



**AMELIORATION DES METHODES DE  
LUTTE CONTRE L'OÏDIUM EN  
VITICULTURE BIOLOGIQUE**

-

**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

**NICOLAS CONSTANT**

**AIVB-LR**

**MARS 2008**

LA REDACTION DE CE DOCUMENT A BENEFICIE DU SOUTIEN FINANCIER DES PARTENAIRES SUIVANTS :



## ***Remerciements***

Ce travail de synthèse bibliographique a été possible grâce aux échanges avec les personnes suivantes : Peter Crisp, Philippe Crozier, Laurent Delière, Daniel Novoa, Jacques Rouzet, Christophe Pueyo et les sociétés Syngenta, Cerexagri, Vivagro, Giten France, Tribo Technologie, Koppert.

Que l'ensemble de ces personnes soient remerciées pour le temps qu'elles ont consacré et les conseils prodigués.

*« La question – motif véritable de nos efforts – est maintenant de savoir dans quelle mesure et par quels moyens la lutte contre l'oïdium peut être conduite avec des quantités insuffisantes de soufre, ou, du moins, avec des quantités bien inférieures à celles qui étaient utilisées jusqu'ici. Il ne s'agit donc pas, comme cela eut été le cas en temps normal, de décider quelles sont les techniques les plus efficaces quel qu'en soit le prix, mais de préciser celles qui conviennent à la conjoncture et qui constituent le moindre mal.*

*La lutte contre l'oïdium exige de 80 à 150 kg de soufre pur par hectare ; comment peut-on obtenir des résultats suffisants avec la moitié ou le tiers ou moins encore de soufre pur ? »*

*« Les produits soufrés auxquels le vigneron peut s'adresser en vue de combattre l'oïdium sont donc extrêmement variés, et sauf dans les cas les plus évidents, le technicien est bien empêché de définir exactement la valeur de chacun des ingrédients. Les expériences sont trop rares et les observations de la pratique se déroulent dans des milieux trop différents pour que les unes ou les autres constituent des éléments précis d'appréciation. »*

*Extraits des bulletins de l'OIV de Juillet-Août 1942 et Mars-Avril 1943.*

<b>Remerciements</b>	2
<b>Introduction</b>	4
<b>1) L'oïdium et le soufre</b>	4
<b>i) Quelques rappels sur l'épidémiologie de l'oïdium</b>	4
<b>ii) Mode d'action du soufre</b>	6
<b>iii) Les actions du soufre sur les maladies et ravageurs de la vigne</b>	7
<b>iv) Les différentes formes de soufre</b>	7
<b>v) Les conditions d'efficacité du soufre</b>	10
Les propriétés intrinsèques des produits soufrés	10
Les conditions du milieu	11
Les conditions d'applications	11
Localisation des traitements	11
Période d'application	12
<b>2) Vers une réduction des doses de soufre</b>	12
<b>i) Optimisation des apports de soufre</b>	12
<b>ii) Utilisation du soufre à dose réduite</b>	13
<b>iii) Produits alternatifs au soufre</b>	13
<b>a) lutte biologique</b>	13
tydéides	13
AQ 10 (ampelomyces quisqualis)	14
Autres agents de lutte biologique	14
<b>b) Produits d'origine naturelle</b>	15
Bouillie sulfo-calciq (BSC)	15
Cuivre	16
Lait – petit lait	16
Huiles + Bicarbonate	17
stifenia	18
oïkomb	19
milsana	19
Prev-AM	19
Produit de la société Giten	20
Timorex	20
Enzicur	21
Divers	21
<b>iv) Cépages résistants à l'oïdium</b>	25
<b>Conclusion</b>	26
<b>Bibliographie</b>	27



## ***Introduction***

Le soufre a été l'un des premiers « remèdes » proposé aux agriculteurs pour lutter contre l'oïdium, quand cette maladie est apparue en Europe en 1947. Depuis, son usage a perduré, notamment en viticulture biologique, dans la mesure où il s'agit de l'unique fongicide autorisé au cahier des charges 2092/91 et véritablement efficace contre cette maladie. Actuellement, l'utilisation du soufre n'est pas remise en cause par la réglementation. Cependant, différents éléments nous font nous poser la question de la nécessité d'améliorer les pratiques de protection contre l'oïdium en viticulture biologique avec des doses de soufre maîtrisées.

Bien que les données bibliographiques soient contradictoires, le soufre présente parfois des effets non intentionnels dommageables pour la faune auxiliaire, en particulier sur les acariens prédateurs. Dans un souci de lutte intégrée, il serait souhaitable que les viticulteurs biologiques aient les moyens de réduire l'impact de leurs pratiques sur l'environnement. Par ailleurs, l'utilisation de soufre sous forme de poudrage, pratique courante dans les vignobles méridionaux, pose parfois des problèmes de confort pour les utilisateurs à cause du caractère irritant de ce produit. Enfin, il semblerait que l'Union européenne envisage des réductions d'utilisation des doses de produits phytosanitaires. Cette intention a été reprise en conclusion du « Grenelle de l'environnement ». Or le soufre est un des produits pour lesquels les doses d'utilisation à l'hectare sont les plus élevées, parfois plusieurs dizaines de kilogrammes à l'hectare par application dans le cas d'utilisation sous forme de poudrage. Cette caractéristique est d'ailleurs souvent un point pénalisant pour les exploitations agricoles de cultures pérennes dans le cadre des diagnostics des impacts environnementaux. Enfin, certains producteurs du Sud-est de la France ont mentionné des difficultés de maîtrise de l'oïdium même avec des doses conséquentes de soufre. Il nous est donc paru nécessaire d'entreprendre une réflexion sur les usages du soufre (i) et sur les voies d'optimisation des apports de soufre (dose et positionnement des traitements) (ii) et sur la recherche de produits alternatifs efficace pour lutter contre l'oïdium seuls ou dans le cadre de programme incluant des interventions au soufre (iii).

Ce document est une revue bibliographique des connaissances actuelles sur ces différents sujets et se veut le point de départ d'une réflexion à mener pour la mise en place d'expérimentations pour compléter les informations disponibles afin d'apporter des solutions concrètes et réalistes aux viticulteurs biologiques.

### ***1) L'oïdium et le soufre***

#### **i) Quelques rappels sur l'épidémiologie de l'oïdium**

Le champignon *Erysiphe necator* vit exclusivement à la surface des organes verts de la vigne (« champignon de surface ») formant des filaments mycéliens microscopiques. Leur enchevêtrement, ainsi que la formation des organes de reproduction asexués (conidiophores) finit par former un feutrage blanc (puis grisâtre) visibles à l'œil nu. L'oïdium n'est présent que sur des tissus verts, vivants, non lésés. Lorsque les tissus sont abîmés au point de provoquer une lésion visible à l'extérieur, l'oïdium ne peut survivre (Galet, 1999, RSR, 1982).

Dans les régions méridionales, le champignon se conserve durant l'hiver sous deux formes :

- cléistothèces : forme sexuée présente sur l'ensemble des cépages, conservée durant l'hiver sur les écorces
- forme mycélienne : forme asexuée, présente principalement sur carignan, mais également sur Cabernet-sauvignon, chardonnay, et marsanne, conservée durant l'hiver dans les bourgeons. Le champignon est ainsi présent dès les premiers stades de développement de





la vigne et se développe en même temps pour donner les « drapeaux ». Dans ces situations, il est recommandé de débiter la protection dès le stade « 2-4 feuilles étalées ». (Guide des vignobles Rhône Méditerranée, 2008). Selon des travaux allemands, il semblerait que cette forme de conservation mycélienne se manifeste sur de nombreux cépages après une longue période (plusieurs années) sans protection (Rouzet, communication personnelle). Dans ces situations, les symptômes sont différents de ceux des véritables drapeaux. G. Hill parle alors de « pseudo drapeaux ».

#### Conditions favorables au développement de la maladie :

Le développement dépend davantage des conditions de température que de celles de l'humidité de l'air.

**TEMPERATURE** : la gamme de températures optimales pour le développement du champignon est comprise entre 22 et 28°C. A la température optimale de 25°C, les conidies germent en 5 heures, contre 15 heures à 13°C et 20 heures à 30°C, et la durée d'incubation (temps qui sépare la germination des conidies de l'émission de nouvelles conidies) est de 5 jours. Au delà de 40°C, l'oïdium ne se développe plus et meure au delà de 45°C. La température minimale de germination des conidies est de 5-7°C et s'accélère nettement à partir de 16-18°C pour les cépages septentrionaux (ex : chardonnay) et au delà de 20-21°C pour certains cépages méridionaux (ex : carignan).

**HUMIDITE** : N'ayant pas besoin d'eau liquide (donc de pluie) pour germer, les conidies se développent en continu durant toute la période végétative de la vigne. Cette germination est favorisée par de fortes hygrométries (au delà de 70% d'humidité relative) : la production de conidies est doublée en 24 heures lorsque l'on passe d'une humidité relative de 30-40% à 90-100% (Galet, 1999). Par contre, les fortes pluies, probablement en lessivant les conidies et le mycélium, perturbent le développement de l'oïdium. Il semblerait cependant que les pluies estivales en région méridionales favorisent le développement de la maladie. L'effet de ces pluies seraient indirect : dans ces régions, les températures maximales dépassent très souvent les températures de développement optimal de l'oïdium. Les pluies baissent la température de l'air à un niveau plus favorable au développement du champignon.

**VENT** : en favorisant la dissémination des conidies et tempérant parfois les températures estivales excessives, le vent est un facteur de propagation de la maladie. Ceci est d'autant plus vrai pour les vents marins chargés d'humidité. De plus, le vent perturbe fréquemment les pulvérisations ou les poudrages et diminue donc la qualité de la protection.

Les plus fortes attaques d'oïdium sont constatées les années au cours desquelles la maladie apparaît le plus précocement, quand les températures et les durées d'insolation du printemps (avril-mai) et été (juillet-août) sont élevées (Leclerc, 1995).

La gravité de la maladie dépend plus des conditions climatiques de l'année précédente que de l'année en cours (Rouzet et al., 2007).

Le **MODE DE CONDUITE** jouant sur l'entassement de la végétation donc, sur l'humidité, la température et la lumière à l'échelle du cep, influence la pression parasitaire.

**L'ENCEPAGEMENT** est un élément central dans la gestion du risque parasitaire. Les différences de sensibilités variétales sont extrêmement importantes. Parmi les cépages les plus couramment rencontrés en Languedoc-Roussillon, les cépages les plus sensibles sont le carignan, le muscat petits grains et le chardonnay. Pour les plus tolérants, on peut citer le marselan, le merlot et la syrah.

La question qui reste centrale dans l'épidémiologie de cette maladie est le rôle qu'occupe chacun des deux modes de conservation durant l'hiver (cléistothèces sur le bois et mycéliums dans les



bourgeons) dans le développement de l'épidémie de l'année suivante. La réponse à cette question est très importante dans le raisonnement de la protection contre l'oïdium. Est ce que les applications cupriques ou de bouillie sulfocalcique souvent recommandées sur les parcelles fortement attaquées par l'oïdium sont nécessaires pour limiter le développement de la maladie l'année suivante ?

Dans les régions dans lesquelles la conservation du champignon se fait principalement sous forme de cléistothèces, les conditions météorologiques au moment de la formation de celles-ci (fin août à octobre) semblent déterminantes pour la pression maladie de l'année suivante : de fortes précipitations pendant cette période favorisent la formation des cléistothèces. Par contre, les conditions météorologiques hivernales ne semblent pas être déterminantes dans la survie des cléistothèces et donc dans les attaques de l'année suivante.

**Conclusion :** Les conditions favorisant le développement de la maladie sont les températures modérées (20-30°C), les humidités relatives élevées, les vents marins et les entassements de végétation. Ces deux derniers paramètres, en plus de leur action directe, perturbe la qualité de la pulvérisation et donc la performance de la protection. L'impact de la maîtrise du développement des cléistothèces sur le contrôle de la maladie l'année suivante reste à démontrer, mais ne semble pas être déterminante, du moins dans le contexte des vignobles méridionaux.

Ces conditions de développement expliquent la nécessité de protéger la vigne sans interruption du stade « 10-12 feuilles étalées » au stade « fermeture de la grappe », au moins dans les régions méridionales. Dans de nombreuses situations, il est recommandé d'élargir cette fenêtre de protection. Les baies sont sensibles aux nouvelles contaminations jusqu'à ce qu'elles renferment plus de 8% de sucre.

