



USAGE DU CUIVRE POUR LA PRODUCTION DE VINS, FRUITS ET LEGUMES BIOLOGIQUES



Dossier réalisé par :

L'INSTITUT TECHNIQUE DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

ITAB

Institut Technique de
l'Agriculture Biologique

avec la participation de :

de l'AIVB LR et du GRAB

AIVB-LR

GRAB
Groupe de Recherche
en Agriculture Biologique

OCTOBRE 2009

USAGE DU CUIVRE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

SYNTHESE DU RAPPORT

L'ENQUETE ITAB SUR LES PRATIQUES DES PRODUCTEURS BIOLOGIQUES MONTRENT QUE :

- les apports de cuivre sont raisonnés en fonction des risques, les producteurs n'apportent que les quantités nécessaires à la protection de leur culture ;
- en raison de la limite de 6kg/ha/an existant déjà en agriculture biologique, les producteurs utilisent déjà toutes les méthodes prophylactiques et moyens pour apporter des quantités minimales ;
- la quantité annuelle maximale de 4kg/ha/an recommandée par l'AFSSA ne permet pas, dans l'état actuel des connaissances, une protection suffisante des cultures biologiques contre les champignons et bactéries pathogènes, les années de forte pression de maladie.

LES NOMBREUSES RECHERCHES ET EXPERIMENTATIONS MENEES DEPUIS 10 ANS SUR LES REDUCTIONS ET LES ALTERNATIVES AU CUIVRE MONTRENT QUE :

- il n'existe pas de matière active compatible avec le cahier des charges AB, susceptible de se substituer au cuivre ou même de permettre de réduire son utilisation dans la limite des 4kg/ha/an, malgré les nombreux programmes de recherche, notamment européens, menés sur ce sujet (programmes européens REPCO et Blight MOP, nombreuses expérimentations menées par le GRAB, les autres stations régionales et le réseau national viti bio de l'ITAB, programme ACTA-INRA sur le cuivre);
- la limitation à 4kg/ha/an d'apports de cuivre métal n'est pas compatible les besoins de renouvellement montrés par les études sur le lessivage (étude IFV) et l'analyse de la pluviométrie (étude AIVB LR) ;
- les rares substances qui permettraient de réduire de façon significative les quantités apportées, comme par exemple la Bouillie-Sulfo-Calcique Italienne (contre la tavelure du pommier) ne possèdent aujourd'hui pas d'AMM en France ;

LES RARES ETUDES SUR LA BIODIVERSITE DANS LES SYSTEMES BIOLOGIQUES MONTRENT QUE :

Malgré l'usage du cuivre, les vergers biologiques présentent une biodiversité (quantité et diversité d'espèces) supérieure à celle des systèmes conventionnels et en protection intégrée.

RESUME

Les pratiques des producteurs biologiques (fertilisation organique, travail du sol, enherbement, bandes enherbées...) permettent d'atténuer les effets dépressifs du cuivre et doivent être pris en compte pour déterminer les quantités limites ;

La recommandation de 4kg/ha/an, dans l'état actuel des connaissances n'est pas compatible avec le développement, pourtant prévu par un Plan Ministériel, de la viticulture, arboriculture et production de légumes biologiques.

USAGE DU CUIVRE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE RESULTATS D'ENQUETE

MONIQUE JONIS



SEPTEMBRE 2009

Utilisation du cuivre pour la protection des cultures biologiques Résultats de l'enquête : juillet - septembre 2009

Introduction

La réinscription du cuivre à l'annexe I de la Directive Européenne 91/414/CEE concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques dans l'Union Européenne, est assortie de recommandations visant à limiter les effets sur l'environnement (sol, animaux) des produits cupriques.

En France c'est l'AFSSA qui est chargée d'émettre un avis sur des conditions d'utilisation acceptables d'un point de vue environnemental et écotoxicologique : <http://www.afssa.fr/Documents/DIVE2008sa0335.pdf>

Des limitations de l'usage des produits cupriques par rapport à l'usage actuel sont envisagées (dose par traitement, dose totale). C'est dans ce cadre que l'enquête a été réalisée afin de connaître les pratiques actuelles et les besoins des filières AB (viticulture, arboriculture, production de légumes) et faire valoir leurs spécificités dans le cadre d'une limitation probable des doses de cuivre utilisables en agriculture (ceci concerne aussi l'agriculture conventionnelle et toutes les productions).

I - Méthodologie

L'enquête (voir trame en annexe) a été diffusée via le réseau des groupements régionaux et départementaux d'agriculture biologique et via les techniciens en charge du suivi des producteurs. Les participants pouvaient répondre à titre individuel ou à titre collectif.

Les résultats ont été collectés par e-mail et par courrier postal.

Le cœur de l'enquête concernait les quantités de cuivre métal apportées par traitement, le nombre de traitement et la quantité annuelle de cuivre métal apporté à l'hectare.

Il ne s'agissait pas de fournir des valeurs précises pour une année donnée, mais plutôt de donner un ordre de grandeur pour une année « type forte pression » et pour une année « type faible pression » de maladie. Pour cela, il leur été également demandé de donner des fourchettes, c'est-à-dire des valeurs minimales et maximales, plutôt que des moyennes. Les principales données demandées étaient:

- quantité de cuivre métal par traitement (en g)
- nombre de traitement par année
- quantité annuelle par hectare de cuivre métal apporté (en g)

Exemple de réponse : pour une année « type forte pression » les quantités de cuivre apportées par traitement sont comprises entre 650 et 800 grammes.

Le type de produits cupriques, l'utilisation de produits alternatifs au cuivre, de techniques ou de pratiques agronomiques permettant d'en réduire l'usage ont également été renseignés lors de l'enquête.

II - Résultats Viticulture

1 - Rappel situation de la viticulture biologique en France et en Europe

D'après les derniers chiffres donnés par l'Agence Bio, les surfaces de vignes biologiques atteignaient un total de **28 190 hectares** dont 12 527 hectares en conversion, soit une augmentation de 25 % par rapport à l'année 2007. Cela représente un peu plus de 3 % des surfaces viticoles françaises.

Cette surface correspond à environ 2 301 domaines viticoles. La première région reste de loin le Languedoc -Roussillon avec 8 337 hectares suivi de PACA : 6 674 hectares, l'Aquitaine avec 3 763 hectares et Rhône-Alpes avec 2 182 hectares. Toutes les grandes régions viticoles ont dépassé les 1 000 hectares de vignes biologiques.

En Europe, il y avait en 2008 environ 115 000 hectares de vignes biologiques, trois pays se partagent 86 % des surfaces l'Italie (35 % de la surface totale avec 40 480 ha), l'Espagne (26 % de la surface totale avec 30 000 ha) et la France (24,5% de la surface totale avec 28 180 ha). Ces chiffres sont en constante évolution, en raison de la rapide progression des surfaces en conversion aussi bien en France qu'en Espagne.

En Espagne et en Italie, aucune limitation des doses de cuivre n'est pour le moment envisagée, une limitation à 4 kg/ha/an risque ainsi de créer une situation de distorsion de concurrence, aggravée par des conditions climatiques défavorables pour la plupart des régions viticoles françaises.

2 - Résultats de l'enquête

2.1 - Représentativité

Les retours d'enquête ont permis de collecter les données de 185 domaines (8 % du total des domaines viticoles biologiques), de toutes les régions viticoles sauf la Corse et Poitou-Charentes. L'information n'a peut être pas été correctement relayée auprès des vignerons de ces régions. En effet, l'enquête n'a pas été envoyée directement par l'ITAB aux viticulteurs biologiques, le taux de retour est donc dépendant de la qualité du relai régional. L'enquête a été lancée à un moment où un grand nombre d'administratifs mais également de vignerons est en vacances, ce qui explique sans doute ce relatif taux de retour.

Les résultats permettent cependant d'avoir une image des pratiques des vignerons biologiques en matière d'usage du cuivre.

2.2 - Années à forte pression de maladie (mildiou)

Pour information, entre 2000 et 2009, on considère que les années 2001, 2002, 2007 et 2008 ont été des années à forte voire très forte pression de maladie, pour quasi toutes les régions viticoles françaises, c'est-à-dire 4 années sur 9 (soit presque 1 année sur 2).

	Alsace	Aquitaine	Bourgogne	Champagne	LR	MidiPy	PACA	RA	Val de Loire	Toutes régions
Nombre de réponse	8	59	54	6	30	2	3	6	17	185
Quantité de Cu/traitement (g): valeur la plus basse	960	10	400	360	350	70	400	300	180	10
Quantité de Cu/traitement (g): valeur la plus haute	1500	800	700	800	1500	1500	1050	1200	1000	1500
Quantité de Cu/traitement (g): moyennes	393-800	302-645	458-502	393-800	670-689	160-900	733-933	516-666	454-597	437-616
Nbre de traitement: valeur la plus basse	3	7	6	8	4	10	5	6	3	3
Nbre de traitement: valeur la plus haute	9	30	14	18	13	20	12	10	16	30
Nbre de traitement: moyennes	5-6	10-13	7-18	10-13	10	13-15	7-8	9	11-12	9-12
Quantité annuelle de Cu/ha (g): valeur la plus basse	720	3000	2000	5000	3000	3000	3000	3600	1000	720
Quantité annuelle de Cu/ha (g): valeur la plus haute	2665	7500	7800	8000	9600	12000	6000	9000	8840	12000
Quantité annuelle de Cu/ha (g): moyennes	1578-1640	5005-6167	2278-7348	5833-7333	6045-6137	5000-9000	4750-5750	4323-5023	5576-5770	4305-6327

Rappel : les produits cupriques commercialisés et utilisés par les agriculteurs biologiques sont actuellement homologués aux doses présentées dans le tableau suivant.

Comme il est aisé de le constater, même durant les années avec de forte pression de maladies, les vignerons biologiques utilisent des doses par traitement bien inférieures aux doses homologuées : ils emploient entre la moitié et le tiers des doses homologuées.

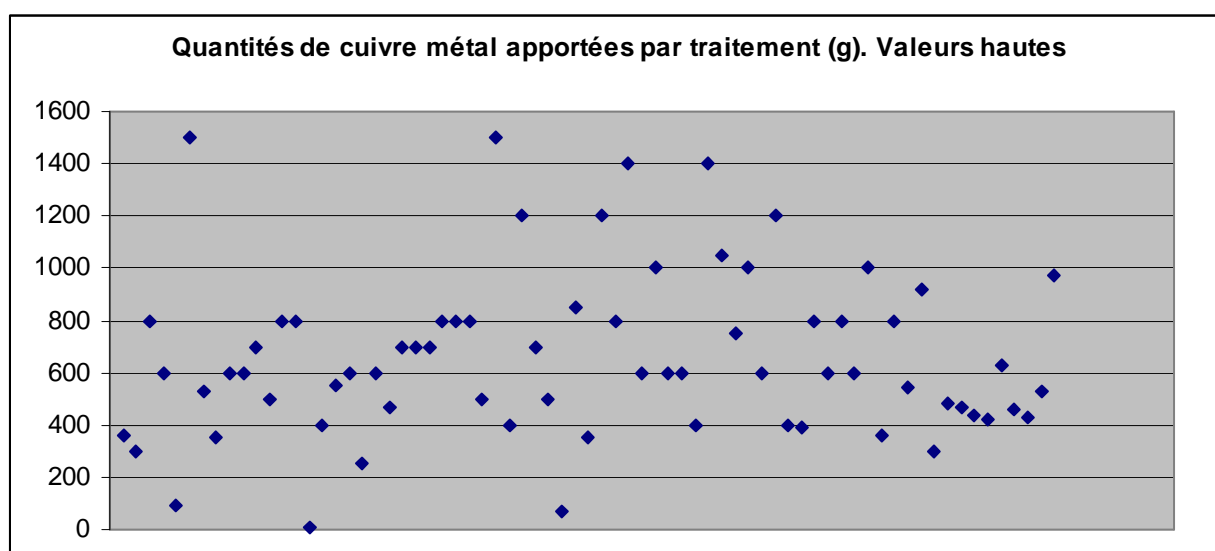
Doses d'homologation de quelques produits cupriques contre mildiou de la vigne

	Mildiou de la vigne					
	Hydroxyde de Cu (Champ DP)	Hydroxyde de Cu (Kocide 2000)	Hydroxyde de Cu (Héliocuivre)	Sulfate de Cu (RSR Dispers)	Oxyde Cuivreux Nordox 75WG	Oxychlorure
Dose d'homologation (g/ha ou ml/ha)	4000	3000	3000	7500	2000	10000
Concentration (g/kg ou g/l)	375	350	400	200	750	500
Cu métal g/traitement/ha	1500	1050	1200	1500	1500	5000

Doses de cuivre par traitement

Lors des années à forte pression de maladies (exemple 2007, 2008), les quantités de cuivre métal apportées par traitement varient de 10 à 1 500 grammes, et le nombre de traitement de 3 à 30. La quantité de cuivre total étant limitée à 6 kg/ha/an en agriculture biologique, le nombre de traitement est logiquement inversement proportionnel à la quantité de cuivre apportée par traitement. Néanmoins, **la moyenne des quantités par traitement varie de 437 à 616 g.**

Le graphe ci-dessous montre qu'une majorité des viticulteurs emploient des quantités comprises en 250 et 800g.



Les doses par traitement ne sont pas constantes au cours de la saison car beaucoup de vigneron adaptent les doses par traitement à la pression de maladie de l'année mais aussi au développement de la végétation. Par exemple, les premiers traitements peuvent se faire avec des doses de 250g à 300g, ces doses augmentent pour les traitements encadrant la floraison à 400g à 600g, pour ensuite passer à des doses variant de 350g à 500g pour la fin de la saison.

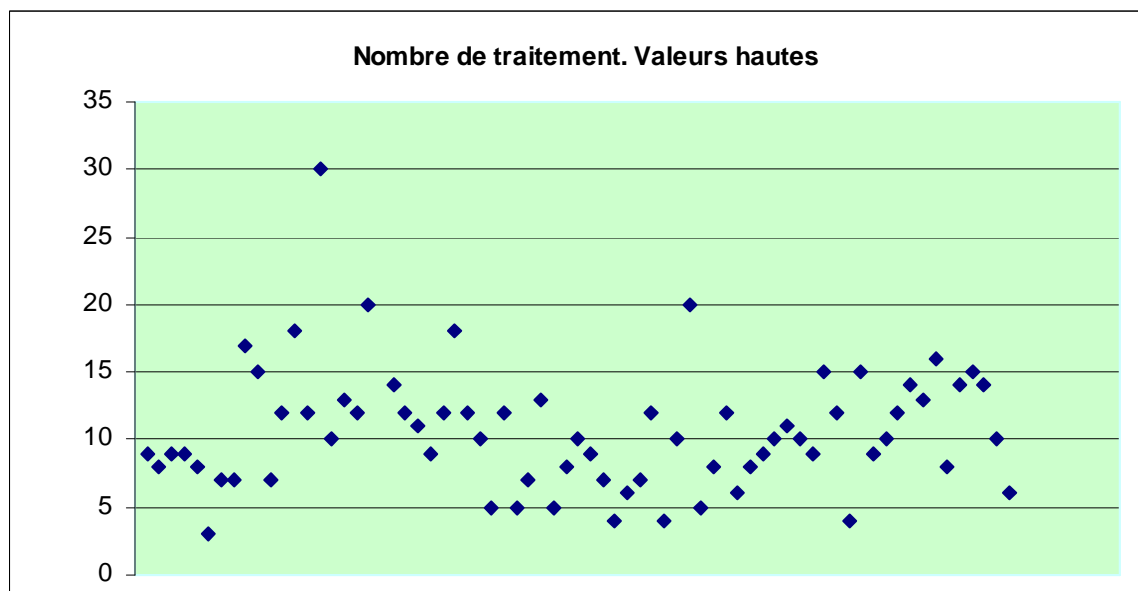
Nombre de traitement

Comme pour les doses de cuivre par traitement, le nombre de traitements cupriques effectués au cours d'une saison varie en fonction des besoins de renouvellement de la protection cuprique, c'est-à-dire en fonction des précipitations (perte par lessivage, voir étude AIVB sur les besoins de renouvellement en fonction des précipitations) et de la pousse de la végétation, les produits cupriques utilisés en AB n'ayant pas d'effet systémique, les nouvelles pousses doivent être protégées au fur et à mesure de leur croissance.

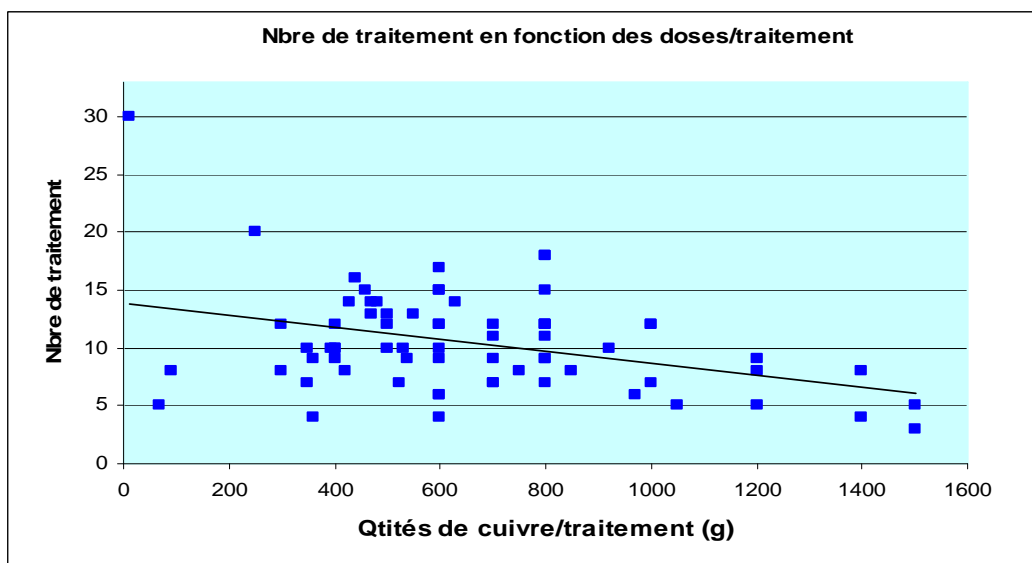
Les années avec de forte pression de maladie, c'est-à-dire aussi celles avec des précipitations fréquentes et donc des pertes par lessivage plus importantes, **le nombre de traitements varie en moyenne de 9 à 12** avec un minimum de 3 traitements et un maximum de 30.

Le graphe ci-dessous donne la distribution du nombre de traitements cupriques effectués par les viticulteurs une année de forte pression de maladie. Les valeurs présentées sont les valeurs hautes des fourchettes données par les participants à l'enquête.

La majorité des viticulteurs effectuent entre 5 et 15 traitements cupriques, les valeurs excédant 15 traitements sont marginales. Sans surprise, c'est dans les régions au climat humide et frais (Aquitaine, Champagne, Val de Loire et Bourgogne), où la pression de maladie est la plus importante, que le nombre de traitements est le plus élevé.



Pour rester au plus près de la dose annuelle limite de 6 kg/ha/an de cuivre métal, les vigneron fractionnent les apports, de façon à ce que la vigne soit protégée en permanence sans que les quantités apportées ne soient trop élevées. Néanmoins, le nombre de traitements n'est pas fortement corrélé avec les quantités de cuivre apportées par traitement, c'est-à-dire que pour des quantités de cuivre par traitement comprises entre 300 et 800 g, le nombre de traitement varie entre 4 et 17 (voir graphe ci-dessous).



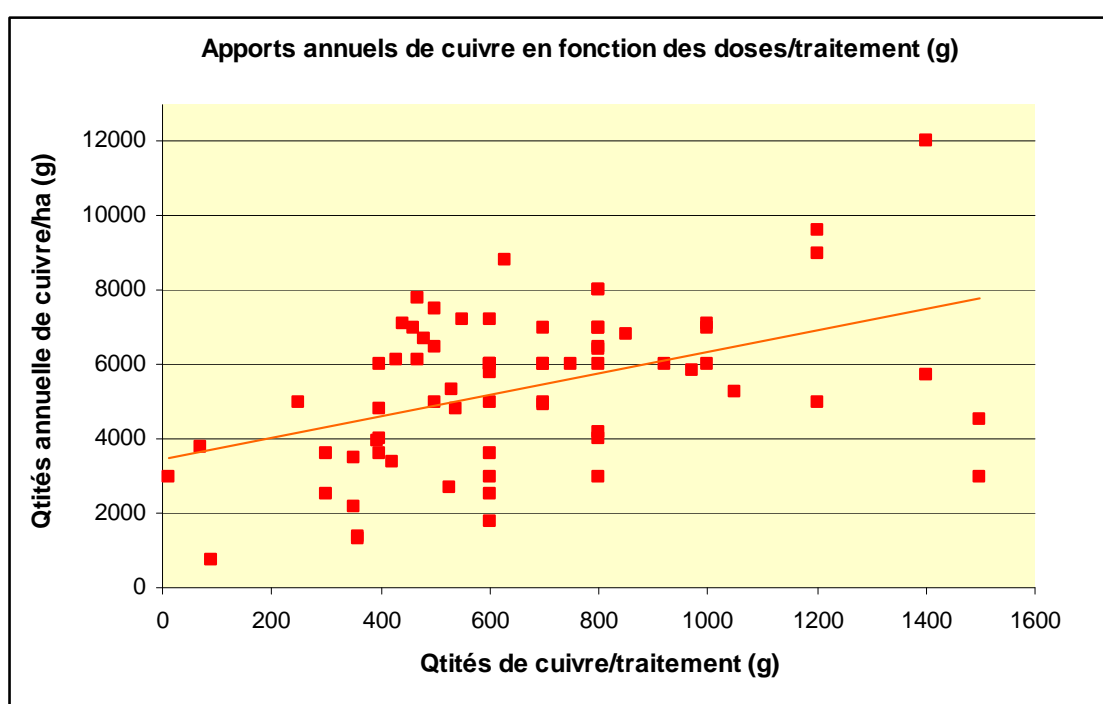
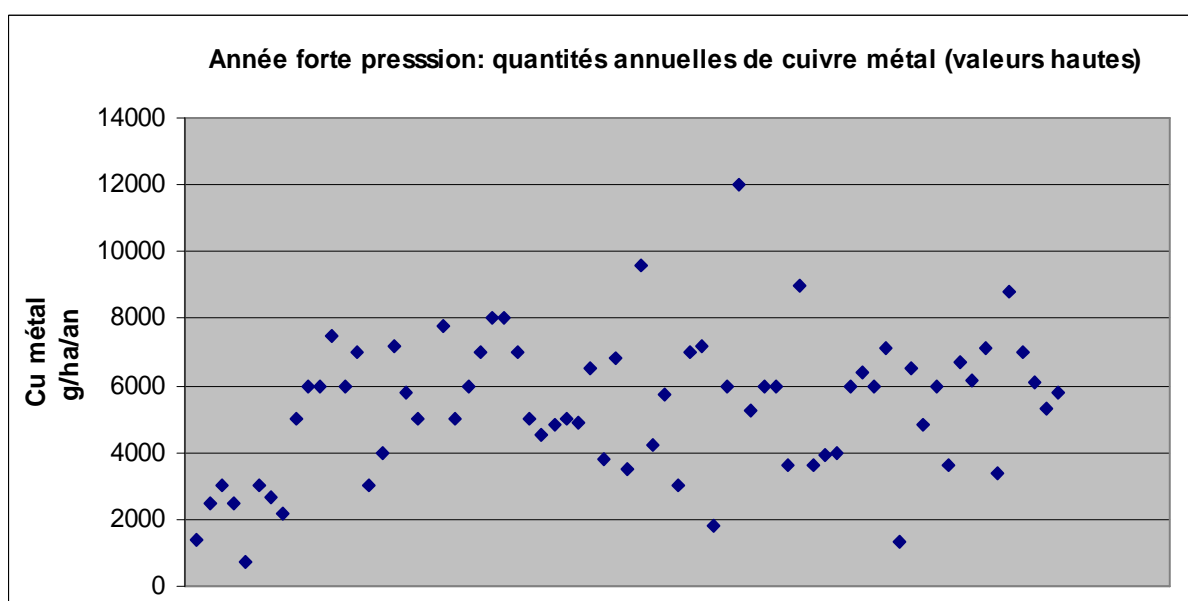
Les doses de cuivre par traitement ne sont pas constantes au cours de la saison, elles peuvent varier au cours du temps. En effet, selon les risques (pluviométrie et pression de maladie) et la pousse de la vigne, le producteur est amené à s'adapter en

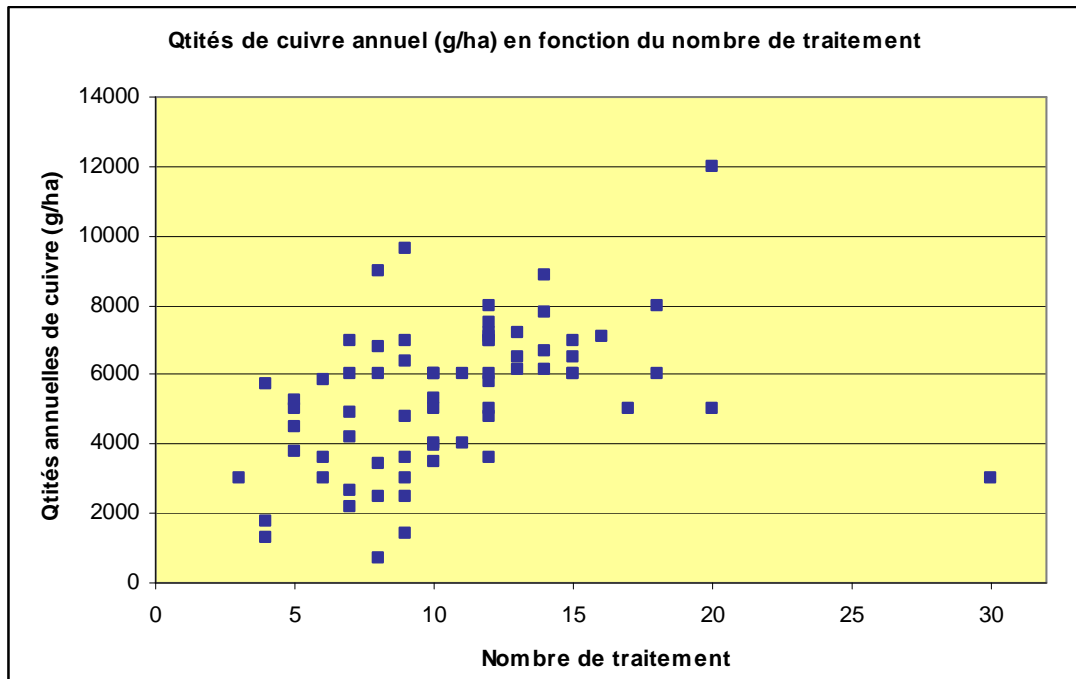
fractionnant plus ou moins les apports, c'est-à-dire en faisant varier la dose par traitement, puis le nombre de traitement.

