

« RAISONNEMENT DE L'USAGE DU CUIVRE EN AB »

Utilisation du cuivre en viticulture, arboriculture et maraîchage biologique : impact sur les sols et recherche de méthodes de réduction des doses et d'alternative à son utilisation

SYNTHESE FINALE

Action de recherche 2002/2003 financée par l'Enveloppe Recherche de l'ACTA

N° du projet : 02/22AB – ICTA Pilote : ITAB

Titre abrégé : RAISONNEMENT DE L'USAGE DU CUIVRE EN AB

ICTA associés : ITV, Ctifl

Partenaires : INRA de Bordeaux, INRA de Dijon, INRA d'Avignon

I - OBJECTIFS

Ce programme a été élaboré grâce à l'association des compétences de l'INRA et de plusieurs ICTA, sur une problématique commune à plusieurs espèces (vigne, pêcher, pommier, tomate) : l'usage du cuivre et ses conséquences en agriculture biologique. Il a pour objectif de proposer des réponses à court et moyen terme, sur deux plans différents. Un plan réglementaire avec une obligation de réduction des apports de cuivre métal à 6kg/ha/an à brève échéance et un plan environnemental : il paraît en effet difficile à une agriculture qui se veut écologique et durable de maintenir l'usage de produits dont on connaît à terme la nocivité sur les sols et sur la vie qui s'y développe.

Au vu de l'importance prépondérante du cuivre pour la maîtrise d'un très grand nombre de pathogènes (très large spectre d'action) en agriculture biologique, trois types d'approches du problème sont proposées dans ce programme :

- la première concerne les sols et les moyens d'évaluer et de maîtriser les impacts non intentionnels du cuivre sur la biocénose ; elle était menée par l'INRA de Dijon
- la seconde vise à optimiser les produits et techniques actuellement utilisées afin de réduire les doses apportées ; elle était menée par l'ITV, l'ITAB/GRAB¹ et l'INRA de Bordeaux pour la viticulture, le Ctifl pour l'arboriculture et l'ITAB/GRAB et l'INRA d'Avignon pour les tomates d'industrie.
- la dernière approche est plus prospective puisqu'elle a pour but d'identifier des produits ou des techniques alternatifs à l'usage du cuivre. ITAB/GRAB et INRA de Bordeaux pour la viticulture, ITAB/GRAB et Ctifl pour l'arboriculture, ITAB/GRAB et INRA d'Avignon pour les tomates d'industrie.

Les objectifs de ce programme étaient donc :

- d'acquérir des connaissances supplémentaires sur le comportement des micro-organismes dans des sols à fortes teneurs en cuivre et d'étayer par des considérations et des observations scientifiques *in situ*, les niveaux de limitation des doses de cuivre. En d'autres termes est ce qu'avec une limitation des apports de cuivre à 6kg/ha/an, l'activités des micro-organismes est préservées dans la plupart des sols ?
- d'identifier les méthodes permettant d'obtenir une protection satisfaisante avec des doses minimales
- de mettre au point des techniques et d'identifier des produits qui permettraient de se passer de l'usage du cuivre ou au moins de réduire le nombre de traitement. Les deuxième et la troisième partie pouvant être complémentaires.

II – MOTIVATIONS

¹ Pour la partie ITAB, le volet technique concernant la vigne, le pêcher, le pommier et les tomates d'industrie a été délégué au GRAB par convention, d'où la notation ITAB/GRAB concernant ces actions dans le reste du document.

Le cuivre est un fongicide très largement utilisé en agriculture biologique (c'est un des rares à être autorisé avec le soufre) pour lutter contre de très nombreux agents pathogènes, cependant en raison de son accumulation dans les couches superficielles du sol, il présente, à long terme, une toxicité pour les micro-organismes du sol. En raison d'un durcissement de la réglementation concernant son usage (limitation à 6kg/ha/an en 2006), la protection des cultures biologiques contre les pathogènes risque de devenir problématique. La recherche d'alternative au cuivre est donc une des priorités de la recherche en agriculture biologique.

III - MATERIELS ET METHODES UTILISEES

III.1 - Evaluation des impacts non intentionnels du cuivre sur la biocénose des sols. (INRA Dijon)

Pour préciser les relations entre cuivre accumulé dans les sols et propriétés biologiques divers indicateurs biologiques ont été suivis: biomasse microbienne, activité de nitrification, populations de *Rhizobium leguminosarum* bv *trifolii* (bactéries capables de noduler le trèfle souterrain), populations de champignons endomycorhiziens (abondance et diversité des spores extraites par tamisage humide). Ces études ont été menées d'une part à l'échelle régionale, intégrant les effets à long terme et une inévitable variabilité des sols, d'autre part à l'échelle locale, intégrant les effets à moyen terme et réduisant la variabilité spatiale. Deux sites ont été suivis : une étude menée à l'échelle du vignoble champenois de la Marne et l'étude d'un site en agriculture biologique en Bourgogne (vignoble des coteaux du Val de Saône, à Auvillars). Cette étude s'est déroulée selon deux types de méthodes :

- D'une part, des enquêtes à l'échelle régionale intégrant des effets de longue durée et des enquêtes à l'échelle locale intégrant des effets de moyenne durée ont été effectuées pour rechercher d'éventuelles relations entre teneur en cuivre et propriétés biologiques des sols. On mesure les principales caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'échantillons de sol prélevés dans des vignes. La teneur en cuivre (cuivre total ou cuivre extractible à l'EDTA) est utilisée comme variable explicative, avec d'autres variables telles que la teneur en argile, en matière organique, en phosphore assimilable (P Olsen), le pH ou l'humidité pondérale du sol (H%). Les variables à expliquer sont les paramètres biologiques retenus comme étant des déterminations pertinentes et fiables, utilisables dans la pratique et interprétables. Compte tenu de l'importance prépondérante du type de sol sur les paramètres biologiques, cette approche n'est pertinente que pour des ensembles géographiques homogènes

- D'autre part, des expérimentations de courte et moyenne durée ont été lancées pour préciser les effets du cuivre sur quelques indicateurs biologiques et étudier les mécanismes de résilience qui permettent à la microflore du sol de s'adapter à une contamination progressive du milieu. Afin d'isoler de façon rigoureuse le facteur cuivre, il est indispensable de mettre en place une expérimentation spécifique dans laquelle la seule variable serait la quantité de cuivre apportée. C'est ce que nous avons fait en installant au printemps 2002 trois essais identiques formés chacun de 3 traitements x 4 répétitions, soit 12 parcelles de 3,24 m² de surface élémentaire : à Epoisses, sur sol limono-argileux calcique, à Auvillars, sur sol sablo-limoneux, précédemment non cultivé (jachère), à Auvillars, sur sol sablo-limoneux, cultivé en vigne

Les traitements comparés sont : T = témoin sans cuivre apporté ; B1 = bouillie bordelaise à raison de 8 apports (séparés d'une semaine) correspondant à 2 kg.ha⁻¹ de cuivre métal. Ceci correspond à un total annuel de 16 kg.ha⁻¹ soit la dose homologuée. B3 = bouillie bordelaise à dose triple, soit 8 apports de 6 kg.ha⁻¹ de cuivre métal pour un total annuel de 48 kg Cu.ha⁻¹.

Les essais ont été mis en place pour un suivi d'un an à Auvillars (chez un viticulteur) et 3 ans à Epoisses (sur un domaine appartenant à l'INRA). Pour chacun de ces essais, les échantillons ont été prélevés avant apport (t0) puis après 1, 2 et 4 mois après le début des apports (prélèvement nommé respectivement t1, t2 et t4). Le site d'Epoisses est très homogène et permettra bien un suivi de 3 ans (prélèvements à 12, 14, 16, 24, 26, 28 et 36 mois). Dans le site d'Auvillars, où la variabilité spatiale est non négligeable, c'est plutôt l'évolution en cinétique de chaque parcelle qui sera à suivre, même si l'existence de 4 blocs permet une analyse de variance classique.

III.2. Optimisation des produits et des techniques actuellement disponibles afin de réduire les doses apportées

L'objet de cette seconde partie du programme était de tester soit des produits faiblement dosés en cuivre, soit des méthodes (lessivage) permettant de réduire les doses ou le nombre de traitement apportés sur les cultures.

III.2.1 Etude de la résistance au lessivage des produits cupriques (vigne)

→ La première étude sur le lessivage des produits cupriques est menée par le GRAB en conditions contrôlées. A quelle dose de cuivre faut-il renouveler un traitement après une pluie ?

L'essai comprend un dispositif - essai bloc à 6 répétitions(2002) ou 7 répétitions (2003) avec témoin incorporé. La parcelle élémentaire est un pot (1 plant par pot). L'essai se fait sur des plants de Grenache (2002) et d'Alphonse Lavallée (2003) élevés en pots et en plein air. On note les dégâts sur feuilles

Le produits utilisés est un hydroxyde de cuivre CHAMP DP à 37.5 % de cuivre.

Traitement :

- Traitement initial : 400 g et 600 g de cuivre métal (par ha)
- Lessivage par pluie artificielle de 13 mm (2002), 13 et 26 mm(2003)
- Renouvellement du traitement cuivrique
- Inoculation 24 h après (légère brumisation, contamination, brumisation) à partir d'une suspension de sporanges

Années	Modalités	Dose de cuivre lors du traitement initial (g de cuivre / ha)	Hauteur de pluie (mm)	Dose de cuivre lors du renouvellement (g de cuivre / ha)
2002 et 2003	Témoin	0	13	0
	T1 = 400/0	400 g	13	0
	T2 = 400/200	400 g	13	200 g
	T3 = 400/400	400 g	13	400 g
	T4 = 600/0	600 g	13	0
	T5 = 600/200	600 g	13	200 g
	T6 = 600/400	600 g	13	400 g
	T7 = 600/600	600 g	13	600 g
2003	Témoin	0	26	0
	T1 = 400/0	400 g	26	0
	T2 = 400/200	400 g	26	200 g
	T3 = 400/400	400 g	26	400 g
	T4 = 600/0	600 g	26	0
	T5 = 600/200	600 g	26	200 g
	T6 = 600/400	600 g	26	400 g
	T7 = 600/600	600 g	26	600 g

→ La seconde étude de lessivage est menée par l'ITV sous simulateur de pluie

Le fongicide retenu (HELIOCUIVRE : hydroxyde de cuivre + dérivés terpéniques) apportait à sa dose alors homologuée 1600g/ha de cuivre. La campagne 2001 ayant montré l'intérêt de doses nettement inférieures (sous réserve de respecter un certain seuil de pluie), ce produit a été dans le contexte 2002 utilisé à des doses de 1600, 800, 600 et 400 g/ha de cuivre renouvelées en fonction de la pluviométrie ou de la vitesse de croissance. Parallèlement des capteurs ont été disposés en début d'essai et prélevés après différents épisodes pluvieux pour mesurer le cuivre présent et donc estimer la lessivabilité des différentes modalités.

La faible pression de mildiou en 2002 n'a pas permis de valider l'efficacité biologique des différentes doses mais a confirmé que la pleine dose (1600g Cu /ha, renouvelés tous les 30mm) générait une accumulation de cuivre sur les capteurs, contrairement aux doses de 600 et 800g/ha (renouvelées tous les 20mm), la dose de 400g/ha semblant apparemment lessivée par seulement 10mm de pluie.

En 2003 de nouvelles doses d'homologation ont été délivrées aux fongicides Hélicuivre (1200g. Cu/ha au lieu de 1600) et Bouillie Bordelaise RSR Disperss (1500g. Cu/ha au lieu de 2400). Ces nouvelles doses ont servi de base à une étude comparative d'efficacité au champ ainsi qu'à l'étude du lessivage sous simulateur de pluie, ce dispositif permettant de s'affranchir des précipitations naturelles par trop aléatoires.

Le but de l'étude lessivage était de mesurer :

- l'impact de différentes hauteurs de pluie
- le rôle de l'intensité de la pluie,
- le rôle du délai entre traitement et événement pluvieux
- une éventuelle différence entre Hélicuivre et BB RSR Disperss,

la connaissance de ces critères devant permettre de mieux raisonner le renouvellement ou non d'une protection cuprique. Le protocole visant également à définir des processus fiables et aisément répétables pour aboutir à un test standard de résistance au lessivage, les essais n'ont porté que sur les feuilles.

Taille de l'échantillon et méthode de pulvérisation :

Les dosages de cuivre sur des feuilles de même âge prélevées dans l'essai au champ ont mis en évidence une variabilité très importante. Sur 50 feuilles la précision relative au risque alpha 0.05 était de 15.4%, soit pour une précision visée de 5% un échantillonnage théorique de 470 feuilles par modalité. Cette variabilité étant directement liée à la pulvérisation pneumatique à dos, il a été décidé de réaliser les applications à l'aide d'une tour de Potter, un échantillon de 10 feuilles suffisant alors à obtenir une précision relative inférieure à 10%. Parallèlement des dosages de cuivre sur lots de 50 feuilles ont permis de corréliser dose/ha et dépôts de cuivre par cm² de feuille. La concentration des bouillies utilisées dans la tour de Potter a donc pu être calculée en vue d'obtenir des dépôts comparables à ceux observés au champ. Il faut toutefois préciser que pour un dépôt identique en quantité, le spectre de pulvérisation est totalement différent de celui généré par un pulvérisateur pneumatique, la tour de Potter produisant des gouttelettes beaucoup plus fines. Pulvérisation et lessivage sont réalisées exclusivement sur la face supérieure des feuilles, pour rester en cohérence avec la réalité, 15% maximum du produit étant présent en face inférieure (Résultats de C. Vernet, ITV Montpellier). La pulvérisation est faite feuille par feuille, celles-ci étant disposées horizontalement. Les feuilles sont rapidement séchées puis disposées sur un grillage incliné à 45°, sous le simulateur de pluie.

Simulateur de pluie :

Développé par J. ASSELINE (1)(2), l'appareil utilise un bras oscillant doté d'un gicleur alimenté à pression constante (0.55 bar). Le dispositif est installé à 3.5m de hauteur sur une structure métallique pyramidale. Le débit du gicleur étant constant, hauteur et intensité de pluie sont définies par la vitesse d'oscillation. La zone de mesure est limitée à une surface de 1 m², située à la verticale du diffuseur.

Hauteur et intensité sont pilotées automatiquement par un logiciel, un dispositif de récupération des eaux permet de vérifier la quantité émise.