## ii) Mode d'action du soufre

Bien que le soufre soit l'un des plus anciens fongicides utilisés en agriculture, les premières utilisations datent de l'Antiquité, les connaissances sur son mode d'action demeurent partielles. Il semble acquis que le soufre agisse directement avant de subir une oxydation ou une réduction. Il pénètre à l'intérieur des cellules où il joue le rôle d'accepteur d'électrons dans la chaîne respiratoire au niveau du cytochrome b dans les mitochondries. De là, on constate une réduction de la production d'ATP (Adénosine TriPhosphate) source d'énergie des cellules. Cette baisse de production d'énergie se traduit par une croissance ralentie, voire inhibée des cellules (Guichou, 2003). Il faut noter que ce phénomène se rencontre chez les cellules procaryotes (champignons) mais également chez les végétaux supérieurs. Dans ces derniers, le soufre ne pénètre pas dans les chloroplastes, lieu de l'activité photosynthétique dans végétaux supérieurs (Guichou, 2003 ; Pezet, 1987)). Ces organites réagissent à la diminution de production d'énergie des mitochondries en augmentant leur activité. Les organismes procaryotes ne possédant pas de chloroplastes subissent uniquement les effets défavorables du soufre qui entraînent leur mort. Par contre, chez les végétaux supérieurs, l'augmentation de l'activité des chloroplastes compensent largement la diminution de celle des mitochondries. Ce phénomène permet d'expliquer l'effet « verdure » constaté par les agriculteurs après des applications de soufre et confirmées par les travaux expérimentaux (Pezet, 1987).

Le soufre apporté par voie foliaire, principalement contenu dans les fongicides, pénètre en partie dans les végétaux pour participer au métabolisme de la plante. Le taux de pénétration du soufre dépend de l'espèce végétale considérée. Pour la vigne, le taux de pénétration est de l'ordre de 1 à 7% (Pezet, 1987). A l'inverse, de récentes recherches (Williams, 2004) ont montré que certaines plantes produisent du soufre élémentaire suite à une agression extérieure. Cette technique de défense ne semble pas être utilisée par la vigne suite à une agression d'oïdium.



Le soufre réduit la ressource énergétique des cellules et par suite des organismes. C'est donc l'un des seuls fongicides à présenter une réelle action de réduction du taux de croissance d'une population parasitaire. Cette caractéristique est l'une des deux principales qui réduisent le risque de formation de population résistante. La seconde étant d'éviter de changer la structure d'une population parasitaire. Cette caractéristique associée au mode d'action multisite du soufre limite très fortement les risques de créations de populations résistantes (Coleno, 1987).

Les seuls phénomènes de résistance qui pourraient concerner le soufre seraient liés à la pénétration à l'intérieur des cellules (Coleno, 1987). Cependant, des phénomènes de résistance ont déjà été mentionnés chez des populations d'acariens (Hoy, 1987).

### iii) Les actions du soufre sur les maladies et ravageurs de la vigne

La sensibilité des champignons aux effets du soufre serait liée à la composition lipidique de leur paroi cellulaire (cité par Guichou, 2003). L'augmentation de la perméabilité cellulaire des champignons amplifie l'effet du soufre. Par exemple, la pénétration du soufre dans *Phomopsis viticola* est dix fois plus importante que dans *Botrytis cinerea*. Ce comportement explique probablement le faible impact du soufre sur ce dernier champignon. Par contre, en ajoutant un détergent ionique au soufre, produit qui perturbe la perméabilité cellulaire des membranes, l'effet fongicide du mélange sur une culture de spores de *Botrytis cinerea* est très nettement augmenté (cité par Guichou, 2003).

Sur l'oïdium, les vapeurs de soufre ont une action triple : préventive sur les conidies (avant et pendant leur germination), curative sur les filaments mycéliens, éradicante sur le dessèchement des conidiophores et du mycélium (Bourdier, 1987).

En plus de son action sur l'oïdium, le soufre présente des efficacités secondaires sur d'autres maladies ou ravageurs. Sur certaines cibles, son action est telle que le produit bénéficie d'une Autorisation de Mise sur le Marché pour lutter contre : excoriose, érinose, acariose. Son efficacité partielle sur d'autres maladies ou ravageur lui vaut une homologation associée à d'autres matières actives : tordeuses de la grappe, mildiou, black rot. Un essai de 1982 (Sandoz, cité par Touzeau, 1987) mentionne une efficacité partielle sur cicadelle verte. De même un essai de Giralda et al. (cité par Touzeau, 1987) mentionne un comportement intéressant sur eudémis.

Ces différents usages soulignent l'intérêt que représente le soufre dans la protection de la vigne et son côté indispensable, notamment en viticulture biologique.

### iv) Les différentes formes de soufre

L'usage du soufre dans la lutte contre l'oïdium s'est généralisé dès le milieu des années 1850. Depuis cette période, la famille des soufres s'est très fortement élargie. Les orientations des recherches ont évolué en fonction du contexte historique : objectif de réduction des doses de soufre en période de pénurie, recherche de techniques rendant le soufre miscible à l'eau en période d'optimisation des coûts de production afin de pouvoir traiter les deux maladies, mildiou et oïdium, en un seul passage....

Les éléments présentés ci-après ne correspondent qu'aux formes de soufre actuellement disponibles sur le marché. L'utilisation d'autres formes de soufre a été abandonnée notamment pour des raisons de manque d'efficacité (soufres noirs), de disponibilité (soufres natifs enrichis), de toxicité (soufres cyanurés), de phytotoxicité (soufres colloïdaux) ou d'impureté des produits alors proposés.

Depuis 1967, la réglementation impose un niveau de pureté de 99% des soufres entrant dans la composition des fongicides agricoles. Cela n'empêche pas d'associer ce soufre « pur » à des adjuvants de formulation, ce qui est notamment vrai pour les soufres mouillables, qui contiennent généralement 80% de soufre pur et 20% d'adjuvants de formulation. Les autres garanties apportées



par cette réglementation portent sur la granulométrie des différentes formes de soufre pour poudrage (Julien, 1998, Bourgeois, 2002, RSR, 1982) :

- *Soufre trituré* (norme NFX 11-501) : obtenu par broyage et tamisage de soufre brut. Il est constitué de cristaux irréguliers, conférant au produit une densité élevée. 99% des particules doivent être inférieures à 160  $\mu$  (= tamis 100).
- *Soufre trituré ventilé* (norme NFX 11-501) : entraînement gazeux du soufre trituré. 97% des particules doivent être de taille inférieure à 100  $\mu$ .
- *Soufre sublimé* (norme NFU 43-002) : obtenu par distillation du soufre brut, puis condensation des vapeurs. Egalement appelé *fleur de soufre*. Constitué de sphères poreuses (donc à fort pouvoir de sublimation) de 5 à 15  $\mu$  de diamètres, regroupées en particules, appelées utricules. Le regroupement des sphères en utricules permet de limiter le tassement du produit dans les poudres et de maintenir la fluidité (= « fluence ») du produit. 97% des particules, en l'occurrence des utricules, doivent être inférieures à 180  $\mu$  (= tamis 80)
- *Fleur extra légère* (norme NFX 11-501, sous norme de NFV 43-002) : soufre sublimé fin. 97% des particules doivent être inférieures à 160  $\mu$ .
- *Soufre composé* (soufre en mélange avec d'autres produits) : les garanties reprennent celles du soufre utilisé.

Les soufres pour pulvérisation existent sous trois formes différentes : tous les soufres mouillables sont formulés à partir de soufre trituré ventilé (Julien, 1998). Les tailles des particules doivent être de l'ordre du micron pour conférer à la suspension aqueuse un maximum de stabilité et de dispersion (Discours, Vernet, 1987)

- *Soufre mouillable micronisé* (« soufre jaune », poudre mouillable) : obtenu par broyage de soufre pur puis ajout de mouillants et dispersants afin de rendre les particules de soufre miscibles dans l'eau. La taille des particules varie de 7 à 10  $\mu$  (concentration : 80% de soufre)
- *Soufre en formulation liquide* (suspension concentrée) : le mode d'obtention est identique à celui du soufre mouillable micronisé. La taille des particules est de l'ordre de 2  $\mu$  (concentration : 65% de soufre). La finesse des particules permet un bon maintien en suspension.
- *Soufre granulé dispersible* (« soufre brun », soufre micronisé atomisé, granulé dispersable) : le mode d'obtention est identique à celui du soufre en formulation liquide, puis passage en tour de séchage. La taille des particules est de 1 à 8  $\mu$  (concentration : 80% de soufre).

Jusqu'à la campagne 2002, le soufre pouvait être utilisé sans homologation du fait de son appartenance à la « liste des produits industriels simples non soumis à homologation », dont l'usage en agriculture était rendu possible par l'arrêté du 7 septembre 1949. Ce texte a été abrogé par l'arrêté du 7 avril 2003. En conséquence, depuis cette date, seuls les produits portant une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) sont autorisés dans le cadre de la lutte contre l'oïdium (Journal officiel, 2003 et 1949). Contrairement aux craintes, toutes les formes de soufre se trouvent sur le marché. Il faut ajouter que le permanganate de potassium, fréquemment utilisé pour « laver des grappes atteintes par l'oïdium » faisait partie de cette même liste de produits industriels simples. En conséquence, son usage est actuellement totalement prohibé, dans la mesure où aucune spécialité commerciale à base de cette matière active ne possède d'homologation.

Dans les premières décennies de son utilisation, jusqu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle, le soufre était appliqué seul, dans la mesure où naturellement, il n'est pas miscible à l'eau. Il devait donc être





apporté impérativement sous forme de poudrage contrairement aux autres produits utilisés à l'époque, notamment les produits cupriques. Dans le contexte particulier de la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, les recherches se sont orientées vers les réductions des doses de soufre (une partie du soufre étant réservée à la fabrication de poudre à canon !) et vers la recherche de solution pour une mixité des interventions mildiou/oïdium dans un souci de réduction des coûts de production.

Réduction des doses de soufre :

Afin de réduire les doses de soufre utilisées, plusieurs voies de réflexion ont été suivies. Tout d'abord, il s'est agi d'élargir des sources d'approvisionnement en soufre. Historiquement, jusqu'à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, le soufre agricole français provenait principalement de gisements siciliens. Il s'agissait alors de soufre minéral. A partir du début du XX<sup>ème</sup> siècle, le soufre provenant de l'industrie de raffinage du pétrole s'est fortement développé (Julien, 1998). Pendant la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, des gisements français ont été exploités, notamment des sulfures noirs du Lubéron. Compte tenu de leur couleur, ils avaient un pouvoir de sublimation très élevé, mais leur efficacité contre l'oïdium était relativement décevante dans la mesure où leur concentration en soufre était faible (quelques dizaines de %) (Dandrieu, 1928). Cette source n'a pas été davantage exploitée. Après la seconde guerre mondiale, et avec une volonté politique d'indépendance maximale par rapport aux importations de matières premières, la France a développé l'usage du soufre provenant des usines du traitement du gaz naturel de Lacq. A ce jour, celle-ci demeure la principale source d'approvisionnement en soufre pour les produits agricoles français (Julien, 1998).

Ensuite, les techniciens ont cherché à réduire au maximum le débit des poudreuses et surtout à utiliser des sulfures chargés (= soufre en mélange avec des matières inertes). Parmi celles-ci, on peut mentionner le kaolin, qui a la propriété de fluidifier le mélange dans la poudreuse et de limiter les risques de tassement, calcaire broyé, cendres, poussière de route, chaux, plâtre. Les trois premières associations pénalisent fortement l'efficacité du soufre. Le mélange 1 volume de soufre + 2 volume de plâtre semble maintenir une efficacité comparable à une dose pleine de soufre, tout en réduisant les effets nocifs (de Mortillet, 1863).

La dernière voie envisagée a été l'utilisation de soufre en solution mouillable. Cette option présentait le double intérêt de réduire les doses de soufre de deux tiers voire de trois quarts par rapport aux poudrages et rendait possible l'application conjointe de la protection contre le mildiou et l'oïdium. Le premier soufre mouillable est apparu en 1928. Il s'agissait d'alcool terpénique sulfoné (Bleufix). Dans les premières années d'utilisation, les sulfures mouillables n'étaient conseillés qu'en complément des poudrages, sauf chez la société Sandoz qui ne possédait qu'un soufre mouillable (Thiovit, première homologation, milieu des années 1940).

