



NOTE TECHNIQUE COMMUNE *RESISTANCES* 2022

MALADIES DE LA VIGNE : MILDIOU, OÏDIUM, POURRITURE GRISE, BLACK-ROT

date de diffusion : 14 janvier 2022

Comité de rédaction

Il est constitué d'experts des structures suivantes :

- **IFV** : Institut français de la vigne et du vin
- **Anses-CASPER** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail - Unité Caractérisation et suivi des phénomènes d'évolution des résistances aux produits de protection des plantes
- **INRAE** : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
- **CIVC** : Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne (Comité Champagne)
- **Chambres d'agriculture**,
- **DGAL-SDSPV** : Direction générale de l'alimentation – Sous-direction de la santé et de la protection des végétaux

Objectifs de la note technique commune

Ce document vise à :

- 1) décrire le statut des résistances en 2021 vis-à-vis des principales familles de substances actives utilisables sur vigne en France dans les populations de *Plasmopara viticola* (agent du mildiou), *Erysiphe necator* (agent de l'oïdium de la vigne), *Botrytis cinerea* (agent de la pourriture grise),
- 2) établir des recommandations générales vis à vis de ces résistances pour préserver les modes d'action et l'efficacité des programmes.

Connaître la robustesse de chaque mode d'action, et *in fine* de chaque spécialité, permet de construire des programmes de protection efficaces, durables, tout en limitant les applications fongicides.

Sources d'information

Les recommandations rédigées ci-dessous se basent d'une part sur la connaissance du statut des résistances dans les populations (occurrence et/ou fréquence des résistances, vignobles concernés, 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-SDSPV¹, 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 le laboratoire de l'Unité CASPER de l'Anses de Lyon, et des laboratoires INRAE,
- des résultats d'**autres plans de surveillance**, comme celui du Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne ou ceux réalisés par des sociétés phytopharmaceutiques
- des données issues d'**essais d'efficacité sur le terrain**, en particulier ceux menés en situation de résistance et respectant les conditions de mise en œuvre des protocoles d'expérimentation dédiés à l'évaluation de l'efficacité résiduelle des substances en situation de résistance². Ces données sont en général fournies par les sociétés phytopharmaceutiques et les instituts techniques.
- de la **littérature scientifique** sur les cas de résistance décrits dans cette note ou pour d'autres organismes phytopathogènes.

L'ensemble de ces informations contribue à la connaissance globale des cas de résistance décrits dans cette note. Une alerte est formulée sur le risque de perte d'efficacité au vignoble lorsque l'occurrence et la fréquence de la résistance (si cette dernière donnée est connue) sont jugées moyennes à fortes. Cette alerte est modulée selon les facteurs de résistance et la fitness des phénotypes résistants ainsi que selon les contextes agronomiques et le risque épidémique.

Substances actives, modes d'action et classification

Cette note liste toutes les substances actives rentrant dans la composition des produits autorisés au moment de sa rédaction pour protéger la vigne contre le mildiou, l'oïdium, la pourriture grise et le black rot. Les recommandations indiquées dans les tableaux visent prioritairement à prévenir et gérer spécifiquement les phénomènes de résistance, comme prérequis au maintien de l'efficacité sur le long terme. Selon les situations, il s'agit soit de limiter, voire de stopper la progression d'une résistance récemment détectée, soit d'optimiser l'efficacité au terrain des modes d'action pour les résistances largement établies. Il s'agit enfin de limiter ainsi l'impact négatif d'applications répétées de fongicides rendues moins efficaces, voire inutiles, à cause des phénomènes de résistance.

Chaque mode d'action est associé aux codes proposés (1) dans la classification unifiée du **réseau R4P** (www.inra-r4p.fr; DOI [10.17605/OSF.IO/UBH5/](https://doi.org/10.17605/OSF.IO/UBH5/)), et (2) dans la classification du **FRAC** (codes mode d'action et code cible séparés par « / » ; <http://www.frac.info/>).

Dans chaque classification, des codes distincts indiquent des modes d'action distincts, pouvant être combinés (en association ou en alternance) dans les stratégies de gestion des résistances.

¹ Direction générale de l'alimentation-Sous-direction de la santé et de la protection des végétaux.

² notamment le Document technique n°27 (DT 27) de la Commission des essais biologiques de Végéphy.

Prophylaxie et qualité de pulvérisation

Une nécessité pour améliorer la stratégie de protection en limitant les risques de résistance.

Les conditions de réussite de la protection du vignoble vis-à-vis des maladies sont d'autant plus favorables que sa mise en œuvre est accompagnée d'une **qualité de pulvérisation optimisée**, et de la mise en œuvre de **mesures prophylactiques** qui viennent limiter le développement des maladies.

Ces mesures participent à limiter les tailles des populations (diminuer l'intensité des épidémies) de champignons pathogènes et, de ce fait, **contribuent à moduler le risque de résistance(s)**.

Pour l'ensemble des maladies, les mesures prophylactiques passent par :

- la **limitation de la vigueur de la vigne** par le raisonnement, dès l'implantation, du choix d'un porte-greffe adapté, et éventuellement du cépage et du clone. Sur une vigne en production, la vigueur peut se maîtriser par la diminution des apports (notamment azotés) et par l'enherbement permanent (spontané ou maîtrisé) : en fonction des possibilités techniques et de la diminution de vigueur recherchée, la largeur de la bande enherbée pourra être modulée,
- **des rognages raisonnés** pour éliminer la jeune végétation (très sensible au mildiou) et permettre une meilleure pénétration de la bouillie lors de la pulvérisation, améliorant ainsi l'efficacité de la protection.