Diamètre des gouttes, hauteur de chute et pression assurent aux gouttes émises des caractéristiques (notamment énergie cinétique) statistiquement représentatives des pluies naturelles. La principale limite du système est qu'une augmentation de l'intensité de pluie se traduira par un cycle d'oscillation plus court sans modification de la taille des gouttes, ce qui n'est pas forcément le cas dans la nature. Le dispositif est donc en théorie davantage adapté à une comparaison de hauteurs de pluie plutôt qu'à leur intensité. (L'émission de gouttes plus représentatives d'un orage violent est toutefois parfaitement possible mais nécessite de recalibrer l'appareil et de refaire une étude d'homogénéité de pulvérisation...)

III.2.2 Etude des réductions de doses de cuivre, sur vigne (INRA Bordeaux et ITV), pommier (Ctifl), pêcher (GRAB/ITAB) et tomate (GRAB/ITAB)

III.2.2.1 Vigne (mildiou)

Le premier essai est mené par l'ITV, sur merlot (plantation : 2.5 m x 1 m, soit une densité théorique de 4000 pieds/ha. Mode de conduite : cordon bilatéral avec 3 niveaux de fils : 1 porteur, 2 releveurs). Le dispositif expérimental comprend : 4 blocs, parcelles élémentaires de 10 cep, traitements par appareil STIHL SR 400 pneumatique à dos, face par face de 62 à 150l/ha. Essai installé à côté d'une station de brumisation en vue

d'une contamination naturelle par proximité. Le renouvellement des différents traitements se fait en fonction du cumul de pluie ou, en l'absence de pluie, si plus de 20 cm de végétation nouvelle sont présents.

Tableau I : Modalités étudiées

N°	Produits	Dose/ha	Cu/ha/tt en g	Matière active	Renouvellement si
1	HELIOCUIVRE	1.5l	600	Hydroxyde de Cu	Pluie>20mm
2	HELIOCUIVRE	1.5l	600	Hydroxyde de Cu	Pluie>30mm
3	HELIOCUIVRE	3.0l	1200	Hydroxyde de Cu	Pluie>30mm
4	HELIOCUIVRE	3.75l	1500	Hydroxyde de Cu	Pluie>30mm
5	BB RSR Disperss	7.5 kg	1500	Sulfate de Cu	Pluie>30mm
6	SERENADE	5.0l	0	<i>Bacillus subtilis</i>	Pluie>20mm

Tableau II : Apports annuels de cuivre par hectare des 5 traitements réalisés

	APPORTS REELS	APPORTS THEORIQUES
1 HELIOCUIVRE 600	2838	2850
2 HELIOCUIVRE 600	2754	2850
3 HELIOCUIVRE 1200	5664	5700
4 HELIOCUIVRE 1500(*)	7245 (**)	7125
5 BB RSR DISPERSS 1500	6870 (**)	7125

(*) Cette dose supérieure à celle homologuée -et donc interdite- sert de comparatif à la BB RSR

(**) Incompatible avec la future réglementation AB

Le second essai vigne est mené par l'INRA de Bordeaux

Les produits testés sont : OSMOBIO Cuivre, association d'hydroxyde de cuivre (62,5 g/l) et d'extraits concentrés d'algues marines. Ce produit est actuellement commercialisé en tant que bio-stimulant foliaire et AMINOCUIVRE, fertilisant liquide contenant du sulfate de cuivre complexé par des oligo-peptides (5% Cu).

Essais sur jeunes plantes

Le matériel végétal était constitué de boutures à deux yeux de Cabernet sauvignon, enracinées en serre puis plantées en pleine terre au mois de juin. Le dispositif expérimental était de type blocs aléatoires complets à 8 répétitions. Chaque parcelle élémentaire était constituée de 4 plantes.

Pour 3 doses différentes de cuivre métal (375, 600 et 1000 g/ha) ces deux spécialités ont été comparées aux références Sulfate de cuivre (BB RSR Disperss) et Hydroxyde de cuivre (Champ DP). Les modalités comparées étaient les suivantes :

Produits et doses évaluées au champ sur jeunes plantes

Traitements	Dose/ha	
	Cu métal (gr)	Produit formulé (kg ou l)
Témoin non traité	-	-
BB Rsr Disperss ^a	2400	12
Champ DP ^b	1000	2,7
Champ DP ^b	600	1,6
Champ DP ^b	375	1
BB RSR Disperss ^a	1000	5
BB RSR Disperss ^a	600	3
BB RSR Disperss ^a	375	1,87
Osmobio	1000	16
Osmobio	600	9,6
Osmobio	375	6
Aminocuire	1000	20
Aminocuire	600	12
Aminocuire	375	7,5

^a BB RSR Disperss : 20% de cuivre du sulfate

^b Champ DP : 37,5% d'hydroxyde de cuivre

Les traitements ont été réalisés au pulvérisateur à jet projeté (pression 2.5 bar) jusqu'au point de ruissellement. Sept applications ont été réalisées à la cadence de 7 jours. Une contamination artificielle a été réalisée à l'aide d'une suspension de sporanges (50000 sporanges/ml) directement sur chaque parcelle élémentaire (1 rameau par plante). Les pluies naturelles et des brumisations ont permis une extension de la maladie sur l'ensemble des parcelles. Trois évaluations du niveau d'attaque des plantes par le mildiou ont été réalisées : 6 jours après la cinquième application, 2 et 12 jours après la septième application. Ces évaluations portent sur l'ensemble du feuillage (une note par parcelle élémentaire) et sont exprimées en pourcentage de dégâts moyens.

Essai sur ceps fructifères

Le matériel végétal était constitué de ceps fructifères de cépage Cabernet sauvignon, âgés de 11 ans et plantés à la densité de 5000 ceps/ha (2m x 1m). Le dispositif expérimental était de type blocs aléatoires complets à 4 répétitions. Chaque parcelle élémentaire était constituée de 3 ceps sur un rang. Les deux spécialités ont été appliquées à la dose de 375 g Cu métal/ha et comparées à une référence hydroxyde de cuivre (Champ DP). Les modalités comparées étaient les suivantes :

Produits et doses évaluées au champ sur ceps fructifères

Traitements	Dose /ha	
	g Cu métal	Produit formulé (kg ou l)
Témoin non traité	-	-
Champ DP ^a	1500	4
Champ DP ^a	375	1
Osmobio	375	6
Aminocuire	375	7,5
Champ DP + Heliosol 2% ^b	375	1

^a Champ DP : 37,5% d'hydroxyde de cuivre ^b Heliosol adjuvant composé de 665 g/l d'alcools terpéniques

Les produits ont été appliqués au pulvérisateur à jet projeté (pression 2.5 bar) jusqu'au point de ruissellement. Six applications ont été réalisées à la cadence de 8-10 jours à partir du stade boutons floraux séparés (55 selon échelle BBCH) jusqu'à la véraison complète (12 août).

Une contamination a été réalisée sur feuilles 7 jours après la première application, à l'aide d'une suspension de sporanges titrant 60 000 sporanges/ml. Huit feuilles par ceps ont été contaminées sous brumisation. D'autres brumisations ont ensuite été réalisées afin de permettre l'extension de la maladie sur le feuillage et sur les grappes.

Plusieurs évaluations du niveau d'attaque de la maladie ont été effectuées :

Sur grappes : Les notations ont été réalisées sur 50 grappes par parcelle élémentaire. Elles sont exprimées en pourcentage de grappes attaquées (fréquence) et en pourcentage de dégâts moyens par grappes (intensité). Deux notations ont été effectuées, au stade grains de pois (75) et début véraison (81).

Sur feuilles : Elles ont porté sur l'ensemble du feuillage (une note par parcelle élémentaire). Elles sont exprimées en pourcentage de dégâts moyens sur l'ensemble du feuillage traité. Trois notations ont été effectuées, au stade début véraison (75) puis 15 et 30 jours après l'arrêt des traitements.

III.2.2.2 Pommier (tavelure)

L'objet de cet essai est d'étudier les possibilités de raisonner les applications à base de cuivre en optimisant le positionnement par rapport au cycle biologique de la Tavelure. Au total, huit applications ont été réalisées en préventif, la fréquence de renouvellement oscillait en moyenne entre 6 et 7 jours. Les deux modalités curatives ont été positionnées pour la première fois le 1^{er} avril. Leur nombre était de quatre, le dernier traitement se positionnant le 29 avril.

<i>Dates de traitement</i>	Modalités traitées	Stades phénologiques
19 mars	préventives	C3-D
26 mars	préventives	Boutons floraux visibles

1 avril	Préventives et curatives	E2
8 avril	préventives	F1
10 avril	curatives	F1
15 avril	préventives	F2 – début chute des pétales
22 avril	Préventives et curatives	G-H
28 avril	Préventives	nouaison
29 avril	curatives	nouaison
30 avril	Préventives	nouaison

Quantité de cuivre apportée sur la durée de l'essai

Modalités préventives

Produit commercial	Quantité totale de cuivre sur la durée de l'essai
CUPROXYDE MACCLESFIELD 50	6664 gr Cu/ha
Bouillie bordelaise « RSR »	6664 gr Cu/ha
Bouillie bordelaise « RSR » + AMINOFIT	3336 gr Cu/ha
AMINOCUIVRE	1200 gr Cu/ha
CUIVROL + For Mn 48	840 gr Cu/ha

Modalités curatives

Produit commercial	Quantité totale de cuivre sur la durée de l'essai
CUPROXYDE MACCLESFIELD 50	3332 gr Cu/ha
Bouillie bordelaise « RSR »	3332 gr Cu/ha

III.2.2.3 Pêcher (cloque)

Les essais se font sur la variété Joella (porte-greffe Montclar) plantée en 1999-2000. La parcelle est conduite en agriculture biologique.

Dispositif expérimental : randomisation totale. 3 arbres par parcelle élémentaire : les notations sont effectuées sur l'arbre central, les deux arbres adjacents servant de tampon aux éventuels embruns lors des traitements. 4 répétitions par modalité, soit 12 arbres par modalité.

MODALITE	PRODUIT	COMPOSITION
M1 : T	Témoine eau	
M2 : Réf	Bouillie bordelaise BB (1 ^{er} traitement) Cuivrol (traitements suivants)	Sulfate de cuivre (20 % Cu métal) Sulfate de cuivre (18 % Cu métal) + oligo-éléments (Zn, Bo, Mo)
M3 : BN	Bouillie nantaise BN	Polysulfure de calcium : 8.7 % soufre, 3.7 % chaux
M4 : BC	Bouillie bordelaise BB + Bouillie nantaise BN	Sulfate de cuivre (20 % Cu métal) Polysulfure de calcium : 8.7 % soufre, 3.7 % chaux
M5 : BZ	Bouillie bordelaise BB + Bouillie nantaise BN + Prozinc	Sulfate de cuivre (20 % Cu métal) Polysulfure de calcium : 8.7 % soufre, 3.7 % chaux Zn 7.5 %, Mn 2 %, Ca 3.5 %
M6 : A	Bouillie bordelaise BB (1 ^{er} traitement) Argile Surround WP (traitements suivants)	Sulfate de cuivre (20 % Cu métal) 95 % kaolinite

III.2.2.4 Tomates d'industrie (Bactérioses et mildiou)

Le dispositif d'expérimentation est décrit dans le chapitre suivant sur les alternatives au cuivre, en effet l'essai sur les réductions des doses de cuivre représente une très petite part de l'étude et les résultats sont par ailleurs dépendants des variétés testées.

III.2.3 Récapitulatif des essais sur les possibilités de réductions des doses de cuivre

	Mildiou de la Vigne	Tavelure du Poirier/	Cloque du pêcher	Bactérioses et mildiou sur
--	---------------------	----------------------	------------------	----------------------------

				tomates d'industrie
Ctifl		Cuproxyde Macclesfield50, Bouillie Bordelaise RSR, Bouille Bordelaise RSR + Aminofit, Aminocuire, Cuivrol + ForMn48. En stratégie curative et/ou préventive		
INRA Bordeaux	Test de produits faiblement dosés en cuivre : Osmobio et Aminocuire aux doses de 1000, 600 et 375 g de cuivre métal/ha. 7 applications			
ITAB/GRAB	Etude du comportement au lessivage de produit cuprique (Champ DP)		Test de doses de cuivre réduites : bouillie bordelaise, cuivrol, bouillie nantaise et Surrond	Test de réduction de dose (70% de la pleine dose) avec Kocide 101
ITV	Etude du comportement au lessivage de produit cuprique (Héliocuire et Bouillie Bordelaise RSR Disperss) et de réductions des doses			

Héliocuire, Champ DP et Kocide 101 sont des hydroxydes de cuivre. Cuivrol est un sulfate de cuivre associé à des oligo-éléments, Surrond est une argile calcinée, la bouillie nantaise est une bouillie sulfo-calcique

III.3. Identification de techniques et de produits alternatifs à l'usage du cuivre

Cette dernière partie du programme avait pour objectifs de tester des produits autorisés par le cahier des charges AB mais ne contenant pas de cuivre et d'identifier des techniques permettant de se passer de l'utilisation de cuivre ou au moins d'en réduire très fortement l'usage

III.3.1 Test de produits alternatifs sur vigne (INRA Bordeaux) et sur pommier (Ctifl)

III.3.1.1 Vigne (mildiou)

Une première approche a été réalisée, au laboratoire, sur disques foliaires afin de déterminer une dose potentiellement efficace. La persistance d'efficacité a ensuite été évaluée, en serre, sur feuilles et grappes à l'aide de boutures foliaires et de ceps fructifères en pots. Enfin, l'efficacité a ensuite été évaluée au champ, sur des boutures foliaires plantées en pleine terre.

Deux types de produits ont été testés : - une préparation contenant 10% de *Bacillus subtilis* (souche QST 713) commercialisée aux USA sous le nom commercial de Serenade® par la société AgraQuest. Deux formulations ont été testées : formulation poudre (Serenade WP) et liquide (Serenade AS).

- un mélange d'huiles essentielles de plantes (HE), fourni par la société Aromagroup. Le produit testé est une suspension composée de 50% d'huiles essentielles et contenant des adjuvants permettant la miscibilité avec l'eau.

Détermination d'une dose potentiellement efficace sur disques foliaires

Les disques ont été réalisés à l'aide d'un emporte pièce sur des feuilles prélevées sur des boutures de cépage Cabernet sauvignon (étages foliaires 3 à 5 sous l'apex). Les disques ont ensuite été placés en boîte de Petri, sur du papier filtre préalablement humidifié (10 disques par boîte). Les traitements ont été réalisés à

l'aide d'un « micro-diffuseur » (marque Ecospray) à raison de 2 ml de produit par boîte. Les disques ont ensuite été mis à sécher sous hotte stérile.

