

**GESTION DES PHENOMENES DE RESISTANCE AUX FONGICIDES EN VIGNE :
REDUCTION DU NOMBRE DE TRAITEMENTS ET APPLICATION EN ALTERNANCE OU
SEQUENCES ?**

H. STEVA⁽¹⁾ et P. MAURANX⁽²⁾

⁽¹⁾ CJH, 21 C Chemin de la Girotte, 33650 LA BREDE, France, herve.steva@orange.fr

⁽²⁾ ACTEO/VIVADOIR, Rue de la Menoue, 32400 RISCLE, France, philippe.mauranx@vivadoir.com

RÉSUMÉ

La règle de ne pas utiliser consécutivement les fongicides à risque de résistance mais plutôt d'intercaler à minima un traitement avec un autre mode d'action entre 2 applications avec le fongicide concerné n'apporte pas en vigne la garantie d'une bonne gestion de la résistance pour les exemples étudiés.

Sur l'effet sur la structure des populations, les exemples des IDM chez l'oïdium et des Qol chez le mildiou dégagent les mêmes conclusions : la résistance évolue plus rapidement après une application des traitements en alternance avec un autre mode d'action par rapport à une séquence de 2 traitements consécutifs. En fin d'étude, les fréquences de phénotypes résistants sont plus élevées.

En situation de résistance déclarée, les efficacités des programmes d'alternance peuvent aussi être plus faibles que celles des programmes privilégiant les utilisations en « bloc ». Cela a été observé pour l'oïdium de la vigne et la résistance aux Qol ou le mildiou de la vigne et la résistance aux CAA.

Mots-clés : *Plasmopara viticola*, *Erysiphe necator*, résistance, alternances, séquences.

ABSTRACT

MANAGEMENT OF FUNGICIDE RESISTANCE IN GRAPEVINE DISEASES: REDUCTION OF THE NUMBER OF TREATMENTS AND APPLICATION ON ALTERNATION OR SEQUENCES

The rule of not using consecutively fungicides at risk of resistance but rather to interpose at least a treatment with another mode of action between 2 applications with the fungicide concerned does not provide a guarantee of good resistance management in vines.

On the selection pressure, the examples of powdery mildew with DMI and downy mildew and Qol draw the same conclusions: the resistance evolves more rapidly after a treatment application alternating with another mode of action compared to a sequence of 2 consecutive treatments. At the end of the study, the frequencies of resistant phenotypes are higher.

In situations of declared resistance, the effectiveness of work-study programs can also be lower than those of programs that favor "block" uses. This has been observed for grape powdery mildew and Qol resistance or grape mildew and CAA resistance.

Keywords: *Plasmopara viticola*, *Erysiphe necator*, resistance, alternation, sequences.

INTRODUCTION

En viticulture, la résistance aux fongicides concerne à ce jour plusieurs familles chimiques présentant un mode d'action de type uni-site, que ce soit chez le mildiou (*Plasmopara viticola*) ou l'oïdium (*Erysiphe necator*). Ce phénomène provoque des baisses d'efficacité partielles ou totales de nombreuses spécialités. La protection de la vigne n'est plus parfaitement assurée et en conséquence, le nombre final de traitements appliqués augmente significativement dans la saison pour un résultat souvent médiocre.

Pour faire face à cette menace, le principal objectif est de ralentir la vitesse de sélection et de dispersion des génotypes résistants dans les populations naturelles en réduisant ce qui a été décrit comme le coefficient de sélection (taux d'augmentation des souches R par rapport aux souches S, Milgroom et Fry, 1998 ; Van den Bosch et al, 2014). Ce facteur est déterminé par le compromis entre d'une part l'avantage sélectif conféré aux souches résistantes en présence du fongicide (*i.e.* sélection positive) et d'autre part les coûts biologiques potentiellement associés au mécanisme de résistance et exprimés en l'absence de fongicide (*i.e.* sélection négative, associée à la diminution de la fitness). Le problème pratique consiste à réduire ce coefficient de sélection (pression de sélection, résultant du compromis décrit plus haut) tout en maintenant un niveau acceptable de contrôle de la maladie.

