

Note commune 2020

INRAE, Anses, ARVALIS - Institut du Végétal

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 des produits phytopharmaceutiques.

Cette note, co-rédigée par des représentants de l'INRAE, 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. Elles se basent d'une part sur la connaissance du statut des résistances dans les populations (occurrences et 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 nationale de la résistance aux produits phytopharmaceutiques piloté par la DGAL. Les analyses sont réalisées par l'unité CASPER de l'Anses (laboratoire de Lyon)
- des projets de recherche de l'INRAE,
- d'autres plans de surveillance comme celui du Réseau Performance animé par ARVALIS, ou du groupe de travail de Végéphyll,
- 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.

A retenir

Du côté du blé :

- En 2019, l'occurrence et la fréquence des souches résistantes de *Zymoseptoria tritici* aux SDHI a augmenté pour atteindre en moyenne 13 %. Cette fréquence encore faible ne devrait pas impacter l'efficacité en 2020 ; cependant, la prévention de cette résistance reste plus que jamais de rigueur.
- Plus d'une souche sur quatre est désormais de phénotype MDR (Résistance multidrogues).

Du côté de l'orge :

- La proportion de souches d'*Helminthosporium teres* résistantes aux SDHI reste très élevée (70%) et affecte sévèrement l'efficacité des SDHI.
- La résistance d'*H. teres* aux QoI semble stabilisée à une fréquence d'environ 30%

Recommandations :

- Sur blé comme sur orge, limiter l'utilisation des SDHI à une seule application par saison.
- Sur blé face à la multiplication des résistances, n'intervenir au T1 que si strictement nécessaire et maintenir si possible un fongicide multisite dans le programme (chlorothalonil, folpel, mancozèbe, soufre).
- Sur orge, pour éviter de sélectionner des souches présentant une résistance multiple, le recours à l'utilisation d'un mélange trois voies QoI+SDHI+IDM doit être rigoureusement limité aux situations où l'*helminthosporiose* est très difficile à contrôler.

RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES POUR 2020

Nos recommandations visent en première intention 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.

- **Préférer des variétés peu sensibles** aux maladies. Le recours à des variétés résistantes à la fois à la rouille jaune et à la septoriose, permet par exemple de supprimer systématiquement le premier traitement des blés et ainsi de limiter la pression de sélection exercée par les fongicides.
- **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 prédictions des modèles et des observations au champ.

Lorsque traiter est nécessaire :

- **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 substances actives 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 commercialisés 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 distribuées, il conviendra de prendre en compte ce type de traitement dans la gestion du risque de résistance.

SEPTORIOSE

(*Zymoseptoria tritici*)

QoI

La résistance aux **QoI** (strobilurines) concerne l'ensemble des régions céréalières françaises. Son implantation est généralisée sur tout le territoire et l'efficacité de tous les QoI est fortement affectée.

IDM

Les souches de *Z. tritici* moyennement résistantes (TriMR) aux triazoles (principale classe d'**IDM**¹) régressent fortement et représentent désormais moins du tiers des populations analysées. Pour mémoire, ces souches sont pour une part, entièrement sensibles au prochloraze en particulier dans les régions de la façade atlantique.

Corrélativement à la régression des souches les moins résistantes, la fréquence globale moyenne des souches de type **TriHR**² et **MDR**³ atteint respectivement 46 % et 27 % en 2019, tandis que leur occurrence dans les échantillons est respectivement de 89 % et 77 % (contre 90 % et 61 % en 2018).

Les travaux en cours montrent de plus en plus clairement que les combinaisons de mutations (*i.e.* génotypes) affectant la cible des IDM peuvent différer en fréquence d'un lieu à l'autre et affecter différemment l'efficacité des triazoles. Les suivis de souches à une échelle inter-régionale confirment l'hétérogénéité spatiale de la structure des populations résistantes. En pratique on a pu observer en 2017 et dans une moindre mesure en 2018, pour certains triazoles comme l'époxiconazole ou le tébuconazole, des efficacités relatives variables d'un site d'essai à l'autre, le premier étant plus efficace que le second dans le Sud et vice-versa dans le Nord. Le difénoconazole (125 g/ha), se distingue également par sa bonne efficacité dans le Nord. Comme les années précédentes, dans les parcelles présentant des fréquences élevées de souches TriHR et/ou MDR, l'efficacité de tous les triazoles est affectée, à l'exception du méfentrifluconazole pour l'instant non affecté par la structure génotypique des populations.



