

Note commune 2019

**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, par maladie et 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 d'évolution 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 :

- 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 par l'unité CASPER de l'Anses (laboratoire de Lyon)*
- des projets de recherche de l'INRA,*
- d'autres plans de surveillance comme celui du Réseau Performance animé par ARVALIS, ou du groupe de travail de Végéphyl (ex. 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.*

Rappelons que la résistance en pratique a pu conduire par le passé à renforcer les doses d'utilisation des solutions mises en œuvre, à multiplier les applications, ou encore à recourir à des mélanges de plus en plus complexes associant deux, voire trois molécules. Pour cette raison, le développement de populations résistantes augmente les coûts de production et nuit potentiellement à la santé et à l'environnement. Observer la résistance et formuler des recommandations adaptées pour en retarder l'émergence ou la progression contribue positivement à une agriculture durable et moins dépendante aux produits phytopharmaceutiques.

Faits marquants en 2018 :

*Du côté de la **septoriose**, plus d'une souche sur deux est désormais de phénotype TriHR, c'est-à-dire hautement résistant à un ou plusieurs IDM. Parallèlement les souches MDR (Multi Drug Resistance) continuent lentement de progresser et représentent à présent 14 % des souches.*

Des phénotypes résistants aux SDHI ont été détectés ponctuellement et à des fréquences faibles en France, très inférieures à celles constatées ailleurs en Europe.

Nos recommandations de limiter l'utilisation des SDHI à une seule application par saison sont maintenues, sur orge comme sur blé. Sur orge, le recours à l'utilisation d'un mélange trois voies QoI+SDHI+IDM doit être limité aux situations où l'helminthosporiose est la plus difficile à contrôler.

Devant la multiplication des résistances, le maintien de fongicides multisites dans les programmes (chlorothalonil, folpel, mancozèbe, soufre) représente un enjeu stratégique, à la fois pour maintenir un niveau de protection acceptable et ralentir la progression des résistances.

Du côté des orges, la proportion de souches d'H. teres résistantes aux SDHI, est toujours en progression et, représente environ 70 % de la population. La mutation C-G79R reste très largement majoritaire. La résistance aux QoI semble stabilisée à une fréquence de l'ordre de 30 % de souches présentant la mutation F129L. L'efficacité des SDHI est sévèrement affectée au point de s'avérer parfois moins efficace qu'un QoI. Le recours généralisé à des mélanges triples, s'il renforce significativement l'efficacité des associations, accentue la sélection de phénotypes multi-résistants aux SDHI et aux QoI, représentant actuellement environ un quart des populations françaises analysées.

SEPTORIOSE

(*Mycosphaerella graminicola*, anamorphe *Zymoseptoria tritici*)

Qol

La résistance aux **Qol** (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

La fréquence globale moyenne des souches de type **TriHR**¹ et **MDR**² atteint respectivement 50% et 14% en 2018. Tandis que 90% des échantillons contiennent au moins une souche TriMR évoluée et 61%, au moins une souche MDR (contre respectivement 92% et 65% en 2017).

Les travaux en cours montrent de plus en plus clairement que les combinaisons de mutations affectant la cible des IDM peuvent différer en fréquence d'un site à l'autre et affecter différemment l'efficacité des triazoles. Si en 2017, on observait pour certains triazoles comme l'époxiconazole ou le tébuconazole des efficacités variables d'un lieu d'essai à l'autre, le contraste entre le Nord et le Sud est moins frappant en 2018. Le difénoconazole (125 g/ha), par exemple, se distingue par sa bonne efficacité dans le Nord cette dernière campagne. Ces observations semblent confirmer l'hétérogénéité spatiale de la structure des populations résistantes, à une échelle inter-régionale.

Corrélativement à la progression des souches les plus résistantes, les souches de *Z. tritici* moyennement résistantes (TriMR) aux triazoles (principale classe d'**IDM**³) régressent, mais restent présentes dans toutes les régions françaises. Pour mémoire, ces souches sont pour une part, entièrement sensibles au prochloraze en particulier dans les régions de la façade atlantique.

Comme les années précédentes, dans les parcelles présentant des fréquences élevées de souches TriHR et/ou de MDR, l'efficacité de tous les triazoles est affectée.



