



NOTE TECHNIQUE COMMUNE *RESISTANCES* 2024

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

date de diffusion : 16 janvier 2024

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 du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire.

Objectifs de la note technique commune

Ce document vise à :

- 1) décrire le statut des résistances en 2023 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 dans la durée les modes d'action et l'efficacité des programmes de protection.

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 de 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 mises en évidence dans les essais ou au vignoble) et d'autre part sur la connaissance des mécanismes de résistance et les phénotypes des souches résistantes (niveau de résistance, spectre de résistance croisée, fitness 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, des Chambres d'agriculture de Bourgogne et de Gironde 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 le phénotype résistant des individus et 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.r4p-inra.fr/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. Les stratégies anti-résistance reposent sur l'utilisation

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 Végéphyt.

d'une diversité la plus large possible de substances actives (*i.e.* présentant des codes mode d'action différents), à la fois dans le temps de la campagne et dans l'espace du vignoble., pouvant être combinés (en association ou en alternance) dans les stratégies de gestion des résistances.

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 l'adoption 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 d'évolution de résistance(s) et à raisonner le nombre de traitements utiles.**

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 et autres travaux en vert** pour éliminer la jeune végétation très sensible, favoriser une bonne aération au sein de la haie foliaire limitant la propagation des maladies et permettant une meilleure pénétration de la bouillie lors de la pulvérisation.

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

- **d'éviter la formation de mouillères** qui favorisent les 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 leur répartition homogène. L'ébourgeonnage, le rognage, l'effeuillage précoce de la zone fructifère 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 ou de rognage** 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, l'élimination des individus résistants sera d'autant plus probable s'ils sont à faible fréquence dans les populations. 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 rapidité 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, 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 fortement évoluée ou n'est pas suffisamment efficace. Les associations d'un mode d'action concerné par une résistance fortement évoluée 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 deux 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 de l'agent pathogène (dépendante des conditions climatiques) et d'autre part selon la rémanence des substances utilisées. Des travaux récents, réalisés avec des substances rémanentes, montrent que l'application consécutive de deux traitements *breakers* gère plus efficacement la résistance qu'une alternance avec un seul traitement *breaker*. Ce compromis doit cependant être évalué au cas par cas.

- **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 » dans le paysage et créer une hétérogénéité spatiale de la sélection. L'efficacité de la *mosaïque* varie 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.

En 2023 la pression a été forte dans de nombreux vignobles et a pu entraîner une augmentation des traitements dans les programmes de protection.

En l'état actuel des connaissances, les **QoI-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'action concernés depuis plusieurs années par la résistance. La résistance aux **acylpicolides** et aux **Qil** est désormais bien implantée dans tous les vignobles, à fréquence parfois forte. Les recommandations pour ces familles visent à gérer l'efficacité et non l'évolution de la résistance. La résistance non spécifique **AOX**, testée sur **Qil** et **QioI** (mais qui concerne aussi les QoI-P), reste stable avec des occurrences variables selon les vignobles. Dans ce contexte, les recommandations doivent être strictement respectées.

La campagne 2021 avait été marquée par la détection des premières souches résistantes aux **OBSPI (oxathiapiproline)** et aux **benzamides (zoxamide)**. Des suspicions de détection de souches résistantes sont à nouveau signalées en 2023 pour les benzamides et sont en cours de validation. L'occurrence de ces résistances reste malgré tout très faible et ponctuelle. Les occurrences de la résistance à l'**oxathiapiproline** augmentent et les détections concernent aujourd'hui quasiment tous les vignobles, mais les fréquences d'individus résistants restent toujours faibles pour cette substance active. Une diminution notable de l'efficacité des spécialités n'a, à ce jour, pas été signalée. La caractérisation phénotypique et génotypique de ces isolats se poursuit et devrait permettre de valider ces observations et d'anticiper le risque d'érosion de l'efficacité liée à ces isolats émergents. En effet, les facteurs de résistance associés aux **OBSPI** et **benzamides** sont décrits comme forts dans la littérature, pour d'autres oomycètes et *P. viticola*. La plus grande vigilance est donc de rigueur et, en cette phase précoce de la dynamique adaptative, l'usage raisonné de ces modes d'action est préconisé afin de ralentir efficacement l'émergence des résistances vis-à-vis de ces substances.