Pour chaque produit, une gamme de dose a été réalisée (tableau ci-dessous). Pour chaque dose, 3 répétitions (boîtes) ont été effectuées

Gammes de doses testées pour chaque produit

Produit	Gamme de doses (ppm produit formulé)
Serenade WP	0 - 10 - 50 - 100 - 250 - 500 - 750 - 1000 - 2500 - 5000 - 7500 - 10000
Serenade AS	0 - 10 - 100 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 3000 - 4000 - 5000 - 10000
HE	0 - 10 - 100 - 500 - 1000 - 2000 - 2000 - 4000 - 6000 - 8000 - 10000

Vingt-quatre heures après le traitement, les disques ont été inoculés avec une suspension de sporanges de *P. viticola*, titrant 30000 sporanges/ml, à raison de 3 gouttes (16 µL) par disque.

Les boîtes ont ensuite été placées en chambre de culture à 22°C. Une évaluation de l'intensité de sporulation a été réalisée après 7 jours d'incubation. Une note sur une échelle de 0 à 4 a été attribuée à chaque goutte. La note affectée à chaque disque correspond à la somme des notes attribuées aux trois gouttes et celle affectée à chaque boîte représente la moyenne des notes des 10 disques.

Pour chaque répétition, nous avons calculé l'efficacité par rapport au témoin selon la formule

$E = ((\text{témoin} - \text{traité}) / \text{témoin}) * 100$ ou $\text{témoin} = \text{moyenne des notes des 3 répétitions}$.

Nous avons ensuite, par régression non linéaire, réalisé un ajustement des données à une courbe théorique « dose-réponse » d'équation :

$Y = 100 / (1 + 10^{(\log_{10} C_{150-X}) \times \text{pente}})$. Y=efficacité / témoin ; X=log(dose)

Evaluation de la persistance d'efficacité sur feuilles

Le matériel végétal était constitué de boutures à un œil de cépage Cabernet sauvignon produites et élevées en serre. Les doses et produits testés ont été les suivants : Serenade AS à 10g/l, HE à 4 g/l.

L'application des produits a été réalisée sur l'ensemble de la plante à l'aide d'un « micro-diffuseur » (marque Ecospray) jusqu'au point de ruissellement. Lors du traitement un marqueur plastique a été posé au niveau de l'apex.

Les plantes ont ensuite été contaminées, à l'aide d'un micro-diffuseur, avec une suspension de sporanges titrant 30000 sporanges/ml. Plusieurs dates de contaminations ont été comparées :

- 1, 3 et 7 jours après le traitement pour le Serenade AS
- 1 et 7 jours pour HE

Pour chaque modalité (produit x date de contamination) 5 répétitions ont été réalisées, avec un témoin non traité. 4 feuilles par plante aux dates T+1 et T+3 (feuilles traitées), et 6 feuilles par plante à la date T+7 (4 feuilles traitées et 2 feuilles formées après le traitement), ont été contaminées. Dix jours après la contamination, les plantes ont été placées une nuit en chambre humide. Le pourcentage de surface tachée sur la face supérieure de chaque feuille contaminée a ensuite été estimé visuellement.

Evaluation de la persistance d'efficacité sur grappes

Le matériel végétal était constitué de ceps fructifères de cépage Semillon, âgés de 5 ans et plantés en pots de 20 l. Ces ceps ont passé l'hiver à l'extérieur et ont été mis sous serre dès le débourrement. Un seul produit a été testé sur grappes : Serenade AS à la dose de 10 g/l. Cinq grappes par ceps ont été repérées et traitées au stade « petits pois » (stade 73 selon échelle BBCH). Le produit a été appliqué à l'aide d'un micro-diffuseur jusqu'au point de ruissellement. Les grappes ont ensuite été contaminées à l'aide d'une suspension de sporanges de concentration 30000 sporanges/ml. Pour chaque date de contamination nous avons effectué 4 répétitions (4 ceps traités et 4 ceps témoins). Dix jours après la contamination, chaque grappe a été enveloppée dans une poche plastique et maintenue en hygrométrie saturante. Le lendemain, les grappes ont été prélevées et le pourcentage de baies attaquées (présentant le faciès rot-brun) déterminé au laboratoire.

Evaluation de l'efficacité au champ sur jeunes plants de vigne

Le matériel végétal était constitué de boutures à deux yeux de Cabernet sauvignon, enracinées en serre puis plantées en pleine terre au mois de juin. Le dispositif expérimental était de type blocs aléatoires complets à 8

répétitions. Chaque parcelle élémentaire était constituée de 4 plantes. Les modalités comparées sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Produits et doses évaluées au champ sur jeunes plantes

Traitements	Dose g/l	
	Substance active	Produit formulé
TEMOIN NON TRAITE	-	-
Serenade WP	1	10
Serenade AS	0.4	4
HE		6
Champ DP ^a	1.5	4
Champ DP ^a	0.6	1.6
Champ DP ^a	0.375	1.0
Champ DP ^a + Serenade	0.6 + 0.4	1.6 + 4
Champ DP ^a + Serenade	0.375 + 0.4	1.0 + 4
Champ DP ^a + HE		1.6 + 6
Champ DP ^a + HE		1.0 + 6

a Champ Dp : 37,5 % d'hydroxyde de cuivre

Les traitements ont été réalisés au pulvérisateur à jet projeté (pression 2.5 bar) jusqu'au point de ruissellement. Six applications ont été réalisées à la cadence de 8-10 jours. Une contamination artificielle a été réalisée à l'aide d'une suspension de sporanges (50000 sporanges/ml) sur des plantes non traitées situées entre chaque parcelle élémentaire. Les pluies et des brumisations ont permis une extension de la maladie sur l'ensemble des parcelles. Trois évaluations du niveau d'attaque des plantes par le mildiou ont été réalisées : 7 jours après la quatrième application, 6 et 20 jours après la sixième application. Ces évaluations portent sur l'ensemble du feuillage (une note par parcelle élémentaire) et sont exprimées en pourcentage de dégâts moyens.

III.3.1.2 Pommier (Tavelure)

Les traitements ont démarré le 20 mars pour les cinq modalités préventives. Au total, quatorze renouvellements ont été réalisés pour les modalités à base de soufre et de MYCOSIN, neuf pour le SERENADE et sept pour la STIMULASE. La différence entre les modalités SERENADE et STIMULASE provient du fait qu'il a été considéré que la STIMULASE résistait mieux au lessivage que le SERENADE. Ainsi, les délais entre traitements variaient entre 2 jours minimum (pluie du 28-29 avril) et 7 jours maximum pour les soufres et applications de MYCOSIN et entre 7 et 14 jours pour la STIMULASE et le SERENADE. Pour les modalités dites curatives les traitements ont été positionnés à partir du 1^{er} avril à raison de sept applications espacées de 7, 9, 13, 14 jours selon les pluies et leurs intensités.

Le protocole est le même que pour les essais réductions des doses de cuivre

<u>Dates de traitement</u>	Thiovit	Thiovit + Mycosin	Mycosin	Serenade	Stimulase	Bouillie nantaise	Bouillie Sulfo-Calcique Italienne
20 mars	X	X	X	X	X		
27 mars	X	X	X				
1 avril						X	X
2 avril	X	X	X	X	X		
9 avril	X	X	X				
10 avril						X	X
16 avril	X	X	X	X	X		
23 avril	X	X	X	X	X	X	X
28 avril	X	X	X				
30 avril	X	X	X	X	X	X	X
7 mai	X	X	X	X		X	X
12 mai	X	X	X		X		
16 mai	X	X	X	X			

21 mai						X	X
23 mai	X	X	X				
30 mai	X	X	X	X	X		
3 juin	X	X	X	X		X	X

III.3.3 – Test de méthodes visant à réduire l'inoculum de tavelure en verger de pommier (GRAB/ITAB en collaboration avec l'INRA Gotheron)

Variété : Smoothie. Porte greffe : Pajam. Inoculum tavelure : important (au verger, 25 % des fruits avec des dégâts, en 2002). Le dispositif expérimental comprend : 3 blocs (= 3 répétitions) de 6 rangs (4 rangs internes de Smoothie et 2 rangs externes de Fuji) de 140 m de long environ. Entre chaque bloc, 2 rangs de Fuji servent de tampon. Chaque bloc comprend 2 modalités :- 1 zone témoin de 50 m de long
- 1 zone effeuillée-buttée dans le reste du bloc

Les observations se font dans les parcelles élémentaires, de 32 m de long. Dans chaque bloc, une parcelle élémentaire "témoin" est disposée au milieu de la zone témoin et une parcelle élémentaire "effeuillée-buttée" est située le plus loin possible de la zone témoin, afin d'avoir une zone tampon de 20 m minimum.

Zone "témoin"	Zone "effeuillée-buttée"
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Inter rang</u> : feuilles non retirées et non broyées. Pas de travail du sol. • <u>Rang</u> : non travaillé. 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Inter rang</u> : feuilles retirées les 28 et 29/01/03 à l'aide d'une balayeuse à gazon Wiedenmann et broyées en dehors de la parcelle. • <u>Rang</u> : enfouissement des feuilles par buttage le 21/02/03 à l'aide d'une décavaillonneuse à disques.

Protection tavelure classique identique sur les 2 modalités

III.3.3 Evaluation variétale, pêcher (cloque) et tomates d'industrie (croisée avec des tests de produits)

III.3.3.1 Pêcher (Cloque)

Evaluation d'une gamme de variétés commerciales nouvelles (Ctifi)

Pour cet essai ce sont des variétés d'obtention récente, pour lesquelles les connaissances sur la sensibilité à cette maladie sont insuffisantes, qui ont été retenues. Leur gamme de maturité va jusqu'à début août ; les variétés plus tardives sont d'un moindre intérêt en agriculture biologique compte tenu des risques supplémentaires concernant les maladies de conservation. 31 variétés ont été comparées.

Le dispositif expérimental comporte quatre répétitions en blocs d'un arbre par parcelle élémentaire. Les arbres ont été plantés en janvier 2000, en haute densité (3m50 X 0m75). Ils ne subissent pas de taille hivernale de manière à avoir un nombre important de rameaux pour juger de l'homogénéité de répartition de la maladie. Ils sont ensuite sévèrement taillés après les observations. Ils n'ont reçu aucun traitement contre la cloque en 2001 et 2002, un seul traitement au cuivre en 2003.

Les notations sont effectuées lorsque les arbres présentent le maximum de feuilles atteintes par la maladie mais avant que les feuilles cloquées ne commencent à tomber.

Les observations portent sur 4 rameaux mixtes par arbre, régulièrement répartis.

La méthode d'évaluation, extraite de la méthode CEB n° 57 " Méthode d'essai d'efficacité des produits destinés à combattre la cloque du pêcher ", consiste à compter sur chaque rameau:

- le nombre de " bouquets " de feuilles (a)
- le nombre total de feuilles (b)
- le nombre de feuilles cloquées (c) sur ces mêmes bouquets de feuilles

Le rapport c/a représente l'intensité de la maladie. L'expression $(p = 100 c / b)$ donne le % de feuilles malades. Les résultats sont exprimés en pourcentage de feuilles malades et ont fait l'objet d'une analyse statistique : analyse de variance suivie d'un test de comparaison de moyenne de Newman-Keuls ou non paramétrique (Friedman) lorsque les hypothèses de l'analyse de variance ne sont pas respectées (cas en 2002 et 2003).

Evaluation d'une gamme de variétés anciennes et d'hybrides prometteurs (GRAB et INRA d'Avignon)

Le programme vise à évaluer le comportement de plusieurs variétés anciennes et des hybrides créés par l'INRA de Bordeaux, dans des conditions favorables à l'expression de la cloque, et sur plusieurs années. Les arbres ont été plantés en 2000.

Liste des variétés et situation géographique des essais

	Gotheron	Cantarel	Engref	Bielle	Barroux	Dancoisne	Chardayre	Prot	Manduel
	Drôme	Vaucluse	Loiret	Lot-et-Garonne		Somme	Vaucluse	Meuse	Gard
Variétés présentes sur les sites	27	26	23	28	26	28	24	24	16
nombre d'arbres plantés	45	41	50	38	27	44	24	24	19
année de plantation	2000	2001	2001	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2678				X	X	X	X	X	X
4577		X	X	X	X	X	X	X	X
5392	X	X		X	X	X	X	X	X
5745 ²	X			X	X	X	X	X	X
2240:23:2 x S4577	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BAILEY	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BELLE DE MONTELMAR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BENONI		X	X						
COMBET	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>PRUNUS DAVIDIANA</i>	X	X	X	X	X		X	X	X
DUGELAY	X	X	X	X	X	X			
ENTREE DE CHANAS	X	X		X		X			
EW GLOBE	X	X	X	X	X	X	X	X	
GAILLARD 22	X	X	X	X	X	X	X	X	
GENADIX 4	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GENARD	X	X	X	X	X	X			
GF 305	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GF 305 x S3928	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MARNAS	X	X	X			X			
MME GUILLOUX	X			X	X	X	X	X	
MR CUCHE	X	X	X	X		X	X	X	
PRECOCE DE HALE	X	X		X	X	X	X	X	X
REINE DES VERGERS N°3	X	X	X	X	X	X	X	X	
S3747 x GF305-1	X		X	X	X	X	X	X	X
S3928 x GF 305-1-2	X	X		X	X	X	X	X	X
SANGUINE ST LAURENT	X	X	X	X	X	X	X	X	
SUMMERGRAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SURPASSE AMSDEN	X	X		X	X	X	X	X	X
TOURNIER	X	X	X	X	X	X			
VERAUD	X	X	X	X	X	X	X	X	

Le nombre d'arbres plantés dépend de la place disponible, des variétés déjà plantées par les producteurs et de leur adaptation aux conditions de la parcelle.

Les notations démarrent dès les premiers symptômes, en période sensible, et être répétées 3 à 4 fois, tout au long des stades sensibles.

Critères de notation utilisés par les différents observateurs

Note	Réaction de la plante	% de feuilles attaquées
0	aucun symptôme (immunité)	0
1	quelques feuilles avec des hypertrophies (distorsions) partielles	1 à 5
2	feuilles complètement hypertrophiées et bien distinctes dans l'arbre	6 à 30

3	nombreuses feuilles cloquées avec quelques pousses tordues (en crosse)	31 à 60
4	pratiquement toutes les feuilles cloquées et de nombreuses pousses tordues	> à 60

III.3.3.2 Tests variétaux croisés avec des tests de produits alternatifs sur tomates d'industrie (bactérioses et mildiou)

Deux sites d'essai : l'essai bactérioses a lieu sur exploitation de tomate de plein champ (plantation 20/05 ; variété Cannery Row), l'essai mildiou a lieu sur la station expérimentale de la SONITO à Avignon. (Essai GRA/ITAB et INRA d'Avignon)

- essai bactérioses : tests de traitements alternatifs au cuivre (mouillage 200 l/ha) essai bloc à 4 répétitions de 6 m linéaires (10 m²)*. 5 traitements réalisés.