En parallèle, les produits mixtes pour poudrage sont apparus (Bob charge cuprique, Césarine d'Or). Certains de ces produits sont actuellement encore homologués. Il faut noter que l'intérêt du poudrage pour le cuivre est beaucoup moindre que pour le soufre, notamment par le fait que le cuivre n'a aucune action de vapeur. Il peut être intéressant dans les stratégies des viticulteurs qui souhaitent traiter l'oïdium exclusivement avec des produits de poudrage pour bénéficier d'une meilleure efficacité. De plus, le poudrage permet un temps d'intervention beaucoup plus rapide à l'hectare que les pulvérisations. L'inconvénient majeur est la nécessité de réaliser le poudrage par un temps très calme et de renouveler obligatoirement le traitement après une pluie si légère soit elle.

Lors de l'application de soufre poudrage, une partie importante du produit tombe directement sur le sol. Si pour la pulvérisation le produit tombé au sol est une pure perte, il n'en est pas de même pour le soufre poudrage de fait de son action vapeur. Dans les jours suivants le poudrage, si les conditions climatiques le permettent, le soufre tombé au sol se sublimerait et agirait par vapeur. La sublimation du soufre tombé au sol est plus rapide que celle du produit resté sur le feuillage du fait



que le sol se réchauffe généralement plus vite que la végétation (plus sec que la végétation). Par contre, pour pouvoir bénéficier de cet effet vapeur, il faut proscrire le travail du sol dans les jours qui suivent le poudrage, au risque d'enfouir le soufre (Marès, 1857). Cependant, l'efficacité du soufre tombé au sol est relativement faible compte tenu de l'éloignement de la végétation et de la quantité relativement faible de soufre que cela représente. Il est conseillé de soigner la qualité de l'application pour que le maximum de soufre reste sur le feuillage.

#### v) Les conditions d'efficacité du soufre

Les conditions d'efficacité des produits soufrés peuvent être classés en trois catégories : celles qui sont liées aux propriétés intrinsèques du produit utilisé, celles du milieu environnant et celles des conditions d'applications du produit

Le soufre agit principalement par action de vapeur. Ces vapeurs sont constituées de soufre pur. Plus la sublimation du soufre est importante, plus forte est son efficacité. Tous les facteurs qui augmenteront la sublimation du soufre en augmenteront son efficacité.

#### Les propriétés intrinsèques des produits soufrés

Les propriétés intrinsèques des produits utilisés conditionnent l'efficacité des traitements. Ainsi, les soufres sublimés sont plus efficaces que les soufres triturés. La structuration en utricules de leurs particules élémentaires poreuses augmente leur pouvoir de sublimation : « 100 kg [à l'année] de soufre sublimé apporte une efficacité comparable à 175 kg [à l'année] de soufre trituré » (Marès, 1857). De même, Branas en 1974 (cité par Bourdier, 1987) souligne que dans un essai « 106 kg/ha de soufre trituré en 3 applications ont représenté 88% de l'efficacité de 80 kg/ha de soufre sublimé apporté dans les mêmes conditions ».

Plus la quantité de soufre par unité de surface est faible plus forte est sa sublimation (Branas, 1943). Il est donc possible de trouver une dose optimale par unité de surface. Cela sous entend que la modulation des doses de soufre en fonction du développement végétatif est probablement envisageable pour optimiser les apports de soufre (optimisation quantité apportée/efficacité) (Bourdier, 1987).

La granulométrie du soufre. Deux notions sont à prendre en compte par rapport à la finesse des particules. La finesse des particules proprement dite et la taille des utricules (agglomérats de particules élémentaires de soufre). Des particules trop fines de soufre ( $< 1 \mu$ ) ont tendance à s'agglomérer en masse plus importantes et ainsi à réduire l'effet vapeur du soufre et à augmenter les risques de phytotoxicité (cf soufre colloïdal). C'est notamment la raison pour laquelle la vaporisation de la fleur de soufre est supérieure à celle de la fleur de soufre ultra légère.

Plus les particules sont fines, meilleure est l'adhérence (RSR, 1982). L'augmentation de l'adhérence permet d'augmenter la persistance d'action des soufres. Pour les soufres dont les particules sont trop grossières, les pertes peuvent se faire par lessivage, par simple effet du vent, voire par non adhésion sur le feuillage (au moment de l'application, une partie du soufre tombe directement au sol).

La couleur du soufre peut avoir une action sur l'effet de sublimation. La température des soufres de couleur foncée (soufres bruns, mélanges de soufre et de noir de charbon) augmente plus fortement à température ambiante comparable que celle des soufres purs jaunes (RSR, 1982).

L'efficacité du soufre mouillable décroît avec le temps. Lors des premières applications, quand la surface du végétal est peu importante, la répartition du soufre mouillable est suffisamment bonne pour ne pas en pénaliser son efficacité. Par contre, lorsque la vigne a atteint un fort développement, une mauvaise répartition de la pulvérisation pénalise son action, contrairement à l'application de soufre sous forme poudrage, moins sensible à la croissance du végétal. La pénalisation de l'action du soufre mouillable avec la croissance du végétal est d'autant plus problématique que celle-ci correspond souvent à la période de sensibilité maximale de la vigne à l'oïdium (pré-floraison-



fermeture de la grappe). Cela souligne également l'importance du soin qui doit être apporté à la qualité de la pulvérisation (face par face).

### Les conditions du milieu

Facteurs climatiques : la *LUMINOSITE* est le principal facteur influençant l'efficacité du soufre : à température comparable, les émissions de soufre peuvent être 5 fois supérieures par temps clair par rapport à un temps couvert (RSR, 1982).

La *TEMPERATURE* est le second facteur : la sublimation du soufre augmente quand la température augmente. Elle s'effectue à partir de 8°C (c'est à dire à la température minimale de croissance de l'oïdium), avec une efficacité optimale à 25°C (Bourgeois, 2002). Le soufre peut donc être utilisé dès les premiers traitements contre l'oïdium au début du printemps.

L'un des inconvénients de l'application de soufre sous forme de poudrage est l'importance des quantités de soufre appliquées, notamment en raison des difficultés de réglage du matériel utilisé pour l'application de ces produits. L'une des techniques envisageables pour réduire les doses de soufre est de le mélanger avec d'autres produits (appelés alors charge inerte). Sur le terrain, ces charges inertes sont souvent des argiles ou des lithotamnes. L'adjonction de charge inerte au soufre poudrage en diminue l'efficacité, notamment lorsque la quantité de soufre dans le mélange est inférieure à 50%. Trois techniques sont envisageables pour intégrer une charge inerte au soufre poudrage : la technique de l'imprégnation est la seule qui ne diminue pas l'efficacité du soufre, du moins lorsque la proportion de soufre reste au moins égale à 50% du mélange. Cette technique doit être réalisée au moment de la formulation du produit, en usine. La technique couramment utilisée par les producteurs qui consiste à réaliser eux mêmes le mélange soufre / bentonite ou soufre/lithotamne à sec au domaine semble pénaliser fortement le comportement du soufre. Une technique qui pourrait être envisagée pour améliorer l'efficacité des mélanges serait d'avoir une charge inerte sombre pour augmenter la température du mélange.

### Les conditions d'applications

#### *LOCALISATION DES TRAITEMENTS*

Le soufre agit principalement par émission de vapeurs, notamment lorsqu'il est appliqué sous forme de poudrage. Le contact entre le soufre et les organes du champignon ne sont pas indispensables. Sous serre, le soufre est parfois disposé dans des « lampes à soufre » dont l'objectif est de saturer l'atmosphère sans entrer en contact avec la culture pour éviter les risques de phytotoxicité et de résidus. Sur vigne, certains viticulteurs apportent des doses massives de soufre au pied des vignes. Là encore, le principal objectif est d'éviter les risques de phytotoxicité. Cette technique d'application est principalement utilisée sur sols de schistes, particulièrement filtrant donc secs et dont la couleur sombre favorise l'augmentation de la température et donc la sublimation du soufre. Elle peut être efficace uniquement sur des vignes dont la végétation est proche du sol (ex : gobelet bas).

Par contre, dans des essais effectués au laboratoire (température de 23°C), la proximité du soufre semble être déterminante sur la destruction des organes : l'effet du soufre sur les conidies se manifeste jusqu'à une douzaine de millimètres du point de dépôt du soufre. Par contre, dès 5-6 mm, le mycélium reste intact. Ces résultats illustrent la différence de sensibilité des différents organes de l'oïdium (Bessis, 1987). Il faut noter ici les valeurs relatives entre les différents organes. Par contre, cet essai au laboratoire n'a pas pour objectif de reproduire la situation au vignoble où l'effet de masse du soufre est plus important. On peut donc espérer au vignoble des efficacités différentes en valeur absolue. Cependant, ces résultats illustrent l'importance de la qualité de répartition du



soufre : plus le soufre est proche de l'oïdium, meilleure et plus rapide est son action. Dans les deux exemples mentionnés au début de ce paragraphe (lampe à soufre et application au sol), l'éloignement entre le soufre et la cible est compensée par une forte augmentation des doses de soufre et un effet « masse » du produit.

Dans cet essai, les premiers effets du soufre sont observés 4-5 heures après l'application, pour l'oïdium situé à proximité immédiate de particules de soufre. Au bout de 24 heures, l'action du soufre n'est pas encore totale. C'est au bout de 48 heures que l'oïdium proche du soufre est totalement détruit (Bessis, 1987). Par contre, l'oïdium éloigné des particules de soufre (sur la face inférieure de la feuille alors que le soufre a été appliqué sur la face supérieure) est très peu détruit même après 48 heures.

Les conditions d'*HUMIDITE DU FEUILLAGE* (rosée, suite à une pluie....) au moment du poudrage ne semble pas modifier l'efficacité du produit ni en améliorant ses performances, ni en les pénalisant (Le Canu, 1861). Sur feuillage trop humide et compte tenu de la non miscibilité du soufre à l'eau, les risques d'entraînement des particules, donc de perte au sol, est plus important.

#### **PERIODE D'APPLICATION**

Compte tenu de son mode d'action complexe, le soufre possède également une action curative sur oïdium en place. Cette efficacité a été confirmée dans deux expérimentations de l'ITV en 1985 et 1986 (Payan, 1987). Dans ces deux essais, le soufre poudrage (soufre sublimé à 30-40 kg/ha) présente une efficacité régulière de 97-98% et le soufre mouillable à 12,5 kg/ha présente une efficacité de 65 et 100% selon l'année.

Dans un essai de la Chambre d'Agriculture de l'Aude (Chambre d'Agriculture de l'Aude, 2006), le soufre mouillable a présenté une efficacité de l'ordre de 46%.

En curatif, c'est à dire sur oïdium en place, le soufre présente une efficacité potentiellement intéressante, mais variable. Cette variabilité de la réponse du soufre dans ce contexte exclue la possibilité d'inclure la notion de curativité du soufre dans une stratégie : l'utilisation du soufre sur oïdium déclaré doit être exceptionnelle. Le résultat de ce traitement sera fonction des conditions d'application : utilisation du soufre à dose homologuée (12,5 kg/ha pour la majorité des produits, deux applications à une semaine d'intervalle, application par un volume d'eau important (de l'ordre de 250 l/ha). En dessous de ce volume, l'adjonction d'un adjuvant semble améliorer le potentiel d'efficacité. Par contre, l'emploi d'un tel adjuvant ne dispense pas d'utiliser le produit soufré à sa dose d'homologation. Si les conditions météorologiques ne sont pas pleinement favorables à l'émission de vapeurs, l'efficacité du traitement peut être altérée.

Sur cléistothèces, le soufre ne présente aucune efficacité. Quelque soit la période d'application (automne ou printemps en pré-débourrement), le soufre n'a montré aucune efficacité à une dose équivalente à 4 kg/ha (équivalent à 5 kg de spécialité commerciale (Gadoury *et al.*, 1994).