Recommandation générale : A l'exception des substances multisites dont l'efficacité intrinsèque est suffisante (métrame³, folpel, cuivre, dithianon), tous les modes d'action sont désormais concernés par la résistance. Dans les contextes de résistances les plus dégradés, il est fortement recommandé soit de ne pas utiliser les substances concernées par la résistance, soit de les associer avec un partenaire efficace, notamment en situation de forte pression de mildiou (gestion de l'efficacité).

Le maintien de l'efficacité des substances actives actuellement autorisées est devenu essentiel. Les alternances de modes d'action, les renouvellements anticipés en fonction des épisodes de contamination et du climat, l'association avec des substances actives efficaces (e.g. multisites) sont plus que jamais essentielles pour limiter les risques de perte d'efficacité au champ. Dans un contexte général de diminution de la diversité des substances actives disponibles, une attention toute particulière doit être portée à la gestion des programmes de traitements. Ceux-ci doivent s'adapter durant la campagne en fonction de la situation parcellaire (historique, évolution de la pression parasitaire) et de la résistance connue sur le bassin de production.

³ Fin d'utilisation : 28/11/2024.

Mildiou : Produits hors liste des produits de biocontrôle

| 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 2023 | Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action au vignoble | RECOMMANDATIONS GENERALES 2023 |
|---|--|---|---|--|
| Produits à base de Qil (code R4P : A3a ; codes FRAC : C4/21) | | | | |
| amisulbrom cyazofamide | <p>Résistance spécifique.</p> <p><i>Modification de la cible : Cytb insertion E203-DE-V204 la plus fréquente, E203-VE-V204 rare en France (L201S non détectée en France).</i></p> <p>Chez les génotypes en présence, la résistance croisée affecte différemment les 2 substances concernées : facteur de résistance élevé pour la cyazofamide, faible à moyen pour l'amisulbrom.</p> | <p>Stabilité.</p> <p><i>Présence de la résistance dans tous les vignobles. Occurrence forte.</i></p> <p><i>Fréquence moyenne à forte dans l'ensemble des vignobles.</i></p> | <p>Baisse d'efficacité possible en situation de risque épidémique élevé, avec un partenaire à l'efficacité partielle.</p> | <p>Gestion de l'efficacité:</p> <p>Déconseillé avec un partenaire à efficacité partielle en situation de risques épidémiques élevés.</p> <p>1 application + 1 application supplémentaire éventuelle en association avec un mode d'action multisite.</p> |
| | <p>Résistance non spécifique.</p> <p><i>Surexpression de l'alternative oxydase (AOX) impliquée dans la respiration alternative.</i></p> <p>Facteurs de résistance variables, faibles à élevés.</p> | <p>Stabilité.</p> <p><i>Occurrence moyenne à forte.</i></p> <p><i>Fréquence faible à forte, selon les vignobles.</i></p> | <p>Baisse d'efficacité mise en évidence en essai.</p> | |
| Produits à base de Qiol (code R4P : A6 ; codes FRAC : C8/45) | | | | |
| amétoctradine | <p>Résistance spécifique.</p> <p><i>Modification de la cible (Cytb S34L).</i></p> <p>Facteur de résistance élevé.</p> | <p>En progression.</p> <p><i>Occurrence en augmentation dans tous les vignobles. Fréquence faible à moyenne, plus forte en Armagnac.</i></p> | <p>Baisse d'efficacité possible en situation de risque épidémique élevé, avec un partenaire à l'efficacité partielle.</p> | <p>Gestion de l'efficacité :</p> <p>1 application, en association avec un partenaire multisite en situation de risque élevé.</p> |
| | <p>Résistance non spécifique.</p> <p><i>Surexpression de l'alternative oxydase (AOX) impliquée dans la respiration alternative.</i></p> <p>Facteurs de résistance variables, faibles à élevés.</p> | <p>Stabilité.</p> <p><i>Occurrence moyenne à forte.</i></p> <p><i>Fréquence faible à forte, selon les régions.</i></p> | <p>Baisse d'efficacité mise en évidence en essai.</p> | |

.../...