Observations hebdomadaires : 25 jeunes pousses observées par parcelle élémentaire : fréquence d'attaque

Modalités	Fournisseur	Type de produit	Dose d'application par traitement	DOSE TOTALE DE CUIVRE
Témoin non traité				
Kocide 101	Dupont de Nemours	hydroxyde : 50% de cuivre métal	2,5 kg/ha	6,25 kg/ha
Champ Flo	Nufarm	hydroxyde : 37,5% de cuivre métal	3,5 kg/ha	6,56 kg/ha
Sérénade	Nufarm	<i>Bacillus subtilis</i>	4l/ha	
Sérénade + Champ Flo	Nufarm	<i>Bacillus subtilis</i> + hydroxyde : 37,5% de cuivre métal	4l/ha + 3,5 kg/ha	6,56 kg/ha

→ essai mildiou : 2 facteurs testés : variétés et traitements alternatifs au cuivre

3 variétés testées : Early Mech, Perfect Peel, Mécline. 4 modalités de traitement (mouillage 200 l/ha)

Le dispositif expérimental comprend essai bloc à 3 répétitions de 4 m linéaires (6,7 m²) + 1 m pour l'inoculation. Inoculation le 05/09. 5 traitements réalisés. Observations hebdomadaires 30 folioles sur 15 feuilles observés par parcelle élémentaire, fréquence d'attaque.

Modalités	Fournisseur	Type de produit	Dose d'application par traitement	DOSE TOTALE DE CUIVRE
Témoin non traité				
Kocide 101 (pleine dose)	Dupont de Nemours	hydroxyde : 50% de cuivre métal	2,5 kg/ha	6,25 kg/ha
Kocide 101 (70% pleine dose)	Dupont de Nemours	hydroxyde : 50% de cuivre métal	1,75 kg/ha	4,38 kg/ha
Sérénade	Nufarm	<i>Bacillus subtilis</i>	4l/ha	
Sérénade + Kocide 101 (70% pleine dose)	Nufarm + Samabiol	<i>Bacillus subtilis</i> + hydroxyde de cuivre	4l/ha + 1,75 kg/ha	4,38 kg/ha
SAM 2003 + Kocide 101 (70% pleine dose)	Samabiol	Stimulateur des défenses naturelles des plantes	6l/ha + 1,75 kg/ha	4,38 kg/ha

III.3.4 Récapitulatif des essais concernant les alternatives au cuivre

	Mildiou de la Vigne	Cloque du pêcher	Tavelure du Pommier / poirier	Bactérioses et mildiou sur tomates d'industrie
Ctifl		Evaluation variétale	Test de produits non cuprique : Mycosin, Serenade, Stimulase,	

		(variétés modernes)	Thiovit, Bouillie nantaise et bouillie Sulfo-calcique italienne	
INRA Bordeaux	Test de produits non cupriques : sérénade et huiles essentielles			
INRA Avignon		Evaluation variétale (variétés anciennes)		Evaluation variétale et test de produits non cupriques
ITAB/GRAB		Evaluation variétale (variétés anciennes)	Test de méthodes de réduction de l'inoculum par : aspersion, par élimination des feuilles et/ou enfouissement	Evaluation variétale et test de produits non cupriques : sérénade et SAM 2003

Serenade est à base de *Bacillus subtilis*, Stimulase est un SDN issu de *Trichoderma sp*, Thiovit est un soufre mouillable, la bouillie nantaise est une bouillie sulfo-calcique

IV -PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

IV.1 - Evaluation des impacts non intentionnels du cuivre sur la biocénose des sols. INRA Dijon

IV.1.1 . Etude, par enquête dans différents vignobles, des relations entre propriétés physico-chimiques et biologiques des sols ; importance du cuivre

Les valeurs de biomasse microbienne (ou matière organique vivante : MOV) s'avèrent relativement élevées, variant entre 162 et 516 mg.kg⁻¹. Ces valeurs sont principalement fonction de la texture des sols et de leur teneur en azote organique. Lorsque la biomasse microbienne est exprimée en pourcentage du carbone total (MOV %Ct), ce qui permet une comparaison plus aisée de sols différents, on observe une relation négative entre ce paramètre et la teneur en cuivre du sol. L'activité de nitrification en conditions standard (oxydation de N-NH₄ en N-NO₂, en mg.kg⁻¹.j⁻¹) est importante dans ces sols viticoles. Elle n'apparaît liée statistiquement à aucun des paramètres physico-chimiques mesurés ; il n'y a en particulier aucune relation avec la teneur en cuivre des sols.

Le nombre de *Rhizobium leguminosarum* bv *trifolii* est globalement faible. Ces nombres apparaissent ici liés à la teneur en argile et à la CEC des sols ; ils ne sont pas liés aux quantités de cuivre dans le sol.

Le nombre de spores de champignons endomycorhiziens isolées des sols viticoles de la Marne va de 134 à 910 spores par 10 g de sol. Les spores sont plus nombreuses (> 350.g⁻¹) dans les sols contenant peu de cuivre (< 40 mg.kg⁻¹). D'autres facteurs peuvent cependant intervenir. La caractérisation morphologique des spores isolées (Echairi, 2003) a permis une première approche d'éventuels effets du cuivre sur la diversité des champignons endomycorhiziens. Entre 17 et 36 types de spores différentes ont été observés selon les parcelles. Il n'y a pas de lien entre la teneur du sol en cuivre et cette diversité (Richness. Le cuivre EDTA et le phosphore Olsen s'opposent aux paramètres biologiques que sont la biomasse exprimée en valeur relative (MOV %Ct) et le nombre de spores de champignons endomycorhiziens. L'effet du cuivre est plus marqué que celui du phosphore sur ces paramètres. En revanche, il n'y a pas d'antagonisme avec la nitrification.

Dans l'exploitation menée en agriculture biologique, 10 échantillons de sol ont été prélevés hors vigne et sous vigne. Exprimée en valeur absolue, la biomasse microbienne est liée positivement au carbone et à l'azote organique (relation hautement significative) et négativement à la teneur en cuivre. Exprimée en valeur relative (MOV %Ct), la relation négative avec le cuivre extractible à l'EDTA apparaît encore plus nettement (R² = -0,88). Pourtant, le niveau de contamination (maximum : 70 mg.kg⁻¹) est faible, comparé à ce qui est couramment observé dans les sols viticoles bourguignons ayant reçu du cuivre sur de longues périodes.

Les populations de *Rhizobium leguminosarum* bv *trifolii* sont élevées dans l'ensemble (entre 0,9 et 8.10³ germes par gramme de sol). Malgré une utilisation régulière du cuivre dans les parcelles en vigne, ces traitements ne semblent pas avoir une incidence marquée sur le niveau des populations de *Rhizobium*.

Les populations de champignons endomycorhiziens ont été évaluées quantitativement et qualitativement par l'étude de leurs spores. Elles sont environ deux fois plus élevées dans les zones en jachère que dans les zones sous vigne. Ces dernières possèdent des teneurs en cuivre plus élevées mais représentent aussi des zones plus ou moins bien désherbées. Le nombre de spores apparaît négativement corrélé au cuivre EDTA ($R^2 = 0,74$ significatif à 2%), mais il s'agit probablement d'un effet «mode d'occupation du sol», impliquant divers facteurs dont certains sont quantifiables (teneurs en cuivre) et d'autres non (présence d'un couvert végétal, etc.)

Des analyses multifactorielles sur les données quantitatives (biomasse microbienne, nombre de *Rhizobium*, nombre de spores de champignons endomycorhiziens) permettent de préciser les liens entre les variables et les regroupements entre individus (échantillons de sol). La prise en compte des variables biologiques montre que les variables Biomasse, nombre de *Rhizobium* et nombre de spores de champignons endomycorhiziens sont toutes orientées dans le même sens, où elles sont positivement liées à la fertilité du sol (C et N organiques, P Olsen) et négativement liées au cuivre EDTA. Les deux facteurs pH et cuivre sont très importants pour les propriétés biologiques des sols.

En raison de l'intérêt potentiel de la symbiose mycorhizienne pour la vigne, il nous a semblé judicieux de ne pas se limiter à l'étude quantitative et qualitative des populations fongiques impliquées, mais d'évaluer aussi la réponse de la plante. La mycorhization dépend en effet d'interactions complexes entre la plante, les champignons mycorhiziens et le sol. Ce dernier intervient à travers diverses caractéristiques physico-chimiques, dont (éventuellement) la teneur en cuivre. Nous avons donc choisi de déterminer le pouvoir endomycorhizogène ou P.E.M. Le P.E.M. est quasiment nul sous vigne à Auvillars. Avec des niveaux aussi bas, une inoculation ne pourrait être que bénéfique lors d'une replantation. Le P.E.M. reste faible sous jachère, ce qui peut être dû à des problèmes de structure et d'aération dans ce sol. A Epoisses, le P.E.M. est à un niveau considéré comme moyen à acceptable. Dans ce cas, il s'avère justifié de suivre son évolution sur 3 ans, en fonction des traitements appliqués.

IV.1.2. Etude expérimentale, au champ, des effets d'applications répétées de cuivre sur quelques paramètres biologiques des sols

Pour Auvillars vigne, on a constaté une variabilité notable des teneurs en cuivre, en plus d'autres paramètres physico-chimiques. L'analyse des données concernant le prélèvement initial met en évidence une relation négative entre l'activité de nitrification et la teneur en cuivre (total ou extractible au à l'EDTA). En revanche, il n'existe pas de relation entre cuivre et biomasse microbienne, que cette dernière soit exprimée en valeur absolue ou en pourcentage du carbone organique total.

La biomasse microbienne a été déterminée dans chacune des parcelles élémentaires au départ de l'essai puis après contamination. Les résultats montrent que la variabilité spatio-temporelle naturelle est supérieure à l'effet éventuel du cuivre apporté. Le seul effet décelé l'a été dans l'essai d'Auvillars-vigne pour la forte dose (48 kg/ha), juste après le dernier apport. Deux mois plus tard, la biomasse avait retrouvé un niveau comparable à celui du témoin. On notera surtout que dans aucun des trois sites il n'y a de différence significative entre le témoin et le traitement «cuivre» à la dose agronomique (B1), pour chaque date de prélèvement.

L'absence d'effet sur la biomasse microbienne ne signifie cependant pas que les populations microbiennes ne sont pas affectées, aussi avons-nous cherché à déterminer d'éventuels effets des traitements sur la diversité microbienne. Les résultats montrent que les populations majoritaires sont différentes selon les sites, mais que pour un même site elles sont peu affectées par les traitements.

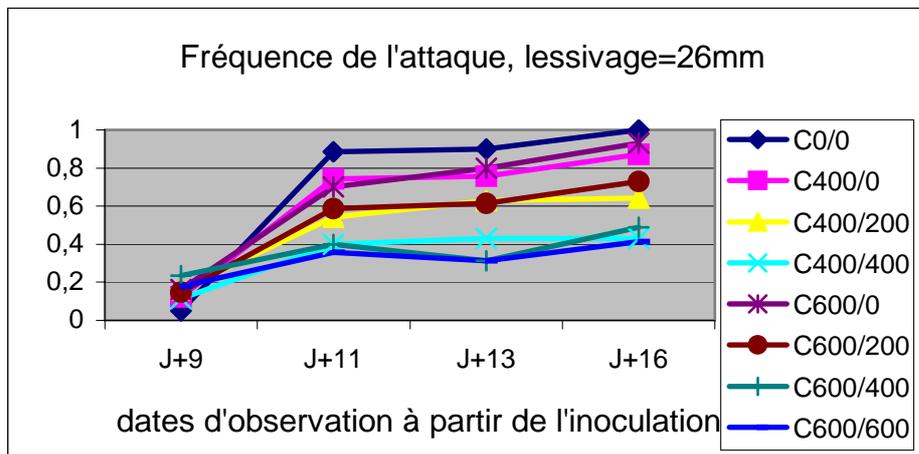
Par ailleurs, une étude a été entreprise sur quelques groupes microbiens potentiellement utilisables comme «indicateurs». Les premiers résultats, portant sur 20 souches de chaque traitement, montrent clairement que l'apport de cuivre a stimulé une population de levures tolérantes au cuivre. Parmi les souches isolées des parcelles non traitées, seulement 30% sont capables de croître sur un milieu contenant 3 mM de cuivre et aucune ne pousse sur 4,5 mM. En revanche, 95% des souches issues des parcelles ayant reçu la forte dose de cuivre sont capables de pousser sur un milieu contenant 3 mM de cuivre et 25% peuvent croître sur 4,5 mM de cuivre. Réciproquement, la diversité des souches semble avoir diminué car dans la population

provenant de la parcelle témoin, les souches appartiennent à 4 grands groupes alors que toutes celles issues de la parcelle traitée appartiennent au même grand groupe.