¹ IDM : Inhibiteur de la 14 α -DéMéthylation des stérols

² 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*". *PestManagement Science*. **75**(7) : 1794-1807. DOI:10.1002/ps.5360

³ MDR = Résistance multidrogues. 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.

SDHI

La résistance aux SDHI est principalement associée à une, plus rarement à deux mutations affectant la sous-unité B, C ou D de la succinate déshydrogénase⁴. En France, cette résistance a été détectée pour la première fois en 2012 chez un isolat du nord de la France portant le changement C-T79N, associé à des facteurs de résistance faibles à moyens selon les substances actives. Cette substitution quasiment généralisée en Irlande reste faiblement présente en France. Détectée depuis 2014 en Europe, actuellement très présente au Royaume Uni et en Irlande, la substitution C-H152R (associée aux facteurs de résistance les plus élevés) identifiée en 2018 et en 2019 dans l'ouest de la France, reste rare. La substitution C-N86S, est également présente en France en 2019. Ces deux dernières substitutions sont pour le moment les plus impactantes potentiellement pour l'efficacité des SDHI. D'autres substitutions associées à des facteurs de résistance plus faibles (B-N225I, C-W80S, D-D129G,...) sont également détectées. Des souches associant plusieurs mécanismes de résistance (mutation du gène codant pour la cible et efflux accru (MDR), sont encore plus rarement détectées.

L'ensemble des géotypes résistants est en pratique recherché depuis 2015 par un test phénotypique de routine, basé sur une dose discriminante de boscalide et de bixafène. En 2019, 36 % des populations analysées sont concernées par la présence de souches résistantes, contre 5 % en 2018, avec une fréquence moyenne à l'échelle nationale de 13 %.

En pratique dans nos conditions, il n'y a pas lieu de craindre de perte d'efficacité majeure des SDHI en pratique pour 2020 mais la prévention de cette résistance reste prioritaire.

Recommandations

Rappel : la lutte contre la septoriose doit d'abord s'envisager via l'agronomie (date de semis, densité, azote) et la génétique, en préférant des variétés résistantes. Les variétés avec des notes de sensibilité GEVES, notées 6.5 et au-delà, ne justifient pas de traitement précoce (T1) contre cette maladie quelle que soit la région et l'année.

Dans un contexte d'érosion de plus en plus prononcée de l'activité au champ des triazoles d'ancienne génération, leur efficacité respective s'avère dépendante des caractéristiques des populations de *Z. tritici* présentes localement. L'époxiconazole et le prothioconazole d'une part, le difénoconazole et le tébuconazole d'autre part, et le metconazole peuvent donner des résultats variables à très variables selon les sites d'essais en fonction de la fréquence des différents géotypes présents dans la population. Le recours régulier à des essais locaux pour évaluer l'activité relative des IDM entre eux est préférable à toute approche globale basée uniquement sur des caractérisations de souche. L'efficacité de ces IDM d'ancienne génération reste régulièrement, mais pas systématiquement, insuffisante, y compris lorsque plusieurs triazoles sont associés entre eux. L'activité du méfentrifluconazole⁵, triazole de nouvelle génération, semble à ce jour peu affectée par la nature des populations de *Z. tritici* présentes mais doit être préservée en maintenant autant que possible une diversité dans l'utilisation des substances actives IDM.

⁴ Liste non exhaustive des mutations identifiées pouvant être combinés au sein d'un même géotype. SdhB : N225T, R265P, H267L, T268I/A ; SdhC : T79N/I, W80S/A, A84F, N86S/A, P127A, R151S/M/T, H152R, V166M, T168R ; SdhD : I50F, M114V, D129G. 2 nouvelles mutations ont été identifiées en 2019 : A84F et P127A. Les mutations ayant le plus d'impact sur l'efficacité sont listées en gras.

⁵ L'utilisation des produits à base de méfentrifluconazole est réglementairement limitée à une seule application par saison.

Les triazoles sur septoriose, pour des raisons d'efficacité et de gestion de la résistance, méritent d'être complétées, 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.