En ce qui concerne plus spécifiquement **le mildiou**, il convient en outre :

- **d'éviter la formation de mouillères** en favorisant l'élimination des excès d'eau,
- **d'éliminer tous les rejets** (pampres à la base des souches, plantules issues de la germination de pépins...) qui favorisent l'installation des foyers primaires de mildiou et participent au démarrage précoce de l'épidémie.

En ce qui concerne plus spécifiquement **la pourriture grise**, **la prophylaxie doit s'appliquer, quel que soit le risque parcellaire**. En effet, en cas de risque faible, la prophylaxie rend souvent inutile l'application de traitements. Il convient de :

- **bien aérer les grappes** par une taille et un mode de palissage qui assurent une répartition homogène des grappes. L'ébourgeonnage, le rognage, l'effeuillage et, éventuellement, l'éclaircissage permettent d'éviter l'entassement de la végétation,
- **limiter les blessures des baies** par une **maîtrise correcte des vers de la grappe et de l'oïdium** lors de fortes pressions afin de diminuer les portes d'entrée du champignon dans les baies,
- **limiter les blessures engendrées lors des opérations d'effeuillage** en effectuant les réglages adéquats du matériel utilisé.

Généralités sur les stratégies de gestion de la résistance.

De manière générale, la prévention et la gestion des résistances reposent sur la diversification de l'usage des modes d'action et l'implémentation précoce des stratégies anti-résistance. En effet, des individus résistants auront une plus forte probabilité d'être éliminés d'une population, lorsqu'ils sont à faible fréquence. Cela suppose de limiter au moins temporairement l'usage du fongicide les ayant sélectionnés et de les contrôler par d'autres modes d'action efficaces. *A contrario*, lorsque la résistance est bien installée dans les populations ou en cas de résistance multiple, les stratégies de gestion visent principalement à ralentir la sélection des individus résistants. On parle de « **gestion de la résistance** » dans les situations où les recommandations visent à prévenir et ralentir la sélection des individus résistants. Dans les situations où la fréquence des individus résistants est importante et stabilisée dans les populations, et où la gestion de la résistance n'est plus possible, les applications de fongicides visent essentiellement à compenser la perte d'efficacité totale ou partielle causée par la résistance pour maintenir un contrôle acceptable de la maladie en situation de résistance. On parle alors de « **gestion de l'efficacité** ». Dans la colonne « Recommandations » des tableaux qui suivent, la finalité a été précisée en utilisant les mentions « *gestion de la résistance* » ou « *gestion de l'efficacité* » pour chaque mode d'action et pathogène.

Les stratégies anti-résistance incluent : la limitation des traitements, l'association de modes d'actions différents (ou mélange), l'alternance des modes d'action, la mosaïque territoriale et la modulation de la dose (peu utilisée en viticulture pour gérer la résistance). Elles visent à maximiser l'hétérogénéité de la sélection par les fongicides et ainsi à réduire la vitesse d'adaptation des populations d'organismes phytopathogènes.

Limitation des traitements : l'efficacité de cette stratégie repose sur une réduction quantitative de la pression de sélection. De manière plus générale, toute mesure (par exemple la prophylaxie – voir plus haut) se substituant à un traitement fongicide et contribuant à diminuer les épidémies fongiques participe à limiter le risque de résistance et doit donc être utilisée prioritairement.

Association des modes d'action : cette stratégie consiste à associer deux substances de modes d'action différents (ne présentant pas de résistance croisée positive) se protégeant mutuellement du risque de résistance. Cette stratégie peut être mise en défaut si l'un des partenaires présente déjà une résistance ou n'est pas suffisamment efficace. Les associations d'un mode d'action concerné par la résistance et d'un multisite (non concerné par la résistance) visent principalement à gérer l'efficacité de la spécialité.

Alternance des modes d'action au sein d'un programme et/ou au fil des saisons : cette stratégie consiste à introduire, entre 2 applications d'un même mode d'action, une ou plusieurs applications avec des modes d'actions différents, dénommées *breakers*. Elle permet d'exercer des pressions de sélection diversifiées dans le temps, pour diminuer la fréquence des individus résistants dans les populations à chaque mode d'action au fil des générations. Cette stratégie ne peut être effective que si les descendants des individus résistants sélectionnés par un mode d'action sont éliminés par un mode d'action différent. Cette stratégie est d'autant plus efficace que les individus résistants présentent une fitness réduite (moindre compétitivité par rapport aux individus sensibles). Il faut dès lors qu'il y ait concomitance entre changement de génération et changement de substance active. Pour limiter la résistance, le nombre de *breakers* à introduire entre deux applications du même mode d'action est donc à raisonner, en théorie, d'une part selon la durée des générations (dépendante des conditions climatiques) et d'autre part selon la rémanence des substances utilisées. Des travaux récents, réalisés avec des substances rémanentes, montrent que deux applications consécutives gèrent plus efficacement la résistance qu'une alternance avec un seul *breaker*.