IV.2. Optimisation des produits et techniques actuellement utilisées afin de réduire les doses apportées

IV.2.1 Etude de la résistance au lessivage des produits cupriques (vigne)

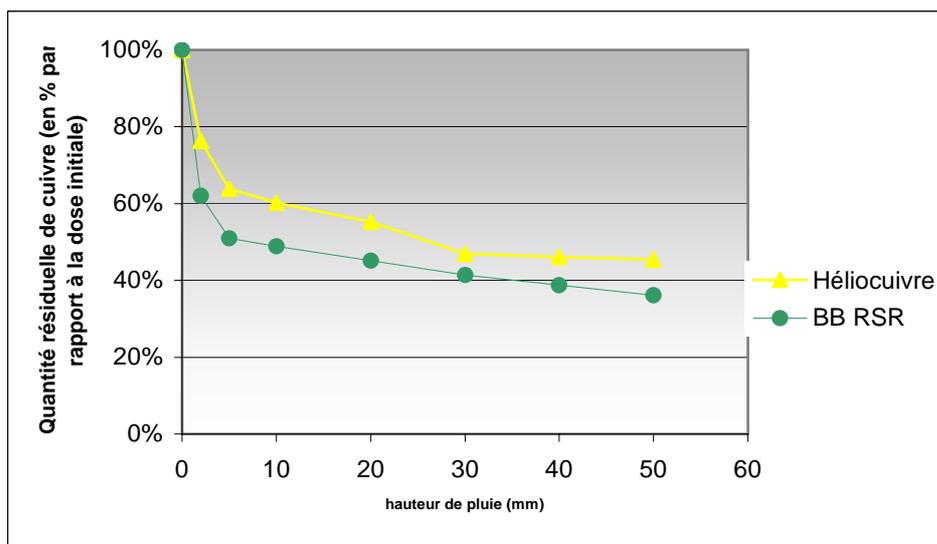
En 2002, le mildiou ne s'est développé qu'en fin de saison, sans toutefois être très virulent. De façon générale, plus on apporte du cuivre, meilleure est la protection, ce qui n'est pas une nouveauté. La hiérarchie des résultats permet de regrouper visuellement les modalités entre elles : les modalités 400/0 et 600/0 sont peu différentes au final même si on constate une expansion de la maladie moins rapide pour la modalité 600/0. Les modalités 400/400, 600/400, 600/600 obtiennent des résultats satisfaisants. Par contre on ne peut pas expliquer la différence de résultats obtenus lors du dernier contrôle entre 400/200 et 600/200. En 2003, Les résultats de cet essai sont présentés sous forme de graphiques², pour les deux critères observés, la fréquence et l'intensité. Du fait du maintien des plants dans des conditions optimales pour le développement du mildiou, l'attaque a été très forte. (Essai GRAB)



Effet de la hauteur d'eau sur le lessivage d'Héliocuire et de BB RSR Disperss (ITV)

Une légère différence de résistance au lessivage est observable. Le cuivre restant sur le feuillage est statistiquement plus important dans la modalité Héliocuire et ceci pour 6 hauteurs de pluie sur les 7 expérimentées. Le lessivage le plus important est causé par les premiers millimètres, **la perte de cuivre allant ainsi de 25 à 40% dès 2mm de pluie**. A partir de 5 mm le taux de cuivre résiduel diminue beaucoup plus lentement pour se stabiliser vers un palier d'environ 40% de la dose initiale.

² Un seul graphe est présenté ici, les autres sont placés en annexe



Relations entre doses d'emploi et lessivage (ITV)

La figure 3³ montre qu'il n'y a pas d'effet de la dose initiale sur le pourcentage de perte en cuivre, y compris pour des doses de 5 et 10 fois la dose homologuée. Les tests statistiques (corrélation Spearman et test de Student) sont non significatifs. La figure 4 qui illustre l'effet de différentes hauteurs d'eau (de 2 à 50mm sous une même intensité de 35 mm/h) sur différentes doses d'Hélocuivre confirme cette observation.

La dose initiale est donc sans effet sur le taux de perte par lessivage.

Rôle de l'intensité de pluie (ITV)

Au vu de la figure 5, **l'intensité de la pluie n'a pas d'influence sur le lessivage** des produits utilisés. Les tests statistiques (ADV) confirment ce constat mais également le fait que la BB RSR Disperss est statistiquement plus sensible au lessivage que l'Hélocuivre.

Effet de la répartition des pluies (ITV)

La figure 6 montre clairement l'absence de différence entre 30 mm et 3x10 mm. Le critère du cumul de pluie pour le renouvellement ou non de la protection ne semble donc pas devoir être remis en cause.

Effet de l'intervalle de temps entre traitement et lessivage (ITV)

La figure 7 montre qu'il n'y a pas de différence selon que la pluie survient 2 heures après le traitement ou 7 jours. Le taux de lessivage est du même ordre que celui observé après une pulvérisation sous tour de Potter. Les 2 produits ont par contre un taux de perte identique, contrairement avec ce qui avait été observé précédemment après une pulvérisation sous tour de Potter ; il est vraisemblable que la pulvérisation manuelle génère une variabilité des dépôts qui masque les différences observées dans les tests *in vitro*. Les tests statistiques confirment la double absence d'effet délai et produit. Un délai de 7 jours entre traitement et pluie est donc sans effet sur la tenue au lessivage de l'Hélocuivre et de la BB RSR Disperss.

IV.2.2 Etude des réductions de doses de cuivre, sur vigne (ITV et INRA Bordeaux), pommier (Ctifl), pêcher (GRAB/ITAB) et tomate (GRAB/ITAB)

IV.2.2.1 Vigne (mildiou)

Les conditions météorologiques de mai à août ont empêché toute installation significative de la maladie bien qu'une contamination artificielle ait été réalisée en fin floraison et que l'essai jouxte un autre essai mildiou sous brumisation. Aucune conclusion ne peut donc être tirée en termes d'efficacité au champ des différentes modalités. Concernant l'évolution des quantités de cuivre sur les capteurs, les très faibles précipitations présentes en 2003 entraînent logiquement une accumulation de cuivre sur l'ensemble des capteurs, toutes modalités comprises. Les modalités 600g/ha sont statistiquement différentes des autres modalités. Les niveaux présents sont comparables à ceux observés en 2002, année également peu pluvieuse. Le cumul fin

³ Les figures sont placées en annexe

mai de 20.5mm, obtenu en 2 pluies, entraîne apparemment un lessivage important des modalités à 600g/ha tandis que celles à 1200 et 1500 semblent mieux résister. Les pluies de 4 et 15mm en fin d'essai génèrent des lessivages comparables malgré des intensités pourtant très différentes (5mm/h pour la première contre 45mm/h pour la seconde). Ces observations, bien que trop rares par rapport aux objectifs de l'essai, confirment cependant les constats de 2001 et 2002. Dans ces conditions Hélocuivre à 1500 et 1200g/ha et BB RSR Disperss à 1500g/ha ne se différencient pas. (Essai ITV)

Quelle que soit la dose de cuivre (1000, 600 ou 375 g Cu/ha), les spécialités Osmobio ou Aminocuivre appliquées sur jeunes plantes à la cadence de 7 jours n'ont pas montré d'efficacité significativement supérieures à celles obtenues avec la BB RSR Disperss ou le Champ DP.

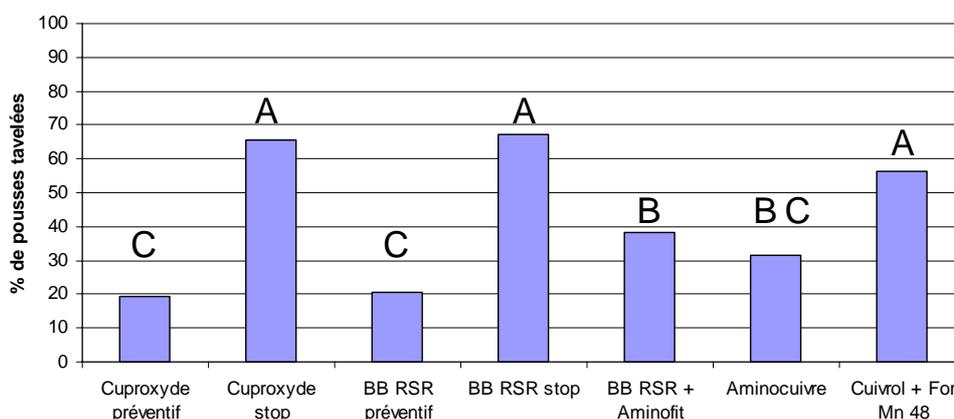
Sur pieds fructifères on observe une forte phytotoxicité sur feuilles (déformation du limbe, nécroses, perturbation de la croissance) avec la spécialité Aminocuivre. Les spécialités Aminocuivre et Osmobio ont montré des niveaux d'attaque équivalents ou supérieurs à ceux observés avec le Champ DP à 375 g Cu/ha. Les pourcentages de dégâts observés ont été significativement supérieurs à ceux notés avec le Champ DP apportant 1500 g Cu/ha à toutes les notations avec la spécialité Osmobio, et pour les deux dernières notations avec la spécialité Aminocuivre. Sur grappes, lors de la première notation les fréquences et intensités d'attaque obtenues avec le Champ DP aux doses de 1500 et 375 g Cu/ha n'étaient pas significativement différentes. La spécialité Osmobio présentait des fréquences et intensités d'attaque sur grappes significativement inférieures à celles obtenues avec le Champ DP à la dose de 1500 g Cu/ha, et non significativement différentes de celles notées avec le Champ DP à la dose de 375 g Cu/ha. La spécialité Aminocuivre a montré un niveau d'attaque non significativement différent de ceux observés avec le Champ DP aux doses de 1500 ou 375 g Cu/ha. Lors de la deuxième notation, le Champ DP à 375 g Cu/ha a présenté une intensité d'attaque significativement supérieure à celle obtenue à la dose de 1500 g Cu/ha. Dans cette situation, la spécialité Osmobio a montré une intensité d'attaque significativement inférieure à celle obtenue avec le Champ DP à la dose de 375 g Cu/ha. Pour l'Aminocuivre, le niveau d'attaque obtenue était légèrement inférieur mais non significativement différent de celui noté avec le Champ DP à la dose de 375 g Cu/ha. L'ajout d'un adjuvant au Champ DP à la dose de 375 g Cu/ha (Héliosol 2%) n'a pas permis d'améliorer l'efficacité de façon significative, aussi bien sur feuilles que sur grappes. (Essai INRA Bordeaux)

IV.2.2.2 Pommier (tavelure)

La pression tavelure en 2002 sur la parcelle Redchief a été trop faible pour observer une quelconque efficacité : 8% de feuilles tavelées sur le témoin en mai.

Seule l'année 2003 a été profitable, avec 92% de pousses tavelées au 21 mai dans la parcelle témoin. Paradoxalement le niveau d'attaque sur fruits a été plus faible dans le témoin que dans les parcelles traitées, rendant l'exploitation de ce paramètre impossible. Les résultats sur feuilles sont représentés sur le graphique ci-dessous.

Graphique 1 : Efficacité de différentes formulations à base de cuivre positionnées en préventif et stop (notation du 21 mai sur feuilles)



Sur pousses comme sur feuilles ce sont les modalités Cuproxyde et BB RSR, utilisées en préventif qui offrent une meilleure protection (20% des feuilles et 4% des fruits tavelés), ce sont aussi, sans surprise, celles qui apportent le plus de cuivre. La protection en « stop », pour être efficace, doit être combinée au préventif à l'approche d'épisodes pluvieux importants. Les spécialités faiblement dosées en cuivre (aminocuivre et cuivrol + Mn48) apporte une protection, notamment sur fruits (20% de fruits touchés) insuffisante, pour des apports de cuivre très inférieurs. A noter que l'association BB RSR + aminofit donne des résultats intéressants : 8% de fruits touchés et 39% de feuilles pour un apport de cuivre inférieur de 50% aux modalités Cuproxyde et BB RSR préventives.

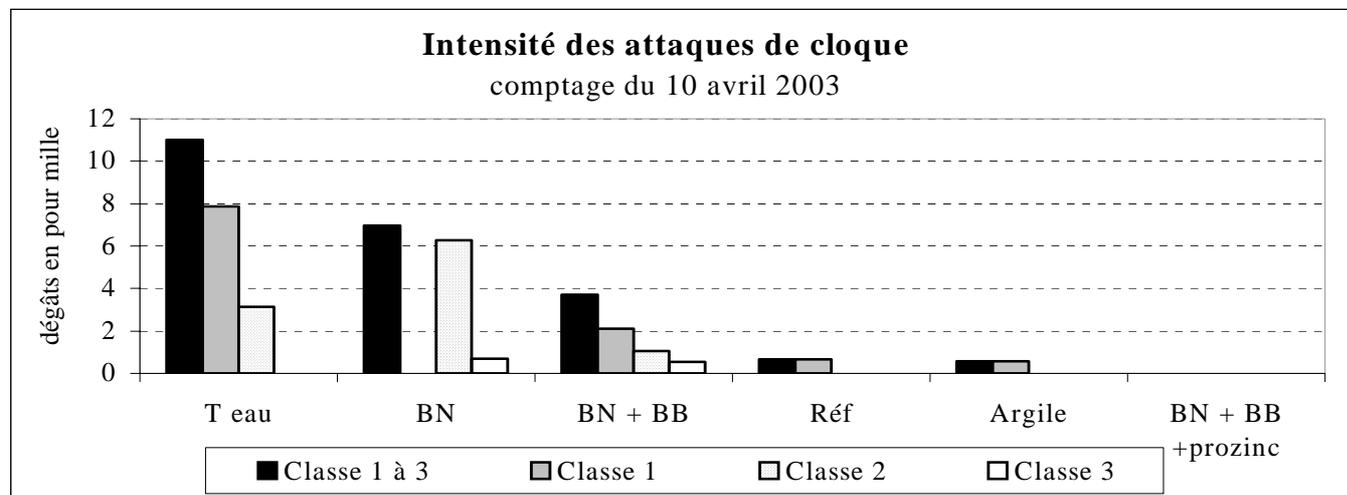
Globalement, les modalités préventives apparaissent plus efficaces que les modalités « stop », car elles ont assuré une meilleure couverture des risques à une cadence de 6-7 jours. En effet, un traitement de la modalité « stop » n'a pas pu matériellement être appliqué dans le délai de 24 heures et donc n'a pas pu remonter au début de la pluie contaminatrice, à l'origine d'un risque important. Ce n'est donc pas le principe de l'application en « stop » qui est mis en cause mais la difficulté matérielle d'intervention et le défaut de curativité du cuivre. (Essai Ctifl)

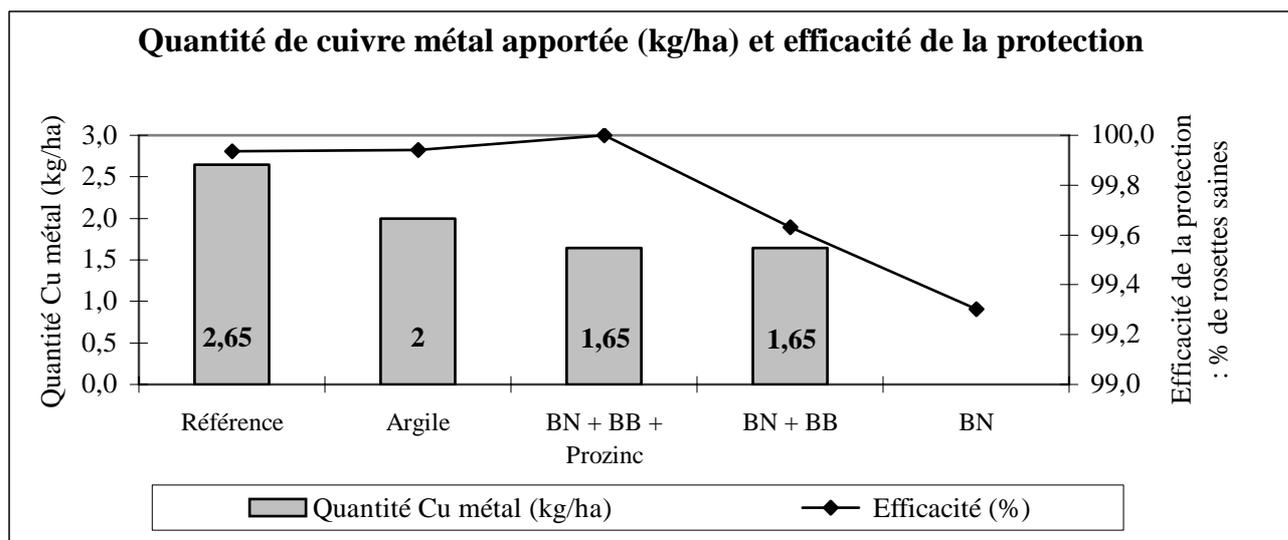
IV.2.2.3 Tomates d'industries (Bactérioses et mildiou)

Les résultats sont présentés globalement dans la partie suivante sur les alternatives

IV.2.2.4 Pêcher (cloque)

Les attaques de cloque ont été très faibles sur toutes les modalités (1% de rosettes infestées dans le témoin). La référence (bouillie bordelaise puis cuivrol), l'argile et le mélange bouillie nantaise + bouillie bordelaise + prozinc, semblent apporter une efficacité supérieure en comparaison avec la bouillie nantaise utilisée seule ou en mélange avec la bouillie bordelaise. L'ajout de zinc s'avère être intéressant puisqu'il améliore l'efficacité du mélange BN + BB. Les différences ne sont pas significatives (test de Newman-Keuls 5%).