- 1 **TriHR** = **TriMR** évoluées, i.e. très résistantes à au moins un triazole. Voir description : Garnault, M., et al. (2019). "Spatiotemporal dynamics of fungicide resistance contrast quantitatively in the pathogenic fungus *Zymoseptoria tritici*." In press *Pest Management Science*. Doi:10.1002/ps.5360
- 2 **MDR** = Multi Drug Resistant. Voir description : 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, Doi:10.1002/ps.2028.
- 3 **IDM** : Inhibiteur de DéMéthylation

SDHI

En France, la résistance a été détectée pour la première fois en 2012 grâce à un isolat du nord de la France portant le changement C-T79N, mutation associée à des facteurs de résistance faibles à moyens. La résistance aux SDHI, sur la base d'une dose discriminante de boscalide ou de bixafène, a depuis été détectée tous les ans depuis 2015. En 2018, 5% des populations analysées sont concernées par la présence de souches résistantes, mais à de faibles fréquences pour chacune d'entre elles. La mutation C-H152R (mutation associée aux facteurs de résistance les plus élevés), a été identifiée en 2018, dans l'ouest de la France. D'autres mutations associées à des facteurs de résistance plus faibles (B-N225I, C-T79N, D-D129G) sont également détectées en 2018. Des souches associant plusieurs mécanismes de résistance (mutation du gène codant pour la cible et efflux accru (MDR)), sont également détectées mais beaucoup plus rarement.

En France, il n'y a toujours pas lieu de craindre pour l'efficacité des SDHI en pratique pour 2019. Cependant, compte tenu de la progression rapide de cette résistance dans d'autres pays européens, notamment en Irlande et en Angleterre, il est préférable de limiter la pression de sélection vis-à-vis de ce mode d'action à un niveau aussi faible que possible, en particulier en limitant l'utilisation des SDHI à une seule application par saison.

Recommandations

Dans un contexte d'érosion de plus en plus prononcée de l'activité de tous les triazoles au champ, leur efficacité devient de plus en plus dépendante des caractéristiques des populations de *Z. tritici* présentes localement. Certains triazoles peuvent donner des résultats variables à très variables selon la fréquence des différents génotypes présents dans la population (époixonazole, difénoconazole, metconazole, prothioconazole, tébuconazole), et par conséquent selon les sites d'essais. Le recours régulier à des essais locaux pour évaluer l'activité relative des IDM entre eux est préférable à toute approche globale. Leur efficacité reste toutefois insuffisante, y compris lorsque plusieurs triazoles sont associés entre eux.

L'activité des triazoles sur septoriose doit être complétée avec un fongicide multisite (chlorothalonil, folpel, mancozèbe, soufre) 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 TriHR, on alternera les modes d'action, ainsi que les molécules au sein d'un même mode d'action, en particulier parmi les IDM. De plus, on limitera les applications de SDHI à une seule application par saison, quelle que soit la dose, en veillant si possible à diversifier les substances actives SDHI dans l'espace et dans le temps³. Cette recommandation vise à limiter la sélection de souches MDR, en même temps que la sélection de souches spécifiquement résistantes aux SDHI (CarR), voire de souches présentant une résistance multiple (MDR + CarR).

L'introduction d'un multisite dans les programmes de traitements est recommandée dès la première application. Une deuxième application de multisite au T2 est également à considérer, malgré les pénalités pour d'autres maladies 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 souches de type MDR.

Par ailleurs, l'association de deux SDHI, même appartenant à deux groupes chimiques différents, n'est comptabilisée que comme une seule application de SDHI. Ce type de mélange vise principalement à accroître l'efficacité de l'association mais n'améliore pas en pratique la gestion des résistances, étant donné les génotypes en présence dans les populations.

Attention : le recours à des associations fortement dosées en SDHI (car contenant notamment plusieurs SDHI), et peu dosées en IDM, risque de favoriser la sélection de souches spécifiquement résistantes aux SDHI et/ou MDR, l'utilisation d'un IDM utilisé à faible dose, ne permettant plus de contrôler les souches sélectionnées par les SDHI.

