboxine. La résistance aux SDHI (en particulier les phénotypes CarR3 et CarR4) étaient significativement plus fréquents dans les parcelles ayant reçu un traitement de semences SDHI, ce qui suggère une sélection par le traitement de semences. Cette sélection a également été observée dans des essais.



### Autres molécules

Il n'a pas été observé de variabilité de la sensibilité d'*U. nuda* aux autres modes d'action (fludioxonil, triazoles).

### Recommandations

Il est difficile à ce stade de conclure quant aux conséquences en pratique du développement de cette résistance. La présence du charbon nu de l'orge est souvent faible dans les parcelles du fait de l'association de plusieurs modes d'action dans les traitements de semence, Par prudence nous recommandons de sélectionner des traitements de semences hautement efficaces en filière de production de semences, de manière à éradiquer totalement la maladie et éviter la diffusion de ces résistances en parcelle de production.

<sup>8</sup> Leroux, P. (1986). "Characteristics of strains of *Ustilago nuda*, causal agent of barley loose smut, resistant to carboxin." *Agronomie* 6(2): 225-226.  
Leroux, P. and G. Berthier (1988). "Resistance to carboxin and fenfuram in *Ustilago nuda* (Jens.) Rostr., the causal agent of barley loose smut." *Crop Protection* 7(1): 16-19.

## RECOMMANDATIONS<sup>9</sup> GÉNÉRALES POUR 2017

- **Préférer des variétés peu sensibles** aux maladies.
- **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.
- **Raisonnement 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 avec des matières actives de la même famille** (caractérisées généralement par une résistance croisée positive) au cours de la même campagne. 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**, très peu susceptibles de sélectionner des populations résistantes, en particulier sur septoriose.
- **Limiter de préférence 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 encore être utilisées en mélange, même en situation de résistance. **Éviter toutefois de recourir au même IDM, plus d'une fois par campagne.** Leur performance devra être renforcée en leur associant des molécules à d'autres modes d'action.

*NB : La présente note ne prend pas totalement en compte la question des SDHI en traitement de semences. 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 sur ce type de cible. En revanche dès que des solutions en traitement des semences, actives sur les maladies foliaires seront disponibles, il conviendra de prendre en compte ce type de traitement dans la gestion du risque de résistance.*

*La gestion du risque de résistance des maladies de la semence, en particulier dans les cas du charbon nu (*Ustilago nuda*) et de *Microdochium spp.*, doit aussi être considérée (voir nos recommandations au paragraphe charbon nu).*

<sup>9</sup> Nos recommandations visent en effet à limiter aussi la pression de maladie en encourageant le recours à la prophylaxie, aux variétés résistantes et aux outils d'aide à la décision, pour limiter le recours aux traitements et leurs effets non-intentionnels. .

# ➤ Résistances aux fongicides Céréales à paille

## 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> <b>thiophanate-methyl</b>	
Respiration	Complexe mitochondrial II : succinate-déshydrogénase	SDHI (Succinate dehydrogenase inhibitors)	phenyl-benzamides	<i>benodanil</i> <i>flutolanil</i> <i>mepromil</i>	
			pyridinyl-ethyl-benzamides	<b>fluopyram</b>	
			furancarboxamides	<i>fenfuram</i>	
			oxathiin- carboxamides	carboxine * <i>oxycarboxine</i>	
			thiazole- carboxamides	<i>thiifluzamide</i>	
		Complexe mitochondrial III : cytochrome b	Qol (Quinone Outside Inhibitors)	pyrazole- carboxamides	<b>bixafen</b> <b>benzovindiflupyr</b> <i>furametpyr</i> <b>fluxapyroxad</b> <i>isopyrazam</i> <i>penflufen</i> <b>penthiopyrade</b> <i>sedaxane *</i>
	pyridine- carboxamides			<b>boscalid</b>	
	methoxy-acrylates			<b>azoxystrobine</b> <b>picoxystrobine</b>	
	methoxy-carbamates			<b>pyraclostrobine</b>	
	oximino-acetates			<i>krésoxim-methyl</i> <b>trifloxystrobine</b>	
			oximino-acetamides	<b>dimoxystrobine</b> <b>fluoxastrobine</b>	
Progression du cycle cellulaire	Cible inconnue	AP (Anilinopyrimidines)	anilinopyrimidines	<b>cyprodinil</b>	
Transduction du signal	Cible inconnue	Azanaphthalenes	quinolines	<b>quinoxifène</b>	
			quinazolinones	<b>proquinazid</b>	
Biosynthèse des lipides membranaires (IBS)	C14-demethylation des stérols	IDM (Demethylation Inhibitors)	imidazoles	<b>prochloraze *</b>	
			triazoles	<b>bromuconazole</b> <b>cyproconazole</b> <b>difénoconazole *</b> <b>époxyconazole</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>	
		$\Delta^{14}$ réductase et $\Delta^8 \rightarrow \Delta^7$ isomérase des stérols	Amines	morpholines	<b>fenpropimorphe</b>
				pipéridines	<b>fenpropidine</b>
				spirokétalamines	<b>spiroxamine</b>
	Mode d'action inconnu	Cible inconnue	Phénylacétamide	phénylacétamide	<b>cyflufenamid</b>
Régulation osmotique membranaires	Cible inconnue	Phénylpyrrole	phénylpyrrole	<i>fludioxonil *</i>	
Disruption de l'actine ?	Cible inconnue	Aryl-phényl-kétone	benzophénone	<b>métrafénone</b>	
			benzopyridines	<i>pyriofénone</i>	
Multisites	Plusieurs cibles	Dithiocarbamates	dithiocarbamates	<b>mancozèbe</b>	
		Chloronitriles	chloronitriles	<b>chlorothalonil</b>	
		Phthalimides	phthalimides	<b>folpel</b>	

En gras, les molécules contenues dans des fongicides commercialisés en traitement foliaire sur céréales

En italique, molécules non autorisées sur céréales

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