La vigne est une plante pérenne avec une durée de vie de plusieurs dizaines d'années. Une monoculture est pratiquée dans plusieurs régions. Sa sensibilité au mildiou ou à l'oïdium s'étale sur une période de plusieurs mois chaque année. Sa croissance rapide oblige à appliquer un nombre conséquent de traitements (moyenne de 8 à 10 applications contre le mildiou et de 5 à 7 traitements contre l'oïdium). Elle représente donc un système à fort risque d'apparition et de développement de phénomènes de résistance aux fongicides unisites. Dans ce contexte d'applications nombreuses dans une saison et répétées plusieurs années sur les mêmes parcelles, il est impératif de mettre en place une stratégie anti-résistance pertinente. Les principales solutions disponibles en vigne sont les suivantes (Dekker, 1987 ; Steva, 1994) :

- Renforcement des mesures prophylactiques permettant de diminuer la pression parasitaire;
- Parfaite maîtrise des techniques d'application des fongicides (pulvérisation) pour protéger au mieux tous les organes réceptifs (feuilles, inflorescences puis grappes);
- Utilisation dans les programmes de traitement de modes d'action multi-sites (soufre, cuivre, dithiocarbamates, phtalimides), d'agents de biocontrôle ;
- Stimulation des réactions de défense de la vigne ;
- Développement d'associations combinant plusieurs modes d'action uni-sites ou un mode d'action uni-site à risque de résistance avec un fongicide multi-sites ;
- Réduction dans la saison de l'utilisation de spécialités avec le même mode d'action uni-site ;

La réduction de nombre de traitements est un levier fréquemment actionné pour faire baisser la pression de sélection et maintenir une efficacité des programmes de lutte. Ainsi, lors de l'autorisation de mise en marché (AMM), un nombre maximal de traitements est proposé pour chaque spécialité. Puis dans le temps et en fonction de l'évolution de la situation (détection des phénotypes résistants, baisses d'efficacité), ce nombre maximal peut être révisé (en règle générale à la baisse). Quoi qu'il en soit et dans un schéma de limitation à 2 traitements ou plus, la question principale pour le praticien est de savoir comment construire son programme de protection : est-il possible d'appliquer le même mode d'action plusieurs fois consécutivement dans le temps ? Faut-il impérativement intercaler des traitements avec d'autres modes d'action entre 2 applications avec le fongicide à risque ?

Les règles de bonnes pratiques édictées par le FRAC (Fungicide Resistance Action Comitee) imposent de ne pas utiliser consécutivement les fongicides à risque de résistance mais plutôt d'intercaler à minima un traitement avec un autre mode d'action entre 2 applications avec le fongicide concerné. Ces règles théoriques sont suivies par les praticiens mais ne semblent pas toujours efficaces pour une bonne gestion des phénomènes de résistance, en particulier en viticulture.

Cette présentation a pour objet, au travers d'exemples pratiques accumulés au gré des évolutions des phénomènes de résistance depuis 30 ans, d'apporter quelques éléments de réponse à cette question en évaluant d'une part la pression de sélection exercée sur les populations et d'autre part l'efficacité des traitements en situation de résistance.

EFFET SUR LA STRUCTURE DES POPULATIONS

1 – OÏDIUM DE LA VIGNE ET INHIBITEURS DE LA BIOSYNTHESE DU GROUPE 1 (IDM)

Ce premier exemple concerne les inhibiteurs de la Biosynthèse des Stéroïdes du groupe 1 (IDM) et la résistance de l'oïdium de la vigne. La comparaison portait sur l'application de 2 traitements à base de triadiménol (BAYTAN) dans la période de réceptivité maximale à la maladie et l'évaluation de l'évolution de la sensibilité des populations après 3 années de traitements avec le même programme.

L'étude a été conduite entre 1990 et 1992 au Portugal (région de Lisbonne), sur la commune d'Azambuja, dans une parcelle de Carignan blanc. Le dispositif expérimental mis en place est de type grandes parcelles (320 m²) sans répétition. Trois programmes ont été comparés (Tableau I):