## **2) Vers une réduction des doses de soufre**

### **i) Optimisation des apports de soufre**

En région méridionale, les Règles De Décision (RDD) proposées par les conseillers viticoles reposent sur le raisonnement du déclenchement des premier et dernier traitements en fonction du risque parasitaire de l'année (modélisation), des observations des parcelles et de leur environnement, de la sensibilité des cépages et de « l'historique oïdium » des parcelles. Par contre, pendant la période de sensibilité maximale de la vigne (« pré-floraison » – « fermeture de la





grappe »), aucune impasse de protection ne peut être tolérée (Guide des vignobles Rhône Méditerranée, 2008).

Dans le cadre de la lutte contre la forme « drapeaux », un traitement au stade « 5-6 feuilles étalées » semble suffisant et préférable à une application plus précoce au stade « 2-3 feuilles étalées ». Par contre, en cas de sortie particulièrement forte de drapeaux, la stratégie consistant à réaliser une application à ces deux stades apportent le maximum d'efficacité (Claverie, 2005). Ensuite, à partir du stade « 10-12 feuilles étalées », la stratégie globale doit être appliquée. Il est intéressant de noter qu'il n'y a pas de corrélation entre la sortie des drapeaux et l'attaque ultérieure sur grappes (Claverie, 2005, Novoa, communication personnelle). L'ensemble des résultats des travaux de l'ITV mentionnés ici ont été obtenus avec du tébuconazole et ne prévalent en rien du comportement du soufre utilisé dans les mêmes conditions (Claverie, 2005).

Dans le cadre de son programme PIC (Protection intégrée des Cultures), le centre INRA de Bordeaux a développé un Processus Organisationnel de Décisions (POD) visant à optimiser les traitements anti-oïdium et anti-mildiou en fonction de la pression parasitaire observée sur le terrain. Ce POD « mildium » en est encore au stade de développement et est relativement peu appliqué par les viticulteurs, et uniquement dans le vignoble bordelais.

Le principe du POD repose sur des observations de terrain du développement de l'oïdium aux stades « 5-7 feuilles étalées » et « fermeture de la grappe ». La présence ou l'absence d'oïdium et de mildiou lors de ces observations conditionnent les interventions. La mise en œuvre de ce POD entraîne des stratégies entre 2 et 6 applications d'anti-oïdium sur l'année.

Le POD « mildium » est en cours de validation et d'amélioration. De plus, il n'a pas été défini avec les contraintes de la conduite en agriculture biologique. Il nécessiterait des adaptations à ce mode de production et aux spécificités régionales le cas échéant. Il semblerait que la stratégie proposée ne soit pas adaptée aux conditions de développement de l'oïdium dans la région Languedoc-Roussillon (Rouzet, Novoa, communications personnelles).

Cependant, un premier essai a été mis en place dans la région en 2007 par la chambre d'agriculture de l'Aude. Les résultats sont encourageants et incitent à renouveler le test de ces RDD dans le contexte languedocien.

### **ii) Utilisation du soufre à dose réduite**

Le soufre a été testé à dose réduite (4 kg/ha de spécialité commerciale) dans un essai de la Chambre d'Agriculture de Saône et Loire en 2006 (Crozier, 2006). Dans les conditions de cet essai, sur cépage chardonnay, la modalité apportant le soufre à dose réduite a présenté une efficacité de 88% en fréquence sur grappes et 97% en intensité, contre 96% et 100% pour la modalité apportant le soufre à dose pleine (12,5 kg/ha). Ce résultat encourageant ne doit pas être généralisé et ne doit pas être sorti de son contexte expérimental.

### **iii) Produits alternatifs au soufre**

#### **a) lutte biologique**

Le principe de la lutte biologique est d'utiliser des organismes vivants (ou des produits issus d'organismes vivants) pour lutter contre les maladies et ravageurs. De nombreuses recherches portent sur l'utilisation de cette méthode pour le contrôle de l'oïdium.

#### **TYDEIDES**

Une équipe de l'université de Cornell (USA) travaille depuis 1998 sur l'utilisation de tydéides (phytoseidae) (*Orthotydeus lambi* (Baker) dans la maîtrise de l'oïdium. Ces arthropodes sont relativement nombreux sur les vignes sauvages aux USA (*Vitis riparia*). Les tydéides sont connus pour se nourrir de divers organismes dont des champignons, des pollens ou de petits arthropodes.



L'espèce étudiée ici a la capacité de se nourrir d'hyphes et de conidies d'oïdium. Il semblerait que certains typhlodromes (dont les *typhlodromes pyri*) se nourrissent également partiellement d'oïdium, mais aucune étude ne montre la maîtrise de cette maladie avec des typhlodromes. L'étude mentionnée (English-Loeb, 2007) a été réalisée sur différents cépages, dont les *Vitis vinifera* Chardonnay, Cabernet sauvignon et Cabernet franc, et différents hybrides. Les résultats montrent que le niveau de maîtrise de l'oïdium sur feuilles est équivalent quel que soient les cépages considérés, de l'ordre de 58 à 87% selon les années (étude réalisée de 2000 à 2002). Par contre, sur grappes, l'efficacité est meilleure sur les cépages les plus sensibles (de 73 à 95% sur les *V. vinifera*, contre 65% sur les variétés hybrides). Ces résultats ont été obtenus avec des populations de tydées de l'ordre de 10 à 20 par feuille, selon les cépages. Ce nombre élevé de tydées par feuille a été obtenu par inoculation des plants. Le niveau de protection semble lié à la quantité de tydées présents sur la feuille, elle-même liée aux conditions météorologiques de l'année. Par ailleurs, dans cet essai, le niveau de protection assuré par les tydées était équivalent à celui du programme fongicide de référence (applications de myclobutanil) sur feuilles et supérieur sur grappes. L'association des deux moyens de lutte (chimique et biologique) apporte systématiquement les meilleurs résultats.

La mise en place de ce moyen de lutte à grande échelle se heurte à une difficulté majeure : la quantité de tydées présents sur les vignes cultivées est nettement inférieure à ce qu'elle est dans les vignes sauvages ou dans cette expérimentation. La différence s'explique principalement par la non sélectivité de certaines molécules utilisées en viticulture comme le soufre, le mancozèbe et le carbaryl (insecticide utilisé pour lutter contre les vers de la grappe). L'équipe de chercheurs travaille à la mise en place de méthode d'inoculation ou de lâchers inondatifs de *O. lambi* au vignoble.

Les espèces de tydées présentes dans le vignoble français et languedocien sont peu connues (Serge Kreiter, communication personnelle). Il n'est pas garanti que l'espèce *O. lambi* soit présente.

#### **AQ 10 (AMPELOMYCES QUISQUALIS)**

*nature du produit* : produit à base de champignon antagoniste *Ampelomyces quisqualis*.

*statut réglementaire* : Le champignon est inscrit à l'annexe I de la directive européenne 91/414/CEE, préalable pour qu'une spécialité commerciale puisse être autorisée à la vente sur le territoire européen. La spécialité commerciale AQ 10 est en cours d'homologation en France et donc interdite à la vente pour le moment. Ce produit est déjà autorisé en Italie, Suisse (où il est mentionné parmi les produits ayant une efficacité partielle) et aux Etats Unis.

*mode d'action* : *Ampelomyces quisqualis* est un mycoparasite des cleistothèces d'oïdium.

*efficacité* : l'efficacité du produit utilisé seul n'est pas suffisante pour maîtriser l'oïdium, notamment en cas d'attaque significative. Par contre, l'utilisation de ce produit pourrait être envisagée dans le cadre de programme complet en alternance avec des fongicides plus classiques (soufre). Parmi les différentes stratégies testées, celle consistant en applications tardives d'AQ 10 (après une campagne de protection au soufre jusque fin juillet) a présenté la meilleure efficacité. Par contre, les applications précoces de ce produit (mai-juin) ne semblent pas souhaitables (Angeli *et al.*, 2006-1).

*autres caractéristiques* : L'AQ 10 est un produit vivant. En conséquence, son comportement est tributaire des conditions météorologiques sous lesquelles il est appliqué : une humidité relative trop faible ne permet pas la germination d'*A. quisqualis* (Angeli *et al.*, 2006-1) et pénalise fortement son efficacité.

#### **AUTRES AGENTS DE LUTTE BIOLOGIQUE**

Plusieurs équipes de recherche travaillent sur le sujet de la lutte au moyen d'agents biologiques (bactéries, levures, champignons) pour lutter contre l'oïdium (Université de Bourgogne ; Angeli *et al.*, 2006-2, Crisp, 2006). Deux difficultés majeures se posent pour l'utilisation de cette technique. La première est la sensibilité de ces produits vivants aux conditions météorologiques lors de leur



application au vignoble. C'est notamment le cas du *Bacillus subtilis* dont l'efficacité encourageante constatée lors des essais sous serre ne s'est pas retrouvée dans les essais en plein champ (Crisp, 2006-1,2). Les références sur les produits de lutte biologique contre l'oïdium sont plus nombreuses en cultures sous abri, pour lesquelles les conditions du milieu sont plus facilement maîtrisées.

La seconde est les effets non intentionnels de certains produits phytosanitaires utilisés dans la lutte contre d'autres cibles qui fragilisent l'implantation des êtres vivants contenus dans ces produits et donc leur efficacité pour combattre l'oïdium.

### **b) Produits d'origine naturelle**

#### ***BOUILLIE SULFO-CALCIQUE (BSC)***

*nature du produit* : polysulfure de calcium = soufre + chaux

*statut réglementaire* : une spécialité commerciale est homologuée en France (Bouillie nantaise) pour des usages anti-oïdium. En viticulture, les doses d'utilisation conseillées sont comprises entre 7 et 12 l/ha, en fonction de la période d'application, soit l'équivalent de 609 et 1044 g/ha de soufre par application

*mode d'action* : l'effet de ce produit sur l'oïdium est avant tout lié au soufre. La chaux améliore les propriétés d'adhérence du produit sur le feuillage.

*Efficacité* : Une étude américaine (Gadoury *et al.*, 1994) apporte des précisions sur la conditions d'efficacité de la BSC sur l'oïdium. Dans les essais relatés dans cet article, la bouillie sulfo-calcique a été testée au laboratoire et en plein champ. Au laboratoire, l'efficacité est évaluée sur la survie des ascospores dans les cleistothèces. Les résultats montrent que l'efficacité de la bouillie sulfocalcique est meilleure lors d'applications printanières que lors d'applications automnales. L'efficacité de la bouillie sulfocalcique est obtenue au bout d'1 heure en automne contre 5 minutes au printemps.

Au vignoble, la bouillie sulfocalcique a été testée en une seule application au printemps (au stade « gonflement du bourgeon »). Ce traitement unique retarde l'épidémie d'oïdium, de quelques jours à quelques semaines. Le retard engendré dépend des conditions météorologiques plus ou moins favorables au développement de la maladie au printemps et de la sensibilité variétale. Pour les variétés les plus tolérantes à l'oïdium (hybrides), l'attaque a été retardée jusqu'à la maturité, stade au cours duquel les raisins ne sont plus sensibles à l'installation de la maladie. Une seule application de bouillie sulfocalcique au printemps a suffi à avoir un raisin parfaitement sain à la récolte (moins de 1% d'attaque en intensité contre 34% dans le témoin non traité). Par contre, sur cépage plus sensible (ex : chardonnay), la seule application de bouillie sulfocalcique au printemps n'est pas suffisante pour garantir l'état sanitaire du raisin à la récolte, mais augmente fortement l'efficacité (moins 75% d'attaque) d'un programme global de protection contre l'oïdium en diminuant fortement l'inoculum printanier.

Ces résultats, bien qu'encourageants, doivent être relativisés par la dose de produit utilisée. L'essai a été conduit sur vignoble en treille avec un volume d'eau de 2800 l/ha. Dans ces conditions, la bouillie sulfocalcique a été utilisée à la dose de 336 l/ha, soit un équivalent de 97,4 kg de soufre ! Ils permettent d'évaluer le potentiel d'efficacité du produit. Aux doses conseillées en France (7 à 12 l/ha), il n'est pas garanti que les résultats soient aussi probants !

En France, peu de références existent sur ce produit. Appliqué pendant le repos végétatif, le produit ne présente aucune efficacité, mais appliqué au stade « pointe verte », il présente un comportement identique à celui évoqué dans l'essai américain (retard de la contamination) (Novoa, communication personnelle).

Par contre, pour des usages en végétation, la bouillie sulfocalcique se montre nettement moins efficace que le soufre (Lafon, 1944).