Quantités annuelles de cuivre métal

Au final, les années avec de fortes pressions de maladies, **les quantités annuelles de cuivre métal apportées par hectare sont en moyenne de 4305 à 6327g**, avec un minimum de 720g et un maximum de 12000 g, même si la majorité des apports se situent entre 5000 et 7000g.

Seuls 22 vigneron sur les 185 ayant répondu parviennent à limiter leur apport annuel à 4000g ou moins. La majorité dépasse largement cette dose et une partie dépasse même les 6000g autorisés par la réglementation européenne sur l'AB (ces apports importants sont compensés par les années où ces apports sont moindres, puisqu'une moyenne sur 5 années est possible pour les cultures pérennes).





Conclusion : années à forte pression de mildiou

Les années à forte pression de maladie, la dose de 4kg/ha/an de cuivre métal ne permet pas d'assurer une protection suffisante de la vigne pour obtenir des récoltes satisfaisantes en quantité mais surtout en qualité, d'autant que la défoliation précoce des parcelles ne permet pas à la vigne de constituer des réserves. Les ceps sont donc fragilisés et la récolte de l'année suivante hypothéquée.

Une succession d'années à forte pression de maladie (2 ou 3), avec des récoltes faibles voire inexistantes sur certaines parcelles, mettrait en péril la viabilité économique des domaines viticoles biologiques touchés.

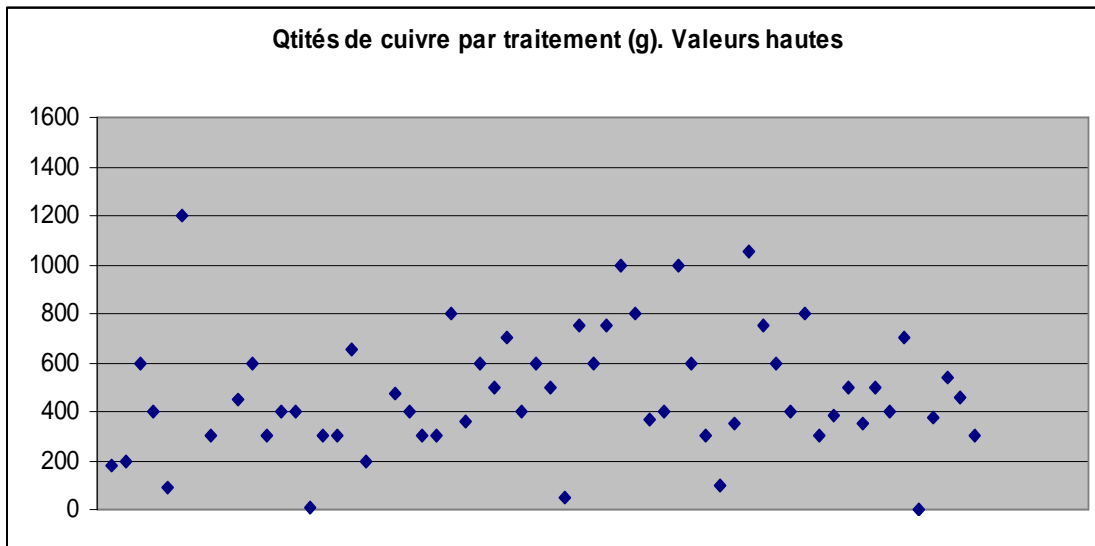
2.3 - Années à faible pression de maladies (mildiou)

	Alsace	Aquitaine	Bourgogne	Champagne	LR	MidiPy	PACA	RA	Val de Loire	Toutes régions
Nombre de réponse	7	59	53	6	30	2	3	6	8	174
Quantité de Cu/traitement (g): valeur la plus basse	50	10	200	200	50	60	400	200	0	0
Quantité de Cu/traitement (g): valeur la plus haute	1200	650	470	800	1000	350	1050	800	700	1200
Quantité de Cu/traitement (g): moyennes	229-381	540	437-449	260-593	587-591	65-225	733-800	348-456	274-409	439-505
Nbre de traitement: valeur la plus basse	3	5	4	7	1	5	1	4	0	0
Nbre de traitement: valeur la plus haute	7	12	10	10	6	12	6	9	10	12
Nbre de traitement: moyennes	4-5	6-7	4-10	8-10	4	6-9	3-4	7	6	5-7
Quantité annuelle de Cu/ha (g): valeur la plus basse	360	50	1000	3000	300	1000	800	1600	0	0
Quantité annuelle de Cu/ha (g): valeur la plus haute	2700	5000	3000	5000	4500	3000	4500	4800	4300	5000
Quantité annuelle de Cu/ha (g): moyennes	1151	3342-4122	1879-4411	3433-4433	2382-2509	1400-2000	2117-2650	2530-2380	2688-2813	2515-3649

Doses de cuivre par traitement

Les doses de cuivre par traitement varient **en moyenne de 439g à 505g**, ce qui est guère différent des années à fortes pressions (437g - 616g) ; les valeurs basses sont semblables, les valeurs hautes diffèrent de 100g. La valeur la plus basse est 0 : en effet, dans certaines zones, la maladie peut être quasi absente certaines années. Dans ce cas, les vigneron·ne·s n'effectuent soit aucun traitement, soit qu'un ou deux traitements de sécurité.

La dose de cuivre par traitement n'est pas la variable utilisée par les vigneron·ne·s pour adapter la protection du vignoble à la pression de la maladie. Entre une année à forte pression et une à faible pression, les quantités de cuivre par traitement sont approximativement les mêmes ; en revanche, les vigneron·ne·s vont jouer sur le nombre de traitement et augmenter les cadences de traitement lorsque les risques de maladie vont augmenter.

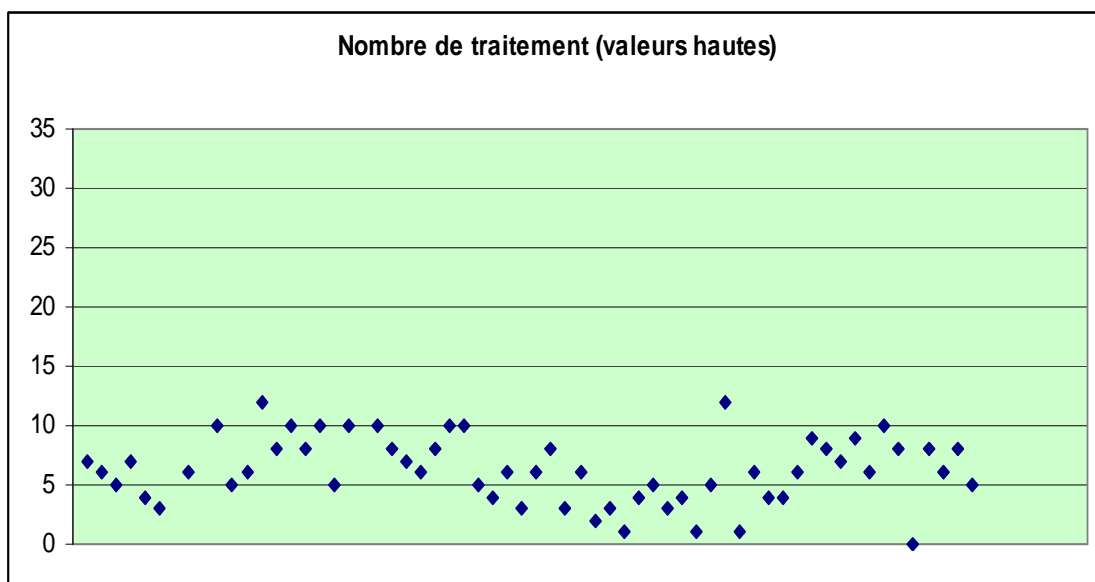


Nombre de traitement

Les années de faible pression de maladie, la moyenne des traitements effectués varie de 5 à 7 (contre 9 à 12 les années de forte pression), avec un minimum de 0 et un maximum de 12.

Le nombre de traitement est vraiment la variable d'ajustement utilisée par les vignerons pour s'adapter à la pression de maladie.

Les années où le risque de maladie est faible et où les précipitations sont peu abondantes voire absentes, les renouvellements se font essentiellement par sécurité en fonction de la pousse de la vigne.

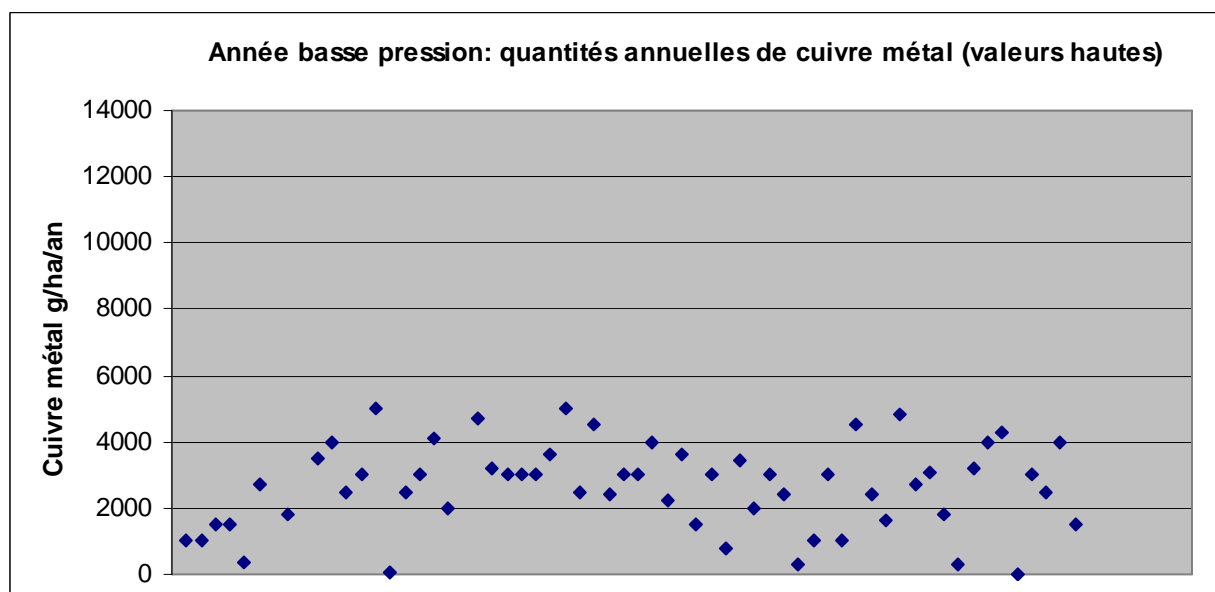


Quantités annuelles de cuivre métal

Sans surprise, en raison du nombre plus faible de traitements, les quantités finales de cuivre métal apportées sur les parcelles sont beaucoup plus faibles. La moyenne se situe de 2 500 à 3 600 g, avec un minimum de 0 et un maximum de 5000 pour les régions comme la Champagne ou l'Aquitaine où les conditions climatiques sont favorables à la maladie (qui reste présente tous les ans même si les pressions sont

variables, ce qui ne permet pas au viticulteur de réduire drastiquement les doses, comme c'est le cas dans d'autres régions).

On voit qu'une majorité de producteurs apporte entre 2000 et 3000g/an/ha, c'est-à-dire environ deux fois moins qu'une année à forte pression de maladie.



Conclusion : années à faible pression de mildiou

Les années à faible pression de maladie la dose de 4kg/ha/an de cuivre métal permet d'assurer une protection suffisante de la vigne, sauf pour certaines régions où les conditions climatiques ne permettent pas de réduire drastiquement les doses.

3 - Produits utilisés

Les deux principaux types de produits utilisés sont l'hydroxyde de cuivre et le sulfate de cuivre ; le plus souvent, ces deux produits sont utilisés au cours de la même campagne. Tous les vigneron utilisent au moins un de ces deux types de cuivre.

L'oxyde cuivreux (Nordox) est également largement utilisé. A noter : l'usage du CCD (Carbonate de Cuivre Déployé) en poudrage, qui est particulièrement utile voire indispensable en conditions océaniques, dans les régions à climat doux et forte humidité atmosphérique (ex. Pays Basque).

L'usage de l'oxychlorure est moins répandu.

4 - Produits alternatifs utilisés en complément

Un grand nombre de produits, vendus en tant qu'engrais foliaire, contenant éventuellement de faibles quantités de cuivre, est utilisé en complément des produits cupriques classiques.

Les plus courants sont le Labicuper (gluconate de cuivre) et le Cuivrol, deux engrais foliaires faiblement dosés en cuivre, et le prevB2 qui est un extrait d'agrumes.

Les préparations de plantes faites à la ferme sont également largement utilisées. Elles permettraient de réduire les quantités de cuivre par traitement voire de réduire le

nombre de traitement cuprique. Les plantes les plus couramment utilisées sont la prêle, le saule, l'ortie, l'achillée.

Ces produits présentent des efficacités partielles qui peuvent être intéressantes en complément pour réduire les doses de cuivre, afin de respecter la dose de 6 kg/ha/an imposée par le cahier des charges AB. Cependant, **aucun produit alternatif aux produits cupriques classiques, n'est suffisamment efficace pour le remplacer, ni même pour en réduire l'usage à 4 kg/ha/an les années de forte pression.**

Note : le programme européen REPCO dont l'objectif était d'identifier des produits naturels susceptibles de remplacer le cuivre dans la lutte contre le mildiou en agriculture biologique a montré que malgré quelques résultats encourageants avec certains produits, il n'existait pas d'alternative au cuivre. Les essais menés dans le réseau national de l'ITAB, arrive aux mêmes conclusions : il est possible de réduire les doses en fractionnant les doses et en raisonnant les apports, mais il n'existe à ce jour pas de produit alternatif à son usage.

5 - Alternatives agronomiques

De nombreuses pratiques agronomique visent soit à «éviter les projections contaminantes (enherbement, épamprage), soit à réduire la virulence de la maladie ou ses capacités de progression (effeuillage pour l'aération des grappes, choix de cépages adaptés, bonne gestion de la fertilisation et de la vigueur), soit encore à limiter les besoins de traitement (rognage : suppression des jeunes pousses). Ces techniques, largement utilisées par les vignerons biologiques, permettent de réduire l'usage du cuivre au strict nécessaire et à respecter la limitation des 6 kg/ha/an, mais elles seront insuffisantes, les années de forte pression, pour atteindre une dose maximale de 4 kg/ha/an.

6 - Conclusion

Cette enquête permet de montrer que **les apports sont raisonnés en fonction des risques de maladie**, qu'il n'y a pas de traitement systématique et que les vignerons font de réels efforts pour n'apporter que les quantités nécessaires à la protection de la vigne. En effet, le règlement européen AB actuel impose une limitation à 6 kg/ha/an (en moyenne sur 5 ans). Or on constate que les années où la pression de maladie est faible, la plupart des viticulteurs se situent très largement en dessous de cette limite.

A noter, **l'importance des disparités régionales** et les inégalités dues aux différences de climatiques d'une région à l'autre. Même si l'adaptation des pratiques agronomiques (enherbement, rognage, aération des grappes...) visent à atténuer les facteurs favorables à la maladie, elles restent insuffisantes et les viticulteurs des régions à climat humide (Aquitaine, Champagne, Bourgogne) sont obligés d'apporter plus de cuivre que ceux des régions plus sèches et/ou ventées (Provence, Alsace, Languedoc-Roussillon). Une limitation à 4 kg/ha/an aggraverait de façon dramatique ces inégalités naturelles interdisant de fait la pratique de la viticulture biologique dans les régions les plus à risques.

Remarque : Le cuivre est le seul moyen de lutte connu contre les bactérioses de la vigne (aussi bien en AB, qu'en conventionnel), il a aussi une action secondaire contre d'autres champignons pathogènes comme le black-rot. Une baisse drastique des doses entraînerait l'impossibilité de lutter efficacement contre ces maladies.

Conclusion : VITICULTURE

La dose de 4kg/ha/an de cuivre métal ne permet pas de produire du raisin (et donc du vin) biologique, tous les ans et dans toutes les régions viticoles françaises.

Cette dose va créer des distorsions de concurrence intenable avec les autres pays européens, concurrents directs de la France sur le marché des vins biologiques, dans lesquels cette limite ne sera pas imposée.

Cette dose n'est pas compatible avec le développement de la viticulture biologique dans toutes les régions viticoles françaises.

III - Résultats Production de fruits

Les données concernant les fruits sont issues des enquêtes mais également d'informations recueillies auprès des expérimentateurs et de techniciens de la filière fruits biologiques. En effet, l'enquête ayant été lancée en été, les arboriculteurs étaient mobilisés sur les récoltes et le taux de retour est faible et insuffisant pour que les résultats soient significatifs.

1 - Rappel situation de la production de fruits biologiques en France et en Europe

En 2008, d'après les chiffres publiés par l'Agence Bio, les surfaces conduites selon le mode de production biologique (certifiées + conversion) représentaient 10 954 hectares, soit 3 025 fermes et une progression de 13,5 % par rapport à 2007.

Les régions leaders sont les régions traditionnelles pour la production de fruits, à savoir Rhône-Alpes avec 2 480 ha, Provence-Alpes-Côte d'Azur avec 1 608 ha, Languedoc-Roussillon avec 1 414 ha et Aquitaine avec 1 282 ha.

Les principales productions sont : l'abricot, qui représente 29 % des surfaces de vergers biologiques, suivi de la prune avec 26 % des surfaces et la pomme avec 11 % des surfaces.

Aujourd'hui la demande en fruits biologiques est largement supérieure à l'offre et la France doit importer une grande partie des fruits biologiques consommés sur le territoire. Les nombreux problèmes techniques et notamment la maîtrise des ravageurs et maladies avec des moyens compatibles à la fois avec le cahier des charges AB ET les AMM des spécialités commerciales sur le territoire français sont un frein majeur au développement des vergers biologiques.

2 - Besoins en cuivre de l'arboriculture biologique

La difficulté de la filière arboriculture biologique est que le nombre de fongicides est réduit (2 seulement) et que le cuivre, en raison de son action polyvalente antifongique et bactéricide, est utilisé pour lutter contre un grand nombre de

maladies fongiques, dont la pression est variable d'une année sur l'autre. Pour un usage donné (maladie/espèce), il est possible d'évaluer les quantités de cuivre apportées annuellement mais pour une même espèce le cuivre peut être utilisé, certaines années, pour lutter contre plusieurs maladies, il faut donc additionner ces quantités qui peuvent alors facilement dépasser les 4 000 g annuels (par exemple sur pommier : cuivre contre la tavelure + cuivre contre le chancre).

Les quantités de cuivre données dans ce tableau correspondent à celles d'années avec de fortes pressions de maladie.

Espèce	Usage	Quantité de Cu/traitement (g)	Nbre de traitement	Quantité annuelle de Cu/ha (g)
Pommier	Tavelure	300	7	2100
Pommier	Chancre	1200	2	2400
Pommier	Monilia	400	3	1200
Pommier	Maladie de conservation	400	3	1200
Pommier	Black rot	360	3	1080
Pêchers	Cloque	2500	2	5000
Abricotiers	Monillia	750	4	3000
Abricotiers	Bactérioses	2500	1	2500
Abricotiers	Corynérum	2500	1	2500
Cerisiers	Monilia	750	4	3000
Pruniers	Chancre	2000	2	4000

On voit que par maladie, cloque exceptée, les quantités de cuivre apportées annuellement sont inférieures à 4000g/ha, mais il est rare que le cuivre ne soit utilisé, pour une espèce donnée, que contre un seul pathogène, la limite des 4000g/ha est alors dépassée.

A titre de comparaison, le tableau ci-dessous donne les doses d'homologation de quelques produits cupriques : on voit que pour la cloque du pêcher, les agrobiologistes emploient seulement la moitié voire moins de la dose d'homologation, pour la tavelure cette dose est presque divisée par 10. Les efforts des producteurs pour réduire les doses et ne mettre que celle nécessaire à la protection de leur verger sont donc évidents.

Doses d'homologation de quelques produits cupriques contre la cloque du pêcher et la tavelure du pommier

Cloque du pêcher						
	Hydroxyde de Cu 1	Hydroxyde de Cu 2	Hydroxyde de Cu 3	Sulfate de Cu (BB)	Oxyde Cuivreux	Oxychlorure
Dose d'homologation (g/Hl)	660	1250	1000	2500	333	1000
Concentration (g/kg ou g/l)	375	400	500	200	750	500
Cu métal (g/traitement/Hl)	247,5	500	500	500	249,75	500
Cu métal (g/traitement/ha)	2475	5000	5000	5000	2497,5	5000

Tavelure du pommier						
	Hydroxyde de Cu 1	Hydroxyde de Cu 2	Hydroxyde de Cu 3	Sulfate de Cu (BB)	Oxyde Cuivreux	Oxychlorure
Dose d'homologation (g/Hl)	660	650	500	1250	333	500
Concentration (g/kg ou g/l)	375	388	500	200	750	500
Cu métal (g/traitement/Hl)	247,5	252,2	250	250	249,75	250
Cu métal (g/traitement/ha)	2475	2522	2500	2500	2497,5	2500

Note : les doses d'homologation sont données en kg/Hl, pour pouvoir effectuer des comparaisons avec les données de l'enquête, ces quantités ont été converties en g/ha, en considérant qu'un traitement apporte en moyenne 10 Hl par hectare.

4 - Produits et méthodes alternatives

Le cuivre est une préoccupation ancienne des producteurs biologiques et de nombreux travaux de recherche et expérimentations ont été menées pour essayer de trouver des alternatives (produits ou techniques) ou au moins des moyens pour en réduire les apports.

Sur les deux principales maladies, à savoir tavelure du pommier/poirier et cloque du pêcher, un certain nombre d'alternatives partielles existent. En revanche, pour lutter contre les autres maladies, même si des mesures prophylactiques permettent d'en atténuer les effets, le cuivre reste le seul moyen efficace de lutte.

Pêcher : lutte contre la cloque. Les expérimentations ont montré que l'utilisation précoce de Bouillie Sulfo-Calcique Italienne (BSCI) permettait soit de ne plus utiliser de cuivre, soit d'en utiliser des quantités très réduites. La BSCI constitue une bonne alternative à l'usage du cuivre contre la cloque du pêcher **MAIS elle ne possède pas d'AMM en France** et ne peut donc être légalement utilisée. La Bouillie Nantaise, qui est également une bouillie sulfo-calcique, a une AMM mais son efficacité contre la cloque est bien moindre, elle ne peut constituer une alternative au cuivre.

Le choix de variétés tolérantes à la cloque permet également de réduire l'usage du cuivre mais ce n'est pas toujours possible notamment dans le cas de vergers en place convertis à l'AB, le choix variétal de départ n'ayant pas été fait en fonction de la conduite en AB. Par ailleurs, les variétés tolérantes ne sont pas forcément adaptées à

toutes les conditions pédo-climatiques, elles peuvent aussi présenter des sensibilités rédhibitoires à d'autres ravageurs (pucerons) ou maladies. Elles ne constituent donc pas dans tous les cas une alternative crédible à l'usage du cuivre contre la cloque. Dans les vergers de pêchers où en plus de la cloque il est nécessaire de lutter avec des produits cupriques contre des bactérioses, la dose de 4kg de cuivre par hectare et par an devient très insuffisante les années de fortes pressions.

Dans l'état actuel des connaissances et des variétés disponibles, les limitations de la quantité de 4 kg/ha/an de cuivre métal et plus encore de la dose de 750g maxi par traitement sont insuffisantes pour assurer une protection satisfaisante des vergers en AB contre la cloque et les bactérioses, lorsque la pression de ces maladies est moyenne à forte.

Pommiers : lutte contre la tavelure. Un certain nombre d'alternatives partielles existe également. Les variétés tolérantes sont intéressantes dans de nombreux cas mais elles présentent les limites déjà évoquées pour le pêcher, avec en outre un risque avéré de contournement des résistances/tolérances.

Outre les aspects variétaux, des résultats intéressants ont été obtenus en utilisant des méthodes permettant de réduire l'inoculum, notamment en enlevant (ou en enfouissant) les feuilles mortes des vergers à l'automne.

De nombreuses expérimentations pour tester des produits ont également été faites, sans qu'aucun, à ce jour, ne soit capable de rivaliser avec le cuivre en termes d'efficacité.

Pommiers : lutte contre le chancre. La lutte contre cette maladie bactérienne requiert des apports de cuivre par traitement largement supérieurs à 750 g/ha. Il n'existe à ce jour aucune alternative à la lutte directe avec des produits cupriques contre cette maladie.

En résumé, pour les pommiers, la quantité annuelle de 4 kg/ha non lissée (non moyennée sur 5 ans comme c'est le cas pour les cultures pérennes dans le règlement européen AB) ne permet pas la production de pommes biologiques en année humide pour les zones à climat doux et humide, notamment à cause du chancre.

5 - Arboriculture biologique et biodiversité

Les études montrent que la biodiversité des vergers biologiques, malgré l'usage du cuivre, est supérieure (y compris pour les vers de terre) à celle des vergers conventionnels et ceux en lutte intégrée. La présence et la reproduction d'oiseaux insectivores y sont notamment supérieures. (Voir études jointes). En effet le faible usage des insecticides mais également des pratiques agronomiques telles que les apports de fertilisants et amendements organiques, le travail du sol, l'enherbement du rang et de l'inter-rang, l'absence d'herbicides sont autant de mesures qui permettent d'atténuer les effets dépressifs du cuivre sur la faune et la flore du sol, et de favoriser la biodiversité.