Enfin, trois années d'essais ont confirmé 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. Mais, elle s'accompagne potentiellement, pour les fongicides concernés par la résistance, d'une plus forte sélection des souches les plus résistantes (TriHR et MDR). Il est recommandé de ne pas multiplier inutilement le nombre de traitements de fongicides unisites et de s'en tenir (sauf exception justifiée) aux pratiques actuelles.

³ *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*⁴ 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-oïdiums utilisés sur blé.

QoI

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

IDM et amines

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 aient été identifiées dans les populations.

Aza-naphthalènes

Des souches d'**oïdium du blé** résistantes au **quinoxifène** et au **proquinazide**, 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 proquinazide. Par ailleurs, si l'activité du quinoxifène peut être affectée par des souches résistantes, le proquinazide, bien que présentant une résistance croisée avec le quinoxifène, reste efficace à sa dose d'emploi en toutes situations.

Autres anti-oïdiums spécifiques

A ce jour, aucune résistance spécifique au cyflufenamide (phényl-acétamides) n'a été rapportée chez l'oïdium du blé. Depuis 2009, des souches d'oïdium du blé moyennement résistantes à la métrafénone (phénylcétones) 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 (Royaume-Uni et Danemark), 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, non disponible sur le marché actuellement, partage le même mode d'action que la métrafénone et devrait également être concernée (caractérisation des souches non disponible).



Recommandations

Rappel : la lutte contre l'oïdium doit être envisagée en priorité *via* l'agronomie et l'utilisation de variétés résistantes. Le recours à des fongicides spécifiques n'est justifié que dans des situations où des contextes climatiques tout à fait exceptionnels.

Les efficacités des IBS, de la métrafénone et du proquinazide sont variables en essai. A l'exception du cyflufénamide, les substances actives et les modes d'action vis-à-vis desquels des souches résistantes ont été identifiées (métrafénone, proquinazide, quinoxifène, «amines»), devront être utilisés de préférence associés à une autre molécule active sur oïdium. Rappelons qu'il existe un fongicide multisite, le soufre, utilisable pour cet usage. La métrafénone étant active sur oïdium et sur piétin verse, il est recommandé de 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 préférable pour limiter le risque d'évolution de résistance.

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 utilisations sur oïdium du triticales pour tenter de préserver la situation favorable initiale observée en 2007.

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

⁴ *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.*)⁵

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 négligeable (de 6 à 14 % dans 6 essais sur 7 sur les deux dernières années), 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 boscalide et du cyprodinil (résistance multidrogues ou MDR) sont observées à des fréquences non négligeables (3 à 41 % sur les deux années 2016 et 2018), sans que leur présence n'affecte sensiblement l'efficacité de ces spécialités.

Phénylcétones

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 contre le 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 est recommandé de 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 préférable pour limiter le risque d'évolution de résistance.

⁵ Leroux P, Gredt M, Remuson F, Micoud A, Walker AS, Fungicide resistance status in French populations of the wheat eyespot fungi *Oculimacula aciformis* 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 *Pyrenophora 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 devenue dominante est G143A. 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

L'utilisation des SDHI présent sur le marché n'est pas déterminante pour lutter contre cette maladie. Ils présentent un intérêt relatif, leur activité étant plus limitée contre ce pathogène.

IDM

La sensibilité de *P. tritici-repentis* a fait l'objet d'un monitoring depuis 2016 sans variation notable.

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 Qol 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 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 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 (de 0 % à 100 %). Tous échantillons confondus, la fréquence moyenne est relativement stable ces dernières années et avoisine 30 %.

En situation de résistance, l'efficacité au champ de tous les QoI est affectée. Inversement lorsque la fréquence de la résistance est faible, l'efficacité des QoI est tout à fait significative et leur intérêt en mélange avec des IDM l'emporte parfois sur celui des SDHI affectés lourdement par la résistance.

Avec une hiérarchie plus resserrée en 2018, l'azoxystrobine reste la molécule la plus affectée par la résistance, alors que la pyraclostrobine est la molécule la moins impactée. La trifloxystrobine et la fluoxastrobine présentent toutes les deux des efficacités intermédiaires.



IDM

Une dérive de sensibilité des **IDM** a été observée, associée à une dérive de l'efficacité des fongicides concernés. Le prothioconazole, bien qu'affecté, 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)⁶. Les mutations ayant potentiellement le plus fort impact sur l'efficacité *in planta* sont C-G79R, C-H134R et C-S135R.