Mildiou : Produits hors liste des produits de biocontrôle (suite)

| 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 2023 | Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action au vignoble | RECOMMANDATIONS GENERALES 2023 |
|--|--|---|---|---|
| Produits à base de QoI-P (code R4P : A5 ; codes FRAC : C3/11) | | | | |
| azoxystrobine pyraclostrobine | Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (Cytb G143A).</i> Facteurs de résistance élevés. | Stabilité <i>Occurrence et fréquence faibles à fortes.</i> | Efficacité souvent insuffisante d'après les données anciennes. | <i>Gestion de l'efficacité :</i> Non recommandé sur mildiou. |
| Produits à base de CAA (code R4P : C1a ; codes FRAC : H5-40) | | | | |
| benthiavalicarbe ⁴ diméthomorphe iprovalicarbe ⁵ mandipropamide valifénalate | Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (PvCesA3 G1105S/V/Y).</i> Facteurs de résistance élevés. | Stabilité. <i>Occurrence globalement élevée mais géographiquement hétérogène.</i> <i>Fréquence moyenne à forte selon les régions.</i> | Baisse d'efficacité constatée. | <i>Gestion de l'efficacité :</i> 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) | | | | |
| oxathiapiprolin | Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (OSBP G685V, N752I ou I792F).</i> Facteurs de résistance élevés. | En progression. <i>Occurrence faible mais en augmentation</i> <i>Fréquence faible.</i> | Pas de baisse d'efficacité rapportée | <i>Gestion de la résistance :</i> 1 application maximum. A associer avec un partenaire efficace. 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 si la pression de la maladie se maintient dans une situation dégradée. |
| Produits à base de cyanooximes (code R4P : F5b ; code FRAC : 27) | | | | |
| cymoxanil | Résistance spécifique. <i>Un site avec mécanisme de résistance inconnu.</i> Facteurs de résistance élevés. | Données anciennes | Efficacité souvent insuffisante. | <i>Gestion de l'efficacité :</i> 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> Facteurs de résistance élevés. | Données anciennes | Efficacité souvent insuffisante. | <i>Gestion de l'efficacité :</i> 2 applications au maximum. Privilégier l'association avec un mode d'action multisite. |

.../...

⁴ Fin d'utilisation des stocks jusqu'au 13/12/2024

⁵ Fin d'utilisation des stocks jusqu'au 25/04/2024.

Mildiou : Produits hors liste des produits de biocontrôle (suite)

| 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 2023 | Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action au vignoble | RECOMMANDATIONS GENERALES 2023 |
|--|---|--|--|--|
| 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) Tub C239G/S).</i> Facteurs de résistance élevés. | Premières détections en France en 2021. Des suspicions en 2023 (validation par génotypage en cours). | - | Gestion de la résistance : 1 application + 1 application supplémentaire éventuelle uniquement en association avec un mode d'action multisite. Déconseillé si la pression de la maladie se maintient dans une situation dégradée. |
| Produits à base d'acylpicolides | | | | (code R4P : K5 ; codes FRAC : B5/43) |
| fluopicolide | Résistance spécifique. <i>Mécanisme.</i> <i>V-type proton ATPase : G759S/N</i> Facteurs de résistance élevés. | Présence de la résistance dans tous les vignobles. <i>Occurrence forte</i> <i>Fréquences moyennes.</i> | Baisse d'efficacité constatée en situation de risque épidémique élevé. | Gestion de l'efficacité : 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 ⁶ | Non concernés par les phénomènes de résistance. Pas de variation d'efficacité constatée. | | | |

Mildiou : 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 | 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 :

Tous produits : <https://ecophytopic.fr/reglementation/protger/liste-des-produits-de-biocontrrole>

Produits utilisables en viticulture : <https://www.vignevin.com/article/liste-des-produits-de-bio-contrrole-homologues-en-viticulture-2023/>

⁶ Fin d'utilisation des stocks jusqu'au 28/11/2024.

OÏDIUM

En l'état actuel des connaissances, les **QoI-P** ne sont plus recommandés pour lutter contre l'oïdium. L'utilisation des **IDM** et **azanaphtalènes** 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'**azanaphtalènes**).