6 - Arboriculture biologique et variétés tolérantes aux maladies.

Les variétés actuellement sur le marché de pommiers et de pêchers résistantes respectivement à la tavelure et à la cloque sont en voie d'être contournées par certaines races de tavelure et de cloque. Elles n'offrent donc pas une protection sûre

et durable contre ces maladies. En revanche, la **création de variétés rustiques** permettrait ce type de protection avec des apports réduits en cuivre. Cependant, la création de telles variétés, adaptées au marché actuel, ne fait que commencer et faudra au minimum 10 années pour qu'elles soient disponibles et que les anciens vergers soient remplacés par de nouveaux plantés avec ces variétés rustiques. Il faudrait donc que l'INRA soit explicitement missionné pour créer de telles variétés et qu'avant que ces variétés soient disponibles, les doses de cuivre ne soient pas inférieures à ce qui est actuellement autorisé par le règlement européen AB (6 kg/ha/an moyennable sur 5 ans).

7 - Conclusion

Dans l'état actuel des connaissances techniques et des produits commerciaux disponibles légalement en France, et malgré un certain nombre d'alternatives (variétés tolérantes, techniques), la limite de 4 000 g de cuivre métal annuel par hectare est insuffisante les années de forte pression de maladie pour assurer une protection satisfaisante des vergers biologiques.

Il est donc demandé que la limite soit équivalente à celle déjà en vigueur, au niveau européen, pour les cultures pérennes biologiques, à savoir 6 kg/ha/an, en moyenne sur 5 ans pour tenir compte du caractère pérenne des vergers et des variations de pression de maladies d'une année sur l'autre.

Conclusion : FRUITS

La dose de 4 kg/ha/an de cuivre métal ne permet pas, dans l'état actuel des connaissances et des AMM disponibles, de produire des pommes et des pêches biologiques tous les ans. Cette dose n'est pas compatible avec le développement de ces productions biologiques.

Pour que les doses de cuivre puissent être réduites de façon plus importante, il faut que d'autres produits comme la BSCI (Bouillie Sulfo-Calcique Italienne) ou le bicarbonate de potassium puissent avoir des AMM en France.

IV - Résultats Production de légumes

Lors de l'enquête, ce sont principalement des groupements de producteurs qui ont répondu, c'est-à-dire principalement des producteurs de légumes en filière longue, les maraîchers en circuits courts ayant peu répondu à l'enquête.

Les besoins en cuivre concernent principalement trois productions : les pommes de terre (production de plants, pomme de terre primeur et de consommation), l'oignon et les tomates, pour lutter contre le mildiou.

Le cuivre est néanmoins aussi utilisé pour lutter contre les bactérioses sur échalote, haricot et endive, l'*alternaria* de la carotte, le mildiou du poireau, la septoriose du céleri-rave.

Les réponses proviennent de quatre régions : la Bretagne, la Normandie, le Sud Ouest et l'Île de France.

1 - Rappel situation de la production de légumes biologiques en France

En 2008, selon les chiffres de l'Agence Bio, il y avait en France 8 486 hectares de légumes (frais) cultivés selon le règlement de l'agriculture biologique (surface bio + conversion), ce qui représente 3 113 fermes. Entre 2007 et 2008, on enregistre une progression de 14 % des surfaces cultivées selon ce mode de production.

La région leader est la Bretagne avec 2 100 hectares, avec comme principales productions, la pomme de terre, l'oignon, les choux (brocoli, fleur, pommé...), l'échalote, l'artichaut et, sous abris, tomates et concombres. Viennent ensuite les régions Pays de Loire, Provence - Alpes - Côte d'Azur et Rhône-Alpes avec respectivement 784, 667 et 633 hectares.

Outre les traditionnels marchés nord-européens pour les productions légumières en circuits longs, l'accroissement de la demande des grands centres urbains pour des légumes biologiques a permis le développement de la vente en circuits courts (marchés, Amap, paniers...) et l'installation de jeunes agriculteurs sur de petites surfaces en zones périurbaines.

2 - Cas des cultures principales : Pomme de terre, oignon, tomates

Tous les producteurs (ou groupements de producteurs) ayant répondu ont au moins une de ces trois productions. Pour ces trois productions, le cuivre est utilisé pour lutte contre le mildiou.

Les pommes de terre primeurs ont été traitées séparément des pommes de terre de conservation et de la production de plants de pomme de terre puisque que les besoins en cuivre des premières sont différents de ceux des secondes.

	Année forte pression de maladie				Année forte pression de maladie			
	Pomme de terre	Pomme de terre primeur	Oignon	Tomates	Pomme de terre	Pomme de terre primeur	Oignon	Tomates
Nombre de réponse	139	37	127	39	139	37	127	69
Quantité de Cu/traitement (g): valeur la plus basse	500,0	/	500,0	500,0	350,0	/	400,0	400,0
Quantité de Cu/traitement (g): valeur la plus haute	3200,0	/	700,0	1500,0	1500,0	/	500,0	1500,0
Quantité de Cu/traitement (g): moyennes	1019,4	700,0	605,5	546,2	625,5	400,0	423,6	689,1
Nbre de traitement: valeur la plus basse	3,0	/	4,0	5,0	1,0	/	1,5	1,5
Nbre de traitement: valeur la plus haute	12,5	/	12,5	12,0	9,0	/	9,0	12,0
Nbre de traitement: moyennes	9,9	5,5	8,7	11,7	4,2	2,0	5,6	7,2
Quantité annuelle de Cu/ha (g): valeur la plus basse	6000,0	/	2800,0	6000,0	1500,0	/	600,0	2000,0
Quantité annuelle de Cu/ha (g): valeur la plus haute	9600,0	/	6000,0	8000,0	3500,0	/	3500,0	5000,0
Quantité annuelle de Cu/ha (g): moyennes	7939,6	4000,0	4831,5	6089,7	3305,0	800,0	2300,8	3559,4

Pour les pommes de terre, les quantités de cuivre apportées par traitement varient entre 500 g et 3 200 g, pour une moyenne de 1 000 g environ. De même, selon les régions, le nombre de traitement varie de 3 à 12,5 pour une moyenne de 10 ; un faible nombre de traitement s'accompagne généralement d'une dose de cuivre par traitement élevée.

Les quantités de cuivre métal apportées annuellement varient de 6 000 g à 9 600 g pour une moyenne proche de 8 000 g. On voit que même la quantité la plus basse employée dépasse de 2 000 g la limite des 4 000 g.

Les années de plus faible pression de maladie, l'enquête montre qu'il est possible de maîtriser la maladie avec des quantités compatibles avec la limite des 4 000g/ha.

Pour les pommes de terre primeur, la saison est beaucoup plus courte, les quantités apportées de cuivre métal sont moindres.

Note : en 2008, année de très forte pression de mildiou pour les pommes de terre, qui fut difficile pour tous les producteurs, biologiques comme conventionnels, des produits phytopharmaceutiques (non compatibles avec l'AB) qui avaient été retirés du marché (pour raison de toxicité ??) ont été ré-autorisés pour cette campagne exceptionnelle.

Pour les tomates, la problématique est identique à celle des pommes de terre, les apports annuels de cuivre les années de forte pression (mildiou) sont bien supérieurs au 4 000 g puisque la valeur la plus basse est de 6 000 g, la plus haute de 8 000 g pour une moyenne d'environ 6 100 g.

Les années de faible pression, les quantités apportées restent inférieures à la limite des 4 000 g.

Pour les oignons, les années de forte pression de maladie (mildiou), la quantité moyenne de cuivre métal apportée par traitement est de 600 g, pour un nombre moyen de traitement légèrement inférieur à 9. Les quantités annuelles de cuivre apportées par hectare sont de l'ordre de 4 800 g, ce qui reste supérieur à la limite.

Les années de faible pression, les quantités apportées restent inférieures à la limite des 4 000 g/ha.

En guise de comparatif, le tableau ci-dessous donne quelques doses d'homologation de produits cupriques sur mildiou de la pomme de terre et de la tomate.

Les producteurs biologiques emploient pour ces deux productions des doses bien inférieures à celles autorisées par l'homologation.

Doses d'homologation de quelques produits cupriques contre mildiou de la tomate et de la pomme de terre

Mildiou de la pomme de terre						
	Hydroxyde de Cu 1	Hydroxyde de Cu 2	Hydroxyde de Cu 3	Sulfate de Cu (BB)	Oxyde Cuivreux	Oxychlorure
Dose d'homologation (g/ha ou ml/ha)	10000	10000	13300	25000	6667	10000
Concentration (g/kg ou g/l)	500	770	375	200	750	500
Cu métal g/traitement/ha	5000	7700	4987,5	5000	5000,25	5000
Mildiou de la tomate						
Dose d'homologation (g/ha ou ml/ha)	2000	3500	3300	6250	1667	2500
Concentration (g/kg ou g/l)	500	350	375	200	750	500
Cu métal g/traitement/ha	1000	1225	1237,5	1250	1250,25	1250

3 - Autres productions

Outre ces trois productions qui requièrent les quantités les plus importantes de cuivre pour lutter contre le mildiou, d'autres maladies nécessitent l'usage de cuivre : les bactérioses sur échalote, endive, piment/poivron et haricots, l'*alternaria* de la carotte, la septoriose du céleri rave, et le mildiou sur poireau, plants de brocoli et de choux-fleurs et artichaut.

Pour ces usages, le nombre de réponses recueillies dans l'enquête est plus faible que pour les trois principales productions. Néanmoins, il permet d'avoir un ordre de grandeur des quantités nécessaires les années de forte pression de maladie.

Usage	Espèce	Quantité de Cu/traitement (g)	Nbre de traitement	Quantité annuelle de Cu/ha (g)
Bactérioses	Echalote	750	6	4500
Bactérioses	Endive	1000	2	2000
Bactérioses	Piment/poivron	Pas de données mais usage à prendre en compte		
Bactérioses	Haricots	Pas de données mais usage à prendre en compte		
Alternaria	Carotte	2400	2	4800
Septoriose	Céleri-rave	1080	4	4300
Mildiou	Poireau	2400	2	4800
Mildiou	Brocoli/chou-fleur (plants)	400	2	800
Mildiou	Artichaut	1000	3	3000

Les années de forte pression de maladie, le nombre de traitements est faible (maximum de 6 pour la bactériose sur échalote) mais les doses de cuivre par application sont élevées, si bien qu'au final la dose annuelle est supérieure à 4000 g/ha.

Note : il n'y a pas actuellement de spécialité cuprique homologuée sur *alternaria* de la carotte, ni sur septoriose du céleri-rave, ni sur bactérioses du piment/poivron. Ce sont des usages orphelins en bio pour la carotte, en général pour le céleri-rave et le piment/poivron.

4 - Produits utilisés et alternatives

La matière active utilisée est majoritairement le sulfate de cuivre. Il n'y a pas de produit alternatif permettant de ne pas utiliser de cuivre.

Il existe des méthodes agronomiques qui permettent de réduire la pression de maladie en créant des conditions défavorables mais elles sont insuffisantes pour remplacer le cuivre.

Pour certaines espèces, il existe des variétés tolérantes (ex. : pomme de terre) mais ces variétés ne sont pas forcément adaptées à la demande du marché et/ou au goût des consommateurs. De plus, les années de forte pression, les tolérances peuvent être insuffisantes et les traitements cupriques sont alors nécessaires.

Le programme européen Blight-MOP, dont l'objectif était d'identifier des produits alternatifs au cuivre pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre, a montré qu'un tel produit n'existait pas.

5 - Cultures annuelles biologiques et biodiversité

Par rapport aux arguments avancés dans le rapport AFSSA concernant la toxicité sur Mammifères (lapin) du cuivre utilisé pour traiter les cultures contre le mildiou, il est à noter que le feuillage de ces cultures (Solanacées et Alliées) n'est pas consommé par les herbivores (lapin par exemple) et que, les parcelles n'étant pas enherbées, elles ne sont pas fréquentées par les herbivores. Le risque de toxicité sur des herbivores comme le lapin dans ces cultures paraît donc extrêmement réduit voire nul et ne saurait être retenu comme argument pour en réduire les doses.

Par ailleurs, ces cultures sont annuelles et entrent en agriculture biologique dans une rotation, c'est-à-dire que ces cultures, traitées au cuivre, ne sont cultivées sur une même parcelle que tous les 3 à 5 ans. Les autres années, les parcelles sont plantées avec des cultures ne demandant pas ou peu de traitement au cuivre (choux divers, carottes, artichauts...), les risques d'accumulation dans le sol et donc de toxicité pour les vers de terre et donc pour les oiseaux vermivores se trouvent donc très réduits. Par ailleurs, les pratiques agronomiques (travail du sol, apports de matières organiques) contribuent fortement à réduire les effets négatifs du cuivre sur les organismes du sol.

6 - Conclusion

En raison du **caractère annuel des cultures** de pomme de terre, oignon et tomate, et **des pratiques agronomiques** liées à leur production en agriculture biologique (travail du sol, apports de matières organiques et rotation, avec retour de la même culture sur la même parcelle tous les 3 à 5 ans), les risques de toxicité sur les Herbivores, Oiseaux et faune du sol, paraissent réduits.

Pour ces raisons la limitation à 4 kg/ha/an des apports de cuivre ne paraît pas justifiée en cultures légumières biologiques. La limitation à 6 kg/ha/an, telle que prévue par le règlement européen AB, paraît raisonnable du point de vue du respect de la biodiversité.

Les années de forte pression de maladie, **une limitation à 4 kg/ha/an est insuffisante** pour assurer des récoltes d'oignon, de pomme de terre (plants et consommation) et de tomate, en qualité et en quantité satisfaisantes pour assurer la pérennité économique de la production et des fermes qui les produisent. C'est également le cas pour les carottes, céleris-rave, échalotes et poireaux.

La France est un des pays **leader pour la production de plants de pomme de terre biologique**, une telle limitation compromettrait fortement le développement de cette production, l'autonomie sur la France sur ce marché et sa place sur le marché européen.

Conclusion : LEGUMES

La dose de 4 kg/ha/an de cuivre métal ne permet pas de produire des pommes de terre (plants et consommation), des oignons et des tomates biologiques tous les ans. Cette dose n'est pas compatible avec le développement ces productions biologiques.

Pour les autres productions légumières dont la protection de la culture nécessite l'usage du cuivre, la dose de 4 kg/ha/an ne permettra pas les années de forte pression de maladie la production de carottes, céleris-raves, échalotes et poireaux biologiques.

VI - Résultats Production de semences

Peu de données concernant la production de semences de potagères (protection des porte-graines) ont pu être collectées. Un des participants à l'enquête a fourni ses données concernant la lutte contre le mildiou sur porte-graine d'oignon. Les années de forte pression de maladie, la protection requiert 6 traitements à 1600g par traitement, soit un apport annuel de cuivre de 8000g/ha. Les années de faible pression de maladie, 3 traitements à 1300g de cuivre par traitement sont effectués, soit une quantité annuelle de cuivre de 5000g/ha. Dans les deux cas, la limite de 4000g/ha est dépassée.

Malgré l'absence de données, nous pouvons néanmoins dire qu'il est probable qu'une limitation à 4000g/ha compromettrait gravement la production de semences d'oignon biologique les années de forte pression de maladie.

Note : Le cas de la Carie Commune en production de céréales

La carie commune (*Tilletia Caries*, *Tilletia foetida*) est une maladie actuellement en recrudescence, entraînant le refus de lots de céréales en meunerie (odeur de poisson pourri) voire en alimentation animale. En production de semences certifiées la réglementation impose l'absence totale de spores de carie. Des moyens de lutte existent mais leur efficacité reste limitée. L'utilisation de produits à base de cuivre utilisés en traitement des semences de céréales est une piste expérimentée ; les résultats sont très prometteurs. La quantité de cuivre utilisé est de l'ordre de quelques grammes par hectare. Autrement dit les doses utilisées sont très limitées et la problématique est très différente de celles de la viticulture, de l'arboriculture ou du maraîchage, néanmoins l'interdiction d'utilisation de produits cuivrés dans ce secteur de production fermerait la porte aux pistes de recherche actuelles parmi les plus intéressantes.

Conclusion

Les agrobiologistes demandent à ce qu'il soit prouvé que le cuivre tel qu'il est utilisé dans les conditions de production biologique est effectivement néfaste pour les oiseaux et les mammifères. En effet, les études sur lesquelles s'appuie la valeur de 4 kg/ha/an sont basées sur des modèles théoriques qui ne reflètent en aucun cas la réalité des conditions d'usage du cuivre en AB.

La limitation des doses ne sera pas appliquée de la même façon dans tous les pays de l'Union, et notamment dans les deux pays concurrents directs de la France pour la production de vins, de fruits et de légumes biologiques, à savoir l'Italie et l'Espagne. Des inégalités existent déjà portant sur l'usage des autres produits phytopharmaceutiques, cette situation ne pourra qu'aggraver de façon dangereuse la **distorsion de concurrence** entre la France et ces pays et mettre les produits français en position très défavorables sur les marchés exports, alors même que les lois européennes doivent garantir des conditions de production équitables entre les différents pays de l'Union.

Parce que la limitation actuelle du cuivre en AB à 6kg/ha/an en moyenne sur 5 ans pour les cultures pérennes, permet le maintien dans les vignobles et les vergers biologiques d'une biodiversité importante (voir études INRA et Ctifl sur la biodiversité), supérieures à celle des parcelles conventionnelles, les agrobiologistes demandent à ce que la limitation demandée par l'inscription à l'annexe 1 de la Directive CE 91/414, **soit équivalente à celle déjà existante en AB, à savoir 6kg/ha/an de cuivre métal avec la possibilité de faire une moyenne sur 5 ans** (pour les cultures pérennes) afin de tenir compte des variations de pression de maladie d'une année sur l'autre.

Il convient également de ne pas oublier les cultures pour lesquelles cette enquête n'a pas permis de récolter des données, à savoir les petits fruits (framboisiers, cassissiers, groseilliers, mûres, myrtilliers) et les Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales. En mode de production biologique, le cuivre est indispensable pour la protection de ces productions contre les maladies fongiques et bactériologiques.



GESTION DES APPORTS DE CUIVRE EN VITICULTURE BIOLOGIQUE

NICOLAS CONSTANT

AIVB-LR



SEPTEMBRE 2009

<i>Introduction</i>	27
1) Les données d'expérimentation	27
i) Etude du lessivage du cuivre : compte-rendu intégral de l'étude menée par l'Institut Français e la Vigne et du Vin (IFV), 2003	27
ii) Test de l'efficacité de doses réduites de cuivre : Synthèse des essais du groupe « cuivre » de l'ITAB de 2001 à 2006	36
2) Simulation de l'usage du cuivre en viticulture biologique à partir des données météorologiques et de modélisation	56
i) Stratégie d'utilisation du cuivre dans la lutte contre le mildiou de la vigne	56
ii) Méthodologie	56
iii) Résultats	57
a) moyennes des données disponibles dans chaque vignoble	57
b) Analyse fréquentielle des dépassement de seuil	58
<i>Conclusion générale</i>	63
<i>Remerciements</i>	63
ANNEXE	65

Introduction

La directive 2009/37/CE du 23 avril 2009 a ajouté les composés de cuivre à la liste positive des substances actives autorisées en agriculture sur le territoire communautaire. L'évaluation des risques faite lors de l'examen du dossier de ces composés a mis en évidence des risques d'ordre écotoxicologique. En conséquence, la directive 2009/37/CE prévoit que les Etats membres prennent les mesures nécessaires pour limiter les impacts négatifs du cuivre sur l'environnement, tout en garantissant l'efficacité de ces produits sur les usages reconnus, comme le précise la phrase suivante : « *Lors de cette évaluation générale, les Etats membres doivent accorder une attention particulière à la quantité de substance active appliquée ; ils veilleront à ce que les quantités autorisées, du point de vue du dosage et du nombre d'application, correspondent au minimum nécessaire pour obtenir les effets désirés.* »

Les composés de cuivre sont les seules substances actives autorisées au cahier des charges européen régissant l'agriculture biologique (règlement CE 899/2008, texte d'application du règlement CE 834/2007) et présentant une réelle efficacité contre *Plasmopora viticola*, agent responsable du mildiou de la vigne, l'une des maladies les plus sévères des vignobles français. Conscients des risques liés à l'utilisation abusive du cuivre, les viticulteurs biologiques œuvrent à la réduction de son utilisation depuis de nombreuses années. Celle-ci a pris un statut réglementaire à partir du 31 mars 2002, en imposant un usage maximum de 6 kg de cuivre métal/ha/an avec la possibilité de faire la moyenne sur 5 années. Cette restriction vise à réduire les impacts du cuivre sur l'environnement, tout en permettant aux vigneron biologiques de protéger correctement leurs vignobles quelque soit le niveau de pression parasitaire.

La proposition de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) de réduire l'usage du cuivre métal à 4 kg/ha/an, avec un maximum de 8 applications par an, sans possibilité de moyenniser cette dose sur plusieurs millésimes inquiète les professionnels de la filière viticole biologique. Le présent document présente des résultats d'expérimentation et de simulations illustrant l'impossibilité de protéger correctement les vignes biologiques dans de telles conditions d'utilisation en situation de forte pression parasitaire.

Les éléments présentés dans ce document s'appuient 1) sur des résultats d'expérimentations mises en place ces dernières années pour valider l'efficacité des doses réduites de cuivre, 2) sur le calcul théorique de quantités annuelles de cuivre à partir de relevés pluviométriques de différents vignobles français. Ces informations visent à appuyer les résultats de l'enquête menée par l'ITAB au cours de l'été 2009.

1) Les données d'expérimentation

i) Etude du lessivage du cuivre : compte-rendu intégral de l'étude menée par l'Institut Français e la Vigne et du Vin (IFV), 2003

1) OBJECTIFS ET HISTORIQUE

Ces travaux, débutés en 2001 à la demande de la Commission Technique de l'ITAB visent d'une part à définir des modalités de renouvellement d'une protection cuprique vis à vis de *Plasmopara viticola* ceci en vue de minimiser les apports et donc l'accumulation de ce métal dans les sols et d'autre part à quantifier l'efficacité de doses réduites de cuivre. 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 Cu 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) générât 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 Héliocuvire (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 une étude du lessivage sous simulateur de pluie, ce dispositif permettant de s'affranchir des précipitations naturelles par trop aléatoires.

2). PROTOCOLE EXPERIMENTAL DE L'ESSAI D'EFFICACITE PRACTIQUE

- Cépage : 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.
- Dispositif à 4 blocs, parcelles élémentaires de 10 ceps.
- 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	1.5	600	Hydroxyde de Cu	Pluie>20mm
2	HELIOCUIVRE	1.5	600	Hydroxyde de Cu	Pluie>30mm
3	HELIOCUIVRE	3.0	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

2.1) – Observations et résultats

2.1.1) Efficacité biologique :

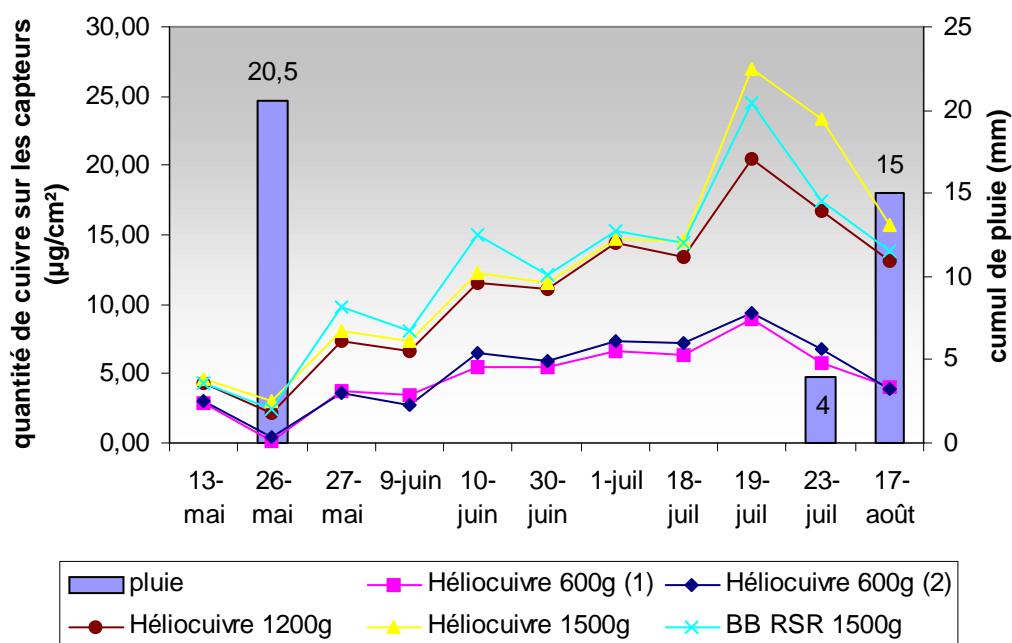
Les conditions météorologiques de mai à août ont empêché toute installation significative de la maladie bien qu'une contamination artificielle ait été réalisée en fin floraison et que l'essai jouxte un autre essai mildiou sous brumisation. Aucune conclusion ne peut donc être tirée en termes d'efficacité au champ des différentes modalités.

2.1.2) Evolution des quantités de cuivre sur capteurs : cf figure 1

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 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 Hélicuivre à 1500 et 1200g/ha et BB RSR Disperss à 1500g/ha ne se différencient pas.

Figure 1 : Quantité de cuivre présente sur les capteurs en 2003



3). ETUDE SOUS SIMULATEUR DE PLUIE

Le but de cette étude est 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.

3.1.) 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.

3.2) 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...)

3.3) Comparaison entre pluies naturelle et simulée :

Suite à une pluie de 4mm et d'intensité de 5mm/h le 23/07/03, la perte en cuivre des capteurs a pu être mesurée et comparée à celle provoquée par une pluie artificielle de 4mm/h et d'intensité 15mm/h (minimum permis par le simulateur).