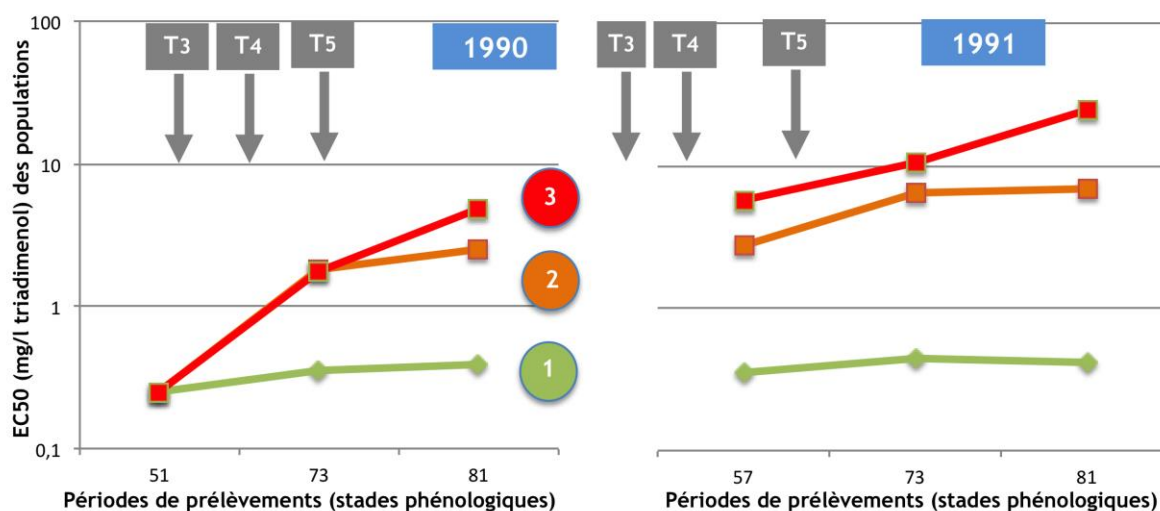
- programme de référence non sélectif, reposant sur l'application de 6 traitements avec du soufre (MICROTHIOL, 6 kg/ha pour le premier traitement puis 10 kg/ha) (1)
- programme d'application de 2 traitements IDM (BAYTAN, 1 l/ha) en séquence en T3 et T4, les autres traitements avec du soufre (MICROTHIOL, 6 puis 10 kg/ha) (2)
- programme d'application de 2 traitements IDM (BAYTAN, 1 l/ha) en alternance T3 et T5 les autres traitements avec du soufre (MICROTHIOL, 6 puis 10 kg/ha) (3)

Tableau I : Description des programmes comparés à base d'IDM sur l'oïdium de la vigne (*E. necator*)
(Description of the compared programs based on IDM on powdery mildew (*E. necator*))

Stades phénologiques aux dates des traitements (BBCH)						
Code	T1 (17)	T2 (53)	T3 (57)	T4 (65)	T5 (73)	T5 (75)
1	Soufre	Soufre	Soufre	Soufre	Soufre	Soufre
2	Soufre	Soufre	IDM	IDM	Soufre	Soufre
3	Soufre	Soufre	IDM	Soufre	IDM	Soufre

Des prélèvements de feuilles ou grappes infectées par l'oïdium (50 feuilles ou grappes) ont été effectués à 3 reprises chaque année aux stades BBCH57, BBCH73 et BBCH81 sur les ceps des rangs centraux et au centre de la parcelle. Une caractérisation de la sensibilité de chaque population a été possible par la mise en place d'un test sur disques de feuilles (*in-vivo*) et l'observation de la croissance mycélienne du champignon après prélèvements avec ruban adhésif et notation microscopique comme élaboré et décrit par Steva (1992). Les structures de populations sont caractérisées à l'aide d'une gamme de concentration de triadiménol et un calcul de la EC50 (dose théorique inhibant 50% des spores de la population) est alors possible.

Figure 1 : Evolution des EC50 de triadiménol des populations d'oïdium (*E. necator*) entre 1990 et 1991
Evolution of EC50 triadimenol of powdery mildew samples (*E. necator*) between 1990 and 1991



La figure 1 montre que la EC50 de la population soumise à l'effet du programme d'alternance (programme 3) augmente plus rapidement la première année (1990). Elle est supérieure la deuxième année (1991) à celle prélevée dans la parcelle traitée à 2 reprises consécutivement (programme 2).

2 – MILDIOU DE LA VIGNE ET QoI

Ce deuxième exemple concerne les inhibiteurs du complexe III de la respiration (QoI) et la résistance du mildiou la vigne. La comparaison portait sur l'application de 2 traitements à base d'azoxystrobine (QUADRIS) dans la période de sensibilité maximale à la maladie et l'évaluation de l'évolution de la fréquence de phénotypes résistants au cours de la saison.