Mosaïque spatiale : cette stratégie correspond à l'utilisation de plusieurs modes d'action au même moment, mais dans des parcelles différentes, pour limiter les « effets de masse » et créer une hétérogénéité spatiale de la sélection. L'efficacité de la *mosaïque* est réputée varier selon les distances de migration des bioagresseurs.

L'efficacité de l'alternance et de la mosaïque, destinées à éteindre des foyers de résistance en émergence, varie donc en fonction des modes d'action et de la biologie des agents pathogènes. Il est ainsi difficile, en l'état actuel des connaissances, de faire des recommandations précises (en particulier concernant un nombre de *breakers*) permettant de couvrir toutes les situations.

Enfin, ces stratégies anti-résistance ne peuvent avoir un intérêt pour limiter l'évolution des résistances que lorsque ces dernières ne sont pas généralisées dans les populations, *i.e.* lorsqu'il existe encore une marge de progression des résistances (phase d'émergence ou de sélection). Il s'agit alors de ralentir, stabiliser, voire de faire régresser, la résistance dans les populations.

MILDIU

En l'état actuel des connaissances, les **Qol-P** ne sont plus recommandés pour lutter contre le mildiou.

Les **cyanooximes**, les **anilides**, et les **CAA**, sont des groupes chimiques ou des modes d'actions concernés depuis plusieurs années par la résistance. Les recommandations pour ces familles visent à gérer l'efficacité et non l'évolution de la résistance.

Le dernier monitoring de 2021 confirme la progression de la résistance aux **acylpicolides** et aux **Qil**. La vigilance est plus que jamais renforcée vis-à-vis de ces fongicides. La résistance non spécifique **AOX**, qui concerne les **Qil** et **Qiol** reste stable avec des occurrences variables selon les vignobles. Dans ce contexte, les recommandations doivent être strictement respectées.

La campagne 2021 est marquée par la détection des premières souches résistantes à l'oxathiapiprolone ou à la zoxamide. Ces premiers cas de résistance restent isolés et à faible fréquence et n'ont pas pour le moment de conséquence sur l'efficacité des spécialités. La caractérisation phénotypique et génotypique de ces isolats est en cours et devrait permettre de valider ces observations et d'anticiper le risque de résistance en pratique lié à ces isolats émergents. En effet, les facteurs de résistance associés à ces modes d'action sont décrits comme forts dans la littérature, pour d'autres oomycètes. La plus grande vigilance est donc de rigueur en attendant la mise à disposition de ces informations complémentaires pour *P. viticola*. Un usage raisonné de ces modes d'action est à même de limiter l'émergence de ces résistances en cette phase précoce de la dynamique adaptative.

Recommandation générale : afin de maintenir une efficacité acceptable quel que soit l'état de sensibilité des populations, dans les régions où l'occurrence de la résistance est moyenne à forte, et en situation de forte pression de la maladie, il est conseillé de ne pas utiliser les substances concernées par la résistance (cyanooximes, anilides, CAA, acylpicolides, Qil, Qiol, benzamides et OSBPI) ou de les associer, le cas échéant, à des substances non concernées par la résistance et dont l'efficacité intrinsèque est suffisante (métirame, folpel, cuivre, dithianon).

Produits hors liste des produits de biocontrôle¹

Substances actives	Type de résistance <i>Mécanisme de résistance</i> Facteur de résistance (FR)	Tendance évolution <i>occurrence et fréquence (si disponible) de la résistance*</i> en 2021	Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action au vignoble	RECOMMANDATIONS GENERALES 2022
Produits à base de Qil (code R4P : A3a ; codes FRAC : C4/21)				
amisulbrom cyazofamide	Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (Cytb insertion E203-DE-V204 la plus fréquente, E203-VE-V204 et L201S rares en France).</i>	En progression. <i>Présence de la résistance dans tous les vignobles. Occurrence faible (Val de Loire) et moyenne à forte (autres vignobles).</i>	Baisse d'efficacité possible en situation de risque épidémique élevé, avec un partenaire à l'efficacité partielle	<i>Gestion de l'efficacité:</i> Déconseillé avec un partenaire à efficacité partielle en situation de risques épidémiques élevés. 1 application + 1 application supplémentaire éventuelle en association avec un mode d'action multisite. Pour limiter le risque de perte d'efficacité en lien avec la résistance non spécifique ne pas réaliser plus de 3 applications à base de Qiol ou Qil au total.
	Résistance croisée partielle entre les 2 fongicides. FR élevé pour la cyazofamide, faible à moyen pour l'amisulbrom.	<i>Fréquence forte en Champagne, Charentes, Bordelais, Gers, faible dans les autres vignobles.</i>	Baisse d'efficacité rapportée en essai.	
	Résistance non spécifique. <i>Surexpression de l'alternative oxydase (AOX) impliquée dans la respiration alternative.</i>	Stabilité. <i>Occurrence moyenne à forte.</i> <i>Fréquence faible à moyenne, selon les vignobles.</i>		
Produits à base de Qol-P (code R4P : A5 ; codes FRAC : C3/11)				
azoxystrobine pyraclostrobine	Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (Cytb G143A).</i> FR élevés.	Stabilité (pas de données pour 2021). <i>Occurrence et fréquence élevées.</i>	Efficacité souvent insuffisante.	<i>Gestion de l'efficacité :</i> Non recommandé sur mildiou.