Le printemps 2003 ayant été particulièrement sec, seulement 4 traitements ont été réalisés et aucun n'a été lessivé. La quantité de cuivre métal apportée à l'hectare a ainsi été minimisée et est inférieure à 3 kg, toute modalité confondue. Le calcul de cette quantité de cuivre métal ne prend pas en compte le traitement fait par le producteur en octobre 2002 (bouillie bordelaise, à 1.25 kg/hl, soit 2 kg de Cu métal/ha). La modalité sans cuivre a une moindre efficacité. La combinaison bouillie nantaise + bouillie bordelaise + prozinc offre un maximum d'efficacité avec seulement 1.65 kg de Cu métal / ha. (Essai GRAB)

IV.3. Identification de techniques et de produits alternatifs à l'usage du cuivre

IV.3.1 Test de produits alternatifs sur vigne (INRA Bordeaux) et sur pommier (Ctifl)

IV.3.1.1 Vigne (mildiou)

Les deux spécialités testées étaient Serenade (*Bacillus subtilis*) et des huiles essentielles⁴.

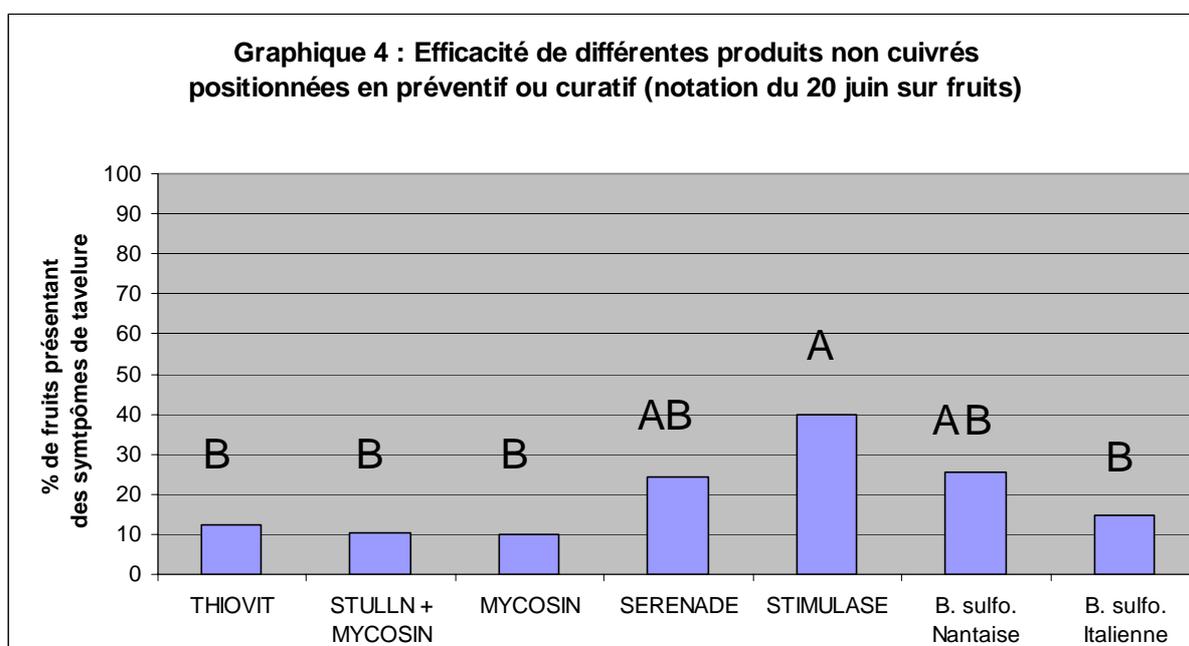
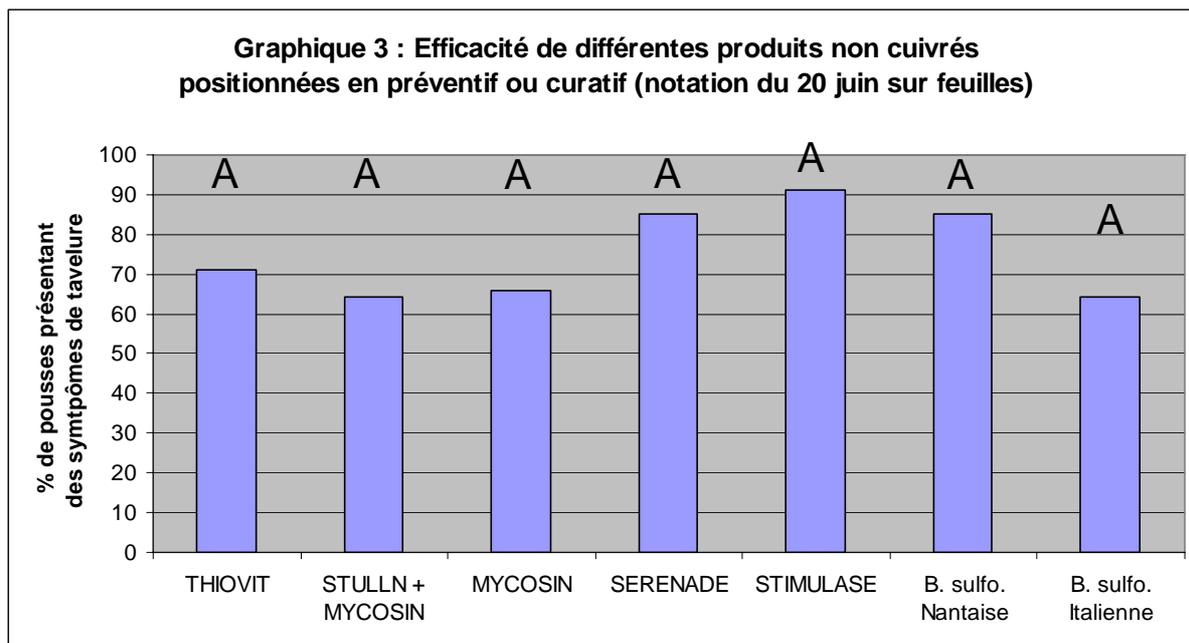
SERENADE. Cette préparation à base de *Bacillus subtilis* présente, au laboratoire à la dose de 10 g/l, une efficacité significative contre le mildiou sur feuilles. Cette efficacité n'est pas totale mais partielle, d'un niveau d'environ 60 à 70 %. Sur des feuilles âgées, la persistance d'efficacité est d'au moins 7 jours. Par contre, cette spécialité n'exerce aucune efficacité sur les organes formés après le traitement (feuilles néoformées) ou sur jeunes feuilles ayant subies une forte croissance après l'application. Compte tenu de ces caractéristiques, le Serenade, appliqué tous les 8-10 jours sur des plants foliaires plantés au champ, n'a montré aucune efficacité. Sur des ceps de vigne en pot, cette spécialité montre un bon niveau d'efficacité sur grappes et une persistance d'efficacité d'au moins 3 jours, pour des contaminations intervenant au stade grain de pois (phase de réceptivité plus faible des baies).

Huiles essentielles. La préparation d'huiles essentielles testée a montré une certaine action contre le mildiou sur les disques de feuilles. La forte phytotoxicité observée sur feuilles au laboratoire n'a pas permis d'étudier l'efficacité sur bouture sous serre. Néanmoins, cette spécialité n'a montré aucune efficacité contre le mildiou sur des jeunes plantes plantées en pleine terre.

IV.3.1.2 Pommier (Tavelure)

Compte tenu des pourcentages d'attaques sur le témoin (85% des pousses et 13.5% des fruits tavelés), on peut dire qu'aucune des modalités testées dans cet essai n'a présenté d'efficacité contre les attaques de tavelure sur feuilles aussi bien que sur fruits, suite à un trou de protection après lessivage. En effet les pourcentages de feuilles attaquées s'échelonnent de 66% à 91% (résultats non significativement différents), et de 10% à 40% pour les fruits selon les modalités. (Essai Ctifl)

⁴ Le détail des résultats est présenté dans un tableau en annexe



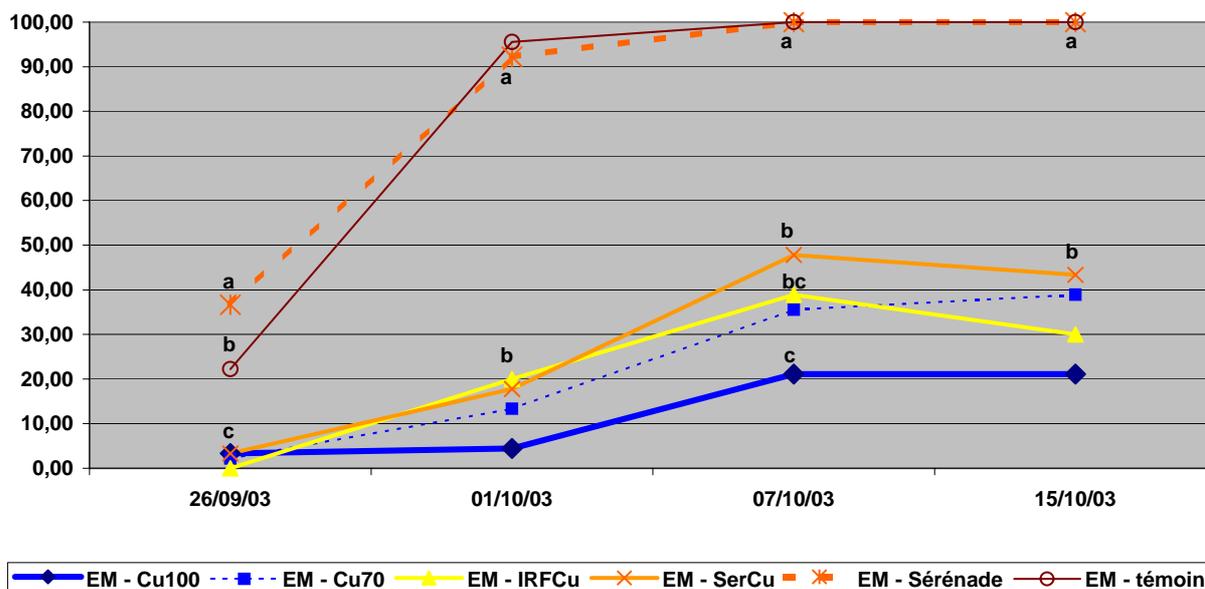
IV.3.1.3 Tomates d'industrie (bactérioses et mildiou)

Bactérioses. Les conditions climatiques exceptionnellement sèches et chaudes de cette année n'ont pas permis le développement des bactérioses. Aucune conclusion quant à l'efficacité des produits testés ne peut être tirée.

Suivi de l'attaque de Mildiou (*Phytophthora infestans*) pour les différentes variétés

→ Early Mech

Evolution du nombre de folioles touchés par le mildiou (en pourcentage) - variété Early Mech



Cu100 : Kocide pleine dose

Cu70 : Kocide 70% pleine dose

SAMCu : SAM2003 +Kocide 70% pleine dose

Des lettres différentes indiquent une différence significative par le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

SerCu : Sérénade + Kocide 70% pleine dose

Sérénade : Sérénade seul

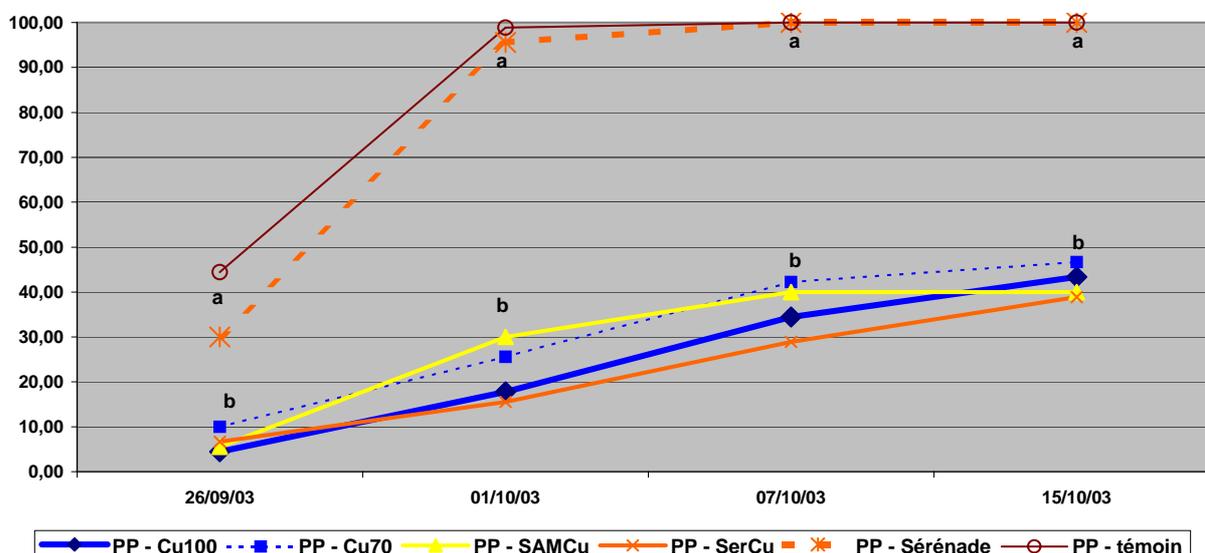
Témoin : Témoin non traité

La variété Early Mech est très sensible au mildiou : 10 jours après apparition des premiers symptômes, plus de 90% des folioles sont touchés dans le témoin non traité. Le Kocide pleine dose permet de limiter fortement l'attaque de mildiou : seulement 20% environ des folioles sont touchés le 15/10.