Résultats : cf tableau III

La variabilité due à la pulvérisation pneumatique à dos entraîne une variabilité trop importante (CV>50%) et l'ADV à 2 facteurs n'est pas interprétable. Les pertes en cuivre sont cependant suffisamment proches pour autoriser l'extrapolation des résultats simulés aux conditions naturelles.

Tableau III : Pertes en cuivre des capteurs selon l'origine de la pluie

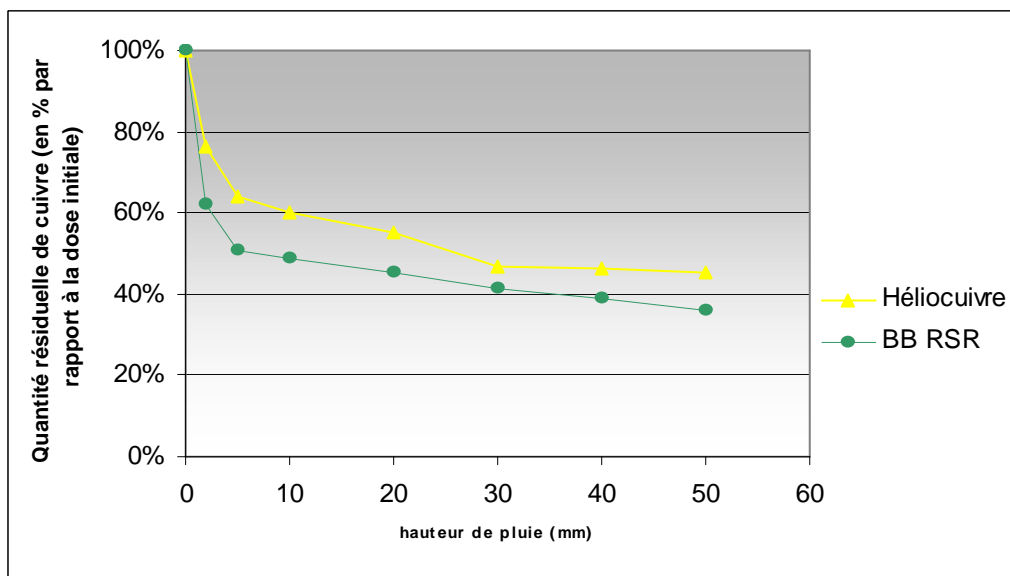
PLUIE	Héliocuire 600	Héliocuire 600	Héliocuire 1200	Héliocuire 1500	BB RSR Disp. 1500

	29.3%	42.7%	22.3%	12.8%	30.4%
	26.6%	27.2%	23.5%	8.1%	18.1%
	26.0%	19.6%	29.6%	15.5%	21.7%
	33.8%	25.4%	7.3%	15.2%	43.2%
Moyenne :	28.9%	28.7%	20.7	12.9	28.4
SIMULATEUR	Héliocuire 600	Héliocuire 600	Héliocuire 1200	Héliocuire 1500	BB RSR Disp. 1500
	2.9%	18.5%	27.5%	10%	23.8%
	27.5%	24.4%	31.4%	6.8%	27.2%
	23.4%	18.9%	6.5%	10.3%	14%
	29.1%	15.1%	9.2%	11.4%	15.7%
Moyenne :	20.7%	19.2%	18.6	9.6%	20.2%

3.4) Effet de la hauteur d'eau sur le lessivage d'Héliocuire et de BB RSR Dispers

2 séries de 20 feuilles sont pulvérisées avec Héliocuire ou BB RSR en vue d'obtenir un dépôt de cuivre de 2.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, correspondant à une dose de 1500g/ha de cuivre métal. Sur chaque série 10 feuilles sont analysées après lessivage et 10 sans lessivage. Il y a 2 répétitions pour chaque modalité dose et 2 répétitions pour chaque hauteur de pluie. Les hauteurs de pluie vont de 0 à 60mm.

Figure 2 : Résistance au lessivage des 2 formulations à 1500g Cu/ha



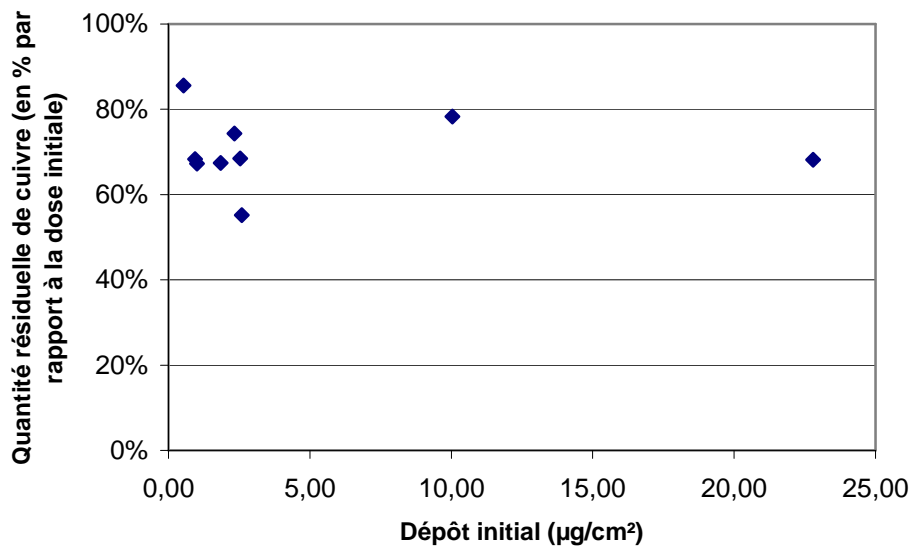
Une légère différence de résistance au lessivage est observable. Le cuivre restant sur le feuillage est statistiquement plus important dans la modalité Héliocuire et ceci pour 6 hauteurs de pluie sur les 7 expérimentées.

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.

3.5) Relations entre doses d'emploi et lessivage :

Le comportement de différentes doses d'Héliocuire (dose homologuée 1200g/ha de Cu, 1500 et 600 ainsi que 5 et 10 fois la dose homologuée) a été étudié face à une pluie simulée de 5mm pour une intensité de 35mm/h.

Figure 3 : Effet de la dose initiale pour un lessivage de 5mm

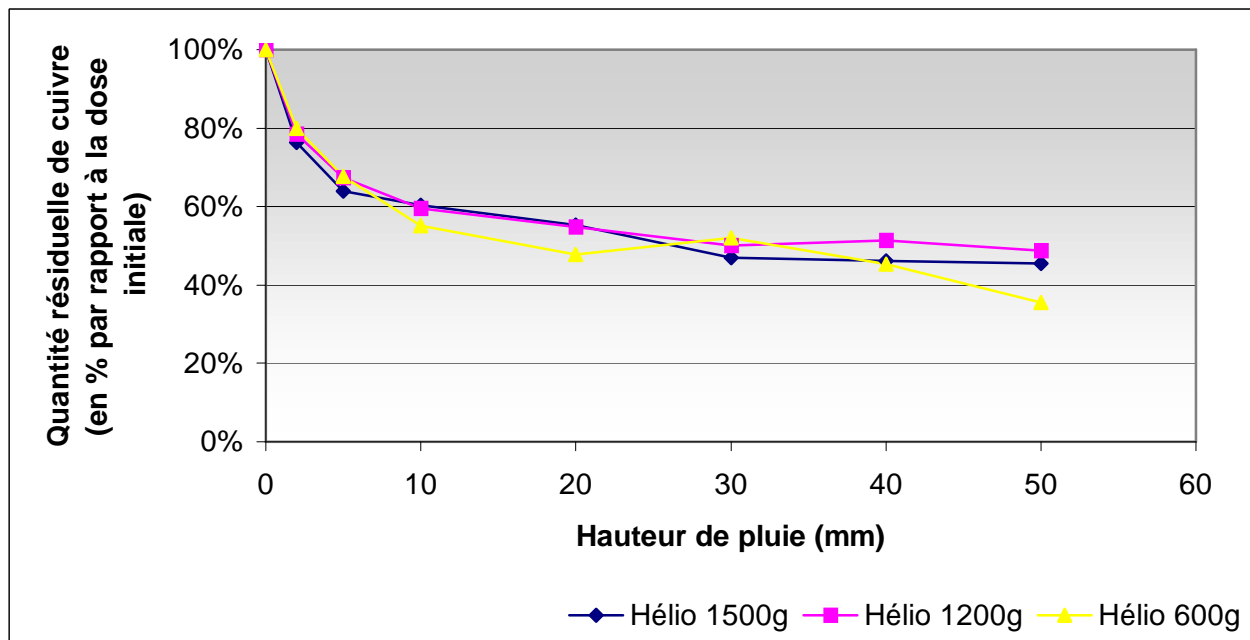


La figure 3 montre qu'il n'y a pas d'effet de la dose initiale sur le pourcentage de perte en cuivre, y compris pour des doses de 5 et 10 fois la dose homologuée. Les tests statistiques (corrélation Spearman et test de Student) sont non significatifs.

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'Héliocuvire confirme cette observation.

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

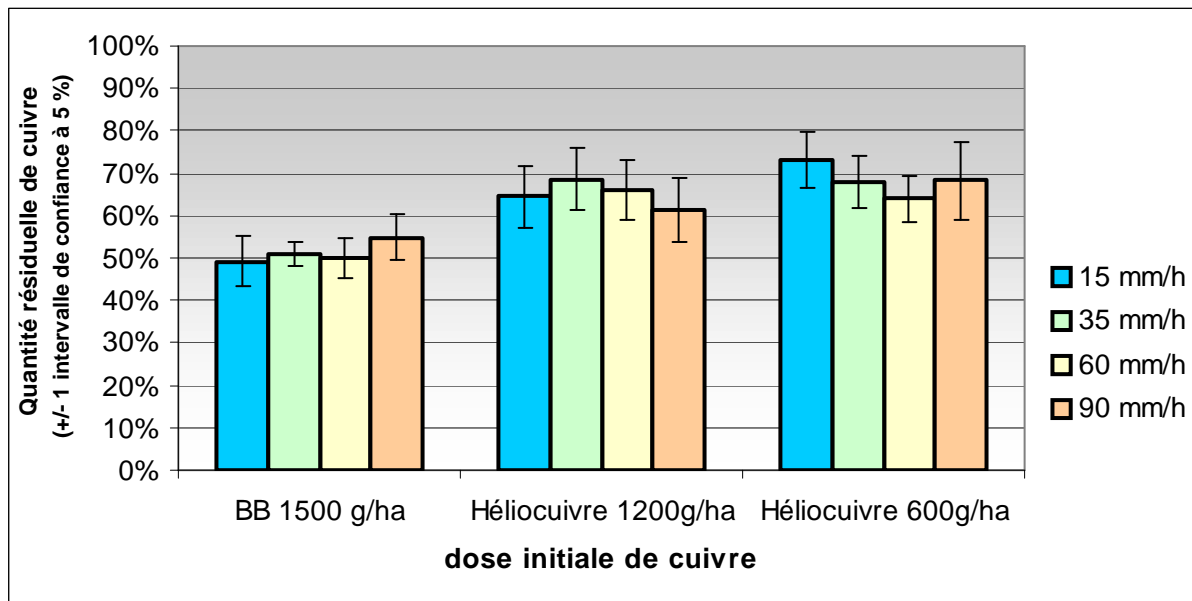
Figure 4 : Cuivre résiduel selon dose initiale et hauteur d'eau



3.6 Rôle de l'intensité de pluie :

Une pluie simulée de 5mm, sous des intensités de 15, 35, 60 et 90mm/h a été appliquée sur les modalités BB RSR 1500g/ha et Héliocuvire 1200 et 600g/ha.

Figure 5 : Rôle de l'intensité de pluie sur le lessivage

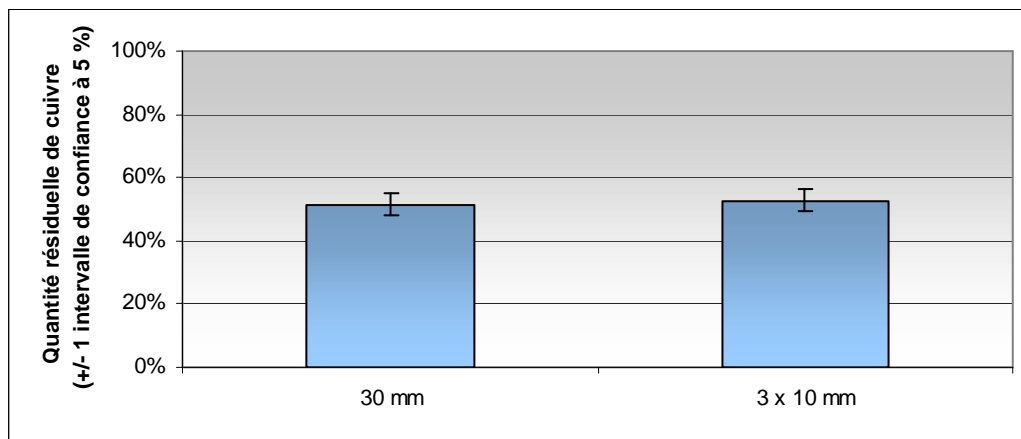


Résultats : au vu de la figure 5, l'intensité de la pluie n'a pas d'influence sur le lessivage des produits utilisés. Les tests statistiques (ADV) confirment ce constat mais également le fait que la BB RSR Disperss est statistiquement plus sensible au lessivage que l'Hélocuivre.

3.7) Effet de la répartition des pluies

2 séries de 30 feuilles sont traitées avec Hélocuivre sous tour de Potter et sont exposées l'une à 30mm en continu, l'autre à 3 pluies successives de 10 mm. (avec séchage intermédiaire ¹au sèche-cheveux), l'intensité étant de 35mm/h dans les 2 cas. 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.

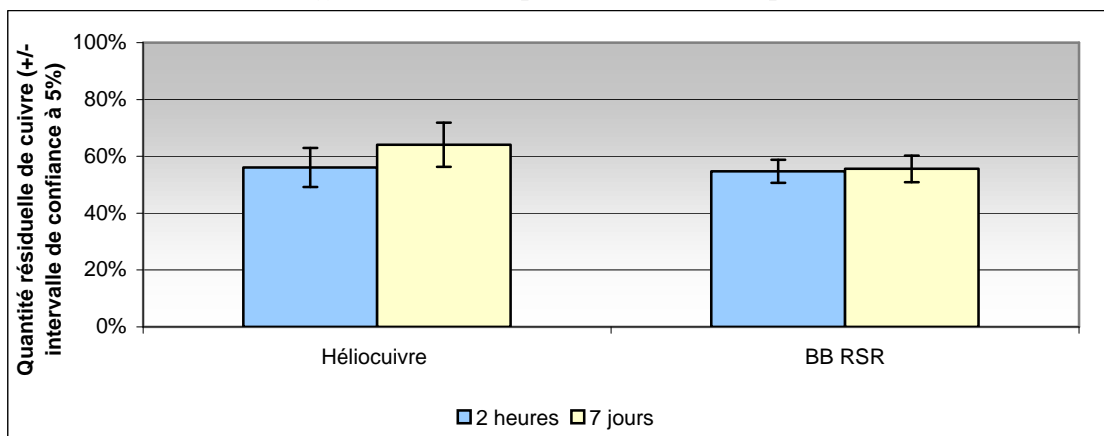
Figure 6 : Effet de la répartition des pluies



3.8) Effet de l'intervalle de temps entre traitement et lessivage

Les feuilles ne pouvant, pour cette étude, être traitées sous tour de Potter, le traitement a été réalisé avec un pulvérisateur de jardin (jet projeté) à la limite du ruissellement et en utilisant la dose/hl (dose/ha dans 1000l d'eau). Les 2 produits Hélocuivre et BB RSR Disperss ont été mis en comparaison à leur dose homologuée. 120 feuilles par produit ont été traitées et marquées. 60 sont prélevées 2 heures après traitement et 30 d'entre elles sont soumises à une pluie simulée de 5 mm (I=35mm/h). La même opération a lieu 7 jours plus tard.

Figure 7 : Effet d'une même pluie selon le délai après traitement



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'Hélicuivre et de la BB RSR Disperss.

3.9) Modélisation du lessivage :

A partir des nombreuses données enregistrées un modèle théorique de lessivage peut être calculé. Le schéma retenu est celui proposé par Weatley (3) qui décrit une perte initiale importante et rapide puis diminuant graduellement. L'équation est de type :

$$R(H) = aH^m + b$$

R(H) : quantité résiduelle de cuivre

H : hauteur de pluie

m, a, b : coefficients dépendant du pesticide et de la plante

Les équations théoriques ainsi obtenues sont les suivantes :

Hélicuivre : $R(H) = 0.8502 \times H^{-0.24} + 0.1063$ avec une corrélation de 0.9957

BB RSR Disperss : $R(H) = 0.7229 \times H^{-0.35} + 0.1693$ avec une corrélation de 0.9743.

Les corrélations obtenues sont illustrées par les figures 8 et 9.

Figure 8 : Hélicuivre : lessivage observé et calculé

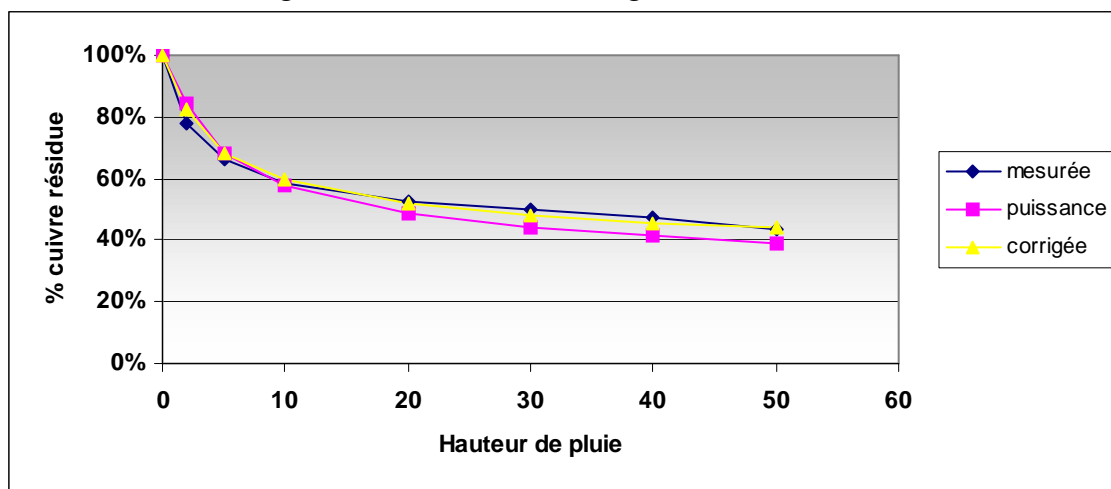
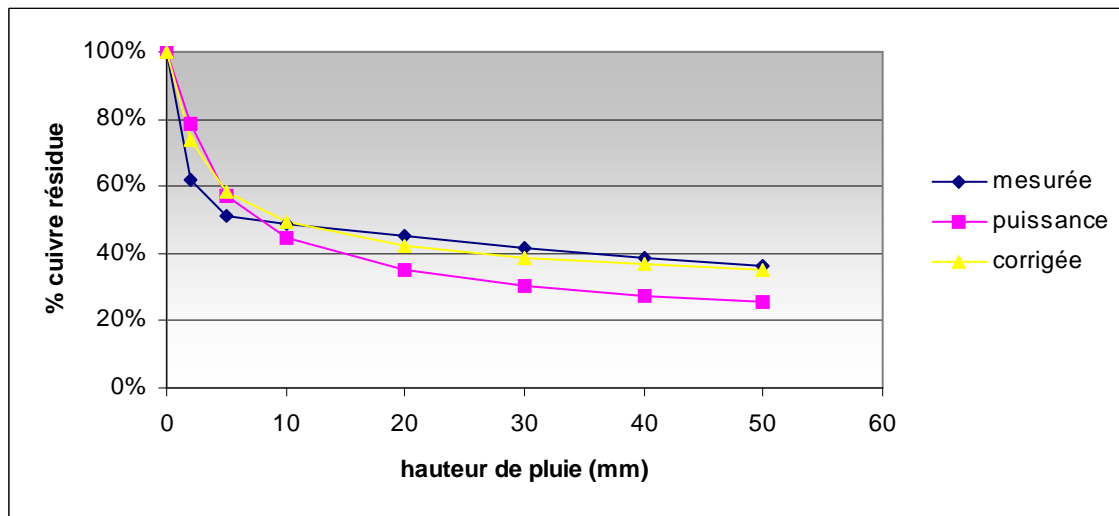


Figure 9 : BB RSR Dispers : lessivage observé et calculé

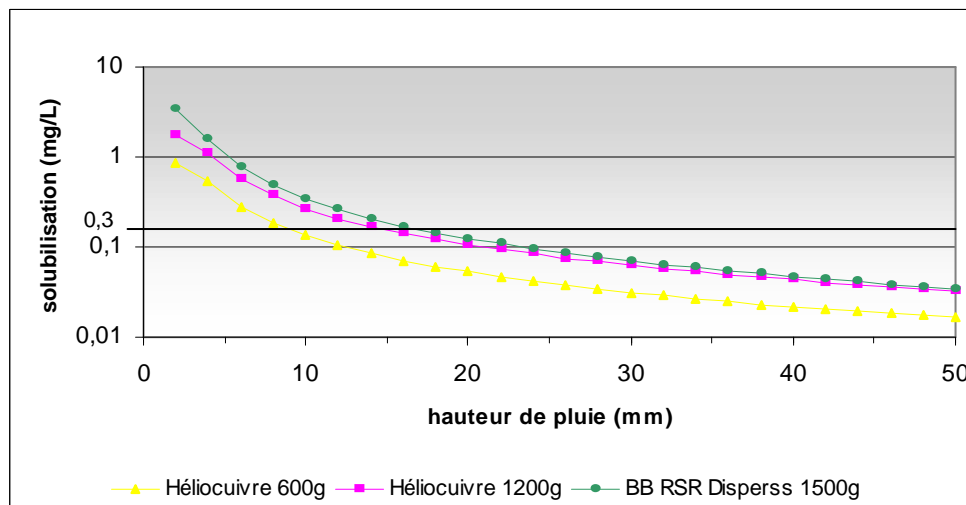


4.0) Approche théorique du seuil de renouvellement selon la dose :

Les données simulées permettent également de calculer une teneur théorique en cuivre des eaux de lessivage. La courbe de solubilisation ainsi obtenue est présentée en **figure 10**.

Les CI50 du cuivre se situant, selon les auteurs, entre 0.1 et 0.3 mg/L, l'Héliocuvire utilisé à la dose de 1.5l/ha (soit 600g de Cu) ne permettrait plus –en théorie- une teneur suffisante en cuivre à partir de 15 mm de pluie. Le même raisonnement appliqué à l'Héliocuvire et à la BB RSR à pleines doses fait ressortir un seuil de renouvellement situé aux environs de 25mm, cohérent donc avec les préconisations habituelles.

Figure 10 : Solubilisation théorique du cuivre et seuils de renouvellement



5) CONCLUSIONS

- Le cumul de pluie reste le principal facteur explicatif du lessivage sur feuilles des produits cupriques étudiés (Héliocuvire et BB RSR Dispers) et donc le seul critère de renouvellement ou non d'une protection cuprique.
- Les autres critères étudiés, répartition des pluies pour un même cumul, intensité de la pluie ou délai de 7 jours entre traitement et pluie se révèlent sans effet sur le lessivage.
- A dose de cuivre équivalente l'Héliocuvire est –légèrement- plus résistant au lessivage que la BB RSR Dispers.
- 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 présent 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'Héliocuvire 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.

La contradiction entre certains de ces résultats et la longue persistance d'action des formulations cupriques constatée dans la pratique en arrière-saison sera abordée en 2004 au travers d'un protocole centré autour du rôle d'un délai plus long entre traitement et lessivage.

Les travaux réalisés par l'IFV de 2001 à 2003 ont permis de définir des seuils théoriques de lessivage au delà desquels les concentrations en cuivre sur les organes de la vigne (feuilles et grappes) sont inférieures à la CI 50 (concentration d'inhibition 50% = concentration d'un toxique qui, après un temps donné d'action, par exemple 24 heures, provoque une inhibition d'activité (motrice ou autre) chez 50 % des individus faisant l'objet du bioessai) du cuivre vis à vis des spores de *Plasmopora viticola* (CI 50 = 0,1 à 0,3 mg/l selon les auteurs). Ces seuils ont été estimés en fonction de la quantité de cuivre apportée lors d'un traitement. De cette étude, il ressort, qu'utilisaient à leur pleine dose (dose d'homologation) les produits cupriques ont tendance à entraîner une accumulation de cuivre, même s'ils sont renouvelés après des cumuls de pluie importants (30 mm). Les produits utilisés à dose réduite (équivalent à un apport de cuivre de 600 à 800 g de cuivre métal) sont à renouveler après un lessivage respectivement de 15 et 20 mm. Ces seuils de renouvellement évitent un apport excessif de cuivre qui entraînerait une accumulation de cuivre et permettent d'être au delà de la CI 50 de cuivre pour les spores de mildiou et donc de protéger la vigne contre les nouvelles contaminations. Utilisés à une dose inférieure à 500 g de cuivre métal, les produits cupriques devraient être renouvelés après un cumul de pluies supérieur à 10 mm.

Par ailleurs, les connaissances sur la biologie de *Plasmopora viticola* et de la vigne, permettent d'affirmer qu'il est préférable d'utiliser de faibles doses de cuivre renouvelées régulièrement que des doses plus importantes dont les renouvellement de traitement seraient plus espacés.