L'étude a été conduite 1999 dans le vignoble Charentais (Poitou-Charentes), sur la commune Jonzac, dans une parcelle d'Ugni blanc. Le dispositif expérimental mis en place est de type grandes parcelles (425 m²) sans répétition. Trois programmes de traitement ont été comparés (Tableau II) :

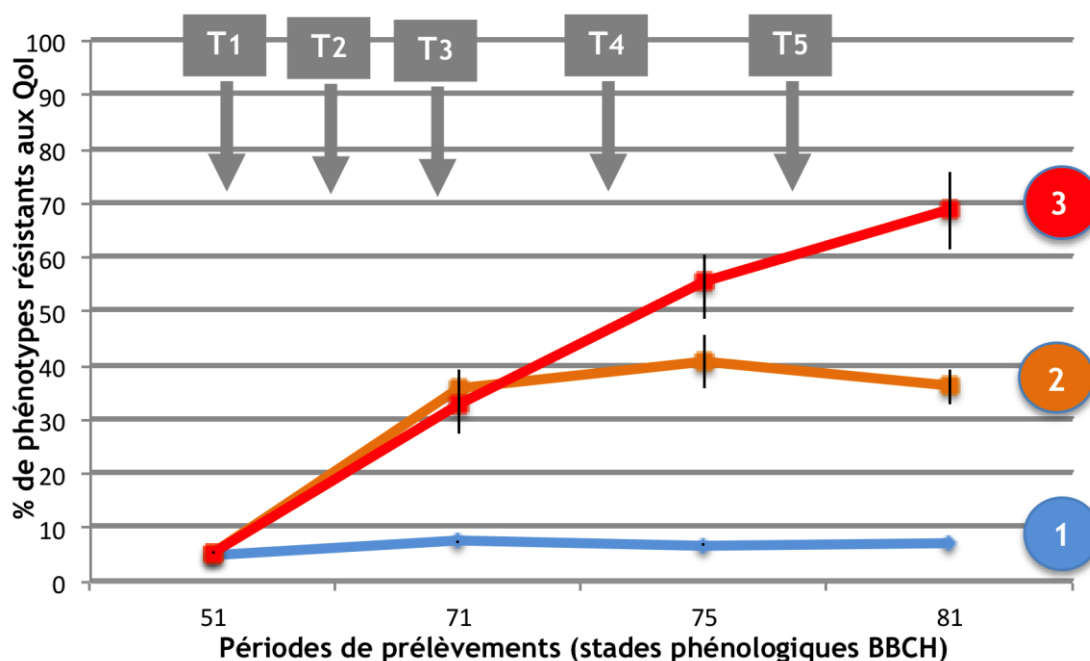
- programme de référence non sélectif, reposant sur l'application de 5 traitements avec une association à base de fosétyl-Al et de folpel (MIKAL, 4 kg/ha) (1)
- programme d'application de 2 traitements QoI (QUADRIS, 1 l/ha) en séquence en T2 et T3 les autres traitements avec l'association à base de fosétyl-Al et de folpel (MIKAL, 4 kg/ha) (2)
- programme d'application de 2 traitements QoI (QUADRIS, 1 l/ha) en alternance T2 et T4 les autres traitements avec l'association à base de fosétyl-Al et de folpel (MIKAL, 4 kg/ha) (3).

Tableau II : Description des programmes comparés à base de QoI sur le mildiou de la vigne (*P. viticola*)
(Description of the compared programs based on QoI on downy mildew (*P. viticola*))

Stades phénologiques à la date des traitements (BBCH)					
Code	T1 (51)	T2 (55)	T3 (65)	T4 (73)	T5 (77)
1	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref
2	Ref	QoI	QoI	Ref	Ref
3	Ref	QoI	Ref	QoI	Ref

Des prélèvements de feuilles infectées par le mildiou ont été effectués à 4 reprises aux stades BBCH51, BBCH71, BBCH75 et BBCH81 sur les ceps des rangs centraux et au centre de chaque parcelle. Une caractérisation de la sensibilité de chaque population a été possible par la mise en place d'un test en micro plaques (*in-vitro*) et l'observation de la germination des zoospores en présence de 1 mg/l d'azoxystrobine (Cazenave et Steva, 1992).