Le Sérénade appliqué seul ne n'a aucune efficacité pour lutter contre le mildiou : sa courbe suit étroitement celle du témoin non traité (plus de 90% de folioles attaqués le 1/10, pas de différence significative avec le témoin à partir du 1/10). Le Kocide à dose réduite permet de maintenir l'attaque à un niveau intermédiaire (environ 40% le 7/10 et le 15/10). Le Sérénade et le SAM2003, appliqués en mélange avec cette dose réduite de cuivre, n'apportent aucune efficacité supplémentaire vis à vis du cuivre à dose réduite (pas de différence significative quelle que soit la date). Pour cette variété Early Mech, les alternatives au cuivre, associées ou non au traitement cuprique, ne montrent aucune efficacité.

→ Perfect Peel

Evolution du nombre de folioles attaqués par le mildiou (en pourcentage) - variété Perfect Peel



Cu100 : Kocide pleine dose

Cu70 : Kocide 70% pleine dose

SAMCu : SAM2003 +Kocide 70% pleine dose

Des lettres différentes indiquent une différence significative par le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

SerCu : Sérénade + Kocide 70% pleine dose

Sérénade : Sérénade seul

Témoin : Témoin non traité

Perfect Peel semble aussi sensible au mildiou que la variété Early Mech : la fréquence d'attaque dans le témoin non traité dépasse 90 % le 01/10.

Le Sérénade appliqué seul n'est jamais statistiquement différent du témoin non traité : son efficacité est nulle. Les traitements à base de cuivre seul permettent de limiter l'attaque de mildiou (environ 40% des folioles attaqués le 15/10). Le Kocide apporté à 70% de la pleine dose n'est pas significativement différent du Kocide apporté à pleine dose (selon les dates, 3 à 8% de différence à l'avantage du Kocide pleine dose) : il est donc possible de limiter l'apport total de cuivre (ici 4,38 kg/ha de cuivre métal). Le produits SAM2003 et Sérénade, appliqués en mélange avec la dose réduite de Kocide, n'apportent aucune efficacité supplémentaire vis à vis du cuivre à dose réduite.

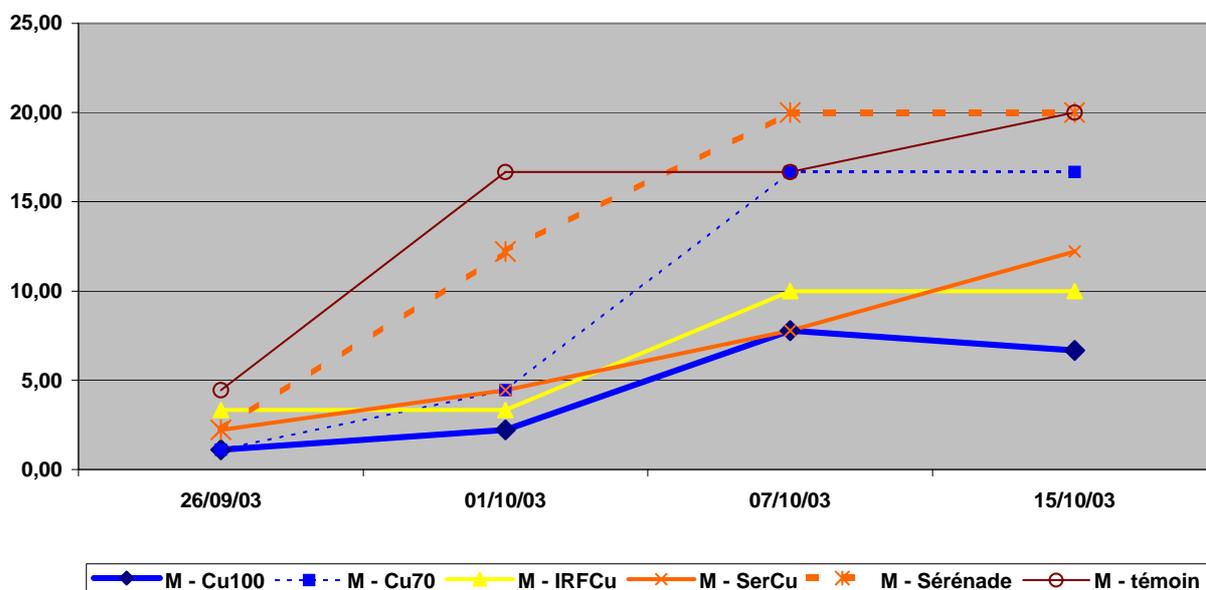
→ Mécline

La variété Mécline est beaucoup moins sensible que les 2 variétés précédentes. La fréquence d'attaque dans le témoin non traité ne dépasse pas 20% le 15/10 contre environ 90% pour Perfect Peel et Early Mech. Pour la variété Mécline, les différences entre les modalités sont faibles, aucune différence statistique n'a donc pu être mise en évidence (Newman-Keuls n'est pas significatif).

Le Kocide apporté à pleine dose permet de limiter l'attaque (environ 5% de folioles touchés le 15/10). Le Kocide apporté à dose réduite est moins efficace ; le niveau d'attaque est assez proche de celui du témoin non traité. Le Sérénade seul ne montre aucune efficacité pour lutter contre le mildiou. Le Sérénade et le SAM2003 présentent un comportement très proche : ces deux produits semblent apporter une très légère efficacité (fréquence d'attaque inférieure d'environ 5% avec le Kocide à dose réduite les 7/10 et 15/10)

Ces observations ne sont cependant que des tendances. Les conclusions tirées doivent donc être prises avec beaucoup de précaution

Evolution du nombre de folioles attaqués par le mildiou (en pourcentage) - Variété Mécline



Cu100 : Kocide pleine dose

Cu70 : Kocide 70% pleine dose

SAMCu : SAM2003 +Kocide 70% pleine dose

SerCu : Sérénade + Kocide 70% pleine dose

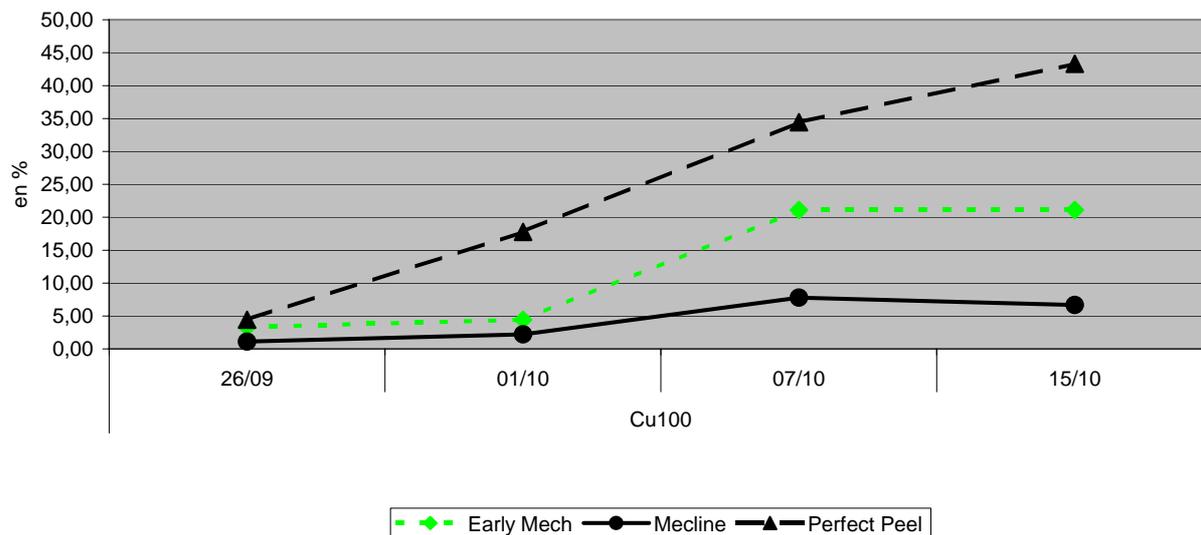
Sérénade : Sérénade seul

Témoin : Témoin non traité

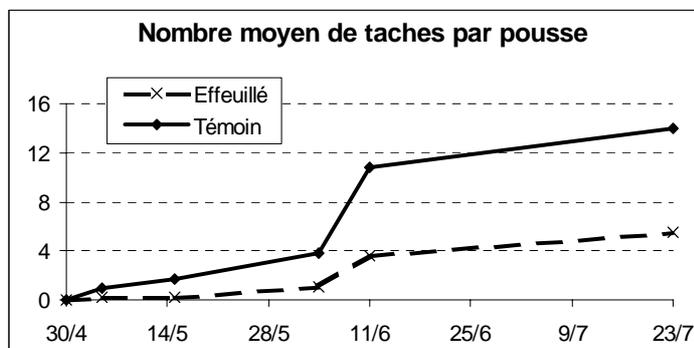
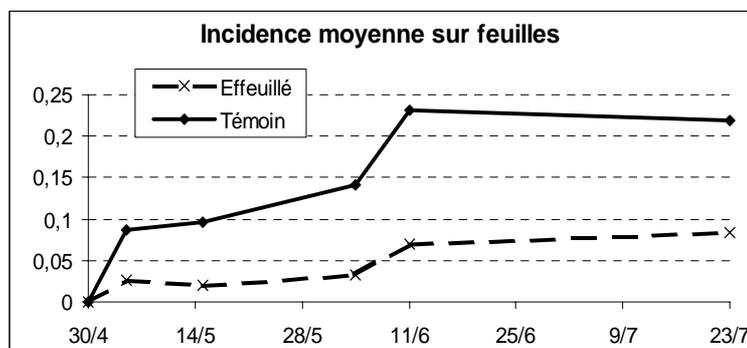
Différence de sensibilité variétale au mildiou en cas de traitement cuprique

En cas de traitement cuprique (Kocide pleine dose), on observe une nette différence de sensibilité variétale vis à vis du mildiou : Perfect Peel se montre très sensible tandis que Mecline montre une certaine tolérance. La tolérance d'Early Mech se situe à un niveau intermédiaire entre les 2 variétés précédentes en cas de traitements cupriques. En l'absence de traitements cupriques, son comportement est cependant très proche de Perfect Peel sensible.

Evolution du nombre de folioles touchés par le mildiou (en pourcentage)
protection Kocide pleine dose (total : 6,25 KgCu/ha)



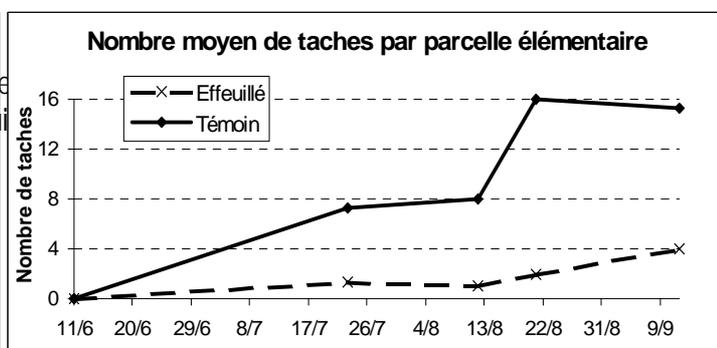
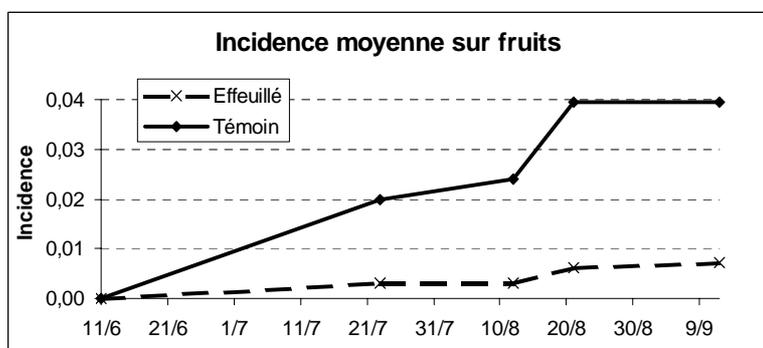
IV.3.2 Réduction des contaminations de tavelure en verger de pommier (GRAB en collaboration avec l'INRA de Gothenron).



Evolution de l'épidémie sur feuilles

- L'incidence sur feuille et le nombre de taches par pousse sont nettement plus faibles dans les zones où les feuilles ont été retirées que dans les témoins. L'effeuillage et le buttage ont une efficacité de plus de 60% en fin de contaminations primaires. Pour chaque notation, l'analyse de variance montre une différence significative entre les 2 modalités.

- Le retrait des feuilles de l'inter-rang complété d'un enfouissement par buttage des feuilles tombées sur le rang permet donc de réduire le nombre de feuilles tavelées et le nombre de taches des feuilles tavelées.



Pour la dernière notation, effectuée 3 jours avant la récolte, l'analyse de variance montre une différence significative entre les 2 modalités.

IV.3.3 Pêcher (Cloque)

Sur le site suivi par le Ctifl,

On constate que l'attaque a été globalement plus forte en 2001 qu'en 2002, faible en 2003. L'écart entre les années s'exprime avec une intensité différente selon les variétés. Si le classement des variétés est à peu près identique sur les années 2001 et 2002 pour 2/3 des variétés, il est cependant prématuré de fournir une représentation plus synthétique de ce classement compte tenu des écarts observés, d'autant plus que l'analyse de variance donne une discrimination très médiocre des variétés (tableau 1)⁵. La gravité de l'attaque n'est pas en relation avec la précocité d'apparition des symptômes (tableau 2). Cette dernière est plutôt à mettre en rapport avec la précocité de débourrement (cas de SPRING BRIGHT cov et EARLIQUEEN® en 2001). L'analyse des données climatiques (figure 2) montre que les périodes de pluies sont différentes pour les 3 années. La période de plus grande sensibilité du végétal se situe au débourrement, dès l'écartement des écailles des bourgeons. L'intensité de l'attaque est différente pour les 3 années et proportionnelle à la pluviométrie pendant cette période de sensibilité (fin janvier). Les dégâts sont apparus en 2003 seulement après le 25 avril (suite aux pluies du début du mois et au traitement réalisé?)