La campagne 2023 est marquée par une stabilité de la résistance aux APK et aux SDHI. Chez *E. necator*, la résistance aux SDHI est caractérisée par une relative diversité de mutations affectant la cible de ces fongicides. Chaque mutation concourt à sélectionner globalement la résistance aux SDHI mais affecte différemment les diverses substances actives représentant les trois classes chimiques de SDHI (*i.e.* la résistance croisée est partielle, les facteurs de résistance varient de nuls à forts selon les substances actives et les mutations). Par exemple, chez de nombreux pathogènes, les substitutions SdhB H242R/Y affectent peu ou pas le fluopyram. Chez *E. necator*, le fluopyram est en revanche fortement affecté par les substitutions SdhC I244V et A83V. Le fluxapyroxade est peu affecté par les mutations actuellement en présence. Dans ce contexte, il est important d'utiliser toute la palette des SDHI disponibles, afin de conserver cette diversité mutationnelle, et d'éviter de concentrer la sélection de la résistance vers une ou quelques mutations qui serai(en)t fortement dommageable(s) pour une substance active en particulier. La plus grande vigilance est de rigueur et, en cette phase précoce de la dynamique adaptative, l'usage raisonné de ce mode d'action est préconisé afin de limiter la progression de cette résistance.

Oïdium : Produits hors liste des produits de biocontrôle

| 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 2023</i> | Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action, au vignoble | RECOMMANDATIONS GENERALES 2023 |
|---|---|--|--|--|
| 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 : facteurs de résistance variables selon les substances actives et les mutations, affectant moins fortement le fluxapyroxade comparativement au fluopyram et au boscalide. <i>Modification de la cible (SdhB H242R, affectant principalement le boscalide; SdhC A83V affectant principalement le fluopyram et le boscalide ; autres allèles SdhB H242Y, I244V et SdhC G169D/S ; doubles mutants observés).</i> | Stabilité. <i>Occurrence variable selon les vignobles, faible à forte.</i> <i>Fréquence généralement faible.</i> | Pas de baisse d'efficacité mise en évidence | <i>Gestion de la résistance :</i> 2 applications au maximum de SDHI. 1 application maximum par substance active afin de garder une diversité mutationnelle. Ne pas utiliser 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 kréoxime-méthyle pyraclostrobine trifloxystrobine | Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (Cytb G143A).</i> Facteurs de résistance élevés. | Stabilité <i>Occurrence et fréquence très élevées.</i> | Efficacité souvent insuffisante. | <i>Gestion de l'efficacité :</i> Non recommandé sur oïdium. |

.../...

Oïdium : Produits hors liste des produits de biocontrôle (suite)

| Substances actives (classes chimiques) | Type de résistance <i>Mécanisme de résistance</i> Facteur de résistance | Tendance évolution <i>occurrence et fréquence</i> (lorsque disponible) de la <i>résistance</i> en 2023 | Impact de la résistance sur l'efficacité du mode d'action, au vignoble | RECOMMANDATIONS GENERALES 2023 |
|--|---|---|--|--|
| Produits à base d'IDM (IBS du groupe I) (code R4P : E2 ; codes FRAC : G1/3) | | | | |
| difénoconazole penconazole tébuconazole tétraconazole | Résistance spécifique. <i>Modification de la cible (Cyp51 Y136F). Surexpression de Cyp51. Amplification génique Cyp51.</i> Facteur de résistance faible à fort selon les fongicides. | Stabilité <i>Occurrence et fréquences élevées.</i> | Les efficacités peuvent varier selon les substances actives et les situations. | <i>Gestion de l'efficacité :</i> 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 | - | <i>Gestion de la résistance :</i> 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> Facteurs de résistance élevés | En progression <i>Occurrence forte dans les vignobles où l'oïdium est prépondérant.</i> <i>Fréquence faible à moyenne, forte en Bourgogne sur la base de données de 2022.</i> | Pas de baisse d'efficacité mise en évidence mais possible en théorie si risque épidémique élevé, en cas de fréquence de la résistance élevée. | <i>Gestion de la résistance :</i> 1 application. |
| Produits à base d'azanaphtalènes (AZN) (code R4P : M4 ; codes FRAC : E1/13) | | | | |
| proquinazide (quinazolinones) | Résistance spécifique. <i>Mécanisme inconnu.</i> Facteurs de résistance modérés. | Données anciennes | Baisse d'efficacité mise en évidence en essai (données anciennes). | <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. Facteurs de résistance modérés à élevés sur oïdium des cucurbitacées. | Suspicion de résistance, à confirmer. | - | <i>Gestion de la résistance :</i> 1 application + 1 application supplémentaire si la durée de la période de protection le nécessite. |
| Produit à base de thiazolidines (code R4P : U-XF12 ; code FRAC U13) | | | | |
| flutianile | Unisite à risque de résistance spécifique (résistance décrite sur oïdiums des cucurbitacées). | - | - | <i>Gestion de la résistance :</i> 2 applications au maximum (AMM). |