Figure 2 : Evolution des fréquences de phénotypes de mildiou de la vigne (*P. viticola*) résistants aux QoI
Evolution of the frequencies of QoI resistant phenotypes of grape downy mildew (*P. viticola*)



La figure 2 indique que dans la parcelle soumise à l'effet du programme d'alternance (programme 3) la fréquence de phénotypes résistants aux QoI augmente régulièrement et atteint 70% en fin de saison. Dans la parcelle traitée à 2 reprises consécutivement (programme 2), cette fréquence augmente aussi mais elle se stabilise lors du prélèvement en BBCH75 (fermeture de la grappe) et ne dépasse pas 40%.

EFFET SUR L'EFFICACITE EN SITUATION DE RESISTANCE EN PRATIQUE

Après la mise en évidence de baisses d'efficacités liées à la présence de phénotypes résistants dans les populations, une des principales recommandations est de limiter le nombre de traitements dans la saison. Fréquemment, ce sont 3 voire 2 applications au maximum qui sont recommandées. Dans ce contexte, nous avons comparé les efficacités de programmes reposant sur l'emploi consécutif de 2 traitements avec les spécialités à risque de résistance à celles de programmes d'alternance de ces spécialités dans la saison avec d'autres modes d'action.

1 – OÏDIUM DE LA VIGNE ET RESISTANCE AUX FONGICIDES DU GROUPE DES QoI

Ce premier cas concerne les Inhibiteurs du complexe III de la respiration (QoI) et la résistance de l'oïdium de la vigne. La comparaison portait sur l'application de 2 traitements à base de krésoxim-méthyl associé au boscalid (COLLIS) dans la période de sensibilité maximale à la maladie et l'évaluation de l'efficacité par rapport à un programme de référence sans QoI ou l'application de 2 QoI seuls dans la période de réceptivité maximale.

Deux essais ont été réalisés au vignoble en 2011 en respectant le principe des Bonnes Pratiques Expérimentales (BPE), l'un sur cépage Chardonnay et l'autre sur Gros Manseng. Le tableau III détaille les localisations de ces essais et donne une indication de la fréquence de phénotypes résistants aux QoI en début d'expérimentation dans chaque site. Ces fréquences ont été évaluées avec un test biologique sur disques de feuilles traités avec 1 mg/l de trifloxystrobine et observation individuelle des spores (Steva, 1992).

Tableau III : Présentation des essais sur l'oïdium de la vigne (*E. necator*) et situation de résistance initiale
(*Description of the powdery mildew (*E. necator*) trials and resistance status to QoI*)

Localisation	Cépage	Date du prélèvement	Stade phénologique	Pourcentage résistants QoI
Laujuzan	Chardonnay	04/06/11	BBCH73	12,2
St. Martin d'A.	Gros Manseng	06/06/11	BBCH71	10,9

Plusieurs programmes de traitement ont été comparés (Tableau IV). Ces programmes reposent sur l'utilisation de différentes spécialités :

- Spécialité à base de **soufre mouillable** aux doses de 6 ou 12 kg/ha,
- Spécialité à base de **métrafénone** à la dose de 0,2 l/ha, codée **Réf 1** ;
- Spécialité à base de **spiroxamine** à la dose de 0,6 l/ha, codée **Réf 2** ;
- Spécialité à base de **trifloxystrobine** à la dose de 0,125 kg/ha, codée **QoI**
- Spécialité à base de **krésoxim-méthyl+boscalid** à la dose de 0,4 l/ha, codée **QoI+SDHI**

Un dispositif bloc à 4 répétitions a été retenu, chaque parcelle élémentaire est constituée de 10 ceps traités sur un rang central. Des témoins non traités de 5 ceps ont été aménagés entre 2 parcelles traitées. Ces témoins semi-adjacents permettent de contrôler l'évolution spatiale de l'épidémie d'oïdium sur chaque site expérimental et de calculer l'efficacité de chaque parcelle traitée par rapport à cette pression parasitaire.

La fréquence de grappes touchées par l'oïdium et l'intensité des dégâts ont été évaluées à deux reprises dans chaque essai. Une observation de 50 grappes au hasard a été effectuée pour chaque parcelle élémentaire (traitée ou témoin). Une moyenne de l'intensité d'attaque a été calculée à partir des valeurs individuelles notées sur les 50 grappes. L'efficacité de chaque traitement a été déterminée par rapport au taux de dégâts noté sur la parcelle témoin adjacente.

Les analyses statistiques ont été réalisées à partir de ces efficacités pour chaque parcelle élémentaire. Une analyse de variance via le module approprié de « StatBoxPro » a permis de révéler les différences significatives entre les modalités comparées.