Les 3 années ont été différentes, avec des écarts pour certaines variétés. Des cas extrêmes permettent sans doute de faire un premier tri. Les variétés les moins sensibles ont malgré tout été placées en conditions très favorables à la maladie, par la présence de variétés sensibles à proximité. L'étude a été modifiée en 2003 avec une seule intervention au cuivre pour voir si les variétés les moins sensibles pouvaient avoir des dégâts acceptables avec un traitement minimal.

Concernant le site suivi par le GRAB en partenariat avec l'INRA d'Avignon, le tableau 4 présente l'ensemble des observations réalisées sur les sites de 2001 à 2003, relatives à la cloque. Pour chaque site, où plusieurs observations rapprochées ont pu être faites, seule la note maximale a été indiquée, ce qui permet de prendre en compte la sensibilité maximale de la variété. L'année 2001 présente de très faibles moyennes, étant donné que les arbres ont été implantés sur des sites isolés, loin d'autres vergers en production : l'inoculum sur les arbres plantés (provenant de serres traitées) et issu de vergers voisins était donc très limité, ce qui explique une très faible sortie de taches.

Les moyennes obtenues sur 2003 ont été calculées avec peu d'observations, donc sont moins fiables que celles de 2002. Celles-ci sont obtenues avec beaucoup plus d'observations (parfois plus de 30 par variété), et amènent donc une meilleure représentativité de la valeur des variétés. A noter toutefois que des variétés comme Summergrand, EW Globe, très sensibles, obtiennent des moyennes faibles par rapport à leur sensibilité réelle, car certains sites n'ayant pas eu de cloque donnent des notes inférieures. Inversement, *P.davidiana*, considéré comme résistant, obtient en 2002 des notes élevées sur un site très infesté (Gotheron), qui amènent une moyenne supérieure à sa valeur réelle. Une première synthèse de l'ensemble de ces observations met en évidence des différences de niveau de sensibilité nettes entre variétés. Le témoin de sensibilité 'Summergrand' obtient dans tous les lieux la note moyenne la plus élevée, confirmant bien sa position de témoin sensible. Les notes nulles n'ont pas été reportées dans ce tableau : cela signifie que les variétés ayant le moins de notes (notamment en 2001) sont celles sur lesquelles la cloque n'a pas été observée et qui présentent donc un intérêt potentiel.

Des différences de sensibilité variétale à l'oïdium apparaissent également. Le puceron vert, *Myzus persicae*, n'a pas occasionné de dégâts. Ce sont le puceron noir, *Brachycaudus persicae*, et le puceron cigarier, *Myzus varians*, qui ont été plus nombreux provoquant des dégâts parfois spectaculaire mais peu dommageables.

Il est important de poursuivre ce programme afin de vérifier les différences de sensibilité variétale aux différents parasites du pêcher, mais aussi d'évaluer dans un second temps la qualité agronomique des fruits obtenus dès 2004.

⁵ Les tableaux présentant les résultats par variétés aussi bien pour les sites suivis par le GRAB que par ceux suivis par le Ctifl sont placés en annexe.

V - DISCUSSION

Vigne (impact du cuivre sur la vie des sols et lutte contre le mildiou)

La lutte contre le mildiou en viticulture biologique passe par la recherche d'un équilibre entre des apports suffisants pour maîtriser les pathogènes et suffisamment bas pour ne pas induire de perturbation dommageable au niveau de la biocénose des sols. Les travaux consistent à rechercher si une réduction des doses unitaires et/ou du nombre de passages est possible, en jouant sur les formes de cuivre ou en utilisant des formulations plus résistantes au lessivage. L'objectif opérationnel en agriculture biologique serait d'assurer une maîtrise totale du risque avec des doses cumulées ne dépassant pas 3 à 4 kg / ha /an de cuivre métal, en moyenne pondérée sur 3 à 10 ans. Grâce aux phénomènes biologiques d'adaptation microbienne et aux processus physico-chimiques de stabilisation du cuivre sous des formes organiques ou minérales stables (Parat *et al.*, 2001), il est tout à fait vraisemblable, d'après les premiers résultats obtenus par l'INRA de Dijon, que de telles doses soient compatibles avec le maintien d'une activité biologique satisfaisante, au moins dans les sols carbonatés. Dans le cas particulier de sols sableux acides, des mesures correctives adaptées (contrôle du pH, gestion de la matière organique, etc.) pourraient être préconisées.

Produits alternatifs à l'usage du cuivre

Les tests effectués à ce jour, sur l'efficacité de produits ne contenant pas de cuivre pour maîtriser le mildiou, n'ont pas permis d'identifier de substances susceptibles de remplacer le cuivre, ni même de permettre une réduction significative du nombre de traitements cupriques. En revanche les essais menés sur le comportement au lessivage des produits cupriques ouvrent des perspectives intéressantes sur le renouvellement des traitements donc d'une optimisation des doses apportées (apports minimaux, pour efficacité maximale). Ainsi il ressort plusieurs éléments intéressants des essais effectués par l'ITV et le GRAB

Renouvellement des traitements

L'absence de renouvellement annule complètement l'efficacité du traitement initial.

Il est possible de réduire la dose de traitement initial tout en conservant une bonne efficacité, à condition que le traitement de renouvellement soit bien concentré. Ainsi, la concentration 400/400 est aussi efficace que la 600/600, tout en réduisant de 400g par traitements le cuivre apporté dans l'environnement. Sur une année moyenne (sur une base de 6 traitements), cela représente quand même plus de deux kilogrammes de cuivre par hectare d'économisés. Sur une année de pression moyenne, où 6 traitements sont suffisants, cela permet de respecter la réglementation (4800g<6000g), alors que des apports 600/600 n'y parviennent pas (7200g>6000g). En outre, on s'aperçoit qu'ici, même le traitement de référence n'assure pas une protection optimale. Ceci est dû à la très forte pression entretenue dans les conditions de l'essai, et que l'on a très peu de chances de retrouver en conditions naturelles de culture.

En 2002, même si les conditions expérimentales n'ont pas été favorables au développement du mildiou (le maintien des plants en pots pendant toute la saison estivale a favorisé un vieillissement des feuilles qui ont été moins réceptives au mildiou durant l'automne, peu de jeunes feuilles s'étant développées pendant l'été). Les premiers résultats permettent de mettre en évidence que de faibles doses de cuivre ne sont pas entièrement lessivées après 13 mm de pluie. En 2003, le développement du mildiou a été contrôlé de manière plus efficace. L'étude montre qu'une meilleure connaissance du lessivage et des doses de renouvellement des traitements cupriques sont des axes importants dans l'objectif de réduction des doses de cuivre. Au final, on peut dire qu'il est possible de réduire les doses tout en assurant une protection relativement efficace. Cependant, si l'objectif de protection, est d'avoir une infection quasi-nulle, de telles doses peuvent être insuffisantes si l'attaque est très importante.

Comportement des produits cupriques au lessivage

Le cumul de pluie reste le principal facteur explicatif du lessivage des produits cupriques étudiés (Héliocuisse et BB RSR Dispers) et donc le seul critère de renouvellement ou non d'une protection cuprique (hormis naturellement la vitesse de croissance).

Les autres critères étudiés, répartition des pluies pour un même cumul, intensité de la pluie ou délai entre traitement et pluie se révèlent sans effet sur le lessivage. A dose égale l'Héliocuvivre est –légèrement- plus résistant au lessivage que la BB RSR Disperss.

Les 5 premiers mm de pluie sont ceux générant le plus de pertes, le taux de lessivage diminuant très rapidement au-delà. Environ 40% de la dose initiale reste non lessivable y compris après 50mm de pluie.

La perte de cuivre est de nature hyperbolique. La majeure partie du cuivre étant trop rapidement solubilisée, la mise au point de formulations libérant beaucoup plus progressivement le cuivre est à privilégier.

La modélisation du lessivage de l'Héliocuvivre permet de penser que le seuil de renouvellement est de 15 à 20 mm pour la dose de 1.5L/ha mais l'absence de mildiou en 2003 n'a pas permis une validation dans la pratique.

Pommier (tavelure)

Produits alternatifs et réduction des doses

Au vu des résultats obtenus dans ce programme, aucune produit non cuprique ne permet de lutter efficacement contre la tavelure. Cependant, une seule année de résultats puisque l'absence de pression de maladie pour une année n'a pas permis d'obtenir de données exploitables, ne permet pas de conclure de façon définitive.

Globalement ce sont les stratégies préventives, qui permettent le mieux de maîtriser la maladie, ceci lié au mode d'action plus préventif que curatif du cuivre. Sans surprise ce sont les modalités préventives apportant le plus de cuivre qui présentent aussi la meilleure efficacité, à noter néanmoins l'intérêt du produit aminofit qui ajouté au traitement cuprique permet d'obtenir une protection satisfaisante avec des apports moindres de cuivre. Il serait intéressant de renouveler cet essai notamment dans des conditions de forte pression de maladie, afin de confirmer l'intérêt de ce produit

Réduction de l'inoculum

Le retrait des feuilles de l'inter-rang complété par leur enfouissement sur le rang à l'automne permet de réduire l'infection de tavelure de manière significative. En effet, l'effeuillage-buttage permet de réduire l'inoculum primaire et il s'en suit une diminution des contaminations primaires. Les feuilles présentent alors moins de taches de tavelure que celles du témoin. Les observations sur fruits sont également intéressantes puisque là aussi on observe moins de fruits tavelés dans la partie effeuillée-buttée. Mais l'année particulièrement sèche n'a pas permis d'observer des dégâts importants sur fruits. Il est donc nécessaire de reconduire cet essai afin de vérifier la corrélation entre la réduction de l'infection sur feuille et sur fruit.

Remarque : Les résultats de l'essai sur l'enfouissement des feuilles tombées au sol ne permettent pas de conclure quant à l'efficacité du travail du sol et de l'enfouissement des feuilles tombées au sol, sur la réduction des contaminations de tavelure. En effet, les observations mettent en évidence l'hétérogénéité de la parcelle et la présence d'un gradient d'inoculum parallèle aux modalités mises en place. Les résultats obtenus sont donc difficilement interprétables. Il faudrait revoir le dispositif et mettre en place 3 blocs perpendiculairement à ce gradient d'inoculum, avec dans chaque bloc une modalité travail du sol et une modalité témoin non travaillé. La deuxième solution serait de choisir une parcelle plus homogène.

Pêcher (Ctif, GRAB/ITAB et INRA d'Avignon)

Les trois premières saisons constituent une base de données encore nettement incomplète pour pouvoir sélectionner une série de variétés à recommander : tout au plus est-il possible d'éliminer certaines variétés dont on a pu voir le comportement insuffisant face à la cloque ou à des bio-agresseurs ponctuels mais parfois rédhibitoires. L'observation doit donc se prolonger encore 3-4 ans, et porter également sur les fruits, afin de ne pas négliger une sensibilité trop importante aux monilioses, à l'oïdium, ...

Elle sera éventuellement suivie de nouvelles hybridations avec les géniteurs dont le niveau agronomique sera jugé insuffisant, et mérite d'être relevé avec des variétés commerciales.

On soulignera la complémentarité du suivi effectué par le Ctif sur les variétés commerciales, avec ceux du GRAB associé à l'INRA d'Avignon s'intéressant à des variétés « oubliées » mais ayant un intérêt potentiel en Agriculture Biologique, pour des marchés de niche, la vente directe, ou des circuits courts plus généralement. Le consommateur est peut-être plus demandeur de saveurs que d'esthétique en matière de fruits frais, et de pêches précisément : la réactualisation de variétés anciennes peut constituer un créneau

porteur.

Une fois certaines variétés identifiées et préconisées, il s'agira de permettre aux producteurs de trouver les plants chez les pépiniéristes qui, pour l'instant, ne proposent pas systématiquement une gamme adaptée à l'Agriculture Biologique, en quantité plus modeste.

Tomates d'industrie (GRAB/ITAB et INRA d'Avignon)

Les essais ont pu mettre en évidence une différence de sensibilité variétale vis à vis du mildiou : Perfect Peel et Early Mech se montrent très sensibles tandis que Mecline montre une certaine tolérance.

En ce qui concerne les traitements à base de cuivre, la fréquence d'attaque des folioles par le mildiou n'est jamais significativement différente entre les 2 doses de cuivre testées, quelles que soient la date et la variété. Il existe cependant une différence entre les 2 doses : au 15/10, 20% de folioles sont touchés pour la pleine dose et 40% pour la dose réduite. Il serait donc hasardeux de prétendre qu'il est possible de réduire les doses de cuivre apportées en deçà de 6kg/ha/an.

Les alternatives au cuivre testées (Sérénade : bactérie antagoniste et SAM2003 : stimulateur des défenses naturelles des plantes) ne montrent pas une efficacité satisfaisante.

La fréquence d'attaque de mildiou pour le Sérénade appliqué seul n'est jamais significativement différente de celle observée pour le témoin non traité. De plus, SAM2003 et Sérénade associés à une dose réduite de cuivre n'ont pas permis d'apporter une efficacité supplémentaire en comparaison au Kocide appliqué à 70% de la pleine dose.

VI - VALORISATION DES RESULTATS

- Présentation du programme et des résultats lors du séminaire INRA-CIAB de Draveil en novembre 2003.
- Réalisation d'articles prévue dans les revues spécialisées des productions concernées et les revues consacrées à l'agriculture biologique.
- Mise en ligne sur les sites Internet des organismes partenaires du programme et des principaux résultats.
- Réalisation d'une fiche technique Techn'ITAB Viticulture, en partenariat avec l'ITV et l'ONIVINS, sur « l'usage du cuivre en viticulture biologique », et qui intégrera les résultats obtenus lors de ce programme.
- L'ITAB se chargera de diffuser très largement auprès de son réseau (groupements d'agriculteurs biologiques) et de celui des chambres d'agriculture, l'ensemble des résultats obtenus lors de ce programme.
- Les résultats obtenus lors de ce programme seront présentés, lors des journées techniques nationales Viticulture et Fruits et légumes organisées par l'ITAB., ainsi que lors des rencontres techniques ITAB/Ctifl, l'objectif de ces manifestations étant de communiquer aux producteurs et aux techniciens intéressés par ces productions, les résultats et avancées des recherches sur l'agriculture biologique
- Des communications sur ces résultats sont également envisageables lors des grands salons professionnels : SITEVI, SIVAL, MIFFEL etc...