Mildiou (suite)

Substances actives	Type de résistance <i>Mécanisme de résistance</i> <i>Facteur de résistance</i>	Tendance évolution <i>occurrence et fréquence</i> <i>(le cas échéant) de la</i> <i>résistance*</i> <i>en 2021</i>	Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action au vignoble	RECOMMANDATIONS
Produits à base de Qiol (code R4P : A6 ; codes FRAC : C8/45)				
amétoctradine	Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (Cytb S34L).</i> FR élevé.	Stabilité. <i>Détection dans 2 régions uniquement. Occurrence et fréquence faible en Champagne. Occurrence forte et fréquence moyenne dans le Gers.</i>	Baisse d'efficacité possible en situation de risque épidémique élevé, avec un partenaire à l'efficacité partielle, dans le Gers.	Gestion de l'efficacité : 1 application + 1 application supplémentaire éventuelle uniquement en association avec un mode d'action multisite.
	Résistance non spécifique. <i>Surexpression de l'alternative oxydase (AOX) impliquée dans la respiration alternative.</i> FR variables, faibles à élevés.	Stabilité. <i>Occurrence moyenne à forte.</i> <i>Fréquence faible à moyenne, selon les régions.</i>	Baisse d'efficacité rapportée en essai.	Pour limiter le risque de perte d'efficacité en lien avec la résistance non spécifique, ne pas réaliser plus de 3 applications à base de Qiol ou Qil au total.
Produits à base de CAA (code R4P : C1a ; codes FRAC : H5-40)				
benthiavalarbe diméthomorphe iprovalicarbe mandipropamide valifénalate	Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (PvCesA3 G11405S/V/Y).</i> FR élevés.	Stabilité. <i>Occurrence globalement élevée mais géographiquement hétérogène.</i> <i>Fréquence moyenne à forte selon les régions.</i>	Baisse d'efficacité constatée.	Gestion de l'efficacité : 2 applications au maximum. Privilégier l'association avec un mode d'action multisite.
Produits à base d'OSBPI (code R4P : E5 ; codes FRAC : F9/49)				
oxathiapiproline	Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (OSBP G770V, N837I ou L863W).</i> FR élevés.	Premières détections en France dans plusieurs vignobles. <i>Occurrence et fréquence faibles</i>	-	Gestion de la résistance : 1 application maximum. Privilégier si possible le principe d'application en mosaïque spatiale à l'échelle d'un vignoble pour limiter les risques de pression de sélection sur un seul stade végétatif. Déconseillé sur parcelles où la maladie est fortement installée.
Produits à base de cyanooximes (code R4P : F5b ; code FRAC : 27)				
cymoxanil	Résistance spécifique. <i>Unisite avec mécanisme de résistance inconnu.</i> FR élevés.	Stabilité (premiers résultats en 2020 indiquant une possible régression) <i>Occurrence élevée.</i>	Efficacité souvent insuffisante.	Gestion de l'efficacité : 2 applications au maximum. Privilégier l'association avec un mode d'action multisite.
Produits à base d'anilides (code R4P : G3 ; codes FRAC : A1/4)				
bénalaxyl-M métalaxyl-M	Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (ARN Pol I / mutation inconnue).</i> FR élevés.	Stabilité (pas de données pour 2021). <i>Occurrence élevée.</i>	Efficacité souvent insuffisante.	Gestion de l'efficacité : 2 applications au maximum. Privilégier l'association avec un mode d'action multisite.

Mildiou (suite)

Substances actives	Type de résistance <i>Mécanisme de résistance</i> <i>Facteur de résistance</i>	Tendance évolution <i>occurrence et fréquence</i> <i>(le cas échéant) de la</i> <i>résistance*</i> <i>en 2021</i>	Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action au vignoble	RECOMMANDATIONS
Produits à base de benzamides				(code R4P : K2a ; codes FRAC : B3/22)
zoxamide	Unisite à risque de résistance spécifique. <i>Modifications de la cible (β-tubuline) connues chez d'autres oomycètes. Génotypage en cours chez P. viticola.</i> FR à déterminer chez P. viticola. Elevé chez d'autres oomycètes.	Premières détections en France. <i>Occurrence faible.</i>	-	<i>Gestion de la résistance :</i> 1 application + 1 application supplémentaire éventuelle uniquement en association avec un mode d'action multisite.
Produits à base d'acylpicolides				(code R4P : K5 ; codes FRAC : B5/43)
fluopicolide	Résistance spécifique. <i>Mécanisme inconnu.</i> FR à déterminer chez P. viticola. Moyens à élevés chez d'autres oomycètes.	Présence de la résistance dans tous les vignobles. <i>Occurrence hétérogène, globalement en progression, de faible à moyenne/forte (Grand Sud-Ouest et Champagne).</i> Fréquence moyenne en Champagne.	Baisse d'efficacité constatée en situation de risque épidémique élevé.	<i>Gestion de l'efficacité :</i> 1 application au maximum (AMM). Ne pas utiliser en situation de risque épidémique élevé.
Produits à base de phosphonates				(code R4P : S2 ; codes FRAC : U/33)
fosétyl aluminium	Non concerné par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque partielle.			
Produits à base de substances multisites				(code R4P : W ; code FRAC : M)
composés du cuivre dithianon folpel métirame	Non concernés par les phénomènes de résistance. Pas de variation d'efficacité constatée.			