Tableau IV : Efficacités des programmes de traitements sur l'oïdium de la vigne (*E. necator*) en situation de résistance aux QoI
(*Efficacies of several programs against powdery mildew (*E. necator*) in QoI resistance context*)

						Laujuzan	St. Martin d'A
Intensité d'attaque						94,9	88,4
Dates des applications et stades phénologiques (BBCH)*						Efficacité des programmes	
20/4	4/5	18/5	1/6	16/6	29/6	31/7	4/8
51*	55	65	73	75	77	81	81
Soufre (6 kg/ha)	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 1	Ref. 2	Soufre (10 kg/ha)	60,9 a	68,4 a
		Ref. 2	Qol	Qol		36,6 b	32,0 c
		Ref. 2	Qol+SDHI	Qol+SDHI		58,3 a	71,9 a
		Qol+SDHI	Ref. 1	Qol+SDHI		48,6 ab	52,6 b
		Qol+SDHI	Ref. 2	Qol+SDHI		44,0 b	50,1 b

Dans nos conditions expérimentales, la présence de phénotypes résistants aux Qol en fréquence égale ou supérieure à 10% dans les populations entraîne une baisse d'efficacité de 40% à 53% après l'emploi de 2 traitements Qols.

Le choix d'une association entre un Qol et un SDHI limite fortement cette perte d'efficacité dans un programme à 2 applications consécutives (écart de 5% et 8% par rapport au programme sans Qol). La différence par rapport au programme de référence sans Qol n'est pas significative dans les 2 essais.

Par contre, l'utilisation d'un traitement avec un autre mode d'action entre les deux applications de l'association à base de Qol et SDHI se traduit systématiquement par une perte d'efficacité comprise entre 20% et 23% avec la Réf. 1 et 28% et 27% avec la Réf. 2. Dans ce cas, l'écart est significatif par rapport au programme en séquence sauf avec la référence 1 sur le site de Laujuzan.

2 – MILDIU DE LA VIGNE ET RESISTANCE AUX FONGICIDES DU GROUPE DES CAA

Ce deuxième cas repose sur les fongicides du groupe des Carboxyl Acides Amines (CAA) et la résistance du mildiou de la vigne. La comparaison portait sur l'application de 2 traitements à base de diméthomorphe associé au mancozèbe (ACROBAT) dans la période de sensibilité maximale à la maladie et l'évaluation de l'efficacité par rapport à un programme de référence sans CAA ou l'application de 2 CAA seuls dans la période de réceptivité maximale de la vigne au mildiou.

Deux essais ont été réalisés dans le Gers sur la commune de St. Martin d'Armagnac, sur cépage Colombard, en 2001 puis 2002 en respectant le principe des Bonnes Pratiques Expérimentales (BPE).

Plusieurs programmes de traitement ont été comparés (Tableau V). Ces programmes reposent sur l'utilisation de différentes spécialités :

- Spécialité à base de **mancozèbe** à la dose de 2 kg/ha, codée **Réf 1**
- Spécialité à base de **fosétyl-Al+folpel** à la dose de 4 kg/ha, codée **Réf 2**
- Spécialité à base de **diméthomorphe** à la dose de 2 l/ha, codée **CAA** ;
- Spécialité à base de **diméthomorphe+mancozèbe** à la dose de 2,5 kg/ha, codée **CAA+Mz**

Un dispositif bloc à 4 répétitions a été retenu, chaque parcelle élémentaire est constituée de 10 ceps traités sur un rang central. Des témoins de 10 ceps ont été inclus dans le dispositif.

Les essais ont été conduits en contamination artificielle et sous micro aspersion. Cette contamination a été effectuée chaque année en début de saison (stade BBCH53) en utilisant une population constituée de 50% de phénotypes résistants aux CAA. La contamination a été réalisée par pulvérisation de la suspension de sporocystes sur 2 rameaux par cep (soit 20 rameaux par parcelle expérimentale) et ensachage pendant 18 heures au minimum. Elle a permis une installation précoce et homogène de l'épidémie de mildiou sur les essais.

La fréquence de feuilles ou de grappes touchées par le mildiou et l'intensité des dégâts ont été évaluées à plusieurs reprises dans chaque essai. Une observation de 50 feuilles ou grappes au hasard a été effectuée pour chaque parcelle élémentaire (traitée ou témoin).