*Autres caractéristiques* : ce produit est principalement utilisé en traitement d'hiver, sur cléistothèces. En végétation, il est peu utilisé notamment du fait du risque de phytotoxicité qu'il



présente. Des essais (Gadoury *et al.*, 1994) mettent en évidence une efficacité de la BSC contre *Phomopsis viticola* (agent responsable de l'excoriose) et sur *Pseudopezicula tetraspora* (agent responsable du brenner). Contre *Guignardia bidwellii* (agent du black rot), l'efficacité est plus aléatoire, notamment en fréquence d'attaque, mais potentiellement non négligeable.

### CUIVRE

*nature du produit* : sels de cuivre. Les différentes formes de cuivre testées (sulfate, hydroxyde, oxychlorure) ont montré des efficacités comparables.

*mode d'action* : le cuivre agit principalement sur les cléistothèces d'oïdium, mais également en partie sur le mycélium.

*statut réglementaire* : de nombreuses spécialités commerciales sont homologuées sur vigne mais principalement pour des usages anti-mildiou. Aucune spécialité commerciale ne bénéficie d'homologation contre l'oïdium.

*Autres caractéristiques* : compte tenu du contexte réglementaire en viticulture biologique (limitation des doses de cuivre), les applications de cuivre contre l'oïdium doivent être intégrées à une gestion globale des apports de cuivre et dans la mesure du possible être utilisées à une période au cours de laquelle la polyvalence du cuivre présente tout son intérêt (après l'arrêt de croissance de la vigne, pour lutter contre les cléistothèces d'oïdium, les risques de développement de mildiou mosaïque, de pourriture acide et pour améliorer l'aouïtement des sarments).

*Efficacité* : Lors d'applications de printemps (Gadoury *et al.*, 1994), le cuivre a présenté une efficacité significative, bien que légèrement inférieure à celle de la bouillie sulfocalcique. Par contre, appliqué l'automne, le cuivre n'a eu aucune efficacité. Ces résultats ont été obtenus avec différentes formes de cuivre (sulfate à 13,4 kg et à 26,9 kg ; hydroxyde et l'oxychlorure à 6,7 kg). Pour le sulfate, l'effet dose est net. Ces résultats vont à l'encontre de ceux obtenus par ailleurs qui concluaient à une efficacité du cuivre sur cléistothèces pour des applications en fin de cycle (courant véraison) (Novoa, 1995, Payan, 1994). Dans ces essais menés au vignoble, une seule application de bouillie bordelaise (3000 g de cuivre métal) en fin de saison (courant véraison) réduisait de 90% le nombre de cléistothèces. Ce chiffre s'élève à 96% dans un programme dans lequel 7 applications de cuivre ont été réalisées à partir du stade nouaison. Cependant, ce dernier résultat a été obtenu avec 21000 g de cuivre métal sur la campagne... Le peu de gain d'efficacité par rapport à une application unique de cuivre ne justifie pas l'utilisation d'une telle dose de cuivre (Payan, 1994). Dans l'essai de la société Novex (Novoa, 1995), quelque soit la modalité cuprique testée (1 seule application post vendange, 2 applications courant véraison, 2 applications courant véraison + 1 application post vendange), l'efficacité constatée courant octobre sur cléistothèces est supérieur à 90%, voire supérieure à 97% pour les modalités traitant avant vendanges. Cet essai apporte un complément d'informations en illustrant l'effet du cuivre sur le mycélium, avec des réductions d'attaque sur feuilles et grappes significatives d'oïdium lors de notation courant octobre.

### LAIT – PETIT LAIT

Ces produits sont depuis longtemps utilisés de façon empirique par les biodynamistes. Depuis quelques années, des expérimentations ont apporté des précisions quant aux conditions d'efficacité de ces produits ainsi qu'à leur mode d'action

*nature du produit* : lait ou petit lait (lactosérum) de vache

*statut réglementaire* : ce produit ne bénéficie d'aucune homologation. Il ne peut donc être utilisé par les producteurs. Par contre, le ministère de l'agriculture travaille à la rédaction d'un arrêté portant sur les « préparations naturelles peu préoccupantes », dont les produits autorisés pour l'alimentation humaine devraient faire partie. Dans un avenir proche, ces produits devraient pouvoir bénéficier d'une autorisation d'usage en agriculture.

*mode d'action* : comme souvent dans les produits d'origine naturelle, il s'agit de produits complexes. Plusieurs composés du lait, principalement la lactoperoxydase, produiraient des





radicaux libres sous l'effet du rayonnement. Ces radicaux libres auraient un effet de destruction des hyphes. La lactoferrine, protéine, agirait sur les ruptures des conidies. Ces produits ont donc des effets curatifs sur l'oïdium. L'effet de la lactoperoxydase dépend des conditions climatiques (ensoleillement) contrairement à la lactoferrine, active quelques soient les conditions climatiques. Par temps couvert, il est conseillé de resserrer les traitements et d'augmenter la concentration de produit (Crisp, 2006-3).

Le mode d'action strictement de contact impose la plus grande rigueur dans la qualité de pulvérisation et une cadence de traitement inférieure à 14 jours pour optimiser l'efficacité du traitement .

*Efficacité* : dans les essais australiens, l'efficacité des programmes de protection à base de lait dépendait du cépage, du port de la vigne, de la vigueur et de la couverture du feuillage par le produit. Le potentiel d'efficacité est équivalent à celui du soufre, soit plus de 95% dans les essais mentionnés. Les produits sont utilisés à 10% pour le lait (soit 30 à 60 l/ha compte tenu des volumes d'eau utilisés pour les essais mentionnés) et entre 15 et 45 g/l pour le petit lait (soit entre 6 et 27 kg/ha). Pour le petit lait, l'effet dose est significatif. Sur les cépages les plus sensibles (notamment le chardonnay), l'efficacité des traitements a été plus variable, notamment en fonction de la qualité de pulvérisation : sur vigne trop vigoureuse, au feuillage trop retombant, la couverture a été trop partielle et l'efficacité des différents produits testés pratiquement nulle. Sur les cépages les plus sensibles, le lait pourrait être inclus dans un programme dans lequel la période « chute des capuchons floraux » au stade « grain au stade pois » serait couverte par du soufre. Les autres applications seraient effectuées à base de lait (Crisp, 2007). L'utilisation de ces produits seuls pourraient être davantage inclus dans des logiques de réduction des doses de soufre que de réelle augmentation de l'efficacité du programme de protection. Pour atteindre ce dernier objectif, il pourrait être intéressant de tester l'efficacité de traitements conjoints soufre + lait (ou petit lait), les produits étant a priori compatibles.

*Autres caractéristiques* : malgré les doses utilisées à l'hectare (entre 30 et 60 l), les applications de lait ne devraient pas être trop onéreuses. Le prix du lait est compris entre 0,25 et 0,3 €/l, soit ramené à l'hectare entre 7,5 et 18 €.

L'un des inconvénients de ce produit serait les volumes importants à manipuler. L'utilisation du petit lait, dont les doses d'utilisation sont environ deux fois moins importantes, permettrait de limiter ce problème. De plus, le petit lait est un sous produit de l'industrie laitière , dont certaines fromageries, notamment biologiques, se « débarrassent » ou du moins ne cherchent pas à valoriser. Par contre, il s'agit dans ce cas de petit lait frais, qui présente l'inconvénient d'être peu stable et de fermenter facilement. Les zones de production du lactosérum et les zones viticoles ne coïncident pas toujours. L'instabilité du produit risque d'être une contrainte difficile à gérer. Une solution serait alors d'utiliser la poudre de lactosérum, beaucoup plus stable. Le lactosérum déshydraté biologique n'existe pas, la filière n'étant pas structurée. Pour un produit conventionnel il faut compter environ 0,45 €/kg (source : société Bonilaï, mars 2008), soit environ 9 €/ha à la dose de 20 kg/ha. Cependant, le marché du lait et du lactosérum est particulièrement volatile et les prix très instables. A l'automne 2007, le lactosérum déshydraté se négociait environ 1 €/kg.

Aux concentrations les plus élevées (45 g/l), le petit lait présente un marquage superficiel (non phytotoxique) sur feuilles et des grappes (Crisp, 2006-2).

#### **HUILES + BICARBONATE**

*nature du produit* : différents produits existent sur le marché. Les huiles peuvent être minérales (issues de la raffinerie de pétrole) ou végétale (colza). Les bicarbonates mentionnés dans la bibliographie sont le bicarbonate de sodium ou de potassium, selon les essais.

*statut réglementaire* : certaines spécialités commerciales sont homologuées pour des applications d'hiver. Les huiles (minérales et végétales) sont autorisées au cahier des charges 2092/91 en tant que fongicides et insecticides. Par contre, les bicarbonates ne le sont pas. Toutefois, le bicarbonate



de sodium est inclus dans le règlement 2092/91, dans la liste des minéraux autorisés pour l'alimentation animale. Ils ne sont donc pas utilisables en l'état et nécessiterait une demande d'inscription au futur règlement européen de l'AB.

*mode d'action* : les huiles agissent par effet mécanique en asphyxiant le mycélium en place. L'effet de l'association huile + bicarbonate de potassium se traduit davantage sur la mortalité des hyphes que des conidies (Crisp, 2006-3).

*Efficacité* : dans les différents essais (Avima, rapport confidentiel, 1995 ; Université du Chili, 1994, Crisp, 2004), l'association huile + bicarbonate de sodium est toujours plus efficace que l'huile seule. Les niveaux de protection même en situation de forte pression sur carignan sont de 62% en fréquence d'attaque sur grappes et de 89% en intensité contre 30 et 72% pour l'huile seule dans les mêmes conditions (Université du Chili, 1994), 98% d'efficacité contre 96% pour l'huile seule sur riesling (Avima, rapport confidentiel, 1995). Seule, l'huile peut présenter des niveaux d'efficacité intéressant, comme dans un essai de la Chambre d'Agriculture de Saône et Loire (Crozier, 1995), dans lequel, l'huile seule présentait une efficacité de 90% en fréquence et 99% en intensité sur grappes, pour une attaque sur le TNT de 100% et fréquence et 91,5% en intensité, sur chardonnay. Dans cet essai, il s'agissait d'huile minérale. Par contre, l'huile de soja présente un niveau d'efficacité (20%) insuffisant pour maîtriser la maladie (Reyes, 2005).

L'utilisation des différents bicarbonates seuls (de sodium ou de potassium) s'est avérée insuffisante (Crisp, 2006-2, Reyes, 2005).

*autres caractéristiques* : les huiles sont connues pour sensibiliser les plantes au risque de phytotoxicité. Ce comportement est confirmé dans certains essais dans lesquels l'huile et le bicarbonate sont associés (Avima, rapport confidentiel, 1995). De plus, l'association des deux présente des résidus sur feuilles et fruits. Un autre inconvénient de l'usage de l'huile est le délai de carence qu'il est préférable de respecter avec une application de cuivre et de soufre. Selon les conditions météorologiques (température et humidité), ce délai de carence peut s'élever à 5-7 jours. Le non respect de ce délai augmente fortement le risque de phytotoxicité. Une modulation de la dose peut être envisagée pour palier à ce risque.

#### STIFENIA

*nature du produit* : 100% graine de fénugrec (sans aucun adjuvant de formulation)

*statut réglementaire* : homologué en France dans la catégorie « fongicide – oïdium vigne » (autorisation de mise sur le marché provisoire), autorisé au cahier des charges 2092/91.

*mode d'action* : « potentialisateur » de la vigne. Le produit n'a pas d'action directe sur le champignon responsable de l'oïdium. Il agit en tant que stimulateur des défenses naturelles de la vigne.

*Efficacité* : les autorités françaises ont accordé à ce produit une autorisation de mise sur le marché. Cela signifie que la société avait apporté les éléments suffisants pour justifier l'efficacité (et l'inocuité) du produit. Cependant, cette autorisation n'est pour le moment que provisoire. L'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) souhaite des compléments d'information pour confirmer l'efficacité de ce produit. Les viticulteurs qui l'ont utilisé dans les recommandations mentionnées sur l'étiquette (applications avant fleur, sur oïdium) ont estimé qu'il avait été efficace, sans que l'on ait de précision sur les conditions de pression parasitaire. Par contre, ce produit est parfois conseillé sur des usages pour lequel il ne bénéficie pas d'homologation (traitement oïdium post floraison, mildiou...) : ceux qui l'ont positionné en dehors du cadre des recommandations officielles ont parfois eu de lourdes déconvenues....