Cette résistance est détectée dans les populations européennes depuis 2012. Sa fréquence est depuis lors en progression en France et en Allemagne. La fréquence de la résistance, toutes mutations confondues, serait d'environ 70% parmi les isolats collectés en France (vs 60 % en 2017, 57 % en 2016, 55 % en 2015, 45 % en 2014 et 15% en 2013).

La mutation induisant le changement G79R sur la sous unité C (C-G79R) est dominante dans les populations françaises (>50 %) et induit des niveaux de résistance faibles à élevés selon les substances actives. La fréquence des souches portant la mutation C-H134R reste faible en France mais est significative en Allemagne.

Au champ, l'impact de ces souches résistantes sur l'efficacité des SDHI est certain et fonction de leur fréquence. Il est désormais clairement perceptible malgré l'utilisation systématique des SDHI en mélange. En présence d'une fréquence élevée de souches résistantes, leur apport en association devient très limité et s'avère inférieur à celui des QoI utilisés dans les mêmes conditions.

⁶ 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. Une nouvelle mutation R604K a été détectée en 2018, elle serait toutefois sans impact sur la résistance.

Anilinopyrimidines

Le cyprodinil (anilinopyrimidines) est le seul mode d'action homologué présentant une efficacité stable depuis 2007, bien que modérée.

Recommandations

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

Limiter l'utilisation des SDHI, mais aussi des QoI, des IDM et du cyprodinil, à une seule application par saison toutes maladies confondues.

Par ailleurs, l'intérêt des QoI, confirmé dans le cas de mélanges triples IDM + SDHI + QoI, l'est également pour des mélanges doubles IDM + QoI qui surpassent parfois les associations IDM + SDHI. Le recours systématique à des mélanges triples risque d'accélérer la sélection des souches portant la résistance multiple aux QoI et SDHI, déjà identifiées à fréquence non négligeable en France (une souche sur quatre) et dans de nombreuses régions européennes (en moyenne près de 40%). Nous recommandons de recourir à ces mélanges trois voies uniquement sur les variétés sensibles à l'helminthosporiose⁷, et lorsque les mélanges IDM + QoI ne suffisent pas à contrôler l'ensemble du spectre des maladies attendues.

Enfin, l'association de deux SDHI, même appartenant à deux groupes chimiques différents, n'est comptabilisée que comme une seule application de SDHI. Ce type de mélange vise principalement à accroître l'efficacité et n'améliore pas en pratique la gestion de la résistance, étant donné les génotypes présents dans les populations.

⁷ La variété *Etincel*, première variété cultivée, jusqu'ici peu sensible à l'helminthosporiose, a vu sa sensibilité considérablement évoluer entre 2016 et 2018. Elle est considérée comme sensible.

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.

Qol

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 *Ramularia collo-cygni* résistantes aux **Qol**. 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-H146R et C-H153R de la SDH ont été détectés en Allemagne à une fréquence parfois élevée. Une troisième substitution C-N83S, associée à un plus faible facteur de résistance a également été détectée ailleurs en Europe en 2016. Actuellement 14 mutations au total ont été identifiées sur les gènes codant pour les sous-unités B et C de la SDH (dont 2 mutations et une délétion sans effet).

Les données des plans de surveillance indiquent que la substitution la plus fréquente C-H146R est présente en France depuis 2016. La présence de souches résistantes aux SDHI a depuis été confirmée en France en 2018 dans plusieurs régions françaises.

En présence d'une fréquence élevée de souches résistantes, les efficacités des SDHI sont très affectées et les meilleurs résultats sont obtenus uniquement avec les mélanges contenant du 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 CI50 très élevées, associées à des mutations multiples du gène *cyp51* (en particulier I325T, I328L) et sont corrélées à des baisses d'efficacité en conditions contrôlées. Toutefois cette résistance a été détectée en France dès 2016 et confirmée en 2018 à des fréquences élevées dans les échantillons concernés. Dans des essais du Sud de l'Allemagne, de faibles efficacités ont été rapportées pour des modalités associant SDHI+IDM depuis 2015. En France, depuis 2016, de faibles efficacités de ces mélanges ont été également signalées ponctuellement, sans que l'on puisse formellement les associer à la résistance.