Le Tableau V reporte les résultats des observations sur grappes. Une moyenne de l'intensité d'attaque a été calculée à partir des valeurs individuelles notées sur les 50 grappes. Les analyses statistiques ont été réalisées à partir de ces intensités pour chaque parcelle élémentaire. Une analyse de variance via le module approprié de « StatBoxPro » a permis de révéler les différences significatives entre les modalités comparées.

Les efficacités de chaque programme de traitement ont été déterminées par rapport au taux de dégâts sur le témoin. Ces intensités d'attaque ont été fortes que ce soit en 2001 (56,2%) ou en 2002 (62,5%).

Tableau V : Efficacités des programmes de traitements sur le mildiou de la vigne (*P. viticola*) en situation de résistance aux CAA
(Efficacies of several programs against downy mildew (*P. viticola*) CAA resistance context)

					2001	2002
Intensité d'attaque (%) sur grappes					56,2	62,5
Stades phénologiques à la date des traitements					Efficacité des programmes	
51*	55	65	73	75		
Ref. 1	Ref. 2	Ref. 2	Ref. 2	Ref. 3	75,3 a	80,2 a
	Ref. 2	CAA	CAA		35,8 c	32,0 c
	Ref. 2	CAA+Mz	CAA+Mz		82,5 a	92,6 a
	CAA+Mz	CAA+Mz	Ref. 2		80,6 a	91,6 a
	CAA+Mz	Ref. 2	CAA+Mz		54,6 b	58,7 b

Les résultats confirment que la présence de phénotypes résistants aux CAA en fréquence égale ou supérieure à 50% dans les populations entraîne une baisse d'efficacité de 49% à 60% après l'emploi de 2 traitements CAA.

Le choix d'une association entre un CAA et un fongicide multi sites (mancozèbe) permet de contrôler parfaitement le mildiou avec dans un programme à 2 applications consécutives avec des efficacités supérieures par rapport au programme de référence sans CAA. Les efficacités sont très proches quelle que soit la séquence retenue : 2 applications aux stades BBCH55 et BBCH65 ou 2 traitements aux stades BBCH65 et BBCH73.

Par contre, l'utilisation d'un traitement avec la Référence 2 (MIKAL) entre les deux applications de l'association entre CAA+mancozèbe se traduit systématiquement par une perte d'efficacité de 28% en 2001 ou 2002 par rapport au programme sans CAA. Au cours des 2 années, l'écart est significatif entre le programme d'utilisation en alternance avec du MIKAL par rapport aux 2 programmes reposant sur l'emploi en séquence des 2 traitements à base de CAA.

DISCUSSION

La règle de ne pas utiliser consécutivement les fongicides à risque de résistance mais plutôt d'intercaler à minima un traitement avec un autre mode d'action entre 2 applications avec le fongicide concerné n'apporte pas en vigne la garantie d'une bonne gestion de la résistance, au moins pour les exemples étudiés. La plupart des travaux engagés sur cette thématique au cours des 25 dernières années avec différents modes d'action concernés par la résistance (IDM, Qol, CAA) montrent que cette stratégie n'est pas la meilleure.

Sur l'évolution de la structure des populations, les exemples des IDM chez l'oïdium et des Qol chez le mildiou dégagent les mêmes conclusions : la résistance évolue plus rapidement après une application des traitements en alternance avec un autre mode d'action par rapport à une séquence de 2 traitements. Ce comportement est le même quel que soit le type d'évolution de la résistance : qualitatif avec les Qol (Gisi et al, 2002) ou quantitatif avec les IDM (Steva, 1994). Ces résultats s'expliquent par la durée d'exposition dans la saison des populations d'agents pathogènes au mode d'action. Lorsque le fongicide est appliqué au vignoble, il exerce une pression de sélection sur les populations pendant toute la durée qui le sépare de l'application du traitement suivant (par exemple 14 jours si la spécialité nécessite un renouvellement après 14 jours) mais aussi au delà de ce délai (plusieurs jours pour les IDM ou les Qol). La durée et l'intensité de cette exposition sont largement dépendantes de la rémanence des substances actives. Dans le cas de l'alternance, le traitement intercalaire est efficace de façon identique sur tous les phénotypes qui continuent cependant à subir la pression de sélection exercée par le traitement précédent. De plus, la dose de fongicide à risque de résistance diminuant de façon progressive dans le temps (dégradation naturelle), l'exposition rémanente à des doses réduites peut favoriser les résistances aux dynamiques quantitatives (Van der Bosch, 2014, Steva, 1994). Et dans le cas du programme en alternance, ce scénario se répète autant de fois que le fongicide à risque est utilisé dans la saison (2 voire 3 fois). Enfin, la période aménagée sans effet du traitement à risque de résistance n'est pas assez longue pour permettre :

- l'expression du coût associé à la résistance (car la pression de sélection est toujours présente du fait de la rémanence, et parce que les applications successives ne coïncident pas toujours avec le changement de génération du pathogène) ;
- la migration d'individus sensibles depuis un réservoir non traité avec le mode d'action concerné par la résistance.