De ces différents points, il ressort que l'utilisation des produits cupriques à une dose équivalent à un apport de 600-800 g de cuivre métal/application, renouvelée tous les 15-20 mm de pluies correspond à un compromis entre niveau de protection satisfaisant contre le mildiou et dose de cuivre raisonnable. Ce sont actuellement les doses conseillées par les techniciens.

ii) Test de l'efficacité de doses réduites de cuivre : Synthèse des essais du groupe « cuivre » de l'ITAB de 2001 à 2006

Le cuivre est le seul fongicide autorisé au règlement européen 2092/91, paru en 1991, régissant l'Agriculture Biologique et réellement efficace contre le mildiou de la vigne. Cependant, compte tenu de ses risques de toxicité, notamment sur le sol, ce règlement prévoyait l'interdiction totale de son usage à l'horizon 2002. Compte tenu de l'importance de ce fongicide pour l'ensemble des agriculteurs biologiques ; à la fin de la décennie 90, la commission européenne s'orientait plus vers une limitation des doses de cuivre qu'à son interdiction totale

En 2001, la commission viticole de l'ITAB mit en place un programme national visant à tester différentes modalités de réduction des doses de cuivre pour anticiper l'évolution de la réglementation.

Celle-ci, applicable depuis le 31 mars 2002, précise les nouvelles modalités d'usage du cuivre pour les agriculteurs biologiques. Dorénavant, les viticulteurs biologiques français doivent utiliser des doses inférieures à 8 kg/ha/an jusque fin 2005 et 6 kg/ha/an au delà de cette date, avec possibilité de faire la moyenne sur 5 millésimes.

Les derniers chiffres disponibles sur les usages du cuivre en viticulture biologique en France dataient d'une enquête réalisée par l'ITAB en 2000. Les résultats montraient que les doses de cuivre utilisées par les viticulteurs biologiques étaient régulièrement supérieures à ces normes (ex : sur les 4 années précédant l'enquête, la moyenne nationale était de 6,9 kg de cuivre / ha, et dans 9 régions sur 11, cette moyenne était supérieure à 6 kg).

Le principe du groupe de travail « Cuivre » était de réunir différents organismes de développement agricole (SRPV, Chambres d'Agriculture, groupements de producteurs biologiques...) dans les principaux vignobles français et de leur faire tester un protocole commun. L'objectif était de proposer des modalités réalistes de réduction des apports cupriques, applicables par les viticulteurs,

soit en optimisant les traitements au cuivre, soit en remplaçant ce métal ou en l'associant à des produits annoncés comme ayant une activité contre le mildiou.

Le travail présenté dans cet article est une première synthèse des résultats obtenus dans le cadre de ce réseau. Il s'agit d'une analyse statistique descriptive des principaux résultats obtenus avec les modalités gérant au mieux les apports de cuivre. Dans un premier temps, nous analyserons si les résultats obtenus permettent de vérifier l'efficacité du cuivre sur le mildiou, en particulier sur les faibles doses de cuivre. Ensuite, nous comparerons les efficacités de 4 modalités d'apport cupriques entre elles.

L'explication de la variabilité des réponses obtenues pour une même modalité, la recherche de facteurs influençant l'efficacité des traitements, le test de produits alternatifs ne seront pas abordés ici. Ces différents points feront l'objet d'une seconde analyse courant 2007.

Matériel et méthode

L'objectif des protocoles proposés en début de campagne était de tester des modalités visant à réduire les apports de cuivre et à comparer celles-ci à la modalité de référence. La modalité de référence était soit la modalité « Pleine dose », pour laquelle les produits sont utilisés à leur dose d'homologation ; soit la modalité « ½ dose », représentative des pratiques des viticulteurs biologiques.

a) Dispositifs expérimentaux des différents essais pris en compte

Parcelle élémentaire : pour chaque modalité, une dizaine de souches sont traitées. Chaque modalité fait l'objet de 3 à 5 répétitions par essai afin de pouvoir réaliser des tests statistiques sur les résultats obtenus.

Conditions de contamination : sur la majorité des sites, les essais étaient menés en conditions naturelles. Pour les essais SICA La Tapy et AIVB-LR, les pieds de vigne ont été inoculés en mildiou et la parcelle a été brumisée régulièrement au cours de la saison pour créer des conditions très favorables au mildiou. L'éventuelle influence de ce dispositif expérimental sur le comportement des modalités n'est pas pris en compte dans cette étude. Il le sera dans celle réalisée en 2007.

Applications des produits : les traitements sont effectués avec un appareil à dos (volume d'eau variable selon les sites). Le protocole prévoit 10 traitements sur l'année. Ce nombre peut être réduit si la pression mildiou ne justifie pas autant de passages.

Les modalités dont nous étudierons les résultats sont dénommées : « Pleine dose », « ½ dose », « ¼ dose » et « variation de dose ».

Compte tenu des produits utilisés (uniquement des spécialités commerciales homologuées pour cet usage à moins de 1600 g de cuivre) et des modalités testées, les apports de cuivre par modalité étaient :

- « **Pleine dose** » : entre 1200 et 1550 g de cuivre métal / application. Dose totale : 9,3 à 13,9 kg de cuivre
- « **½ dose** » : entre 600 et 850 g de cuivre métal / application. Dose totale : 4,7 à 8 kg de cuivre
- « **¼ dose** » : entre 300 et 450 g de cuivre métal / application. Dose totale : 2,7 à 4 kg de cuivre
- « **Variation de dose** » : dose de cuivre croissante avec le développement de la végétation : de 170 à 680 g de cuivre métal / application. Dose totale : 3 à 6,8 kg de cuivre

Pour un essai et une modalité donnés, le produit utilisé est le même durant toute la campagne. Pour les modalités « Pleine dose », « ½ dose » et « ¼ dose », la quantité de cuivre par traitement était identique tout au long de la campagne. Les fourchettes annoncées (ex : 1200-1550 g pour la modalité « Pleine dose ») sont les variabilités que l'on rencontre entre essais pour une même modalité. Pour la modalité « Variation de dose », les quantités de cuivre croissaient avec le développement de la végétation : la fourchette annoncée (de 170 à 680 g de cuivre métal par application) recouvre la variabilité intra-essai entre les différents traitements ainsi que la variabilité inter-essais.

Observations : Les notations portent sur la fréquence (% d'organes présentant au moins un symptôme de mildiou) et l'intensité (surface des organes touchés couverte par le mildiou). Elles sont réalisées sur 50 ou 100 feuilles et grappes. Dans le protocole proposé, trois notations devaient être réalisées aux stades nouaison, début véraison et avant récolte (notation sur feuilles uniquement). Dans les essais où la pression mildiou été faible une seule notation été effectuée.

b) Données

Les données sont issues de 21 essais dont les résultats étaient « exploitables ». Le principal critère pour la recevabilité des résultats était que ceux-ci puissent être comparés à ceux d'un Témoin Non Traité (TNT). Tous les essais qui ne proposaient pas de TNT ont été exclus. Le tableau n°1 présente les organismes dont les essais ont été retenus pour cette analyse ainsi que les modalités testées.

Tableau 1 : liste des essais retenus pour l'analyse

Année	Organisme	Modalités testées				
		TNT	Pleine dose	1/2 dose	1/4 dose	Variation de dose
2001	Chambre d'Agriculture Charente	X			X	X
	SICA La Tapy	X		X	X	X
2002	Chambre d'Agriculture Yonne	X	X	X		X
	SRPV Bourgogne	X	X	X	X	X
	Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne	X		X		X
	Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne	X		X		X
	GDV Aube	X		X	X	X
	SRPV Champagne	X	X	X	X	
	SRPV Midi Pyrénées	X	X	X	X	
2003	SICA La Tapy	X		X	X	X
2003	SRPV Bourgogne	X	X	X		X
	GDV Aube	X		X	X	X
	SRPV Champagne	X	X	X		
	Chambre d'Agriculture Charente	X			X	
	SICA La Tapy	X		X		X
2004	Chambre d'Agriculture Gironde	X		X	X	X
	GDV Aube	X		X	X	X
2005	SEDARB	X		X		X
	GDV Aube	X		X	X	X
	AIVB-LR	X	X	X	X	X
2006	AIVB-LR	X		X	X	X

Les protocoles sont « dynamiques » et évoluent d'année en année en fonction de l'évolution des pratiques observées chez les viticulteurs ainsi que des résultats obtenus dans les essais les années précédentes. De fait, les différentes modalités ne sont pas testées dans tous les essais, et le dispositif statistique est donc déséquilibré. Par exemple, la modalité « Pleine dose » est présente uniquement dans 7 des 21 essais. L'abandon de cette modalité s'explique principalement par sa quasi disparition dans les pratiques des viticulteurs compte tenu des doses de cuivre excessives (au delà de 9 kg de cuivre/an) qu'elle apporte au regard de la nouvelle réglementation. Il serait donc délicat de comparer la moyenne de cette modalité avec les autres obtenues dans des essais différents, donc dans des conditions expérimentales différentes.

En conséquence, les comparaisons de moyenne se feront « modalité par modalité » en retenant uniquement les essais dans lesquels les deux modalités considérées sont comparées directement.

Dans certains essais, une même modalité était présente plusieurs fois. C'était le cas notamment des essais dans lesquels l'expérimentateur souhaitait comparer différentes spécialités commerciales à des doses rigoureusement identiques. Dans ces situations, nous avons retenu la médiane de ces différentes répétitions et non pas chaque répétition individuellement afin d'éviter de « sur-représenter » une modalité dans un essai donné.

Enfin, lorsque la pression mildiou le permettait et conformément aux protocoles, 2 voire 3 notations ont été effectuées à des stades phénologiques différents. Lorsque c'était le cas, chaque date de notation a été considérée séparément.

Résultats

1) Validation de l'efficacité du cuivre contre le mildiou de la vigne

La première étape de l'analyse des données consiste à vérifier si les résultats obtenus permettent de conclure à un effet du cuivre, notamment des doses réduites, sur le mildiou. Pour cela, nous procédons à une analyse de variance (ANOVA) entre les notations en fréquence et intensité sur feuilles et grappes d'une modalité donnée et ces mêmes notations sur le TNT des mêmes essais. Le tableau n°2 présente les moyennes des fréquences et intensités sur feuilles et grappes pour chaque modalité et les moyennes du TNT qui y sont associées.

Tableau 2 : Résultats des comparaisons de moyenne (ANOVA) entre chaque modalité et le TNT

	Nombre de données par modalité		Fréquence Feuilles (en %)	Intensités Feuilles (en %)	Fréquence Grappes (en %)	Intensité Grappes (en %)
	Feuilles	Grappes				
TNT	4	2	73,1	22,5	97,6	35,1
Pleine dose			17,7	1,1	37,8	5,8
TNT	28	20	81,2	33,4	78,5	40,6
1/2 dose			28	3,5	38,1	6,8
TNT	22	17	79,7	30,8	76	35,2
1/4 dose			37	3,6	37	6,3
TNT	34	20	80,7	32,8	78,3	38,4
Variation Dose			32,9	3,6	41,1	8,4

■ Résultat significatif de l'ANOVA entre la modalité considérée et le TNT au seuil de 5%

■ Résultat non significatif de l'ANOVA entre la modalité considérée et le TNT au seuil de 5%

Les différences entre les moyennes du TNT et de chaque modalité sont statistiquement différentes, sauf pour les notations sur grappes pour la modalité « Pleine dose », malgré les écarts importants en valeur absolue. Le manque de données permet probablement d'expliquer que les écarts avec le TNT ne soient pas significatifs. Cela signifie que pour les différentes modalités, l'effet du cuivre est significatif, quelque soit la dose de cuivre apportée par traitement.

2) Comparaison des différentes modalités d'apport de cuivre

La comparaison des différentes modalités repose sur la comparaison de leur efficacité et non plus des notations brutes. Pour une notation donnée (fréquence ou intensité), l'efficacité d'une modalité est obtenue par la formule : $(\text{Notation}_{\text{TNT}} - \text{Notation}_{\text{Modalité}}) / \text{Notation}_{\text{TNT}}$. Cela permet de s'affranchir partiellement de l'hétérogénéité de la pression mildiou dans les différents essais par la prise en compte de la notation sur le témoin non traité.

La structure des données ne permettait pas de comparer l'ensemble des modalités directement entre elles. Le problème se posait principalement pour la modalité « Pleine dose » pour laquelle seules 10 données sont disponibles pour les feuilles et 3 pour les grappes.

Afin de conserver le maximum de données, les moyennes d'efficacité de la modalité « Pleine dose » seront comparées à celles de la modalité « 1/2 dose ». Le nombre de données concernant les 3 autres modalités (17 sur feuilles et 13 sur grappes) sont suffisantes pour pouvoir faire les comparaisons 3 à 3.

a) Comparaison des modalités « 1/2 dose » et « Pleine dose »

Figure 1 : Résultats des analyses descriptives de comparaison des efficacités des modalités « 1/2 dose » et « Pleine dose »

Efficacité en fréquence sur feuilles			Efficacité en intensité sur feuilles		
10 données	1/2 dose	Pleine dose	8 données	1/2 dose	Pleine dose
ANOVA	Non significatif		ANOVA	Significatif (Pr>F : 0,039)	
Espace interquartile	26	21	Espace interquartile	12,75	4
Différence entre les moyennes	13,7 %		Différence entre les moyennes	7,9 %	
Efficacité en fréquence sur grappes			Efficacité en intensité sur grappes		
3 données	1/2 dose	Pleine dose	3 données	1/2 dose	Pleine dose
ANOVA	Non significatif		ANOVA	Non significatif	
Espace interquartile	25	43	Espace interquartile	20	27
Différence entre les moyennes	29,1 %		Différence entre les moyennes	7,5 %	

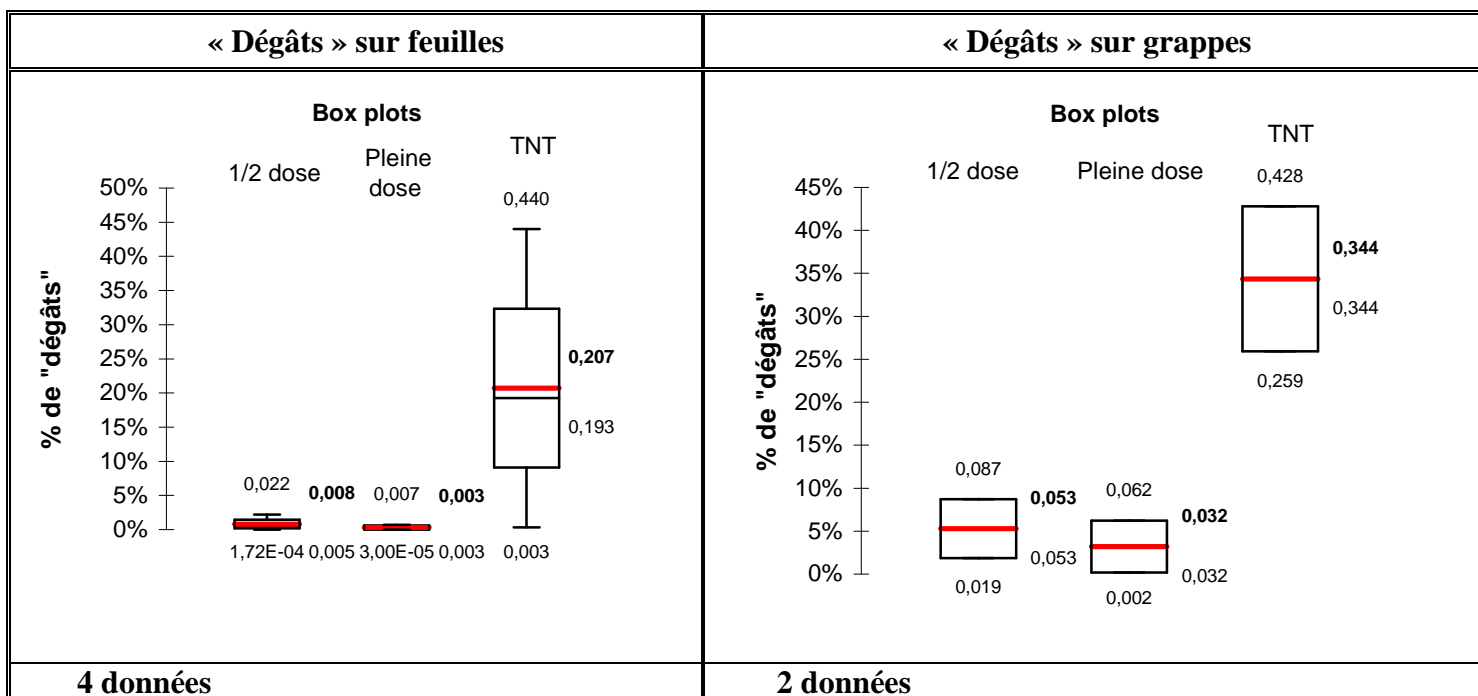
Quelque soit la notation (fréquence ou intensité, sur feuilles et grappes), la moyenne de la modalité « Pleine dose » est systématiquement supérieure à celle de la modalité « 1/2 dose ». Par contre, ces différences ne sont pas statistiquement significative sauf dans le cas de l'intensité d'attaque sur feuilles. Ces résultats confirment l'efficacité supérieure de fortes doses de cuivre. Par ailleurs, concernant les notations sur feuilles, la variabilité (estimée ici par l'espace interquartile) est supérieure pour la modalité « 1/2 dose »: en diminuant les doses de cuivre, le risque est d'augmenter la variabilité des résultats obtenus. L'utilisation de la « Pleine dose » de cuivre sécurise l'efficacité du traitement. Sur les notations sur grappes, les résultats sont inversés. Le peu de points disponibles (3) est peut être une explication de cette différence.

Les écarts entre les moyennes en fréquence (exprimés en pourcentage de la moyenne de la modalité « Pleine dose ») sont supérieures à ce qu'elles sont en intensité. La perte d'efficacité liée à la réduction des doses de cuivre concerne plus la fréquence d'attaque, donc la dispersion du mildiou sur la parcelle, que l'intensité.

Pour la fréquence sur feuilles, pour les deux modalités, la médiane (valeur en deçà de laquelle se trouvent 50% des valeurs) est supérieure à la moyenne (84 % contre 78,7 % pour la modalité « Pleine dose » et 75,25% contre 78,7% pour la modalité « 1/2 dose »). Cela signifie que dans la majorité des essais, les résultats obtenus sont supérieurs à l'efficacité moyenne, mais que dans quelques essais, les résultats sont nettement inférieurs et « tirent la moyenne vers le bas ».

La fréquence représente le pourcentage d'organes (feuilles ou grappes) présentant au moins une tache de mildiou. L'intensité représente le pourcentage de surface couverte par le mildiou sur ces organes. Le produit des deux notations Fréquence X Intensité représente une estimation des dégâts réels de mildiou sur la parcelle.

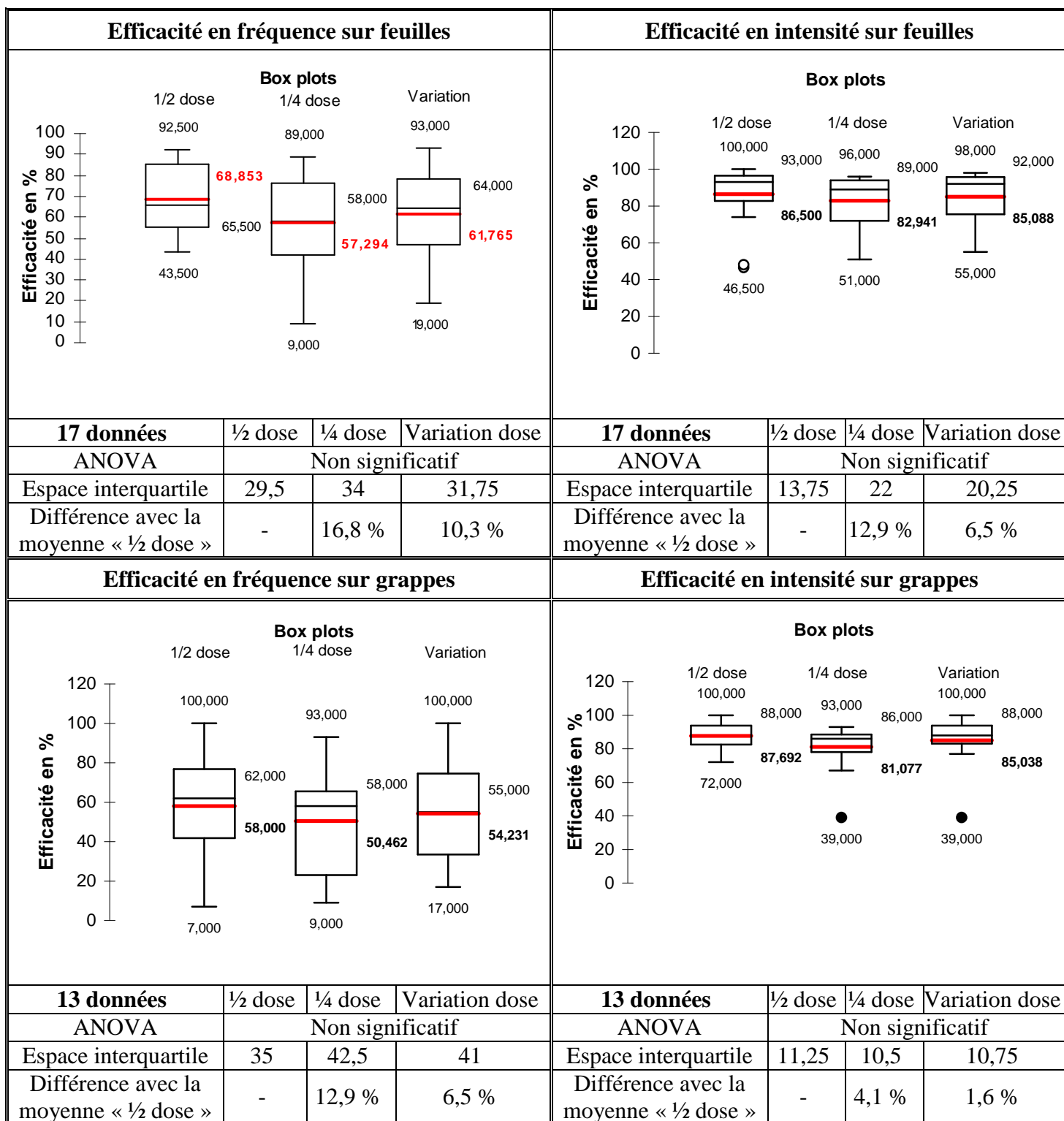
Figure 2 : Estimation des dégâts sur feuilles et grappes pour les modalités « 1/2 dose », « Pleine dose » et TNT



Sur feuilles, les dégâts sont inférieurs à 1% pour les deux modalités traitées contre 20% pour le TNT. Sur grappes, l'ordre de grandeur des « dégâts » est de 3 à 5% pour les modalités traitées contre 34% pour le TNT. L'écart entre les deux modalités traitées est nettement plus faible que celui observé sur les efficacités.

b) Comparaison des modalités « 1/2 dose », « 1/4 dose » et « Variation dose »

Figure 3 : Résultats des analyses descriptives de comparaison des efficacités des modalités « 1/2 dose », « 1/4 dose » et « Variation dose »



La modalité « Variation dose » consiste à apporter des doses très faibles en début de campagne, puis à les augmenter régulièrement durant la période de croissance de la vigne. Au final, la dose maximale utilisée correspond à la moitié de la dose d'homologation. En terme d'apport annuel de cuivre, cette modalité apporte des quantités intermédiaires entre les modalités 1/4 et 1/2 dose.

La comparaison des moyennes indiquent là encore que l'utilisation des doses de cuivre supérieures (« 1/2 dose ») apporte un gain d'efficacité par rapport à l'utilisation de doses plus faibles, « 1/4 dose » notamment. La modalité « Variation dose » a un comportement intermédiaire. On retrouve donc la hiérarchie des doses de cuivre à travers celles des efficacités. Cependant, pour aucune des notations ces écarts ne sont statistiquement significatifs.

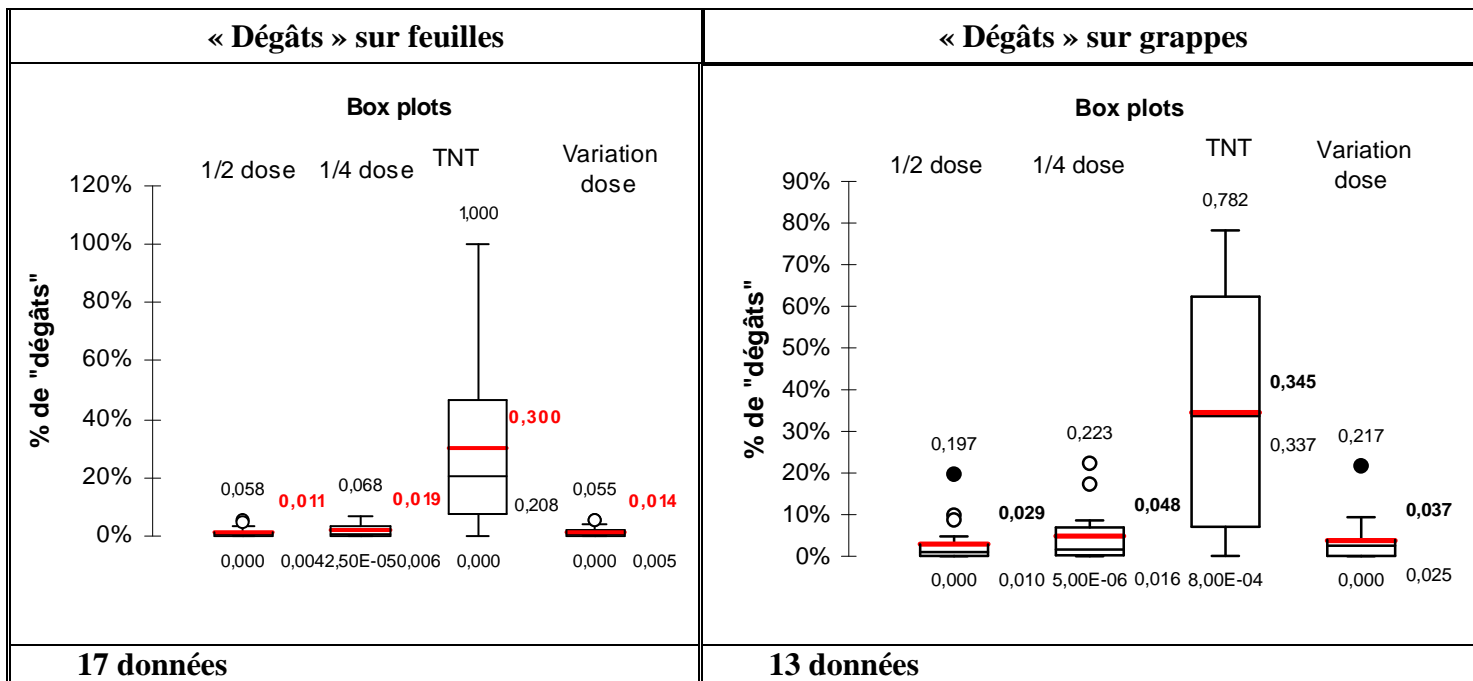
La variabilité (espace interquartile) suit la même logique : elle est supérieure pour les faibles doses de cuivre par rapport à la modalité « 1/2 dose », sauf pour les notations en intensité sur grappes, pour lesquelles ces écarts sont très faibles.