Recommandations

La ramulariose, difficile à distinguer du reste du complexe, est prise en compte avec le risque de grillures. Les substances actives les plus efficaces sur le complexe grillures/ramulariose sont le chlorothalonil (multisite) désormais à privilégier ou, parmi les unisites, le prothioconazole et les SDHI, en l'absence de résistance.

RHYNCHOSPORIOSE DE L'ORGE

(Rhynchosporium commune)

QoI

Deux isolats résistants fortement aux **QoI** 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 plans de surveillance 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 plan de surveillance conduit en 2013, n'a pas permis de détecter de souches résistantes.



Recommandations

En absence d'informations récentes, les recommandations restent identiques à celles des années précédentes : 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 strobilurines ou des triazoles. Quelques isolats de rouille brune portant des mutations liées à de faibles niveaux de résistance (substitution Y134F de CYP51 ou à la surexpression de ce gène) sont très ponctuellement détectés dans les populations européennes⁸.



Recommandations

Tenir compte des potentialités intrinsèques sur rouilles des substances actives entrant dans les programmes. Actuellement, les associations de triazoles et de QoI continuent de procurer les meilleures solutions contre ces agents pathogènes. Les SDHI, à l'exception du benzovindiflupyr, sont d'un intérêt secondaire pour lutter contre les rouilles. Éviter d'y recourir lorsque leur contribution à l'efficacité contre les rouilles du mélange concerné n'est pas décisive.

En absence d'informations récentes, les recommandations restent identiques à celles des années précédentes : associer les triazoles à un autre mode d'action efficace.

⁸ Stammler, G., et al. (2009). "Role of the Y134F mutation in cyp51 and overexpression of cyp51 in the sensitivity response of Puccinia triticina to epoxiconazole." *Crop Protection* 28(10): 891-897. Doi:10.1016/j.cropro.2009.05.007

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 plupart des **QoI** ont naturellement peu ou pas d'efficacité contre *Fusarium* spp.

Chez *Microdochium* spp., 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 QoI 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 QoI.



Benzimidazoles

La résistance au thiophanate-méthyl (benzimidazoles) est déterminée par la substitution E198A affectant la β -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, les résistances au thiophanate-méthyl et aux QoI (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 identifiée au laboratoire pour ces espèces de *Fusarium* spp. et de *Microdochium* spp. L'ultra-dominance des triazoles sur ce segment de la protection justifierait un plan de surveillance sur ces espèces, d'autant plus que l'efficacité au champ des triazoles semble s'être fortement dégradée depuis 10 ans.

Recommandations

Microdochium spp. : parmi les IDM, seul le prothioconazole présente une bonne efficacité en pratique. Le prochloraze possède des potentialités intéressantes. Les QoI 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 et participer à la diversification 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.

CHARBON NU de l'ORGE

(*Ustilago nuda*)

SDHI

Quatre phénotypes d'*Ustilago nuda* résistants spécifiquement aux **SDHI** 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. 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 80⁸. Depuis d'autres SDHI (sedaxane, fluopyram) sur le charbon ont été développées 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 semence SDHI. Quelques échantillons analysés en 2018 confirment cette observation. A noter que les phénotypes CarR1 et CarR2 ont été caractérisés à la fin des années 80, suite à leur sélection par l'utilisation de la carboxine. La résistance aux SDHI (en particulier les phénotypes CarR3 et CarR4) était significativement plus fréquente dans les parcelles ayant reçu un traitement de semences SDHI. 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 semences. 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.

⁸ 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. Doi.org/10.1016/0261-2194(88)90031-2.

RECOMMANDATIONS⁹ GÉNÉRALES POUR 2019

- **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.
- **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 avec des substances 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 substance 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.
- **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 soutenue 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 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 sur ce type de cible. En revanche dès que des solutions en traitement des semences, actives sur les maladies foliaires seront disponibles et commercialisées, 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 raisonnée.*

⁹ Nos recommandations visent également à limiter 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.