Oïdium : Produits de biocontrôle ¹

| 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. | |
| Stimulateurs des défenses naturelles des plantes | | (code R4P : S6 ; code FRAC : NC) |
| cerevisane laminarine COS-OGA | Non concernés 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 mode d'action multiple | | (Code R4P :XF ; code FRAC : BM01) |
| extrait aqueux de graines germées de Lupinus albus doux | 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 :

Tous produits : <https://ecophytopic.fr/reglementation/protger/liste-des-produits-de-biocontrrole>

Produits utilisables en viticulture : <https://www.vignevin.com/article/liste-des-produits-de-bio-contrrole-homologues-en-viticulture-2023/>

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. Elles ont donc une valeur indicative.

Ce tableau rapporte les éléments déjà présentés précédemment.

Pourriture grise : Produits hors liste des produits de biocontrôle

Les éléments du tableau sont basés principalement sur les anciennes données du plan de surveillance du Comité Champagne

| Substances actives (classe chimique) | Type de résistance et mécanisme de résistance | Tendance évolution fréquence de la résistance | 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>Modification de la cible (SdhB H272Y/R/L/V, N230I, P225F/T/L ; SdhD H132R + autres).</i> | En progression (isofétamide) <i>Faible.</i> | Aucune baisse d'efficacité rapportée en lien avec de la résistance. | <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) | Résistance non spécifique. <i>Efflux accru (MDR).</i> | - <i>Elevée.</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. <i>Modification de la cible (erg27, principalement F412S/I/V).</i> | - <i>Faible à moyenne.</i> | Aucune baisse d'efficacité rapportée. | <i>Gestion de la résistance :</i> 1 application au maximum. |
| fenpyrazamine (aminopyrazolinone) | Résistance non spécifique. <i>Efflux accru (MDR).</i> | - <i>Elevée.</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. <i>Efflux accru (MDR).</i> | - <i>Elevée.</i> | | |
| Produits à base d'anilinoypyrimidines (code R4P : M2 ; codes FRAC : D1/9) | | | | |
| cyprodinil mépanipirim pyriméthanol | Résistance spécifique. <i>8 mutations portées par deux gènes impliqués dans le métabolisme mitochondrial.</i> | - <i>Faible à moyenne.</i> | Aucune baisse d'efficacité rapportée. | <i>Gestion de la résistance :</i> 1 application au maximum. |
| | Résistance non spécifique. <i>Efflux accru (MDR).</i> | - <i>Elevée.</i> | | |

Pourriture grise : 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. plantarum</i> (souche D747) <i>Bacillus amyloliquefasciens</i> (souche FZB24) <i>Bacillus subtilis</i> (souche IAB/BS03) <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 ou incertain | | (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 mode d'action multiple | | (Code R4P :XF ; code FRAC : BM01) |
| extrait aqueux de graines germées de <i>Lupinus albus</i> doux | 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 :

Tous produits : <https://ecophytopic.fr/reglementation/protger/liste-des-produits-de-biocontrrole>,

Produits utilisables en viticulture : <https://www.vignevin.com/article/liste-des-produits-de-bio-contrrole-homologues-en-viticulture-2023>

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 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 ⁷ | Aucune résistance chez mildiou et oïdium | Applications spécifiques black rot possibles. |

⁷ Fin d'utilisation des stocks: 28/11/2024.

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.
- Stergiopoulos, I., et al. (2022). "Identification of putative SDHI target site mutations in the SDHB, SDHC, and SDHD subunits of the grape powdery mildew pathogen *Erysiphe necator*." *Plant Dis* **106**(9): 2310-2320.
- 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.