Produits de biocontrôle¹

Produits affectant l'intégrité des membranes cellulaires				(code R4P : O5b ; code FRAC : NC)
huile essentielle d'orange	Non concernée par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.			
Produits à base de phosphonates				(code R4P : S2 ; codes FRAC : U/33)
phosphonate disodique phosphonates de potassium = acide phosphoreux	Non concernés par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque partielle.			
Stimulateurs des défenses des plantes				(code R4P : S6 ; code FRAC : NC)
cerevisane COS-OGA ABE IT 56	Non concernés par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.			
Produits à base de microorganismes				(codes R4P : YB ; codes FRAC : NC)
<i>Bacillus amyloliquefasciens</i> (souche FZB24)	Non concerné par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.			

*L'occurrence correspond à la proportion de parcelles, dans l'échantillonnage global, où la résistance est détectée, quelle que soit la fréquence des individus résistants dans la parcelle concernée.

¹ Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle, au titre des articles L.253-5 et L.253-7 du code rural et de la pêche maritime : <https://ecophytopic.fr/reglementation/proteger/liste-des-produits-de-biocontrole>

OÏDIUM

En l'état actuel des connaissances, les **QoI-P** ne sont plus recommandés pour lutter contre l'oïdium. L'utilisation des **IDM** et **azanaphthalènes** est susceptible de fragiliser les programmes de protection et de reporter la pression de sélection sur les autres modes d'action. Il est nécessaire d'alterner les traitements contenant ces modes d'action avec des produits à modes d'action non concernés par la résistance et suffisamment efficaces, et de ne pas les utiliser en succession (ex : **IDM** suivi d'**azanaphthalènes**).

La campagne 2021 est marquée par une progression de la résistance aux APK.

Produits hors liste des produits de biocontrôle¹

Substances actives (classes chimiques)	Type de résistance <i>Mécanisme de résistance</i> Facteur de résistance	Tendance évolution <i>occurrence et fréquence (lorsque disponible) de la résistance* en 2021</i>	Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action, au vignoble	RECOMMANDATIONS GENERALES 2022
Produits à base de SDHI (code R4P : A2a ; codes FRAC : C2/7)				
boscalide (pyridines-carboxamides) fluopyram (pyridinyles-éthyl-benzamides) fluxapyroxade (pyrazoles-carboxamides)	Résistance spécifique. Spectres de résistance croisée incomplets entre classes chimiques. <i>Modification de la cible (SdhB H242R, allèle majoritaire affectant principalement le boscalide; autres allèles : SdhB H242Y et SdhC G169D).</i> FR variables selon les fongicides et les mutations.	Stabilité. <i>Occurrence faible, détections ponctuelles avec le boscalide en Bourgogne, Sud-Ouest, Sud Est, en 2021.</i>	Baisse d'efficacité peu probable en raison d'une occurrence encore faible de la résistance.	Gestion de la résistance : 2 applications au maximum de SDHI ; de préférence 1 application maximum par classe chimique. Ne pas choisir le boscalide s'il est déjà utilisé comme anti-botrytis.
Produits à base de QoI (QoI-P) (code R4P : A5 ; codes FRAC : C3/11)				
azoxystrobine krésoxime-méthyle pyraclostrobine trifloxystrobine	Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (Cytb G143A).</i> FR élevés.	Stabilité (pas de données pour 2021). <i>Occurrence et fréquence très élevées.</i>	Efficacité souvent insuffisante.	Gestion de l'efficacité : Non recommandé sur oïdium.
Produits à base d'IDM (IBS du groupe I) (code R4P : E2 ; codes FRAC : G1/3)				
difénoconazole fenbuconazole ² myclobutanil ² penconazole tébuconazole tétraconazole	Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (Cyp51 Y136F). Surexpression de Cyp51. Amplification génique Cyp51.</i> FR faible à fort selon les fongicides.	<i>Stabilité</i> (Très peu de nouvelles données 2021). Occurrence élevée.	Les efficacités peuvent varier selon les substances actives et les situations.	Gestion de l'efficacité : 2 applications au maximum d'IDM comme anti-oïdium, 1 application au maximum par substance active.
Produits à base d'amines (IBS du groupe II) (code R4P : E3 ; codes FRAC : G2/5)				
spiroxamine	Unisite à faible risque de résistance en vigne.	Données anciennes	-	Gestion de la résistance : 2 applications au maximum.
Produits à base d'aryl-phényl-kétones (code R4P : K6 ; code FRAC : U8)				
métrafénone (benzophénones) pyriofénone (benzoylpyridines)	Résistance spécifique. <i>Mécanisme inconnu.</i> FR élevés	En progression en <i>Bourgogne, Sud-Est/vallée du Rhône, Sud-Ouest et Champagne en 2021.</i> <i>Occurrences faibles à moyennes.</i>	Baisse d'efficacité non constatée mais possible en théorie si risque épidémique élevé dans les régions concernées par une occurrence de la résistance moyenne.	Gestion de la résistance : 1 application. + 1 application supplémentaire dans les régions non concernées par la résistance.