Compte tenu de la progression rapide de la résistance aux SDHI dans l'ouest européen, en Irlande et en Angleterre (où l'efficacité des SDHI peut être très affectée), il est fortement recommandé de limiter la pression de sélection vis-à-vis de ce mode d'action à un niveau aussi faible que possible, en limitant l'utilisation des SDHI, quelle que soit la dose, à une seule application par saison et en les associant à des partenaires efficaces. On veillera si possible à diversifier les substances actives SDHI dans l'espace et dans le temps. 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 (T1), lorsqu'elle est justifiée. L'adjonction de multisite au T2 pour composer des mélanges triple du type triazole + SDHI + multisite, malgré des pénalités parfois observées en conditions de traitement curatives, présente régulièrement les meilleures efficacités. La capacité des multisites associés au T2 à limiter la sélection de souches de type MDR n'a été pour l'instant démontrée que pour le chlorothalonil. 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 à faible dose ne permettant plus de contrôler les souches sélectionnées par les SDHI (résistance multiple).

Enfin, la pratique du fractionnement⁶ 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) du fait de l'exposition accrue des populations. 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.

⁶ 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

(*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, *B. graminis* f. sp. *triticales*⁴ et *B. graminis* f. sp. *hordei*)

Cette maladie est peu préjudiciable aux céréales ces dernières années, sauf sur triticales. En l'absence de nouvelles données depuis 2007, l'oïdium du triticales⁷ est toujours considéré comme sensible à l'ensemble des anti-oïdiums utilisés sur blé.

Qol

La résistance aux **Qol** 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, et que plusieurs mutations affectent la cible des IDM, plusieurs molécules conservent une activité intéressante.

Aza-naphthalènes

Des souches d'**oïdium du blé** résistantes au **proquinazide** et au **quinoxifène (actuellement retiré du marché)**, 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 a pu 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) chez l'oïdium du blé n'a été portée à notre connaissance. 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, autorisée mais 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).



⁷ L'analyse de génomes des différentes formes spéciales d'oïdium 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.

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 ou des contextes climatiques tout à fait exceptionnels.

Sur blé, les efficacités en essai des IBS, de la métrafénone et du proquinazide sont variables. 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, amines), devront être utilisés de préférence associés à une autre molécule active sur oïdium. Rappelons qu'il existe un fongicide multisite de biocontrôle, le soufre, efficace et autorisé pour cet usage. Enfin 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 en effet préférable pour limiter le risque d'évolution de résistance.

Par ailleurs, la famille des QoI ne doit plus être considérée comme efficace sur oïdium dans la plupart des régions françaises.

Sur oïdium du triticale, par précaution, il est recommandé de modérer si possible les utilisations pour tenter de préserver la situation favorable initiale observée en 2007.

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

PIETIN-VERSE (*Oculimacula spp.*)⁸

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.

⁸ 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*)

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 %, et 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 que celle des Qol 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) dans les situations agronomiques favorables et là où la maladie est formellement identifiée.

HELMINTHOSPORIOSE DE L'ORGE

(*Helminthosporium teres*)

Qol

La résistance aux **Qol** 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 d'*Helminthosporium teres* aux Qol 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 % (25 à 50 % selon les sources et les régions).

En situation de résistance, l'efficacité au champ de tous les Qol est affectée. Inversement lorsque la fréquence de la résistance est faible, l'efficacité des Qol 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.

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 fluoxystrobine 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 depuis 2017, reste le triazole parmi l'ensemble des triazoles (y compris les plus récents) le plus efficace sur cette maladie.

SDHI

La résistance spécifique aux **SDHI** est déterminée par une grande diversité de substitutions affectant les sous-unités B, C et D de la succinate déshydrogénase⁹. Celles ayant potentiellement le plus fort impact sur l'efficacité *in planta* sont C-G79R, C-H134R et C-S135R.