Les écarts entre les moyennes (exprimés en pourcentage de la moyenne « 1/2 dose ») sont systématiquement plus importants en fréquence qu'en intensité.

En fréquence, les médianes et moyennes des différentes modalités sont proches. Par contre, en intensité, la médiane est systématiquement supérieure à la moyenne : dans certains essais, les efficacités obtenues sont nettement inférieures à la moyenne, ce que traduisent également les minima marqués d'un point sur les graphes, qui correspondent à des données « anormales » pour le modèle mathématique utilisé pour le tracé de ce graphe. Dans certaines situations, les efficacités obtenues peuvent être très inférieures à ce que l'on pouvait en attendre.

Concernant les « dégâts », les écarts entre les différentes modalités sont beaucoup plus resserrés que pour les efficacités : il sont de l'ordre de 1 à 2% sur feuilles pour les différentes modalités traitées (contre 30% pour le TNT) et de 3 à 5 % sur grappes (contre 35% pour le TNT). Par contre, notamment sur grappes, les dégâts peuvent être parfois conséquents, autour de 20% pour les essais les plus sévères (cf les maxima marqués d'un point, considérés comme données « anormales »).

Figure 4 : Estimation des dégâts sur feuilles et grappes pour les modalités « 1/2 dose », « Pleine dose » et TNT



Conclusion

Les résultats obtenus dans ces essais valident l'efficacité du cuivre sur le mildiou de la vigne, même à des doses d'utilisation inférieures à 500 g de cuivre métal par application.

La comparaison des différentes modalités confirme la plus grande efficacité des fortes doses de cuivre : la « Pleine dose » de cuivre donne les meilleurs résultats mais avec des apports annuels de

cuivre (> à 9,3 kg dans tous les essais) incompatibles avec la réglementation en vigueur sur les usages du cuivre en viticulture biologique.

La diminution des doses de cuivre entraîne :

- une baisse d'efficacité des traitements, notamment en fréquence : elle favorise la propagation du mildiou sur la parcelle. Par contre, à l'échelle de l'organe, son développement n'est pas fortement affecté.
- Une augmentation de la variabilité des résultats obtenus : plus on diminue la dose de cuivre, plus on prend de risque.
- la présence inévitable de mildiou sur feuilles et (/ou) sur grappes en cas de pression conséquente de la maladie.

Les écarts entre les modalités n'étant pas statistiquement significatifs, les différences de comportement ne sont que des tendances. L'observation des « dégâts » confirme l'intérêt et l'efficacité des faibles doses de cuivre.

La dose de cuivre apportant le meilleur compromis entre efficacité et quantité de cuivre apportée est comprise entre 600 et 800 g. L'utilisation de doses inférieures à 500 g tout au long de la campagne ou au moins en départ de végétation est possible mais nécessite plus de vigilance. A de telles doses, aucune erreur de positionnement du produit (qualité de pulvérisation, déclenchement de l'application...) n'est permise, et le vignoble doit pouvoir être couvert en quelques heures.

Cette première analyse statistique soulève de nombreuses questions, notamment par rapport à la variabilité des résultats obtenus pour une même modalité dans les différents essais : Est ce que cette variabilité est uniquement due à une différence de pression mildiou selon les essais considérés ? ou est ce que d'autres facteurs influencent cette efficacité ? La seconde analyse statistique prévue courant 2007 devrait permettre d'apporter des éléments de réponse à ces questions en suspens.

Réduction des doses de cuivre pour lutter contre le mildiou en viticulture biologique : synthèse des essais 2001-2006 du groupe de travail de l'ITAB (2^{ème} partie)

Afin d'anticiper la mise en place d'une nouvelle réglementation sur l'usage du cuivre en viticulture biologique à partir de 2002, l'ITAB a lancé en 2001 un programme visant à réduire les doses de cuivre pour lutter contre le mildiou. Ce programme s'est déroulé de 2001 à 2006. Fin 2006, une première synthèse des résultats obtenus au cours de ces 6 années d'expérimentation a été réalisée (cf Alter Agri n°80, nov-déc 2006, pp. 25-30) concluant à l'efficacité de doses réduites de cuivre (demi voire quart de la dose d'homologation) pour lutter contre le mildiou. Cette première analyse montre qu'il n'y a pas d'écart statistique significatif d'efficacité entre les différentes doses de cuivre considérées. Par contre, plus la dose de cuivre diminue, plus la fréquence d'attaque risque d'être importante. Cette prise de risque doit être compensée par de meilleures observations au vignoble, une meilleure anticipation des traitements et une plus grande réactivité.

Plusieurs questions restent en suspens suite à ce premier travail : pour une même dose de cuivre, on constate une hétérogénéité de comportement selon les essais (cette hétérogénéité est d'autant plus importante pour les faibles doses de cuivre). Est ce que cette variabilité est uniquement due à une différence de pression mildiou selon les essais ou est ce que d'autres facteurs influencent cette efficacité ?

L'objectif de l'étude statistique réalisée en 2007 est d'apporter les réponses à ces questions.

I) Description de la méthode

Les résultats proviennent de 21 essais mis en place entre 2001 et 2006.

Les variables disponibles sur les essais étaient :

variable qualitative : région, année, spécialité commerciale, forme de cuivre, cépage, date des différents traitements, date et stade des comptages, date des pluies

variable quantitative : volume de pulvérisation, concentration en cuivre lors des traitements, nombre de traitement, dose de cuivre à chaque traitement, notations (fréquence et intensité sur feuilles et grappes) sur les modalités et le Témoin Non Traité (TNT), hauteur des pluies

Pour les besoins de l'analyse statistique, de nouvelles variables ont été créées :

« précocité d'attaque » : cette variable prend en compte le niveau d'attaque du Témoin Non Traité (TNT) à la fin du mois de juin. Lorsque celui-ci est significatif (présence de mildiou sur feuille ou grappe supérieur à 70% en fréquence et 20% en intensité), la variable prend la valeur « oui ». La valeur « non » correspond aux autres situations.

classes TNT : 3 variables ont été créées pour réaliser des classes de notation sur le TNT :

Fréquence (feuilles ou grappes) : 3 classes : 0-50%, 50-85%, 85-100%

Intensité (feuilles ou grappes) : 0-15%, 15-50%, 50-75%, 75-100%

Dégâts (feuilles ou grappes) : 0-15%, 15-60%, 60-100%

L'analyse statistique utilisée est l'Analyse de Covariance. Celle-ci permet d'étudier et de hiérarchiser l'influence de facteurs qualitatifs et quantitatifs sur une variable donnée, en l'occurrence les notations en fréquence et intensité des différentes modalités étudiées.

Dans les 21 essais pris en compte pour réaliser ce travail de synthèse, les comportements de trois modalités sont comparés entre elles et avec un Témoin Non Traité (TNT, ceps ne recevant aucune protection cuprique). Les trois modalités sont dénommées « ½ dose », « ¼ dose » et « variation dose ». La modalité « Pleine dose », étudiée dans la première partie de cette synthèse en 2006, n'est pas reprise ici par manque de résultats sur les variables étudiées.

Le tableau n°1 résume les doses utilisées.

Tableau n°1 : Apports de cuivre selon les modalités

Modalités	Dose de cuivre métal/application	Dose totale de cuivre métal
½ dose	600-850 g	4,7 – 8 kg
¼ dose	300-500 g	2,7 – 4 kg
Variation dose	170-680 g	3 – 6,8 kg

Pour un essai et une modalité donnés, le produit utilisé est le même durant toute la campagne. Pour les modalités « ½ dose » et « ¼ dose », la quantité de cuivre par traitement est identique tout au long de la campagne. Les fourchettes présentées dans le tableau n°1 sont les variabilités que l'on rencontre entre essais pour une même modalité. Pour la modalité « Variation de dose », les quantités de cuivre augmentent avec le développement de la végétation (moins de 500 g avant le stade nouaison et plus de 500 g au delà) : la fourchette recouvre la variabilité intra-essai entre les différents traitements et la variabilité inter-essais.

II) Résultats en fréquence d'attaque

L'analyse multifactorielle (Analyse de Covariance) fait ressortir que le principal facteur qui explique la variabilité de comportement des différentes doses de cuivre est la **pression de la maladie**, qui se traduit par l'attaque sur le TNT.

A elle seule, la notation sur le TNT explique entre 34 et 60% de variabilité observée sur les notations en fréquence des différentes modalités (cf R² dans le tableau n°1).

Tableau n° 2 : Part de la variabilité des notations des différentes modalités expliquée par la notation sur le TNT - résultat de régression linéaire simple

	Fréquence sur feuilles		Fréquence sur grappes	
	R ²	Pr>F	R ²	Pr>F
1/2 dose	0,45	< 0,0001	0,6	< 0,0001
1/4 dose	0,34	0,004	0,47	0,002
Variation dose	0,41	< 0,0001	0,57	< 0,0001

Pour une modalité donnée, la part de variabilité expliquée par le TNT est proportionnellement plus importante sur grappes que sur feuilles. Sur grappes, le niveau de protection assuré par les traitements cupriques dépend plus de la pression de la maladie.

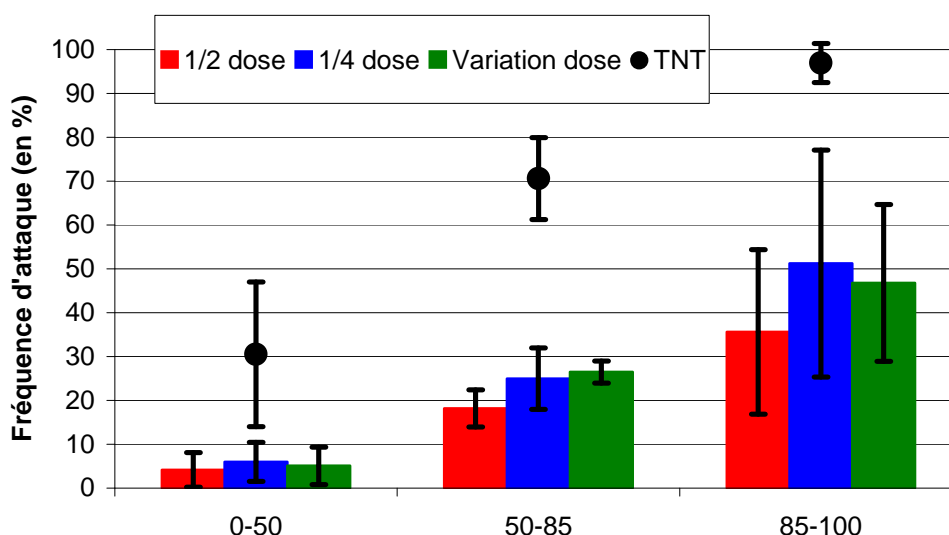
La seconde variable la plus influente sur le comportement des modalités est la précocité de l'attaque. Ces deux variables expliquent généralement plus de 50% de la variabilité observée sur les différentes modalités.

L'ensemble des autres facteurs (volume de pulvérisation, concentration en cuivre lors des traitements, nombre de traitement, dose de cuivre à chaque traitement) n'ont pas d'influence significative sur le comportement des différentes modalités. Par contre, en tendance, on peut noter un effet de la dose de cuivre sur le comportement de la modalité « 1/4 dose » sur grappes (fréquence et intensité, cf plus loin).

a) Fréquence sur feuilles

L'effet du niveau d'attaque du TNT sur le comportement des modalités est illustré dans la figure n°1 qui représente les moyennes et écart types des notations en fréquence sur feuilles des différentes modalités en fonction des classes d'attaque sur le TNT (0-50%, 50-85%, 85-100% d'attaque en fréquence).

Figure n°1 : Moyenne et écart-type des attaques en fréquence sur feuilles des différentes modalités en fonction des classes de notation dans le TNT



Modalités	Classes TNT					
	0-50		50-85		85-100	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
½ dose	4,2	3,9	18,2	4,2	35,6	18,7
¼ dose	6	4,4	4,9	7	51,2	25,8
Variation dose	5,1	4	26,5	2,5	46,8	17,8
TNT	30,5	16,5	70,6	9,3	96,9	4,4

Lorsque l'attaque sur le TNT est inférieure à 50%, les fréquences d'attaque des différentes modalités, ainsi que leur variabilité (= écart type) sont très proches et faibles (environ 5%).

Pour des niveaux d'attaque du TNT entre 50 et 85%, les comportements des différentes modalités restent relativement comparables, mais les niveaux d'attaque sont significativement plus importants que dans la première classe.

Pour des niveaux d'attaque au delà de 85% dans le TNT, le niveau d'attaque et les écarts types des trois modalités sont plus élevés. Au seuil de 10%, la modalité ½ dose présente un niveau d'attaque statistiquement inférieur aux deux autres modalités.

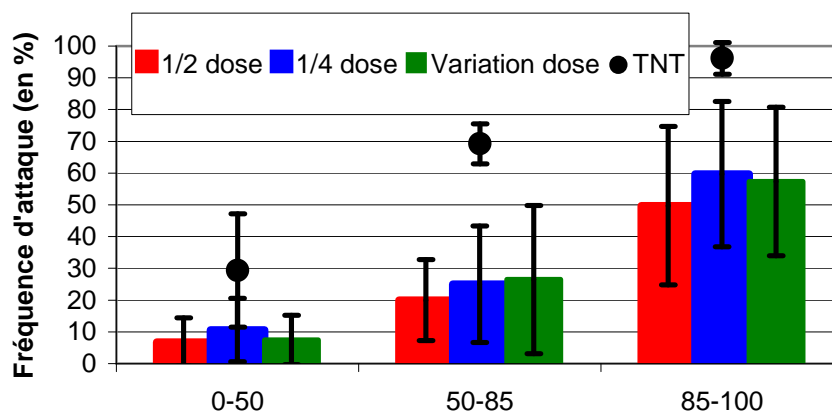
Pour les modalités « ½ dose » et « variation dose », la précocité de l'attaque explique 11% de la variabilité restante : les fréquences d'attaque sont significativement plus importantes sur les modalités « ½ dose » et « variation dose » quand l'attaque est « précoce », c'est à dire quand le niveau de dégâts sur le TNT est déjà conséquent fin juin.

La réponse de la modalité « ¼ dose » est moins corrélée au niveau d'attaque sur le TNT que pour les autres modalités. Sur feuilles, le stade de comptage est le principal facteur expliquant la variabilité observée : lors des notations précoces (nouaison, fermeture de la grappe), les attaques de mildiou sont statistiquement plus faibles que lors des notations plus tardives (véraison, récolte) : lors d'attaques significatives de mildiou, l'efficacité de la modalité « ¼ dose » décroît lorsque l'on s'approche de la récolte. Son efficacité n'est donc pas suffisante pour protéger le feuillage jusqu'à la vendange.

b) Fréquence sur grappes

Sur grappes, nous retrouvons les mêmes types de comportement que sur feuilles : résultats entre les modalités proches dans les deux premières classes, niveau d'attaque significativement plus important dans la seconde classe, niveau d'attaque et variabilité nettement supérieurs dans la troisième classe.

Figure n°2 : Moyenne et écart-type des attaques en fréquence sur grappes des différentes modalités en fonction des classes de notation dans le TNT



Modalités	Classes TNT					
	0-50		50-85		85-100	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
½ dose	6,7	7,6	20	12,7	49,7	25
¼ dose	10,6	10	25	18,4	59,7	22,9
Variation dose	7,5	7,8	26,5	23,3	57,3	23,3
TNT	29,3	17,9	69,25	6,3	96,1	5

La différence majeure entre les notations sur feuilles et sur grappes est la variabilité des réponses : au sein d'une même classe pour une modalité donnée, la variabilité est plus forte sur grappes que sur feuilles.

Pour les modalités « ½ dose » et « ¼ dose », les stades de comptage expliquent en partie cette variabilité. Plus la notation est proche de la récolte, plus les attaques en fréquence sur grappes sont importantes

Pour la modalité « ¼ dose », on note un effet de la dose de cuivre. Pour les attaques les plus conséquentes sur le TNT, la dose de 300 g de cuivre métal est légèrement moins efficace qu'une dose de 400 g voire plus. Cet écart est significatif au seuil de 10%.

III) Résultats en intensité d'attaque

La part de variabilité expliquée par la notation en intensité dans le TNT des différentes modalités est inférieure à ce qu'elle était en fréquence. Cependant, elle permet d'expliquer entre 13 et 60% de la variabilité des différentes modalités. Comme pour la fréquence, la part de variabilité expliquée par le TNT est supérieure pour les notations sur grappes par rapport à celle sur feuilles.

Pour l'intensité d'attaque sur feuille pour la modalité « ½ dose », la précocité d'attaque qui explique majoritairement son comportement ($R^2 = 0,45$). Cette précocité d'attaque explique également une part non négligeable de la variabilité observée pour les intensités sur grappes des « modalités ¼ » et « variation dose », respectivement $R^2 = 0,32$ et $0,44$.

Tableau n° 3 : Part de la variabilité des notations des différentes modalités expliquée par la notation sur le TNT - résultat de régression linéaire simple

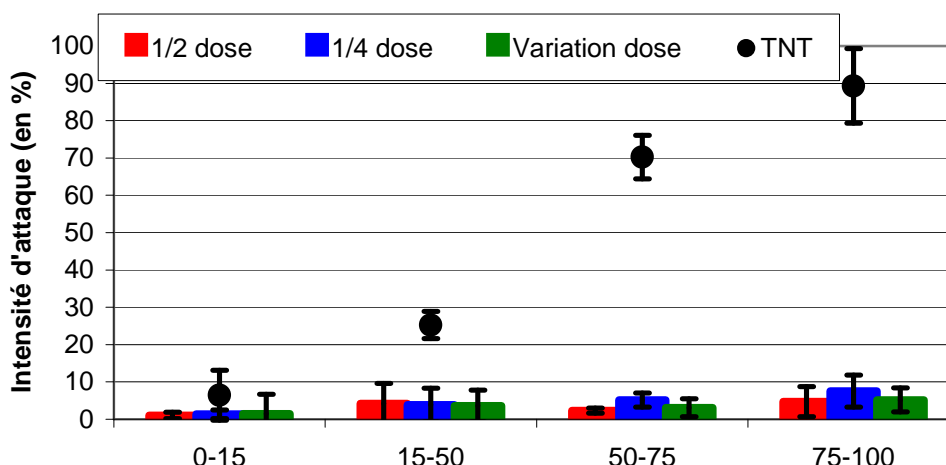
	Intensité sur feuilles		Intensité sur grappes	
	R ²	Pr>F	R ²	Pr>F
½ dose	0,13	0,033	0,52	<0,0001
¼ dose	0,32	0,006	0,42	0,005
Variation dose	0,6	<0,0001	0,47	0,001

Compte tenu de ces résultats, la suite de l'étude analysera la variabilité de réponse des différentes modalités au sein des différentes classes d'intensité du TNT, sur feuilles et grappes.

a) Intensité sur feuilles

La figure n°3 présente le comportement des différentes modalités en intensité sur feuilles au sein des différentes classes du TNT.

Figure n°3 : Moyenne et écart-type des attaques en intensité sur feuilles des différentes modalités en fonction des classes de notation dans le TNT



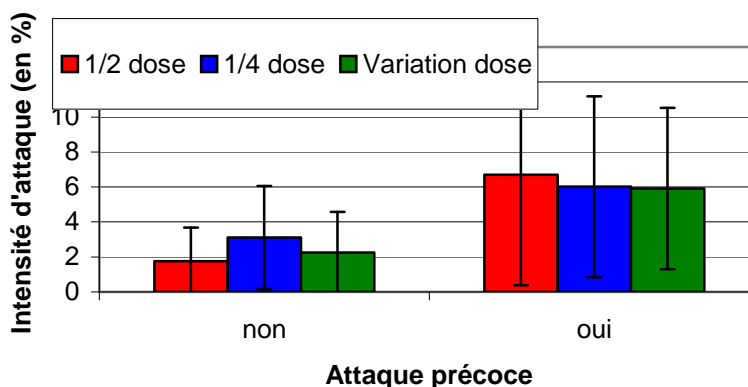
Modalités	Classes TNT							
	0-15		15-50		50-85		85-100	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
1/2 dose	1	0,9	4,2	5,4	2,3	0,7	4,8	4
1/4 dose	1,4	1,2	3,8	4,5	5,1	1,9	7,6	4,3
Variation dose	1,4	5,3	3,6	4,2	3,1	2,4	5,2	3,2
TNT	6	6,6	25	3,6	70	5,8	89	10

Les niveaux d'attaque et de variabilité d'intensité sont inférieurs à ce qu'ils étaient en fréquence. Dans ces essais, le niveau d'attaque en intensité sur feuilles est systématiquement inférieur à 10% en moyenne, quelque soit le niveau d'attaque sur le TNT. Les maxima sont inférieurs à 15%.

Le niveau d'attaque sur les modalités est significativement corrélé à l'attaque sur le TNT ($Pr > F = 0,02$). Cependant le coefficient de détermination n'est que de 16%. La précocité de l'attaque présente un coefficient de détermination légèrement plus élevé, de 20% ($Pr > F = 0,001$), (voir figure n°4).

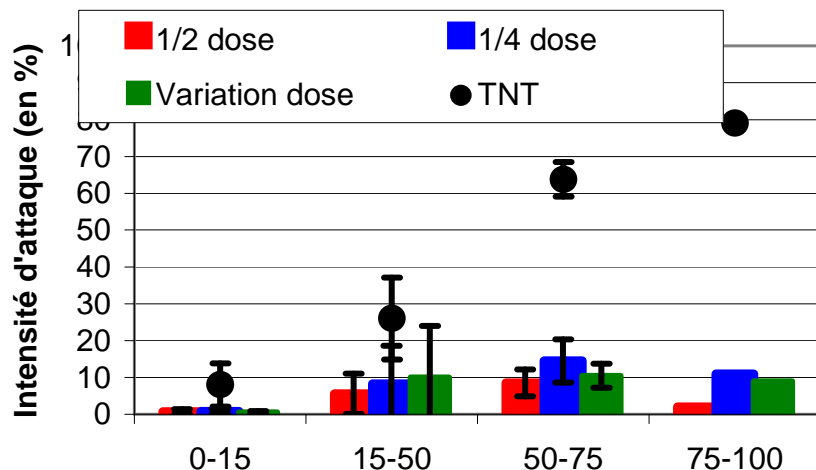
La variabilité du comportement des doses de cuivre est beaucoup plus faible que celle observée sur les notations en fréquence.

Figure n°4 : Moyenne et écart-type des attaques en intensité sur feuilles des différentes modalités en fonction de la précocité de l'attaque



b) Intensité sur grappes

Figure n°5 : Moyenne et écart-type des attaques en intensité sur grappes des différentes modalités en fonction des classes de notation dans le TNT



Modalités	Classes TNT							
	0-15		15-50		50-85		85-100	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
1/2 dose	0,7	0,7	5,6	5,5	8,5	3,7	2	-
1/4 dose	0,8	0,6	8,2	10,3	14,5	5,9	11	-
Variation dose	0,5	0,4	10	14,1	10,5	3,3	9	-
TNT	8	5,8	26	11,1	63,8	4,7	79	-

Pour des attaques sur le TNT inférieures à 15%, le mildiou est quasiment inexistant sur grappes dès lors que l'on apporte du cuivre. Au delà de ce niveau d'attaque sur le TNT, le niveau de protection au sein d'une modalité donnée dépend de la précocité d'attaque. Bien que cet effet ne soit pas statistiquement significatif, les intensités d'attaque sont généralement plus fortes sur pour les essais dans lesquels l'attaque a été précoce.

La modalité « 1/4 dose » regroupe des essais dans lesquels la dose de cuivre utilisée est comprise entre 300 et 500 g. Cet « effet dose » est significatif pour les données des trois classes supérieures de notation sur le TNT : lorsque le TNT n'est touché qu'à moins de 15%, les différentes doses de cuivre utilisées ont une efficacité comparable. Par contre, lorsque le TNT est atteint à plus de 15%, « l'effet » dose est significatif : la dose de 300 g présente des intensités d'attaque systématiquement plus élevées que les doses supérieures ou égales à 400 g. Il semblerait donc que la dose de 300 g soit une dose critique d'efficacité dans les conditions des essais.

IV) Résultats sur les dégâts

La fréquence représente le pourcentage d'organes (feuilles ou grappes) présentant au moins une tache de mildiou. L'intensité représente le pourcentage de surface couverte par le mildiou sur ces organes. Le produit des deux notations Fréquence X Intensité donne une estimation des dégâts réels de mildiou sur la parcelle. Dans la suite de l'article, cette notion sera appelée « dégâts ».

Par construction de cette variable « dégâts », les facteurs qui influencent le plus les fréquences et intensités d'attaque expliquent également la majorité de la variabilité de cette variable. Ainsi, les dégâts sur le TNT sont le facteur le plus important. Le tableau n°3 résume la part de variabilité des dégâts sur feuilles et sur grappes des différentes modalités expliquée par le TNT.