A l'inverse, l'application consécutive des traitements limite l'exposition de la population au fongicide à risque à une seule période dans la saison. Après cette utilisation des 2 traitements, une longue période sans pression de sélection se met en place sur la parcelle et permet aux phénotypes sensibles de se développer en compétition avec les phénotypes résistants.

En situation de résistance déclarée, les **efficacités** des programmes d'alternance peuvent aussi être plus faibles que celles des programmes privilégiant les utilisations en « bloc ». Les 2 exemples consignés dans cette présentation confirment que dans certaines situations, l'efficacité du programme d'alternance est significativement inférieure à celle du programme d'application en séquence. Deux facteurs doivent être mis en avant pour expliquer un tel comportement :

- une efficacité quelque peu inférieure des produits utilisés en partenaire sur la période à fort risque épidémique (par exemple le soufre contre l'oïdium de la vigne) ;
- l'augmentation plus rapide des fréquences de phénotypes résistants dans le cas du programme d'alternance qui conduit à l'application du deuxième traitement sur une population plus évoluée (fréquence de résistants supérieure).

La biologie de l'agent pathogène et principalement sa capacité à réaliser un nombre de cycles élevés dans un temps restreint jouent un rôle majeur.

Plus généralement, ces travaux rappellent que même si le principe des stratégies anti-résistance consiste à maximiser l'hétérogénéité de la sélection exercée sur les populations (par exemple, par un déploiement dans le temps, comme dans le cas de la séquence et de l'alternance), ces stratégies doivent aussi être adaptées à la durée d'exposition associée aux substances actives (en particulier, à leur rémanence), ainsi qu'à la durée des cycles de reproduction et aux capacités de migration du pathogène.

CONCLUSION

Au travers de plusieurs essais réalisés au vignoble depuis 1990, la réponse apportée semble claire : en vigne, il est moins dangereux dans le cas de spécialités recommandées avec un maximum de 2 traitements par an, de les appliquer consécutivement dans la saison selon le délai de renouvellement adapté plutôt que d'intercaler un traitement avec une spécialité présentant un autre mode d'action. Il n'existe donc pas de règle générale dans ce domaine et des expérimentations adéquates devraient être proposées dans le futur pour chaque couple mode d'action / agent pathogène.

BIBLIOGRAPHIE

- Cazenave C., Steva H., 1998. Développement d'une méthode quantitative (*in-vitro*) de caractérisation de la sensibilité du Mildiou de la vigne aux QoI. *Viti*, 35, 54-55.
- Dekker J, 1987. Development of resistance to modern fungicides and strategies for its avoidance. In : Modern selective fungicides, pp 39-52. Lyr H. (ed) Gustav Fischer Verlag, Jena and Longman group UK Ltd, London.
- Gisi U., Sierotski H, Cook A. et McCaffery, A., 2002. Mechanisms influencing the evolution of resistance to QoI inhibitors fungicides. *Pest Management Science*, 58, 859-867.
- Milgroom M.G., Fry W.E., 1988. A simulation analysis of the epidemiological principles for fungicide resistance development in pathogen populations. *Phytopathology*, 104, 324-331.
- Steva H., 1992. Résistance de l'Oïdium de la vigne (*Uncinula necator* (Scw.) Burr.) aux fongicides inhibiteurs de la biosynthèse des stéroïdes. Doctorat de l'Université de Bordeaux II, Thèse N°177, 265pp.
- Steva H., 1994. Evaluating anti-resistance strategies for control of *Uncinula necator*. In: Heaney SP, Slawson D, Hollomon DW, Smith M, Russell PE, Parry DW eds Fungicide Resistance. Farnham, UK: British Crop Protection Council, 59-66.
- Van den Bosch F., Oliver R., Van den Berg F., Paveley N., 2014. Governing principles can guide fungicide resistance management tactics. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 175-195.