La résistance aux SDHI a été détectée dans les populations européennes depuis 2012 et a constamment progressé en France et en Allemagne. Actuellement la fréquence de la résistance, toutes mutations confondues, serait stabilisée entre 2018 et 2019 à environ 70 % parmi les isolats collectés en France (vs 70 % en 2018, 60 % en 2017, 57 % en 2016, 55 % en 2015, 45 % en 2014 et 15 % en 2013). Qualitativement, en France, la fréquence de la mutation B-H277Y, à l'origine sélectionnée par le boscalide, diminuerait au profit de la mutation C-G79R à impact potentiellement plus fort. Ainsi, cette substitution 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 significativement plus fréquente 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 Qol utilisés dans les mêmes conditions.

⁹ Mutations détectées en Europe chez les gènes codants pour les sous-unités de la succinate déshydrogénase d'*H. teres* : SdhB : D31N, S66P, N235I, H277Y/R/L ; SdhC : K49E, R64K, N75S, **G79R, H134R, S135R** ; SdhD : D124N/E, H134R, G138V, D145G, E178K, R604K. Les mutations ayant le plus d'impact sur l'efficacité sont listées en gras.

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 (presque 40 % en 2018) 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'helminthosporiose¹⁰, 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.

¹⁰ La variété *Etincel*, première variété cultivée, jusqu'en 2016 peu sensible à l'helminthosporiose, a vu sa sensibilité considérablement évoluer depuis 2016 et elle est désormais 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.

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 *Ramularia collo-cygni* résistantes aux QoI. 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 16 mutations au total ont été identifiées sur les gènes codant pour les sous-unités B et C¹¹ 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 entre 2018 et 2019 avec une légère progression de la fréquence d'individus faiblement à moyennement résistants dans plusieurs régions françaises (environ 20% en moyenne en 2019 pour les 2 allèles majoritaires).

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 au prothioconazole présentent des CI50 très élevées, associées à une combinaison de mutations affectant *cyp51* (I381T + I384L + Y459C ou Y460H). Ces mutations sont corrélées à des baisses d'efficacité en conditions contrôlées. D'autres mutations (affectant les codons 136, 459, 460 ou 461) sont également détectées mais ont un impact faible.

La résistance aux IDM, détectée en France dès 2016, est confirmée en 2019 à des fréquences faibles à très élevées selon 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. S'agissant du méfentrifluconazole, il dispose d'une activité modérée et on ignore l'impact de la résistance sur cet IDM.



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 ou parmi les unisites, le prothioconazole ou le méfentrifluconazole et les SDHI, en l'absence de résistance.

¹¹ Une baisse significative de sensibilité est principalement associée aux mutations sur la sous unité C, SdhC : G91R, H146R/L, G171D, H153R et G171D. Les mutations B-N224T, B-R264P, B-H266R/Y/L, B-T267I, B-I268V, C-N83S, C-N87S, C-R152M sont liées à un facteur de résistance plus faible. Rehfus, A., et al. (2019). Mutations in target genes of succinate dehydrogenase inhibitors and demethylation inhibitors in *Ramularia collo-cygni* in Europe. *Journal of Plant Diseases and Protection* 126(5): 447-459.

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, les plans de surveillance conduits en 2013 et actualisé en 2018, n'ont pas permis de détecter de souches résistantes.

IDM

Pas d'informations récentes en France mais résistance aux IDM identifiées.



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 CEREALES

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

Rappel : la lutte contre les rouilles doit être envisagée en priorité *via* l'utilisation de variétés résistantes. Le recours à des variétés résistantes à la fois à la rouille jaune et à la septoriose, permet de supprimer le premier traitement des blés et de limiter la pression de sélection sur l'ensemble des maladies.

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 QoI 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 européennes¹².



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. Eviter d'y recourir lorsque leur contribution 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.

¹² 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

(*Microdochium majus*, *M. nivale*, *Fusarium 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 très largement implantée sur le territoire, en particulier pour *M. majus* (analyses de 2008, actualisées en 2018).

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*.

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

La sensibilité de *Fusarium spp.* et de *Microdochium spp.* aux IDM est encore mal appréciée. Des analyses conduites en 2019 sur un nombre limité d'échantillons suggère une dérive de la sensibilité de *F. graminearum* au tébuconazole. Par ailleurs, les analyses de sensibilité au prothioconazole de souches de *Microdochium spp.* collectées depuis 2011, montrent une forte variabilité entre souches. Ces résultats préliminaires restent à valider, mais sont cohérents avec la forte dégradation de l'efficacité au champ des triazoles observée depuis 10 ans.