Annexe : Classification abrégée des fongicides céréales

MODE D'ACTION	CIBLE	NOM DU GROUPE	FAMILLE CHIMIQUE	Substances actives
Mitose et division cellulaire	β-tubuline	BMC (Méthyl Benzimidazoles Carbamates)	benzimidazoles	<i>thiophanate-éthyl</i> thiophanate-méthyl
	Inconnue, impliquée dans la disruption de l'actine	Phénylcétones	benzophénone	métrafénone
			benzolpyridines	<i>pyriofénone</i>
Respiration et énergie cellulaire	Complexe mitochondrial II : succinate-déshydrogénase	SDHI (Succinate Dehydrogenase Inhibitors)	phenyl-benzamides	<i>bénodanil</i> <i>flutolanil</i> <i>mépronil</i>
			pyridinyl-ethyl-benzamides	fluopyrame *
			furancarboxamides	<i>fenfuram</i>
			oxathiin-carboxamides	<i>carboxine*</i> <i>oxycarboxine</i>
			thiazole-carboxamides	<i>thifluzamide</i>
			pyrazole-carboxamides	bixafène benzovindiflupyr <i>furametpyr</i> fluxapyroxade * <i>isopyrazam</i> <i>penflufène</i> penthioapyrade <i>sedaxane *</i>
			pyridine-carboxamides	boscalide
	Complexe mitochondrial III : cytochrome b, site Qo, fixation proche de l'hème bl	QoI-P (Quinone Outside Inhibitors)	methoxy-acrylates	azoxystrobine
			methoxy-carbamates	pyraclostrobine
			oximino-acetates	<i>krésoxim-méthyl</i> trifloxystrobine
Production ou libération de l'ATP. Cible inconnue	-	oximino-acetamides	dimoxystrobine fluoxastrobine *	
		thiophènes-carboxamides	<i>silthiofame *</i>	
Signalisation cellulaire	Inconnue. Régulant des processus mitochondriaux impliquant notamment une kinase	AP (Anilinopyrimidines)	anilinopyrimidines	cyprodinil *
	Cible inconnue, impliquée dans l'osmorégulation	Phénylpyrroles	phénylpyrroles	<i>fludioxonil *</i>
	Inconnue, régulant une voie de signalisation impliquant notamment une protéine kinase C et une cutinase	Azanaphthalènes	quinolines	quinoxifène
quinazolinones			proquinazide	

Annexe : Classification abrégée des fongicides céréales (suite)

Légende :

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

En gris italique : molécules non autorisées sur céréales,

* **bleu** : substances actives que l'on retrouve uniquement en traitement des semences,

* **noire** : substances actives que l'on retrouve en foliaire et en traitement des semences.

Par souci d'homogénéité entre les modes d'action, l'orthographe française des différentes molécules est présentée dans ce tableau, même si l'orthographe anglaise, plus usuelle, subsiste dans les pages précédentes.

MODE D'ACTION	CIBLE	NOM DU GROUPE	FAMILLE CHIMIQUE	MOLECULES
Métabolisme des lipides stéroliques	C14-demethylation des stérols	IDM (Demethylation Inhibitors)	imidazoles	prochloraze imazalil *
			triazoles	bromuconazole cyproconazole difénoconazole * époxyconazole <i>fluquinconazole</i> flutriafol ipconazole * metconazole <i>myclobutanil</i> propiconazole tébuconazole * tétraconazole * triticonazole *
			triazolinethiones	prothioconazole *
			Δ ¹⁴ réductase et Δ ⁸ -Δ ⁷ isomérase des stérols	Amines
			morpholines	fenpropimorphe
			pipéridines	fenpropidine
		spirokétalamines	spiroxamine	
Mode d'action inconnu	Cible inconnue	Phénylacétamides	phénylacétamide	cyflufénamide
Stimulateurs des défenses des plantes	Inconnue	Polysaccharides naturels	glucanes d'algues	laminarine
Multisites	Plusieurs cibles	Dithiocarbamates	dithiocarbamates	mancozèbe * thirame *
		Chloronitriles	chloronitriles	chlorothalonil
		Phthalimides	phthalimides	folpel
		Substance minérale	substance minérale	soufre
Biopesticides microbiens	Inconnue	Préparations bactériennes	Pseudomonas	<i>P. chlororaphis</i> MA342 *
		Préparations fongiques	Oomycètes	<i>Pythium oligandrum</i> souche M1