Tableau n° 3 : Part de la variabilité des notations des différentes modalités expliquée par la notation sur le TNT - **résultat de régression linéaire simple**

	Intensité sur feuilles		Intensité sur grappes	
	R ²	Pr>F	R ²	Pr>F
1/2 dose	0,25	0,002	0,45	<0,0001
1/4 dose	0,48	0,001	0,31	0,021
Variation dose	0,56	<0,0001	0,42	0,002

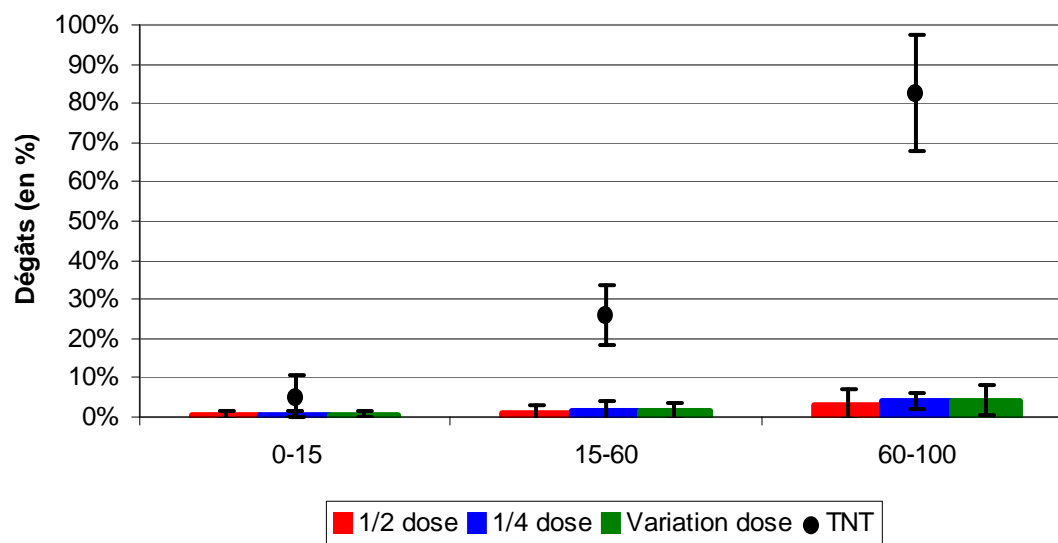
Sur feuilles et sur grappes, la corrélation entre les dégâts et l'intensité d'attaque est supérieure à celle avec la fréquence. La quantité de dégâts est davantage liée au développement en intensité qu'en fréquence. Une fréquence élevée d'attaque ne se traduit pas forcément par un niveau de dégâts important par contre lorsque l'intensité d'attaque est importante (auquel cas la fréquence d'attaque l'est également) le niveau d'attaque est plus important.

Les figures n° 6 et 7 représentent les niveaux de dégâts sur feuilles (n°6) et sur grappes (n°7) des différentes modalités en fonction des classes de dégâts observés sur le TNT (0-15%, 15-60%, 60-100%).

a) Dégâts sur feuilles

Quel que soit le niveau de dégâts observés sur le TNT, les moyennes des dégâts des différentes modalités sont inférieures à 5%, avec des maxima autour de 10%. Une protection régulière tout au long de la campagne à base de faibles doses de cuivre suffit à maintenir un feuillage peu atteint jusqu'à la récolte.

Figure n°6 : Moyenne et écart-type des « dégâts » sur feuilles des différentes modalités en fonction des classes de notation dans le TNT



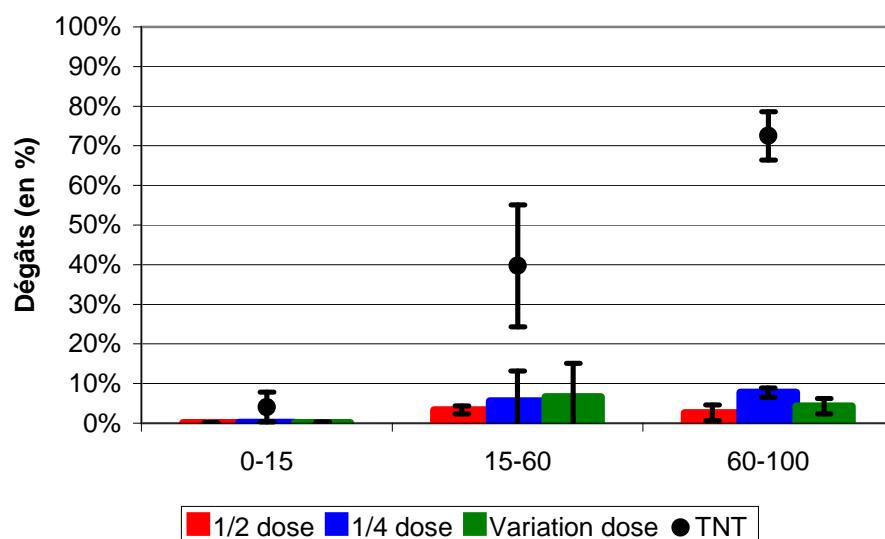
Modalités	Classes TNT					
	0-15		15-60		60-100	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
½ dose	0,5	0,8	1,1	1,9	3,3	4
¼ dose	0,7	0,8	1,5	2,6	4,1	2
Variation dose	0,7	0,9	1,4	2,2	4,3	3,7
TNT	5,3	5,5	25,9	7,7	82,7	14,8

La précocité de l'attaque est le second facteur qui explique la variabilité des dégâts des différentes modalités : des attaques précoces entraînent généralement des dégâts plus importants que des attaques plus tardives sur les différentes modalités cupriques. Par contre, ce n'est pas le cas sur le TNT : la moyenne des dégâts lors d'attaques « tardives » est de 28,7% contre 26,5% en cas d'attaques précoces. La dynamique d'attaque tardive peut être suffisamment rapide pour détruire une partie du feuillage s'il n'a reçu aucune protection cuprique à cette date. Des apports cupriques, même à faible dose, évite ce genre de cinétique.

b) Dégâts sur grappes

Comme pour les dégâts sur feuilles, les dégâts sur grappes (= perte de récolte) moyens sont inférieurs à 10% sur les différentes modalités même en cas d'attaque très forte (> 60%) sur le TNT. Par contre, les écarts types et les maxima sont plus élevés que sur feuilles. Dans les essais retenus pour cette étude, les pertes de récolte peuvent s'élever à 20%. Dans d'autres essais (non pris en compte ici), les pertes de récolte peuvent avoisiner les 50% !

Figure n°6 : Moyenne et écart-type des « dégâts » sur grappes des différentes modalités en fonction des classes de notation dans le TNT



Modalités	Classes TNT					
	0-15		15-60		60-100	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
½ dose	0,1	0,06	3,3	1	2,6	2
¼ dose	0,2	0,16	5,6	7,6	7,8	1,2
Variation dose	0,1	0,18	6,7	8,4	4,2	2
TNT	4,1	3,7	39,7	15,4	72,5	6,1

Les deux facteurs principaux permettant d'expliquer les variations d'efficacité des modalités sont encore une fois le niveau d'attaque dans le TNT et la précocité d'attaque. Les attaques précoces sont plus difficiles à maîtriser sur grappes que les attaques tardives.

Pour le TNT, la précocité de l'attaque influence les dégâts obtenus à la récolte : 31,7% en cas d'attaque « tardive », 45,5% en cas d'attaque « précoce ». Compte tenu de la définition de la précocité dans cette étude (lié à la présence significative ou non de mildiou à la fin du mois de juin), ces résultats ne sont pas surprenants : les attaques « précoces » peuvent être des attaques sur inflorescences que l'on sait être très dommageables pour la récolte.

V) Informations complémentaires

Réduction du nombre de traitements

Pour l'ensemble des essais, l'application des produits s'est faite par appareil à dos. De plus, l'objectif principal des essais était de tester l'efficacité de dose réduite de cuivre. Les applicateurs ont donc apporté un soin particulier dans le positionnement des traitements : lorsque l'on regarde le régime des pluies et les dates des applications, on constate que dans tous les essais, les épisodes pluvieux ont systématiquement été anticipés par une protection cuprique (au plus 5 jours s'écoulaient entre le traitement et la pluie suivante). On peut donc considérer que l'application des produits cupriques a été relativement optimale.

Cependant, dans certains essais le test de règles de décision a été ajouté à celui de différentes doses de cuivre. Dans ces essais, il est donc possible de comparer l'efficacité de différentes stratégies de déclenchement de traitement à dose de cuivre comparable.

Dans ces essais, deux stratégies sont comparées : l'une consistant à traiter dès l'annonce d'une pluie contaminatrice et l'autre après l'apparition des premiers symptômes dans la parcelle d'essai.

Parmi les 21 essais, 5 comparaient ces deux modalités. Dans quatre d'entre eux, les attaques de mildiou ont été extrêmement faibles. Lors des notations, il n'y avait pas de différence statistique entre la modalité d'apport de ½ dose de cuivre dès la contamination et l'attente de 2 cycles. Dans ces essais, les économies de cuivre sont en moyenne de 49,25% par rapport à la modalité de référence « ½ dose ».

Par contre, dans un des essais, l'attaque de mildiou a été plus conséquente (au stade début véraison : l'attaque sur le TNT était de 92% en fréquence et 27% en intensité sur feuilles et 88% en fréquence et 61,4% en intensité sur grappes). Dans ces conditions, la modalité retardant l'application du premier traitement présente une efficacité statistiquement inférieure en fréquence sur feuilles et sur grappes. Par contre, en intensité, bien qu'inférieure, elle n'est pas statistiquement différente.

De même, l'arrêt prématuré de la protection cuprique n'est pas préjudiciable à la protection contre le mildiou lorsque l'attaque est modérée. Par contre, les dégâts peuvent être beaucoup plus importants si la pression mildiou est significative.

La comparaison de ces résultats rappelle l'intérêt de la réduction du nombre de traitement sur la réduction globale des apports cupriques lors des années à faible pression de maladie et souligne le risque que cela représente lors des années à pression conséquente.

Choix de la forme de cuivre ?

Dans les rares essais, dans lesquels les différentes formes de cuivre étaient comparées, la forme hydroxyde de cuivre présente souvent une efficacité légèrement supérieure à la forme sulfate. Cependant, les écarts ne sont jamais significatifs à dose de cuivre comparable. La faiblesse des écarts constatés ne justifient pas d'alterner les formes de cuivre au cours d'une année. Une telle pratique complique la gestion des stocks de produits et augmente le risque d'erreur de dosage dans

la mesure où les formes sulfates et hydroxydes ne présentent pas les mêmes concentrations en cuivre.

L'ensemble des essais ont été réalisés avec des produits dont la dose d'homologation est inférieure ou égale à 1500 g de cuivre métal/ha. Ces résultats ne présagent pas de l'efficacité des produits dont les doses d'homologation sont supérieures, utilisés à de telles doses réduites.

Conclusion

La **pression mildiou** et la **précocité d'attaque** sont les principaux facteurs qui permettent de comprendre le niveau d'attaque sur les modalités ½, ¼ dose et variation dose de cuivre. La notion de dose de cuivre n'intervient que pour les notations en intensité sur grappes, lorsque le niveau d'attaque dans le TNT est supérieur à 15% : dans ces conditions, **la dose de 300 g de cuivre est moins efficace que des doses supérieures ou égales à 400 g.**

Le cumul annuel de cuivre, la concentration en cuivre dans la bouillie de traitements, la moyenne de dose de cuivre lors de la première application et des autres ne permettent pas d'expliquer les niveaux d'attaque observés.

Les enseignements tirés de ces essais nous offrent quelques éléments de réflexion pour définir les stratégies à mettre en œuvre pour la protection contre le mildiou dans un contexte de réduction des doses de cuivre.

Les principaux facteurs qui agissent sur le comportement des modalités des doses de cuivre (pression parasitaire et précocité de l'attaque) sont des facteurs sur lesquels les viticulteurs n'ont peu voire pas de prise directe. Les seuls moyens dont ils disposent sont de mettre en œuvre les mesures prophylactiques pour créer un climat défavorable à l'installation du mildiou dans ses parcelles. S'ils ne peuvent agir directement sur ces paramètres, il n'en demeure pas moins qu'il est indispensable qu'ils se tiennent informés de leurs évolutions.

L'intégration de l'information doit se faire à différente échelle :

Parcelle – exploitation : par le biais des observations personnelles,

Locale : par l'intermédiaire de discussions avec d'autres vignerons ayant des parcelles à proximité,

Petite région : par la lecture des bulletins phytosanitaires, qui en plus de donner des informations sur la situation en cours fournissent des renseignements sur la dynamique à venir de la maladie par le biais de la modélisation.

Une fois la situation connue, les viticulteurs peuvent adapter leurs pratiques à la situation :

Lorsque la pression mildiou est faible, la réduction des doses jusqu'à 300 g par traitement est possible,

Lorsque la pression est moyenne et que l'installation du mildiou est progressive, il est envisageable de travailler les produits à une dose autour de 400 g de cuivre métal par traitement. En dessous de cette dose, les risques de propagation sur les grappes et de déficit de protection du feuillage au moment de la vendange sont importants.

Lorsque l'attaque est forte, et particulièrement si elle est précoce (mai-début juin), il semble hasardeux d'utiliser les produits en dessous de 600-800 g de cuivre métal par traitement.

Ces doses sont données pour des vignes de vigueur moyenne. En cas de vignes avec un fort entassement de végétation ou un historique mildiou important (ces deux éléments sont parfois liés), les doses doivent être revues à la hausse. Cependant, dans aucune situation, l'utilisation de dose supérieure à 1000 g par traitement n'est justifiée.

Même à ces doses, lorsque la pression est particulièrement forte, la présence de mildiou est inévitable sur feuilles et grappes. **L'intensité des dégâts est fonction de la possibilité d'apporter le cuivre aux moments opportuns.** Le risque est maximum lorsque les conditions météorologiques imposent au viticulteur des « trous » dans la protection du vignoble. Le millésime 2007 en atteste....

Pour s'affranchir des incertitudes sur les prévisions des risques, il est possible **d'apporter une dose de cuivre plus élevée en début de campagne (600 g) et de réduire la dose (300 g) après le stade nouaison**. Cette stratégie, déjà mise en œuvre par certains producteurs, a été testée avec succès en 2006 par l'AIVB-LR en contexte de forte pression parasitaire.

La modalité consistant à avoir un raisonnement opposé (dose de cuivre initiale faible (300-400 g) puis croissante en fonction du développement végétatif) n'apporte pas de gain d'efficacité significatif par rapport à la modalité apportant 300 g toute la campagne, pour des doses annuelles de cuivre souvent supérieures. Elle n'est donc pas souhaitable.

Le déclenchement des traitements cupriques doit systématiquement anticiper un épisode pluvieux contaminateur. Le niveau de protection ne pourra être satisfaisant, quelque soit la dose de cuivre utilisée, que si **la qualité de pulvérisation est irréprochable** durant toute la campagne. Cela nécessite un suivi régulier du réglage de la machine et d'adapter le choix du type de pulvérisation (jet projeté ou pneumatique) en fonction du développement végétatif.

Enfin, la capacité de réactivité par rapport aux prévisions météorologiques est un élément important dont il faut tenir compte.

La réduction des doses de cuivre doit être intégrée à un raisonnement pluriannuel, tel que le permet la réglementation. Elle doit passer par une adaptation du nombre de traitements et de la dose de cuivre utilisée au risque parasitaire de l'année.

Les résultats de ces essais indiquent que l'utilisation des produits cupriques à des doses équivalents à 600-800 g de cuivre métal/application sont les meilleurs compromis entre efficacité et quantité de cuivre apportée. Il faut noter que l'utilisation de telles doses de cuivre correspondent à des apports de cuivre annuels compris entre 4,7 et 8 kg/ha. Dans certains essais (*non pris en compte dans cette étude*), les pertes de récolte sur ces modalités étaient de l'ordre de 20%. Dans la synthèse ci-dessus, deux modalités correspondaient à des apports de cuivre de l'ordre de 4 kg/ha/an : une modalité consistant à apporter moins de 500 g de cuivre par application (appelée « ¼ dose », apports annuels de cuivre entre 2,7 et 4 kg/ha selon les essais) et une autre consistant à moduler les apports de cuivre en fonction de la croissance végétative (doses de cuivre inférieures à 500 g en début de saison puis supérieures à 500g, appelée « variation dose », apports annuels de cuivre entre 3 et 6,8 kg selon les essais). Ces deux modalités ont présenté des niveaux de protection tout à fait suffisants dans les essais dans lesquels la pression parasitaire était estimée faible à moyenne. Par contre, ce niveau de protection était insuffisant en cas de pression parasitaire forte (pertes de récoltes jusqu'à 50%).

Depuis 2006, d'autres essais ont été mis en place sur ce sujet : les conclusions auxquels ils aboutissent sont les mêmes que celles de cette synthèse.

Par ailleurs, dans ces essais, des produits « alternatifs » (= produits d'origine naturelle ayant une action présumée directe sur le champignon *Plasmopora viticola* ou indirecte de renforcement des mécanismes des défenses de la vigne vis à vis de cette maladie) ont été testés : aucun ne permet de sécuriser des faibles doses de cuivre en cas de pression parasitaire trop forte.

2) Simulation de l'usage du cuivre en viticulture biologique à partir des données météorologiques et de modélisation

L'objectif de cette étude est d'estimer les quantités de cuivre nécessaires pour protéger la vigne à partir des recommandations des organismes techniques, en utilisant des données facilement accessibles sur un grand nombre de vignobles et plusieurs années.

i) Stratégie d'utilisation du cuivre dans la lutte contre le mildiou de la vigne

Les propriétés des produits cupriques ont une incidence sur les stratégies de leur utilisation dans le cadre de la lutte contre les maladies de la vigne, le mildiou notamment.

Les principales propriétés à prendre en compte sont :

- Mode d'action strictement préventif : le cuivre agit uniquement avant la contamination du végétal par les spores de *Plasmopora viticola*. En conséquence, en période de risque de développement du mildiou, il doit être appliqué sur la vigne avant tout élément contaminateur (pluie, forte hygrométrie...)
- Produit de contact : le cuivre ne pénètre pas dans les feuilles de vigne. La conséquence est double :
 - 1) il n'est pas à l'abri du lessivage : les traitements cupriques doivent donc être renouvelés après chaque cumul de pluie conséquent (cf paragraphe 1 i)),
 - 2) il ne migre pas dans la plante par l'intermédiaire de la sève : le cuivre ne protège que les organes présents au moment du traitement. Les organes néoformés entre un traitement au cuivre et un épisode contaminateur ne sont pas protégés.

Les règles de décision à mettre en œuvre pour le déclenchement des traitements cupriques sont les suivantes :

- intervenir avant tout élément contaminateur (pluie, rosée, « entrées maritimes ».....), le plus près possible de cet élément contaminateur pour éviter qu'un trop grand nombre d'organes ne se développe entre l'application de cuivre et la contamination,
- renouveler le traitement lorsque celui-ci a été lessivé (cf paragraphe 1 i))....
- ... ou lorsqu'un grand nombre d'organes se sont développés depuis le dernier traitement. Ce critère sera à prendre en compte si la pression parasitaire est suffisamment forte pour justifier une protection continue de la vigne.

ii) Méthodologie

La méthodologie utilisée pour le calcul des quantités de cuivre repose sur les règles de décision précisées dans le paragraphe précédent. Il a été demandé aux organismes techniques de fournir les relevés pluviométriques entre le 25 avril et le 20 août de plusieurs années (5 dans la mesure du possible). Lorsqu'elles étaient disponibles, les données de Fréquence Théorique d'Attaque (FTA du modèle EPI, correspondant au risque de développement de mildiou sur une vigne théorique, non protégée contre la maladie) étaient également demandées.

Le calculateur s'appuie avant tout sur les données de pluviométrie. Le travail a été réalisé pour 5 couples « quantité de cuivre par traitement » / « hauteur de lessivage » :

- 600 g de cuivre métal, renouvelés après 15 mm de cumul de pluies,
- 800 g de cuivre métal, renouvelés après 20 mm de cumul de pluies,
- 500 g de cuivre métal, renouvelés après 10 mm de cumul de pluies,
- 500 g de cuivre métal, renouvelés après 15 mm de cumul de pluies,
- 600 g de cuivre métal, renouvelés après 20 mm de cumul de pluies.

Ces « couples » ont été choisis car ils sont représentatifs des pratiques actuelles des vignerons biologiques (cf enquête ITAB) et des préconisations des organismes techniques pour les 3 premiers couples (cf première partie de ce document) et de stratégies présentant un risque supérieur pour les deux derniers couples.

Dans cette étude théorique, nous considérons que le premier traitement est déclenché lorsque le cumul de pluie considéré (10, 15 ou 20 mm) est atteint à partir des précipitations du 25 avril. Le renouvellement est envisagé lorsque ce même cumul de pluie est survenu depuis le traitement précédent. Nous considérons qu'il n'est pas envisageable de renouveler un traitement moins de 3 jours après le traitement précédent, quel que soit le cumul de pluies survenu depuis.

Dans la plupart des vignobles, seules les précipitations ont été prises en compte pour le calcul des apports de cuivre. La prise en compte du renouvellement lié à la croissance de la vigne, uniquement en période de risque parasitaire élevé, n'a été réalisé que sur les données du Languedoc-Roussillon. Sur ce vignoble, en plus des règles précédentes, nous avons inclus des règles liées à la FTA : lorsque celle-ci a atteint la valeur seuil de 10, nous considérons que l'intervalle de temps entre deux applications ne doit pas excéder 8 jours. Si le cumul de pluie ne justifie pas de déclencher un traitement avant les 8 jours, cette règle s'applique. Ce critère est pris en compte à partir du 25 avril, jusqu'au stade « arrêt de croissance de la vigne ». Au delà de ce stade, nous considérons que les éventuels traitements cupriques se justifient uniquement par le lessivage du traitement précédent.

iii) Résultats

a) moyennes des données disponibles dans chaque vignoble

Les figures n°5 et 6 présentent les résultats des calculs de nombre de traitements et de quantité annuelle de cuivre métal obtenus en moyenne sur les millésimes 2005 à 2009 sur les vignobles de Bourgogne, Champagne, Gironde, Languedoc-Roussillon et Pays de Loire. Le détail des informations à partir desquelles ont été réalisés ces calculs sont disponibles en annexe.

	Nombre traitements			Quantité totale de cuivre				
	10 mm	15 mm	20 mm	600 g 15 mm	800 g 20 mm	500 g 10 mm	500 g 15 mm	600 g 20 mm
Bourgogne	13,3	10,7	9,3	6,4	7,4	6,6	5,4	5,6
Champagne	15,6	12,6	10,0	7,6	8,0	7,8	6,3	6,0
Gironde	11,1	8,8	7,1	5,3	5,6	5,5	4,3	4,2
Languedoc Roussillon	6,8	6,0	5,2	3,6	4,2	3,4	3,0	3,1
Pays de Loire	10,2	8,2	6,8	4,9	5,4	5,1	4,1	4,1

Nombre de traitements calculés

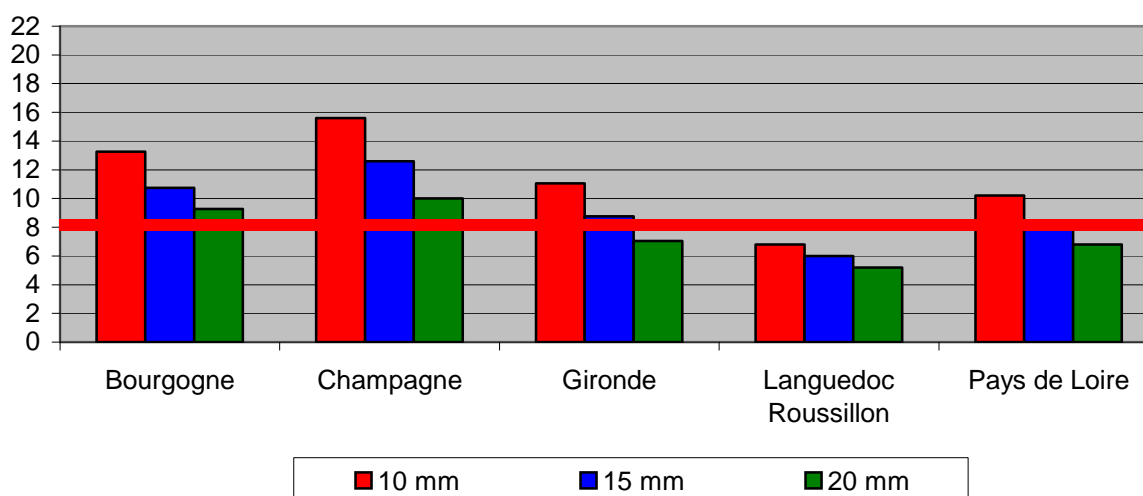


Figure 5 : moyenne du nombre de traitements annuels calculés sur les millésimes 2005 à 2009

Sur la base d'un maximum de 8 applications / ha / an, les vignobles de Bourgogne et de Champagne sont systématiquement au dessus du seuil entre 2005 et 2009, quelque soit le cumul de précipitations envisagé pour le renouvellement des traitements. Sur les vignobles de Pays de Loire et de Gironde, le seuil est dépassé pour les stratégies consistant à renouveler les traitements après 10 ou 15 mm de précipitations. En Languedoc Roussillon, ce seuil n'est jamais atteint en moyenne sur ces 5 années, ni sur les 20 années de données disponibles (1985 à 2009).