Recommandations

Microdochium spp. : parmi les IDM, seul le prothioconazole présente une 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 au champ de 2012 et 2013 et participer à la diversification des modes d'action.

Fusarium graminearum : Bien que l'efficacité des principales molécules ciblant la fusariose (en particulier tébuconazole, et prothioconazole) soit beaucoup plus variable leur utilisation reste possible. Le metconazole ou le bromuconazole ou encore le thiophanate-méthyl possèdent également une activité.

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 80¹³. 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 parcelles de production.

¹³ 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](https://doi.org/10.1016/0261-2194(88)90031-2).

Annexe : Classification abrégée des fongicides céréales

MODE D'ACTION	CIBLE	NOM DU GROUPE	FAMILLE CHIMIQUE	Substances actives sans AMM ou non commercialisées	Substances actives utilisables sur céréales en 2020	
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
			benzopyridines	<i>pyriofénone</i>		
	Complexe mitochondrial II : succinate-déshydrogénase	SDHI (Succinate Dehydrogenase Inhibitors)	pyridinyl-ethyl-benzamides			fluopyrame *
			oxathiin-carboxamides	<i>oxycarboxine</i>		carboxine *
			thiazole-carboxamides	<i>thifluzamide</i>		
			pyrazole-carboxamides	<i>furametpyr</i> <i>isopyrazam</i> <i>penthiopyrade</i>		bixafène benzovindiflupyr fluxapyroxade * sedaxane*
			pyridine-carboxamides			boscalide
			pyridine-carboxamides			
	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> <i>picoxystrobine</i>		trifloxystrobine
			oximino-acetamides	<i>dimoxystrobine</i>		fluoxastrobine *
Production ou libération de l'ATP. Cible inconnue			thiophènes-carboxamides		silthiofame *	
Signalisation cellulaire	Inconnue. Régulant des processus mitochondriaux impliquant notamment une kinase	AP (Anilinopyrimidines)	anilinopyrimidines		cyprodinil *	
	Inconnue, impliquée dans l'osmorégulation	Phénylpyrroles	phénylpyrroles		fludioxonil *	
	Inconnue, régulant une voie de signalisation impliquant notamment une protéine kinase C et une cutinase	Azanaphthalènes	quinolines	<i>quinoxyfène</i>		
quinazolinones					proquinazide	

➤ Résistances aux fongicides Céréales à paille

MODE D'ACTION	CIBLE	NOM DU GROUPE	FAMILLE CHIMIQUE	Substances actives sans AMM ou non commercialisées	Substances actives utilisables sur céréales en 2020
Métabolisme des lipides stéroliques	C14-demethylation des stérols	IDM (Demethylation Inhibitors)	imidazoles		prochloraze imazalil *
			triazoles	<i>fluquinconazole</i>	bromuconazole cyproconazole difénoconazole * époiconazole ipconazole * méfentrifluconazole metconazole tébuconazole * tétraconazole * triticonazole *
				<i>flutriafol</i> <i>myclobutanil</i> <i>propiconazole</i>	
			triazolinethiones		prothioconazole *
	Δ^{14} réductase et Δ^8 - Δ^7 isomérase des stérols	Amines	morpholines	<i>fenpropimorphe</i>	
			pipéridines		fenpropidine
spirokétalamines				spiroxamine	
Mode d'action inconnu	Inconnue	Phénylacétamides	phénylacétamides		cyflufénamide
Stimulateurs des défenses des plantes	Inconnue	Polysaccharides naturels	glucanes d'algues		laminarine
Multisites	Plusieurs cibles	Dithiocarbamates	dithiocarbamates	<i>thirame</i>	mancozèbe *
		Chloronitriles	chloronitriles		chlorothalonil
		Phthalimides	phthalimides		folpel
		Substances minérales	substances minérales	<i>hydrogénocarbonate de potassium</i>	soufre
Biopesticides microbiens	Inconnue	Préparations bactériennes	Pseudomonas		<i>Pseudomonas chlororaphis</i> MA342*
		Préparations fongiques	Oomycètes		<i>Pythium oligandrum</i> souche M1

Légende :

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

En gris italique : molécules non autorisées sur céréales ou non commercialisées,

* **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.