Dans le cadre expérimental, en situation de forte pression, les résultats sont nuls (IFV station de Nîmes) à décevants (Chambre d'Agriculture de Saône et Loire) (Simon, 2007). Il convient probablement de tester à nouveau ce produit dans un contexte parasitaire moins sévère.

*autres caractéristiques* : produit homologué uniquement pour des applications de préfloraison. Compte tenu de sa formulation sans adjuvant, les utilisateurs de ce produit mentionnent souvent des



difficultés de mise en suspension dans la cuve du pulvérisateur et parfois des problèmes de bouchage. Le produit est d'une innocuité totale pour l'homme et l'environnement.

#### **OÏKOMB**

*nature du produit* : silicate de potassium et d'huile de fenouil.

*statut réglementaire* : ce produit est commercialisé par une société allemande qui ne souhaite pas réaliser une démarche d'homologation en France.

*Efficacité* : récemment, ce produit a été testé par la chambre d'Agriculture de Saône et Loire (Crozier, 2006). Appliqué à 5l/ha, à une cadence de 10 jours du stade « 3-4 feuilles étalées » à « fermeture de la grappe », sur cépage chardonnay, le produit a eu une efficacité de 70% en fréquence sur grappes et de 89% en intensité (contre 96 et 100% pour la modalité de référence, soufre mouillable à 12,5 kg/ha).

*autres caractéristiques* : ce produit peut provoquer des phénomènes de phytotoxicité, comme constaté au mois de mai dans l'essai mentionné précédemment (ralentissement de la croissance de la végétation pendant 1 mois).

#### **MILSANA**

*nature du produit* : un extrait de plante de *Reynoutria sachalineris*.

*statut réglementaire* : ce produit est commercialisé par une société allemande qui ne souhaite pas réaliser une démarche d'homologation en France.

*Efficacité* : ce produit a également été testé dans l'essai de la Chambre d'Agriculture de Saône et Loire (Crozier, 2006). Le Milsana, utilisé à la dose de 4 l/Ha était associé à un adjuvant le Trifolio T/S (2 l). Le rythme des applications était comparable à l'ensemble des autres produits. Dans les conditions de cet essai, le produit a présenté un niveau d'efficacité de 68% en fréquence sur grappes et de 92% en intensité (contre 96 et 100% pour la modalité de référence, soufre mouillable à 12,5 kg/ha). L'intérêt de ce produit est également mentionné sur d'autres cultures

Malgré l'intérêt que semblent présenter ces produits (Milsana et Oïkomb) en terme d'efficacité, les tests ne devraient pas être poursuivis compte tenu du fait que leur homologation en France semble très improbable, même si les procédures d'homologation des produits d'origine naturelle étaient simplifiées.

#### **PREV-AM**

*nature du produit* : la matière active est un extrait végétal : essence d'orange obtenue par pression à froid de la peau d'orange. Le produit, d'origine sud africaine, contient également des surfactants et cocktails d'oligo-éléments. Il est utilisé depuis 5 ans aux Etats Unis et en Afrique du Sud pour divers usages insecticides et fongicides.

*statut réglementaire* : En France, il est actuellement commercialisé en tant qu'engrais CE foliaire boraté (sous le nom de Prev-B2). Par ailleurs, ce produit est homologué en Pologne comme fongicide sur cultures légumières et à Chypre comme fongicide et insecticide sur cultures spécialisées (vigne, arboriculture, maraîchage). La molécule est en cours d'inscription au niveau européen, la France en étant le pays rapporteur. Ce produit est conforme au règlement 2092/91.

*mode d'action* : Cet extrait végétal contient une majorité de monoterpène dont du d-limonène, terpène dont l'action est connue pour dégrader les corps gras. Ainsi, il agit sur les corps gras contenu dans les assises cellulaires des êtres vivants (chitine des insectes et des champignons), les rendant plus fragiles à la dessiccation pouvant entraîner la mort. Compte tenu de ce mode d'action, ce produit agit uniquement par contact. Il est annoncé comme ayant des propriétés insecticides et fongicides, sur les formes externes des champignons (spores, mycélium présents à la surface des végétaux), donc un effet curatif. Sur insectes, le facteur discriminant l'efficacité est l'épaisseur de la cuticule : les insectes à corps « mous », ou les larves jeunes sont les cibles privilégiées. Par contre,



l'épiderme des plantes contenant lui aussi des corps gras un surdosage du produit risque d'engendrer des phénomènes de phytotoxicité. Dans les essais mentionnés, dans les conditions d'utilisation recommandée (0,2 à 0,8%) aucun symptôme de phytotoxicité n'a été observé.

*Efficacité* : les résultats présentés par la société distributrice en France annoncent un comportement équivalent à la référence soufre en traitements préventifs et curatifs (essais réalisés en Afrique du Sud). Parmi les essais d'application curatives, certains présentent une efficacité supérieure à la référence. Une application précoce est malgré tout conseillée afin de limiter la pression parasitaire. Un essai réalisé en France, dans un contexte de très forte pression, n'a pas permis d'obtenir d'aussi bons résultats.

Ce produit a été testé en 2006 par l'AIVB sur mildiou, en essai station (inoculation et brumisation) : le comportement du produit était significativement différent du témoin non traité mais inférieur à la référence cuprique, avec une efficacité de l'ordre de 40% sur feuilles et 50% sur grappes, contre 50% sur feuilles et 80% sur grappes pour la modalité de référence. Seul ce produit n'était pas suffisant pour maîtriser le mildiou. Par contre, il pourrait être intéressant dans le cadre d'un programme complet de protection en alternance avec des applications de cuivre.

Compte tenu de son mode d'action, l'efficacité du produit est souvent supérieure en intensité qu'en fréquence d'attaque, sur feuilles ou grappes. L'effet dose de ce produit est très important. Des premiers résultats sur botrytis semblent être encourageants.

*autres caractéristiques* : le mode d'action du produit peut poser des questions par rapport au risque des effets non intentionnels que pourraient provoquer ce produit vis à vis de la faune auxiliaire. Dans le cadre de la lutte anti-oïdium, il peut être associé au soufre en dehors des périodes de forte chaleur.

Une réflexion sur la dose optimale (efficacité/sélectivité sur vigne et sur auxiliaires) est probablement nécessaire avant implantation d'une expérimentation.

#### **PRODUIT DE LA SOCIETE GITEN**

*nature du produit* : le produit est issu d'une plante médicinale chinoise

*statut réglementaire* : le produit est en cours de développement. La formulation n'est pas encore définitive, aussi le produit ne peut pas bénéficier d'autorisation de dérogation pour expérimentation (ADE). Il ne peut être inclus que dans des « essais recherche ».

*mode d'action* : stimulateur des défenses naturelles de la vigne.

*efficacité* : dans les essais, il est testé dans le cadre de programme global, en alternance avec des produits de synthèse. Son comportement est comparable à celui du soufre utilisé dans les mêmes conditions.

#### **TIMOREX**

*nature du produit* : produit à base d'huile essentielle d'arbre à thé (*Melaleuca alternifolia*).

*statut réglementaire* : ce produit israélien n'est pas distribué en France. Compte tenu de la nature de sa composition, il devrait être autorisé au cahier des charges 2092/91.

*mode d'action* : son mode d'action n'est pas clairement identifié. Cependant, il agit en tant qu'inhibiteur de la germination des spores, de la croissance et de la sporulation du mycélium.

*Efficacité* : l'efficacité au laboratoire, en test in vitro, est de 65% de réduction de la germination des conidies à la concentration de 0,001 et 0,01%. A la concentration de 0,1%, l'inhibition est totale. Sur plante en pot en chambre de culture, l'efficacité en intensité d'attaque est de 85% 14 jours après inoculation lorsque le produit est appliqué à 0,1% avant la contamination. En essai en plein champ, le niveau d'efficacité sur grappes est comparable au soufre et au tébuconazole sur chardonnay et cabernet sauvignon avec des applications tous les 7 à 14 jours. Sur carignan, le comportement est comparable au soufre et légèrement inférieur au tébuconazole (Reuveni *et al.*, 2004). L'IFV, station de Nîmes a testé ce produit en 2007 en plein champ. Les résultats obtenus relativisent nettement les résultats israéliens. Dans cet essai, l'efficacité du Timorex a été pratiquement nulle. Des essais





complémentaires semblent être nécessaires pour valider le comportement du produit dans le contexte des vignobles français.

### **ENZICUR**

*nature du produit* : ce produit est composé de lactopéroxydase, enzyme présente dans le lait. Pour une efficacité optimale, il doit être associé en extemporané à un adjuvant à base d'huile de colza.

*statut réglementaire* : ce produit est d'ores et déjà homologué aux Pays Bas sur oïdium de différentes espèces végétales. En France, il est en cours d'homologation sur ces mêmes cibles, dont l'oïdium de la vigne. Le produit n'est pas conforme au cahier des charges 2092/91 et ne pourra donc pas être utilisé en agriculture biologique.

*mode d'action* : ce produit agit sur les cléistothèces en provoquant leur dégradation. De fait, il a une action strictement curative. Cependant, il ne faut pas attendre que la maladie ait atteint un stade trop avancé pour commencer à déclencher les traitements.

*Efficacité* : l'efficacité dépend de la culture sur laquelle il est utilisé et des conditions d'applications. Le maximum d'efficacité a été observée sur culture sous serre (tomate, concombre, jusqu'à 95% d'efficacité). Sur vigne, le niveau de protection est de l'ordre de 70%. L'enzyme qu'il contient n'est active qu'en phase liquide. Plus longtemps le couvert traité reste mouillé, plus le produit est efficace. En application en plein champ, il convient donc d'éviter les périodes trop desséchantes (chaleur, vent). Il est recommandé d'appliquer le produit le matin ou le soir, avec des volumes d'eau importants. De plus, ce produit n'a pas d'action systémique ou translaminaire. Il ne sera actif que sur l'oïdium avec lequel il sera en contact. Une qualité de pulvérisation rigoureuse est donc indispensable (Koppert, communication personnelle, 2007 ; Ravensberg, 2006)

*autres caractéristiques* : compte tenu de son mode d'action strictement curative, ce produit ne peut être envisagé seul pour la protection contre l'oïdium. Il est recommandé de l'utiliser dans le cadre d'un programme complet, incluant d'autres fongicides. Ce produit n'est pas compatible avec le soufre. L'alternance de ces deux matières actives devra tenir compte du délai de carence (non connu à ce jour) imposé avant le retour du soufre sur une vigne traitée avec ce produit. Compte tenu de son mode d'action et de l'absence de résidu qu'il entraîne (pas de LMR), il est conseillé d'utiliser l'Enzicur en fin de campagne.

La tableau n°1 reprend les principales caractéristiques des produits mentionnés ainsi que leur positionnements conseillés.

### **DIVERS**

Au début des années 2000, une équipe de l'université d'Adélaïde (Australie) a lancé un programme de recherche sur les alternatives possibles à l'utilisation du soufre ou des fongicides de synthèse dans le cadre de la lutte contre l'oïdium de la vigne. Ce travail s'est déroulé en deux temps. La première étape a consisté à tester le maximum de produits au laboratoire. Ensuite, les produits ayant montré des efficacités intéressantes dans ces conditions ont été testées en plein champ (Crisp, 2006).

Au laboratoire, les essais ont porté sur l'application des produits sur feuilles de Viognier ou de cabernet sauvignon selon les essais. Le tableau n°2 résume la liste des produits testés au laboratoire et au champ.