OÏDIUM (suite)

Substances actives (classes chimiques)	Type de résistance <i>Mécanisme de résistance</i> <i>Facteur de résistance</i>	Tendance évolution <i>occurrence et fréquence (le cas échéant) de la résistance* en 2021</i>	Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action, au vignoble	RECOMMANDATIONS
Produits à base d'azanaphtalènes (AZN)				(code R4P : M4 ; codes FRAC : E1/13)
proquinazide (quinazolinones)	Résistance spécifique. <i>Mécanisme inconnu.</i> FR modérés.	Stabilisation (<i>pas de données 2021</i>). <i>Occurrence faible à moyenne.</i>	Baisse d'efficacité rapportée en essai.	<i>Gestion de la résistance :</i> 1 application + 1 application supplémentaire si la durée de la période de protection le nécessite.
Produits à base d'amidoximes				(code R4P : XF8 ; code FRAC : U6)
cyflufénamide	Unisite à risque de résistance spécifique. FR modérés à élevés sur oïdium des cucurbitacées.	-	-	<i>Gestion de la résistance :</i> 1 application + 1 application supplémentaire si la durée de la période de protection le nécessite.

* Fin d'utilisation en 2022.

Produits de biocontrôle¹

Produits affectant l'intégrité des membranes cellulaires		(code R4P : O5b ; code FRAC : NC)
huile essentielle d'orange	Non concerné par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.	
Stimulateurs des défenses naturelles des plantes		(code R4P : S6 ; code FRAC : NC)
cerevisane laminarine COS-OGA	Non concerné par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.	
Produits à base de substances multisites		(code R4P : W4 ; code FRAC : M2)
soufre	Non concerné par les phénomènes de résistance. Pas de variation d'efficacité constatée.	
Produits de mode d'action inconnu		(code R4P : XF ; code FRAC : NC)
hydrogénocarbonate de potassium (bicarbonate de potassium)	Non concerné par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.	
Produits à base de microorganismes		(codes R4P : YB ; codes FRAC : NC)
<i>Bacillus amyloliquefasciens</i> (souche FZB24), <i>Bacillus pumilus</i> (souche QST 2808)	Non concernés par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.	

*L'occurrence correspond à la proportion de parcelles, dans l'échantillonnage global, où la résistance est détectée, quelle que soit la fréquence des individus résistants dans la parcelle concernée.

¹ Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle, au titre des articles L.253-5 et L.253-7 du code rural et de la pêche maritime : <https://ecophytopic.fr/reglementation/protger/liste-des-produits-de-biocontrrole>

POURRITURE GRISE

Les recommandations d'emploi des fongicides anti-botrytis (basées sur la limitation d'utilisation de chaque famille chimique) et de respect des mesures de prophylaxie (p.2) ont fait leurs preuves. Quelle que soit la stratégie, l'emploi d'un seul produit par famille chimique et par an est impératif et réaliste. L'alternance pluriannuelle pour toute famille chimique concernée par la résistance spécifique est fortement recommandée.

Remarque : pour les groupes chimiques ou modes d'action concernés par une résistance spécifique ou non spécifique (résistance multidrogues), les occurrences (% de parcelles avec résistance détectée) sont en général moyennes à élevées. Ainsi, à la différence du mildiou et de l'oïdium, la fréquence de résistance indiquée correspond à la proportion moyenne d'individus résistants dans les populations. Les éléments du tableau sont basés principalement sur les données du plan de surveillance du Comité Champagne. Elles ont donc une valeur indicative.

En raison d'une faible présence de la maladie ces dernières années, ce tableau rapporte les éléments déjà présentés précédemment, sauf dans le cas des SDHI.

Produits hors liste des produits de biocontrôle¹

Substances actives (classe chimique)	Type de résistance et mécanisme de résistance	Fréquence d'individus résistants dans les populations	Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action, au vignoble	RECOMMANDATIONS
Produits à base de SDHI (code R4P : A2a ; codes FRAC : C2/7)				
boscalide (pyridine-carboxamide)	Résistance spécifique.	<i>En progression (isofétamide)</i>	Aucune baisse d'efficacité rapportée.	<i>Gestion de la résistance :</i> 1 application au maximum ; ne pas choisir le boscalide s'il est déjà utilisé sur oïdium.
isofétamide (phényl-oxo-éthyl- thiophène amide)	<i>Modification de la cible (SdhB H272Y/R/L/V, N230I, P225F/T/L ; SdhD H132R + autres).</i>	Faible.		
	Résistance non spécifique.	Elevée.		
	<i>Efflux accru (MDR).</i>			
Produits à base d'inhibiteurs de la C4-déméthylation des stérols (IBS du groupe III) (code R4P : E4 ; codes FRAC : G3/17)				
fenhexamide (hydroxylanilide)	Résistance spécifique.	Faible à moyenne.	Aucune baisse d'efficacité rapportée.	<i>Gestion de la résistance :</i> 1 application au maximum.
fenpyrazamine (aminopyrazolinone)	<i>Modification de la cible (erg27, principalement F412S/I/V).</i>			
	Résistance non spécifique.	Elevée.		
	<i>Efflux accru (MDR).</i>			
Produits à base de phénylpyrroles (code R4P : M1c ; codes FRAC : E2/12)				
fludioxonil	Non concerné par la résistance spécifique.	-	Aucune baisse d'efficacité rapportée.	<i>Gestion de la résistance :</i> 1 application au maximum.
	Résistance non spécifique.	Elevée.		
	<i>Efflux accru (MDR).</i>			