Tableau n°1 : Synthèse des recommandations d'usage des différents produits de protection contre l'oïdium\*

Matière active ou spécialité commerciale	Homologation	Autorisé en Bio (règlement 2092/91)	Dose d'utilisation	Mode d'action	Stade phénologique					Efficacité dépendant des conditions climatiques
					Repos hiver**	D - F	F - Fg	Fg - V	En cours de véraison**	
SOUFRE POUDRAGE	OUI	OUI	20-40 KG/HA	Préventif- curatif – partiellement éradiquant						Oui
SOUFRE MOUILLABLE	OUI	OUI	12,5 KG/HA							
BOUILLIE SULFOCALCIQUE	OUI	OUI	2-5%						Non	
CUIVRE	OUI (mais pas pour cet usage)	OUI	VARIABLE						Non	
AQ 10	EN COURS	PROBABLEMENT	?	Curatif					Oui	
STIFENIA	OUI	OUI	1,5 KG/HA	« Préventif »						Non
LAIT	NON***	OUI	5% (A CONFIRMER)	Curatif						Oui
PETIT LAIT	NON***	OUI	3% (A CONFIRMER)							
OÏKOMB	NON (Ces produits ne sont pas utilisables en France)	OUI	2,5 L/HA							Non
MILSANA		OUI	4 L/HA							Non
TIMOREX		???	-							
ENZICUR	A VENIR	NON	-	Curatif						Oui
PREV-AM	A VENIR	OUI	0,8 A 1% (A CONFIRMER)	Curatif						Non

\* Les positionnements sont indiqués par rapport à une efficacité attendue contre l'oïdium. Certains produits peuvent avoir un intérêt pour d'autres usages (non pris en compte dans ce tableau).

\*\* recherche d'une efficacité contre les cléistothèces

\*\*\* ces produits devraient pouvoir faire partie des « Préparations Naturelles Peu Préoccupantes » (en attente de parution au journal officiel)

■ efficacité optimale – positionnement recommandé

■ efficacité partielle – positionnement non recommandé

■ efficacité nulle – positionnement à éviter



Tableau n°2 : Liste des produits testés dans les essais de l'université d'Adelaïde

Produits testés au laboratoire	Composition	Produits testés au champ = les plus efficaces en laboratoire
<b>Synertrol Horti-oil</b>	<i>Huile de colza</i>	<b>Lait</b> : manque d'efficacité lorsque la feuille ou la grappe est mal couverte.
Synertrol Horti-oil + Aminogro		
Biotrol	<i>Huile végétale émulsifiée (83,5%)</i>	<b>Petit lait</b> : manque d'efficacité lorsque la feuille ou la grappe est mal couverte. Traces de résidus lorsqu'il est utilisé à la dose de 45 g/l  <b>Synertrol Horti-oil</b> : risque de phytotoxicité par température > 30°C et en cas de surdosage. L'efficacité de ce produit seul n'est pas suffisante. Il faut l'associer au bicarbonate de potassium (Ecocarb) pour en renforcer le comportement
Biotrol + petit lait		
Biotrol + Penatra		
Biotrol + MR formulation	<i>Formulation à base de méthionie et riboflavine</i>	
Nu-Film	<i>Surfactant non ionique</i>	
Tween 80	<i>Tensio actif non ionique</i>	
Penatra	<i>Adjuvant à base de polyether modifié de polysiloxane</i>	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	<i>Carbonate de sodium</i>	
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	<i>Dipotassium hydrogène phosphate</i>	
<b>Ecocarb</b>	<b><i>Bicarbonate de potassium</i></b>	
<b>Lait (4% de MG)</b>		<b>Bacillus subtilis</b> : efficacité inférieure au lait et petit lait et inférieure par rapport au comportement sous serre. Les conditions du milieu (température élevée, faible humidité) ou des facteurs microbiologique (incapacité pour le B. subtilis de combattre les autres microorganismes présents sur la plante) pourraient expliquer ce manque d'efficacité
<b>Petit lait</b>		
Petit lait + Tween 80		
Protéine de petit lait		
Petit lait + Nu-film		
Coaton ILP	<i>Produit à base de petit lait</i>	
Lactose		
<b>Bacillus subtilis*</b>		
Actizyme	<i>Bacillus subtilis</i>	
<i>Trichoderma harzianum*</i>		
<i>Pseudomonas syringae*</i>		
Nutri-Life 4/20	<i>Complexe microbien</i>	
AQ 10	<i>Ampelomyces quisqualis</i>	
Extrait de milieu levurien		
Bioplus + sucrose		
MR Formulation		
Chitosan	<i>Composant de carapaces de crustacées</i>	
Aminogro		
Aminofit flower	<i>Acides amines</i>	
Aminofit finish		
Vitec kelp	<i>Mélange à base de varec (algues)</i>	
Vitec Combo	<i>Mélange de varec et de poisson</i>	

\* souches non précisées, or le comportement de différentes souches d'une même espèce peuvent être très variables, notamment en ce qui concerne l'agressivité. Le produit à base de *Bacillus subtilis* n'est pas le Sérénade (produit homologué en France contre le botrytis) et homologué aux Etats Unis également contre l'oïdium (le mildiou et la pourriture acide).



Dans les essais au champ, les résultats obtenus avec le lait, le petit lait, et des programmes alternant des applications de bicarbonate + huile et de soufre ou des applications de petit lait et de soufre ont été satisfaisants sur le cépage Verdelho (cépage blanc, sensible à l'oïdium, notamment tardif, mais moins sensible que le chardonnay). Les intensités d'attaque n'excédaient pas 5%, contre 60% dans le témoin non traité. Pour les autres modalités (*B. subtilis*, bicarbonate de sodium seul et huile de colza seule) les efficacités étaient inférieures.

Sur chardonnay, les résultats sont moins réguliers, même avec les modalités les plus performantes citées ci-dessus (Crisp, 2007). Le contrôle de la maladie n'est pas satisfaisant lorsque les différents produits utilisés, qui sont strictement de contact ne peuvent pas atteindre leur cible. C'est notamment le cas pour des vignes trop vigoureuses ou lorsque la canopée est trop retombante.

D'autres produits ont été testés pour cet usage. Compte tenu du peu d'efficacité dont ils ont fait preuve au cours de ces tests, ils ne sont pas développés dans cette synthèse.

Parmi ces produits, on peut citer :

HUILE DE SOJA, TISANE DE VERMICOMPOST testés par le service de la protection des végétaux catalans espagnols. Dans leurs essais, le BENTAZOL 60 (60% SOUFRE + 40% BENTONITE) présentait une efficacité significative (74%) mais inférieure à la référence soufre (93% d'efficacité). Compte tenu de la quantité de soufre apportée par cette modalité, on ne peut pas considérer que ce soit une véritable alternative à l'usage du soufre.

MEGAGREEN (calcite micronisée, produit testé par la chambre d'agriculture de Saône et Loire). La société travaille à une autre formulation du produit pour en améliorer l'efficacité. Ce futur produit ne sera probablement pas autorisé en agriculture biologique dans la mesure où il contient des éléments NPK sous forme minérale (Tribo technologies, communication personnelle).

Enfin, il faut signaler que certaines sources bibliographiques précisent que la teneur en silice des organes a une influence sur la résistance à l'oïdium sur fraisier (Kanto T., 1999) et sur vigne (Blaich, 1998). Cependant, les tests de fertilisation silicatée de vigne dans le but d'augmenter leur résistance à cette maladie se sont avérées inutiles (Blaich, 1998). La teneur des sols en silice est largement supérieure à ce dont la vigne peut extraire et a besoin.

**Conclusion :** aucun produit alternatif n'a une efficacité supérieure au soufre. Certains de ces produits peuvent être envisagés dans le cadre de programmes en alternance avec des applications de soufre, notamment dans les situations de conditions très favorables à l'oïdium. Dans les conditions de faible pression ou sur cépage peu sensible, il semblerait que l'intégralité des applications de soufre puissent être remplacées par l'application des meilleurs des produits alternatifs. Cependant, compte tenu du spectre d'action du soufre et du manque de recul sur la plupart de ces produits, l'arrêt total du soufre semble prématuré en viticulture biologique





#### iv) Cépages résistants à l'oïdium

L'utilisation de variétés hybrides résistantes aux maladies a été envisagée dès les premières attaques majeures de maladies sur la vigne. Le principal exemple est la lutte contre le phylloxera à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Historiquement, la technique de création de variétés hybrides reposait sur un fond génétique large (jusqu'à 8 espèces de *Vitis*) et un système d'intercroisements multiples qui conféraient à la variété ainsi obtenue des caractères issus des différentes espèces sauvages utilisées, en plus du caractère de résistance aux maladies. Parmi ces caractères ceux liés à la qualité du vin ont souvent été réhivitoires pour l'intérêt de ces variétés. En 1974, l'INRA a entrepris des nouvelles recherches sur le sujet avec une approche différente. L'objectif était d'utiliser un fond génétique étroit (*Muscadinia rotundifolia*) et de réaliser les recroisements suivants (6 au total) avec des espèces *Vitis vinifera*. Cette technique a permis d'éliminer plus de 99% du génome de l'espèce *M. rotundifolia* et de conserver au maximum les caractères de *V. vinifera*. Elle a été possible dans la mesure où le déterminisme génétique de la résistance de *M. rotundifolia* à l'oïdium et au mildiou est simple. Plusieurs centaines d'obtentions dont la résistance à l'oïdium est totale (gène Run1) et au mildiou très élevée (gène Rpv1) ont été obtenues à l'issue des 6 croisements successifs. Huit d'entre elles (5 variétés rouges et 3 variétés blanches) sont implantées dans le cadre d'un suivi pour envisager une éventuelle inscription au catalogue dans un délai minimum de 8 ans.

Compte tenu de la simplicité du déterminisme génétique qui confère les résistances à *M. rotundifolia*, des incertitudes existent quant à la durabilité de ces résistances, notamment au vu de la variabilité génétique connue de l'oïdium et de sa capacité d'adaptation (cf résistance aux fongicides unisites). Plusieurs hypothèses sont envisageables pour réduire les risques de contournement de la résistance par le champignon de l'oïdium. Si l'introduction des gènes Run1 et Rpv1 au sein de *V. vinifera* est obtenue par transgénése, il est possible de leur coupler un ou plusieurs gènes codant des protéines PR (Pathogenesis-Related) ayant un effet sur l'oïdium, ou de supprimer l'expression de gènes impliqués dans la pathogénicité de l'oïdium et du mildiou. Si l'introduction des gènes est obtenue par hybridation, il s'agira de coupler les résistances des variétés créées actuellement à celle de la variété Regent, dont les résistances à l'oïdium et au mildiou sont partielles. L'inconvénient de cette technique serait de réintroduire dans les variétés actuellement obtenus des caractères non souhaités, par exemple sur la qualité du vin, de la variété Regent (Bouquet, 2006). Cependant, ce serait la seule voie acceptable en viticulture biologique.

L'utilisation de ces nouvelles variétés seraient limitée aux conditions agronomiques auxquelles elles sont adaptées et aux contraintes réglementaires, notamment des appellations, auxquelles elles devront répondre. Leur usage pourrait solutionner partiellement les difficultés de lutte contre les deux maladies.



## Conclusion

Les éléments présentés dans cette synthèse bibliographique ouvrent la voie à de nombreuses expérimentations. Les questions à aborder dans ces travaux d'expérimentation sont de différentes nature :

- Comment améliorer le niveau de protection des parcelles les plus sensibles ?

Dans ces situations, au vu des éléments présentés ci-dessus, il ne semble pas envisageable de substituer totalement le soufre par des produits alternatifs. Les solutions envisageables sont d'associer le soufre à certains produits alternatifs aux propriétés complémentaires ou d'alterner les applications de soufre et ces produits alternatifs. Ces solutions devront être réservées aux situations les plus critiques dans la mesure où elle ne permet pas de réduire les doses de soufre et surenchérit le coût des programmes anti-oïdium. Le préalable à cet objectif sera de vérifier l'efficacité du programme soufre proposé dans ces situations et de vérifier la qualité de pulvérisation.

- Comment réduire les apports de soufre sur les parcelles peu à moyennement sensibles ?

Pour répondre à cette question, différentes approches peuvent être envisagées :

- réduire le nombre de traitement en définissant des RDD adaptées aux spécificités de la viticulture biologique
- tester l'efficacité du soufre à dose réduite
- tester l'efficacité de produits alternatifs seuls ou dans le cadre de programme associant du soufre
- Quelles stratégies proposer en cas d'attaque déclarée d'oïdium ?

Pour répondre à cette dernière question, le préalable sera de préciser les conditions dans lesquelles la situation est « encore rattrapable » !!! L'efficacité curative des différents produits dépendra avant tout de l'état de développement de l'oïdium. Il est illusoire de trouver une solution en cas d'attaque déjà significative sur baies. Dans ce contexte, différents produits annoncés comme ayant des propriétés curatives pourront être testés : soufre, lait, petit lait, lactopéroxydase, Prev-AM.

- Quel intérêt de la maîtrise des cléistothèces ?