POURRITURE GRISE (suite)

Substances actives (classe chimique)	Type de résistance et mécanisme de résistance	Fréquence d'individus résistants dans les populations	Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action, au vignoble	RECOMMANDATIONS
Produits à base d'anilinopyrimidines				(code R4P : M2 ; codes FRAC : D1/9)
cyprodinil mépanipyrim pyriméthanol	Résistance spécifique. <i>8 mutations portées par deux gènes impliqués dans le métabolisme mitochondrial.</i>	Faible à moyenne.	Aucune baisse d'efficacité rapportée.	<i>Gestion de la résistance :</i> 1 application au maximum.
	Résistance non spécifique. <i>Efflux accru (MDR).</i>	Elevée.		

Produits de biocontrôle¹

Produits affectant l'intégrité des membranes cellulaires		(code R4P : O5d ; code FRAC : NC)
eugénol, géraniol, thymol	Non concernés par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.	
Produits à base de microorganismes		(codes R4P : YB ; codes FRAC : NC)
<i>Aureobasidium pullulans</i> (souches DSM 14940 et 14941) <i>Bacillus subtilis</i> (souche QST 713) <i>Bacillus amyloliquefasciens</i> (souche MBI600) <i>Bacillus amyloliquefasciens ssp.</i> <i>plantarum</i> (souche D747) <i>Bacillus amyloliquefasciens</i> (souche FZB24) <i>Metschnikowia fructicola</i> (souche NRRL Y-27328) <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (souche LAS02) <i>Trichoderma atroviride</i> (souche SC1)	Non concernés par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.	
Stimulateurs des défenses naturelles des plantes		(code R4P : S6c ; code FRAC : NC)
cerevisane	Non concernée par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.	
Produits au mode d'action inconnu		(code R4P : XF ; code FRAC : NC)
hydrogénocarbonate de potassium (bicarbonate de potassium)	Non concerné par les phénomènes de résistance. Efficacité intrinsèque variable et partielle.	

¹ Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle, au titre des articles L.253-5 et L.253-7 du code rural et de la pêche maritime : <https://ecophytopic.fr/reglementation/protger/liste-des-produits-de-biocontrrole>

BLACK ROT

En absence de monitoring black rot vis-à-vis des résistances, il n'est pas possible d'apporter des recommandations pour limiter les risques de résistance. Toutefois, certaines préparations disposant d'une AMM pour l'usage black rot peuvent être autorisés sur mildiou et/ou oïdium.

Les recommandations ci-dessous ont pour objectif de proposer des règles d'emploi des substances actives utilisables sur le black-rot en tenant compte des résistances sur mildiou et oïdium.

Substances actives	Etat des résistances sur d'autres usages	RECOMMANDATIONS
Produits à base d'IDM (IBS du groupe I)		(code R4P : E2 ; codes FRAC : G1/3)
difénoconazole fenbuconazole ² myclobutanil ² penconazole tébuconazole tétraconazole	Résistance chez l'oïdium.	Applications spécifiques black rot possibles en période de moindre sensibilité à l'oïdium (donc à privilégier après fermeture de la grappe).
Produits à base de QoI-P		(code R4P : A5 ; codes FRAC C3/11)
azoxystrobine krésoxime-méthyle pyraclostrobine trifloxystrobine	Résistances chez oïdium et mildiou.	Applications spécifiques black rot possibles associées à une substance efficace sur oïdium si risque oïdium. En cas de période à risque mildiou, privilégier les produits associant un anti-mildiou de contact.
Produits à base de substances multi-sites		(code R4P : W ; code FRAC : M)
composés du cuivre folpel métirame	Aucune résistance chez mildiou et oïdium	Applications spécifiques black rot possibles.

² fin d'utilisation en 2022

Annexe : Références bibliographiques utiles

- Blum, M., et al. (2010). "A single point mutation in the novel PvCesA3 gene confers resistance to the carboxylic acid amide fungicide mandipropamid in *Plasmopara viticola*." *Fungal Genetics and Biology* 47(6): 499-510.
- Cai, M., et al. (2016). "C239S mutation in the β -tubulin of *Phytophthora sojae* confers resistance to zoxamide." *Frontiers in Microbiology* 7(762).
- Chen, W. J., et al. (2007). "At least two origins of fungicide resistance in grapevine downy mildew populations." *Applied and Environmental Microbiology* 73(16): 5162-5172.
- Cherrad, S., et al. (2018). "Emergence of boscalid-resistant strains of *Erysiphe necator* in French vineyards." *Microbiological Research* 216: 79-84.
- Cherrad, S., et al. (2018). *Plasmopara viticola* resistance to complex III inhibitors: an update on the phenotypic and genotypic characterization of strains. 12ème conférence internationale sur les maladies des plantes. Végéphyt. Tours, 11-12 December 2018.
- Colcol, J. F. and A. B. Baudoin (2016). "Sensitivity of *Erysiphe necator* and *Plasmopara viticola* in Virginia to QoI fungicides, boscalid, quinoxifen, thiophanate methyl, and mefenoxam." *Plant Disease* 100(2): 337-344.
- Colcol, J. F., et al. (2012). "Sensitivity of *Erysiphe necator* to Demethylation Inhibitor Fungicides in Virginia." *Plant Disease* 96(1): 111-116.
- Diriwächter, G., et al. (1987). "Cross-resistance in *Phytophthora infestans* and *Plasmopara viticola* against different phenylamides and unrelated fungicides." *Crop Protection* 6(4): 250-255.
- Dreinert, A., et al. (2018). "The cytochrome bc1 complex inhibitor ametoctradin has an unusual binding mode." *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics* 1859(8): 567-576.
- Dufour, M.-C., et al. (2011). "Assessment of fungicide resistance and pathogen diversity in *Erysiphe necator* using quantitative real-time PCR assays." *Pest Management Science* 67(1): 60-69.
- Fehr, M., et al. (2016). "Binding of the respiratory chain inhibitor ametoctradin to the mitochondrial bc1 complex." *Pest Management Science* 72(3): 591-602.
- Fillinger, S., et al. (2008). "Genetic analysis of fenhexamid-resistant field isolates of the phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea*." *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 52(11): 3933-3940.
- Fontaine, S., et al. (2019). "Investigation of the sensitivity of *Plasmopara viticola* to amisulbrom and ametoctradin in French vineyards using bioassays and molecular tools." *Pest Management Science* 75(8): 2115-2123.
- Genet, J. L. and O. Vincent (1999). "Sensitivity of European *Plasmopara viticola* populations to cymoxanil." *Pesticide Science* 55(2): 129-136.
- Gisi, U. and H. Sierotzki (2008). "Fungicide modes of action and resistance in downy mildews." *European Journal of Plant Pathology* 122(1): 157-167.
- Grasso, V., et al. (2006). "Cytochrome b gene structure and consequences for resistance to Qo inhibitor fungicides in plant pathogens." *Pest Management Science* 62(6): 465-472.
- Jones, L., et al. (2014). "Adaptive genomic structural variation in the grape powdery mildew pathogen, *Erysiphe necator*." *BMC Genomics* 15: 17.
- Kunova, A., et al. (2016). "Metrafenone resistance in a population of *Erysiphe necator* in northern Italy." *Pest Management Science* 72(2): 398-404.
- Lalève, A., et al. (2014). "Site-directed mutagenesis of the P225, N230 and H272 residues of succinate dehydrogenase subunit B from *Botrytis cinerea* highlights different roles in enzyme activity and inhibitor binding." *Environmental Microbiology* 16(7): 2253-2266.
- Lu, X. H., et al. (2011). "Wild type sensitivity and mutation analysis for resistance risk to fluopicolide in *Phytophthora capsici*." *Plant Disease* 95(12): 1535-1541.
- Leroux, P., et al. (2002). "Mechanisms of resistance to fungicides in field strains of *Botrytis cinerea*." *Pest Management Science* 58(9): 876-888.
- Mboup, M. K., et al. (2021). "Genetic mechanism, baseline sensitivity and risk of resistance to oxathiapiprolin in oomycetes." *Pest Management Science*: 9. <https://doi.org/10.1002/ps.6700>

McGrath, M. T. and Z. F. Sexton (2018). "Poor control of cucurbit powdery mildew associated with first detection of resistance to cyflufenamid in the causal agent, *Podosphaera xanthii*, in the United States." *Plant Health Progress* 19(3): 222-223.

Miao, J., et al. (2020). "Multiple point mutations in PsORP1 gene conferring different resistance levels to oxathiapiprolin confirmed using CRISPR–Cas9 in *Phytophthora sojae*." *Pest Management Science* 76(7): 2434-2440.

Miller, T. C. and W. D. Gubler (2004). "Sensitivity of California isolates of *Uncinula necator* to trifloxystrobin and spiroxamine, and update on triadimefon sensitivity." *Plant Disease* 88(11): 1205-1212.

Mosbach, A., et al. (2017). "Anilinopyrimidine resistance in *Botrytis cinerea* is linked to mitochondrial function." *Frontiers in Microbiology* 8: 19.

Moukoro, P., et al. (2019). "Mitochondrial complex III Qi-site inhibitor resistance mutations found in laboratory selected mutants and field isolates." *Pest Management Science* 75(8): 2107-2114.

Panon, M. L., et al. (2018). Efficacy in vineyards of several fungicide preparations in the presence of different percentages of AOX resistant phenotypes of *Plasmopara viticola*. 12ème conférence internationale sur les maladies des plantes. Végéphyt. Tours, 11-12 December 2018.

Pirondi, A., et al. (2014). "First report of Resistance to cyflufenamid in *Podosphaera xanthii*, causal agent of powdery mildew, from melon and zucchini fields in Italy." *Plant Disease* 98(11): 1581-1581.

Thomas, A., et al. (2018). "Resistance to fluopicolide and propamocarb and baseline sensitivity to ethaboxam among isolates of *Pseudoperonospora cubensis* from the Eastern United States." *Plant Disease* 102(8): 1619-1626.

Walker, A.-S., et al. (2013). "French vineyards provide information that opens ways for effective resistance management of *Botrytis cinerea* (grey mould)." *Pest Management Science* 69(6): 667-678.

Zuniga, A. I., et al. (2020). "Baseline sensitivity of *Botrytis cinerea* isolates from strawberry to isofetamid compared to other SDHIs." *Plant Disease* 104(4): 1224-1230.