La réponse à cette question semble très dépendante des conditions de contamination du vignoble considéré. Il est probable que le niveau de réponse apporté soit très variable selon les régions. Là encore, différents produits mériteraient d'être testés : cuivre (notamment dans les conditions d'utilisation des viticulteurs biologiques compte tenu de la limitation des usages de cette matière active), AQ 10, et éventuellement lait, petit lait, lactopéroxydase, Prev-AM.

Telles sont les principales questions qu'il pourrait être intéressant d'aborder dans le cadre d'expérimentations. D'autres questions posées par des producteurs pourraient faire l'objet de travaux complémentaires. Parmi celles-ci, on peut citer : tester l'efficacité de différentes formes de soufre poudre à quantité comparable, est ce que la charge inerte d'un poudrage en réduit l'efficacité ? Est-il préférable de fractionner les apports de soufre ou utiliser une forte dose en une seule fois ? Est-il nécessaire de renouveler une application de soufre poudrage suite à une pluie ? Si oui, sous quelles conditions ? Quelle est l'efficacité de la bouillie sulfocalcique dans les conditions d'emploi préconisées en France ?

Dans l'ensemble des essais, il pourra être intéressant d'estimer les effets non intentionnels des produits ou stratégies testées.



## Bibliographie

- Angeli D.<sup>1</sup>, Maines L.<sup>1</sup>, di Marino E.<sup>2</sup>, Mescalchin E.<sup>2</sup>, Pertot I.<sup>1</sup>. (2006)** : Role of *Ampelomyces quisqualis* on grapevine powdery mildew in Trentino (northern Italy) vineyards. In : Compte-rendu du groupe "Phytopathogène" de l'OIBC réuni à Spa en 2006. <sup>1</sup> SafeCrop Centre, Istituto Agrario di S. Michele all'Adige (Italie), <sup>2</sup> CAT, IASMA, S. Michele all'Adige. 4 p.
- Angeli D.<sup>1</sup>, Longa C.<sup>1</sup>, Bozza E.<sup>2</sup>, Maines L.<sup>2</sup>, Elad Y.<sup>1</sup>, Simeone V.<sup>1</sup>, Abou Assaf H.<sup>1</sup>, Pertot I.<sup>1</sup>. (2006)** : Evaluation of new biological control agents against grapevine powdery mildew under greenhouse conditions. In : Compte-rendu du groupe "Phytopathogène" de l'OIBC réuni à Spa en 2006. <sup>1</sup> SafeCrop Centre, Istituto Agrario di S. Michele all'Adige (Italie), <sup>2</sup> Department of plant pathology and weed research, Bet Dagan (Israël), <sup>3</sup> Istituto Agronomico Mediterraneo, Bari (Italie). 4 p.
- Bessis R.** (1987) : Action du soufre sur l'oïdium de la vigne. Intérêt des traitements précoces en fonction de la biologie du champignon et de son mode d'hibernation. In : Compte-rendu du symposium international du soufre élémentaire en agriculture, 25-27 mars 1987. Laboratoire de Sciences de la vigne, Université de Bourgogne, p. 71-79
- Blaich R., Grundhöfer H.** (1998) : the influence of silica fertilization in the resistance of grapevines to powdery mildew. *Vitis* 37 (1), Institut pour les fruits, légumes et vins, Université d'Hohenheim, p. 21-26.
- Bouquet A.** (2006) : Les variétés de vigne résistantes aux parasites. De l'hybridation interspécifique aux OGM – Essai de prospective. *Revue des œnologues* N°121. INRA Montpellier. p. 1-5.
- Bouquet A.** (1985) : Introduction dans l'espèce *Vitis vinifera L.* d'un caractère de résistance à l'oïdium issu de l'espèce *Muscadinia rotundifolia* (Michx.) Small.. In compte rendu du Symposium international de génétique de la vigne, Vérone – Italie. INRA Montpellier. p. 141-146.
- Bourdier L., Agulhon R.** (1987) : Le soufre dans la protection du vignoble français : polyvalence d'action et sécurité. *Progress Agricole et Viticole*, 104, n°12. Institut technique de la Vigne et du Vin. p. 293-296
- Bourgeois H.** (2002) : le soufre dans tous ses états. *PHM-Revue Horticole* (N° 436). p. 43-44.
- Branas, J., Bernon, G., Damiens, P., Nouvel, J.** (1942) Recherches sur les soufres. *Bulletin de l'OIV*, p.1-43.
- Branas, J., Bernon, G., Bellet, H., Fabre de Latude, H.** (1943) Nouvelles recherches sur les soufres. *Bulletin de l'OIV*, p.1-39.
- Claverie M.** (2005) : Que faire contre l'oïdium – drapeaux ? Synthèse 2002-2004. In compte rendu des Entretiens Viti-vinicoles Rhône-Méditerranée. *ITV France*. P. 11-13.
- Collectif Chambres d'Agriculture, ITV France, DRAF-SRPV, GRAB, La Tapy, ENTAV, AIVB-LR** (2008) : Guide des vignobles Rhône Méditerranée – Raisonement de la conduite et de la protection phytosanitaire. Pages consacrées à l'oïdium.
- Crisp P., Wicks W.J., Lorimer M., Scott E.S. (2006-1)** : An evaluation of biological and abiotic controls for grapevine powdery mildew. 1. Greenhouse studies. Australian research of grape and wine research 12, Université d'Adélaïde, Institut de recherche et de développement en Australie du Sud, Biometric SA, Université d'Adélaïde. p. 192-202
- Crisp P., Wicks W.J., Lorimer M., Scott E.S. (2006-2)** : An evaluation of biological and abiotic controls for grapevine powdery mildew. 2. Vineyard trials. Australian research of grape and wine research 12, Université d'Adélaïde, Institut de recherche et de développement en Australie du Sud, Biometric SA, Université d'Adélaïde. p. 203-211
- Crisp P.<sup>1</sup>, Wicks T.J.<sup>2</sup>, Troup G.<sup>3</sup>, Scott E.S.<sup>1</sup>** (2006-3) : Mode of action of milk and whey in the control of grapevine powdery mildew. *Australian Plant Pathology*, n°35. <sup>1</sup> Université d'Adélaïde, <sup>2</sup> Institut de recherche et de développement en Australie du Sud, <sup>3</sup> Ecole de physique et d'ingénierie des matériaux. P. 487-493.



- Crisp P. (2007)** : Managing powdery mildew with less or no sulfur. Notice. 3 p.
- Crozier P. (1995)** : Rapport d'expérimentation 1995. Chambre d'Agriculture de Saône et Loire. 5 p.
- Crozier P. (2006)** : Compte-rendu de travaux 2006, bilan de campagne, Expérimentation oïdium. Chambre d'Agriculture de Saône et Loire. 8 p.
- Dandrieu M. (1928)** : Etude sur les soufres noirs. Thèse de la faculté de pharmacie de Montpellier. 62 p.
- De Mortillet (1863)** : Manuel du soufrage de la vigne. Extrait du « Sud-Est », journal agricole et horticole. 14 p.
- Discours M., Vernet S. (1987)** : les différentes présentations du soufre élémentaire. In : Compte-rendu du symposium international du soufre élémentaire en agriculture, 25-27 mars 1987.
- English-Loeb G., Norton A.P., Gadoury D., Semm R., Wilcox W. (2007)** : Biological control of grape powdery mildew using mycophagous mites. The american phytopathological society, Cornell university, pp 421-429.
- Gadoury D. M., Pearson R. C., Riegel D. G., Seem R. C., Becker C. M. (1994)** : Reduction of powdery mildew and other diseases by over-the-trellis applications of lime sulfur to dormant grapevines. Plant disease, vol 78 N°1, Department of Plant Pathology, Cornell University, p. 83-87.
- Galet P. (1999)** : Précis de pathologie viticole. P.7-19.
- Guichou S. (2003)** : Activité acaricide du soufre sur *Tetranychus urticae* Koch (acari : tetranychidae) : action des facteurs du milieu et variabilité des réponses. Thèse de doctorat, ENSA Montpellier, 126 p. + annexes.
- Julien A. (1998)** : L'industrie du soufre utilisé en viticulture depuis 1850. XX p.
- Kanto T., Miyoshi A. (1999)** : Suppressive effect of potassium silicate on strawberry powdery mildew. In résumés des interventions de la première conférence internationale sur l'oïdium, septembre 1999, Avignon, Hyogo prefectural Agricultural Institute. 1 p.
- Lafon R. (1944)** : Comment combattre l'oïdium sans soufre ni permanganate. Bulletin de l'OIV, n°162. p. 53-57.
- Le Canu (1861)** : Instructions sur le soufrage de la vigne. Manuel. 36 p.
- Leclerc E., Muckensturm N., Collet L. (1995)** : Etude des facteurs favorisant l'oïdium. Service régional de la Protection des végétaux Champagne et Midi-Pyrénées. P. 114-115
- Marès M.H. (1857)** : Manuel pour le soufrage des vignes malades : emploi du soufre et ses effets. Chambre consultative d'agriculture de l'Hérault, 94 p.
- Ministère de l'agriculture (2003)** : Arrêté abrogeant l'arrêté du 7 septembre 1949 portant liste des produits industriels simples non soumis à l'homologation. Journal officiel de la république française
- Ministère de l'agriculture (1949, mise à jour 3 juillet 1990)** : Liste des produits industriels simples non soumis à l'homologation. Journal officiel de la république française
- Novoa D. (1995)** : essais de lutte contre la formation des cleistothèces d'*Uncinula necator*. Rapport d'expérimentation, Novex. 6 p.
- Payan J.J. (1987)** : Mise en évidence de l'action curative du soufre dans la lutte contre l'oïdium de la vigne. In : Compte-rendu du symposium international du soufre élémentaire en agriculture, 25-27 mars 1987. Institut Technique de la Vigne et du Vin. P.
- Payan J.J. (1994)** : Influence de la bouillie bordelaise sur la formation des périthèces d'oïdium. Progrès Agricole et Viticole, 111, N°5, Institut Technique de la Vigne et du Vin. P. 103-105.
- Pezet R. (1987)** : Effet physiologique du soufre élémentaire sur les plantes cultivées : aspects quantitatifs et qualitatifs. In : Compte-rendu du symposium international du soufre élémentaire en agriculture, 25-27 mars 1987. Station fédérale de recherche agronomique de Changins, p. 39 – 50.
- Raffineries du Soufre Réunies (1982)** L'oïdium de la vigne. Document technique, p.1-36.
- Ravensberg W. (2006)** : A novel, anti-microbial product for use as an agricultural bactericide and fungicide. Intervention orale au congrès de l'ABIM, 34 slides.





- Reuveni M., Pipko G., Neifeld D., Finkelstein E., Maljka B., Hornik Y., Zahavi T., Ovadia S.** (2004) : Timorex : a new organic fungicide for the control of grape powdery mildew. Golan Institute Research, société Biomor, Ministère de l'agriculture israélien, Karnei Yosef. 5p.
- Reyes J.** (2005) : Résultats d'expérimentation sur l'oïdium de la vigne. Compte rendu de la rencontre transfrontalière catalane du 17 juin 2005. Service Régionale de la protection des végétaux Catalogne. 2 p.
- Rouzet J.<sup>1</sup>, Magnien C.<sup>2</sup>, Pueyo C.<sup>1</sup>, Jacob S.<sup>3</sup>, Jacquin D.<sup>2</sup>** (2007) : Un exemple d'OAD : dix ans de travaux sur l'oïdium de la vigne. Phytoma, N°603. <sup>1</sup>SRPV Languedoc, <sup>2</sup>SRPV Bourgogne, <sup>3</sup>FREDON Bourgogne. p.26-29.
- Simon C.** (2007) : Stifénia doit faire ses preuves. Revue La Vigne, n°191. p 79.
- Université du chili** (1994) : Evaluation of sun spray for the control of powdery mildew on grapes. Season 1993-1994. Rapport d'expérimentations. 55 p.
- Vernet S.** (1994) : Le soufre dans la lutte contre l'oïdium de la vigne 1994. progrès Agricole et Viticole, 111, n°7. p. 155-159.
- Williams J.S., Cooper R.M.** (2004) : the oldest fungicide and newest phytoalexin – a reappraisal of the fungitoxicity of elemental sulfur. Plant pathology 53. Département de biologie et de biochimie, Université de Bath. P. 263-279.