Doses de cuivre calculées

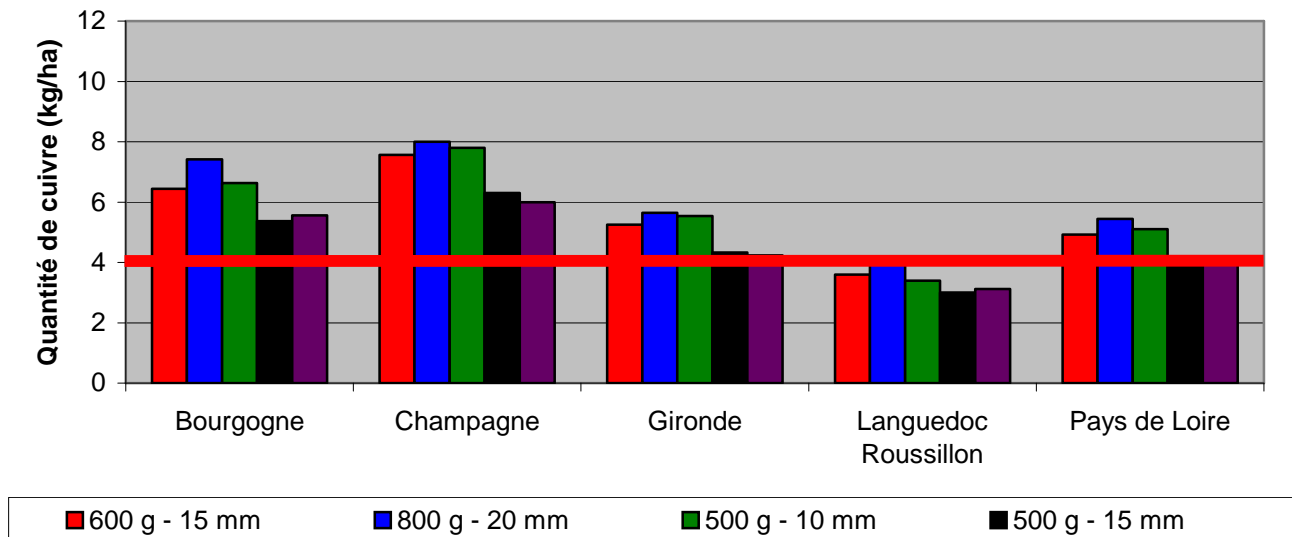


Figure 6 : moyenne des quantités de cuivre métal calculées sur les millésimes 2005 à 2009

Concernant les quantités annuelles de cuivre métal employées, le seuil proposé de 4 kg de cuivre métal/ha/an est systématiquement dépassé dans l'ensemble des vignobles, sauf en Languedoc-Roussillon, et ce quelque soit la stratégie de renouvellement des traitements envisagées et la dose de cuivre simulée. En Languedoc-Roussillon, les moyennes sur 25 ans sont inférieures à 4 kg/ha pour les modalités « 500 g – 10 mm », « 500 g – 15 mm » et « 600 g – 20 mm », par contre elles sont au delà de ce seuil pour les modalités « 600 g – 15 mm » et « 800 g – 20 mm », respectivement à 4,1 kg et 4,6 kg.

La dose de 4 kg/ha/an est donc incompatible avec une gestion optimale des apports de cuivre dans la plupart des vignobles étudiés.

Par ailleurs, la proposition porte sur une dose fixe de cuivre, sans possibilité de moyenniser cette quantité sur plusieurs millésimes. Une analyse fréquentielle sur les millésimes disponibles par vignoble permet donc de voir la fréquence à laquelle la dose proposée posera des problèmes sur les différents vignobles.

b) Analyse fréquentielle des dépassement de seuil

Languedoc-Roussillon

Sur le Languedoc-Roussillon, les données disponibles portent sur la station météorologique de Nîmes Courbessac et sur 25 ans (1985 à 2009) (1 station x 25 années = 25 situations). Les données de modélisation étant également disponible sur cette station météo, la méthode de calcul a intégré le renouvellement des traitements en fonction de la croissance de la vigne en plus des renouvellements

liés au lessivage. Le seuil retenu est de ne pas excéder 8 jours entre 2 traitements lorsque la pression parasitaire est forte (= FTA > 10). La figure n°7 présente la fréquence de dépassement des seuils (nombre de traitements et quantité annuelle de cuivre).

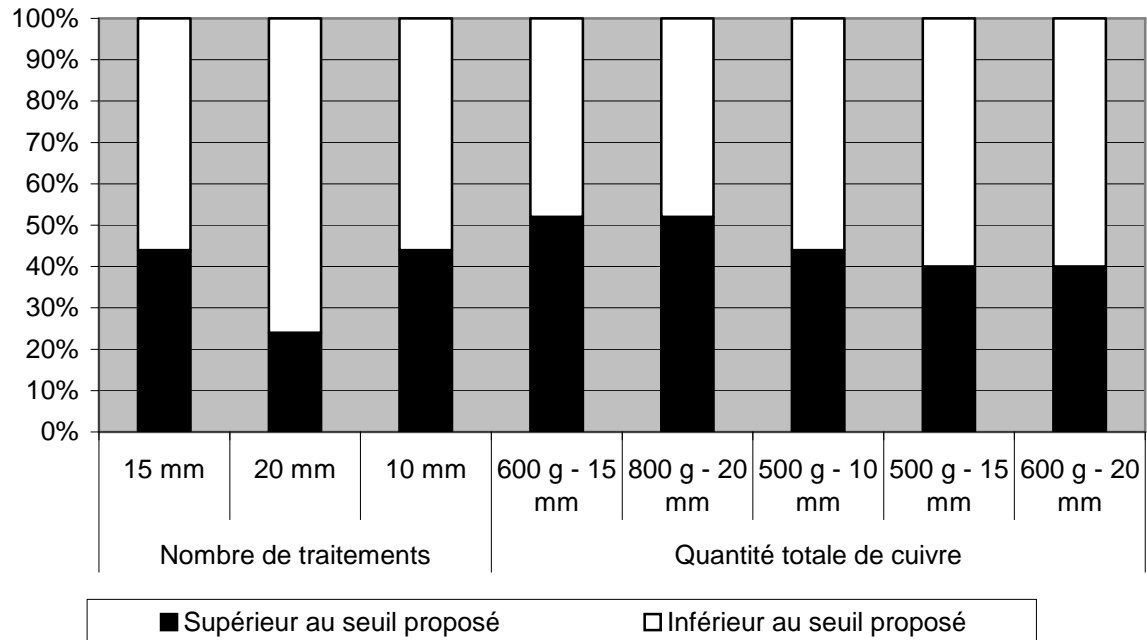


Figure 7 : Etude fréquentielle de dépassement des seuils proposés pour le nombre de traitements et la quantité de cuivre en Languedoc-Roussillon – Années 1985 à 2009

Selon le cumul de pluie, le nombre de traitements nécessaires pour protéger correctement la vigne dépasserait le seuil de 8 applications de 2 années sur 10 (renouvellement tous les 20 mm) à plus de 4 années sur 10 (renouvellement tous les 10 ou 15 mm).

Concernant la quantité totale de cuivre, les fréquences de dépassement du seuil de 4 kg/ha sont supérieures. Selon la stratégie considérée, la quantité annuelle de cuivre serait supérieure à 4 kg/ha entre 4 et 5 années sur 10.

Gironde

Cette analyse fréquentielle a été effectuée à partir des données disponibles sur les 12 stations météorologiques (cf liste en annexe) et les 5 millésimes (2004 à 2009) : 12 stations x 5 années = 60 situations.

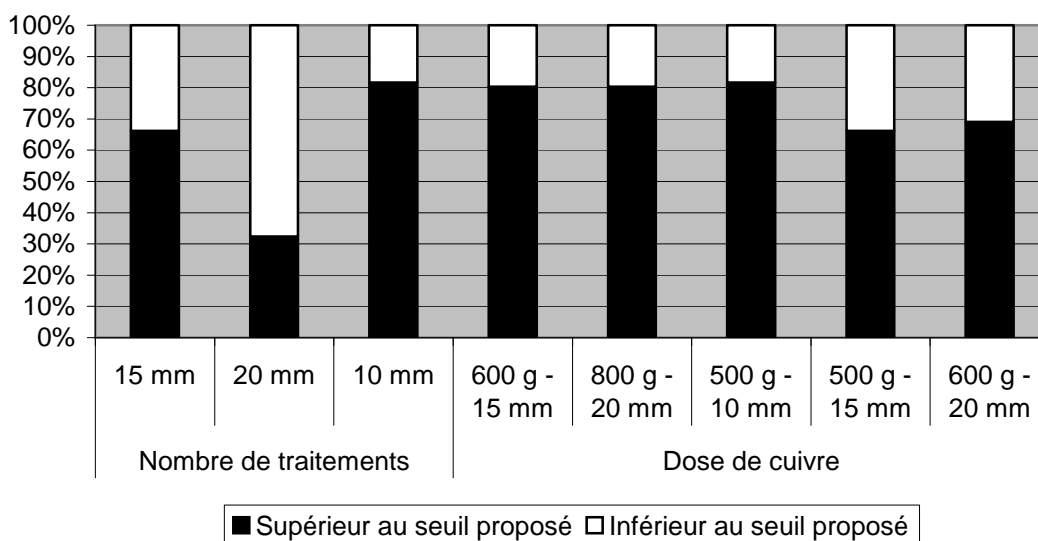


Figure 8 : Etude fréquentielle de dépassement des seuils proposés pour le nombre de traitements et la quantité de cuivre en Gironde – Années 2005 à 2009

Concernant le nombre de traitement, le seuil des 8 applications est dépassé entre 3 et 8 années sur 10. Pour les doses maximales de cuivre, le seuil de 4 kg est dépassé entre 7 et 8 années sur dix. Le mise en application de ces limitations ne permettraient donc pas de produire de raisins selon le mode de production biologique en Gironde et mettraient en péril l'équilibre financier des domaines viticoles certifiés.

Pays de Loire

Les données utilisées pour cette analyse fréquentielle sont issues de la moyenne de l'ensemble des stations du GDDV des Pays de Loire sur 5 millésimes (2005-2009) : 1 moyenne/an x 5 années = 5 situations.

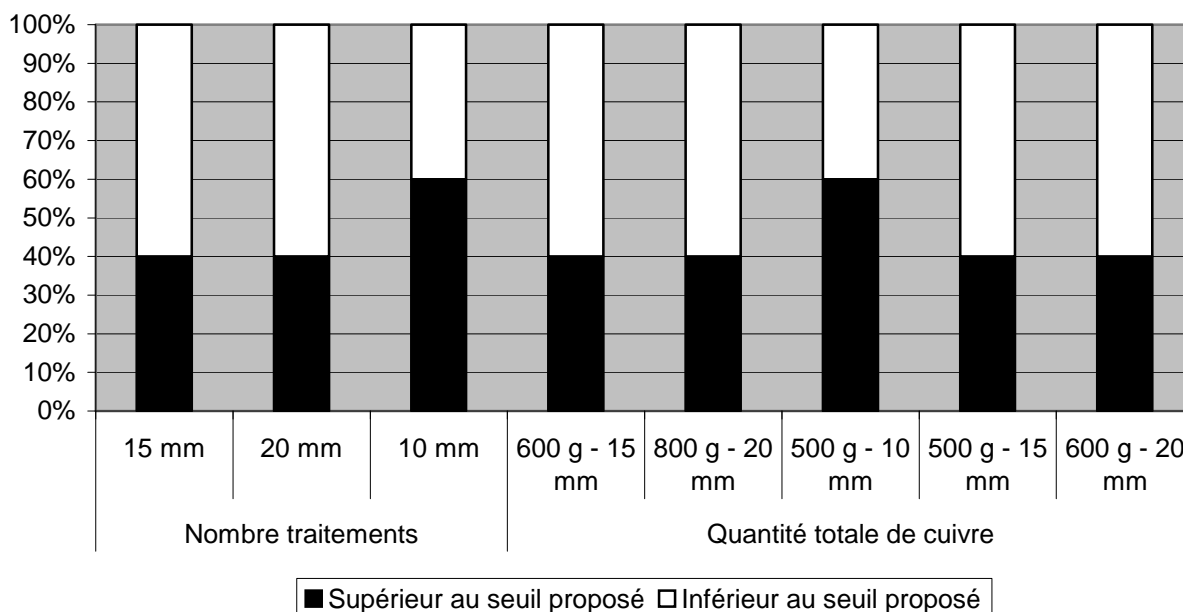


Figure 9 : Etude fréquentielle de dépassement des seuils proposés pour le nombre de traitements et la quantité de cuivre en Pays de Loire – Années 2005 à 2009

Sur les 5 millésimes étudiées, les seuils seraient dépassés 2 à 3 années pour le nombre de traitements et pour les doses de cuivre.

Bourgogne

La situation du vignoble de Bourgogne est illustrée par les données de la station météorologique de Beaune, entre 2005 et 2009 : 1 station x 5 années = 5 situations

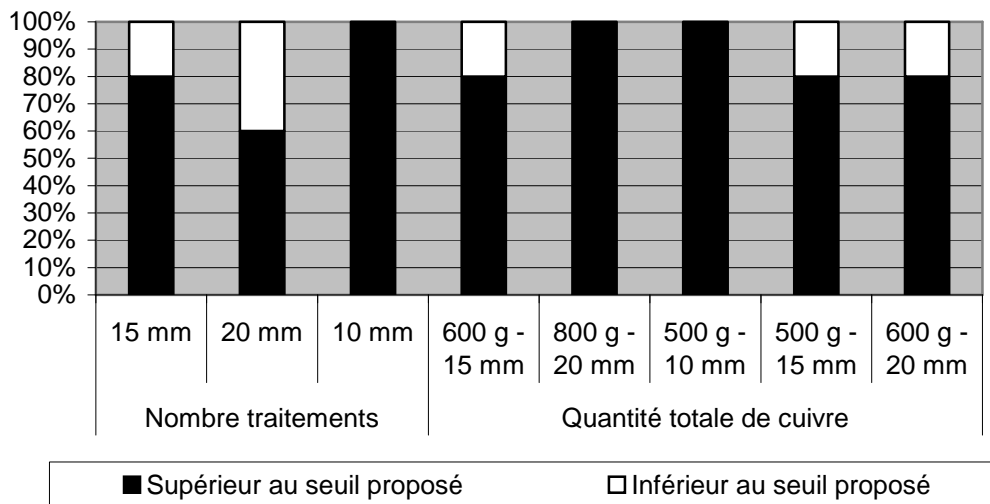


Figure 10 : Etude fréquentielle de dépassement des seuils proposés pour le nombre de traitements et la quantité de cuivre en Bourgogne – Années 2005 à 2009

Sur ces données de la station de Beaune, le seuil de 8 applications / an serait dépassé 3 à 5 années sur 5 selon le cumul de renouvellement utilisé et les doses annuelles de cuivre seraient supérieures à 4 kg 4 à 5 années sur 5.

L'application de la réglementation proposée rendrait totalement impossible la production de raisins biologiques dans cette région.

Champagne

Les données disponibles pour le vignoble de Champagne proviennent de la moyenne journalière de 38 stations, entre 2005 et 2009 : 1 moyenne/an x 5 années = 5 situations

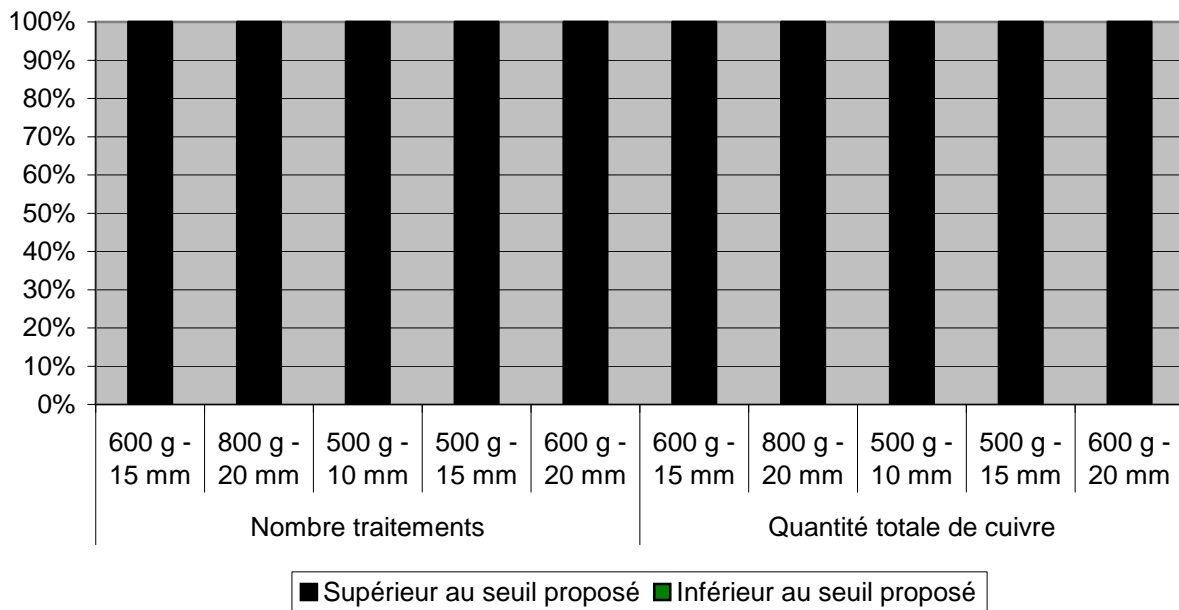


Figure 11 : Etude fréquentielle de dépassement des seuils proposés pour le nombre de traitements et la quantité de cuivre en Champagne – Années 2005 à 2009

D'après les données disponibles sur le vignoble champenois, les seuils proposés en terme de nombre d'application et de quantité annuelle de cuivre auraient été dépassés systématiquement au cours des 5 derniers millésimes.

En conclusion de cette analyse fréquentielle, dans aucun vignoble, la dose de 4 kg/ha/an de cuivre métal serait suffisante pour assurer la production de raisins biologiques de qualité et en quantité suffisante tous les ans. La gestion des doses de cuivre serait particulièrement problématique dans certains vignobles (Champagne, Bourgogne...)

Lorsque l'on compare les doses de cuivre calculées par cette méthode et les résultats des enquêtes réalisées auprès des viticulteurs biologiques (cf enquête ITAB 2009 et enquêtes régionales associées), on constate que les doses de cuivre utilisées par les producteurs sont inférieures à celles calculées : les viticulteurs biologiques français sont dans une perpétuelle recherche de réductions des doses de cuivre, et vont au delà des préconisations des organismes techniques. Les risques qu'ils prennent n'ont pas toujours été validés dans le cadre d'expérimentations.

Conclusion générale

Quelque soit la source d'information utilisée (données d'expérimentations (partie 1), calculs théoriques à partir des données pluviométriques (partie 2) ou relevés d'enquêtes auprès des producteurs (source : ITAB, 2009)), **les seuils proposés de 4 kg de cuivre métal/ha/an, 8 applications/an ne permettent pas d'assurer une protection de la vigne contre les attaques de mildiou en tout lieu et en tout temps dans les vignobles français conduits en agriculture biologique.** Cette dose de cuivre très basse et l'impossibilité de faire la moyenne sur plusieurs années pour tenir compte des millésimes à pression parasitaire élevée entraînera des pertes de récolte incompatibles avec le développement et même la pérennité du vignoble biologique français.

Ces propositions vont à l'encontre des recommandations de la commission européenne qui demande certes de réduire les impacts négatifs du cuivre sur l'environnement mais tout en veillant à ce que les doses de cuivre et le nombre de traitements indiqués « *correspondent au minimum nécessaire pour obtenir les effets désirés.* » et de la volonté du ministère français de l'agriculture de promouvoir et développer l'agriculture biologique.

Remerciements

Ce travail de synthèse a été réalisé grâce aux données (bilan climatologique et données issues de la modélisation du développement du mildiou) fournies par les organismes suivants : IFV de Nîmes, Chambres d'Agriculture de Saône et Loire, de Gironde, GDDV des Pays de Loire, SRAL de Bourgogne, SEDARB, CIVC.

ANNEXE

Languedoc Roussillon

Calcul à partir des données climatiques de la station de Nîmes Courbessac de 1985 à 2009 et données de modélisation associées à cette station (FTA)

Pluies										
	Nombre traitements					Quantité totale de cuivre				
	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm
1985	5	4	5	5	4	3,0	3,2	2,5	2,5	2,4
1986	3	2	3	3	2	1,8	1,6	1,5	1,5	1,2
1987	5	4	6	5	4	3,0	3,2	3,0	2,5	2,4
1988	7	5	9	7	5	4,2	4,0	4,5	3,5	3,0
1989	2	0	1	1	0	1,2	0,0	0,5	0,5	0,0
1990	4	3	4	4	3	2,4	2,4	2,0	2,0	1,8
1991	4	3	5	3	3	2,4	2,4	2,5	1,5	1,8
1992	10	8	12	10	8	6,0	6,4	6,0	5,0	4,8
1993	7	6	8	7	6	4,2	4,8	4,0	3,5	3,6
1994	3	2	4	3	2	1,8	1,6	2,0	1,5	1,2
1995	3	2	4	3	2	1,8	1,6	2,0	1,5	1,2
1996	7	6	10	7	6	4,2	4,8	5,0	3,5	3,6
1997	6	5	7	6	5	3,6	4,0	3,5	3,0	3,0
1998	7	6	7	7	6	4,2	4,8	3,5	3,5	3,6
1999	9	7	10	9	7	5,4	5,6	5,0	4,5	4,2
2000	7	6	8	7	6	4,2	4,8	4,0	3,5	3,6
2001	7	5	9	6	5	4,2	4,0	4,5	3,0	3,0
2002	8	7	8	8	7	4,8	5,6	4,0	4,0	4,2
2003	3	2	4	3	2	1,8	1,6	2,0	1,5	1,2
2004	4	3	4	4	3	2,4	2,4	2,0	2,0	1,8
2005	3	2	3	3	2	1,8	1,6	1,5	1,5	1,2
2006	2	2	3	2	2	1,2	1,6	1,5	1,0	1,2
2007	5	5	5	5	5	3,0	4,0	2,5	2,5	3,0
2008	7	6	9	7	6	4,2	4,8	4,5	3,5	3,6
2009	6	4	8	6	4	3,6	3,2	4,0	3,0	2,4
Moyenne	5,4	4,2	6,2	5,2	4,2	3,2	3,4	3,1	2,6	2,5

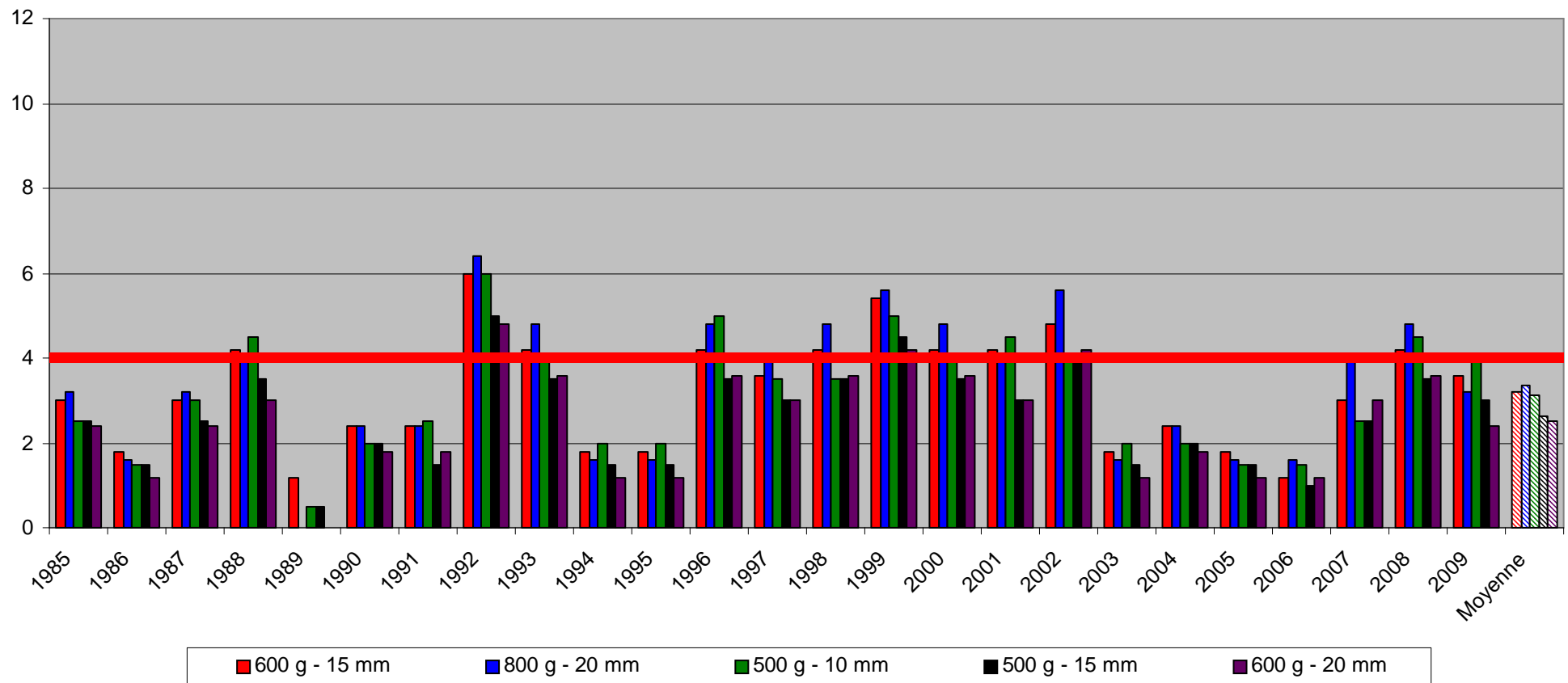
Croissance (FTA)

	Nombre traitements					Quantité totale de cuivre				
	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm
1985	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1986	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1987	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1988	2	3	1	2	3	1,2	2,4	0,5	1,0	1,8
1989	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1990	2	2	3	2	2	1,2	1,6	1,5	1,0	1,2
1991	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1992	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1993	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994	1	1	1	1	1	0,6	0,8	0,5	0,5	0,6
1995	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1996	2	1	0	2	1	1,2	0,8	0,0	1,0	0,6
1997	2	2	2	2	2	1,2	1,6	1,0	1,0	1,2
1998	2	2	2	2	2	1,2	1,6	1,0	1,0	1,2
1999	1	0	0	1	0	0,6	0,0	0,0	0,5	0,0
2000	2	3	3	3	3	1,2	2,4	1,5	1,5	1,8
2001	1	2	1	1	2	0,6	1,6	0,5	0,5	1,2
2002	2	3	3	3	3	1,2	2,4	1,5	1,5	1,8
2003	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2004	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2005	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2006	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2007	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2008	2	3	3	3	3	1,2	2,4	1,5	1,5	1,8
2009	1	2	1	1	2	0,6	1,6	0,5	0,5	1,2
Moyenne	0,8	1,0	0,8	0,9	1,0	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6

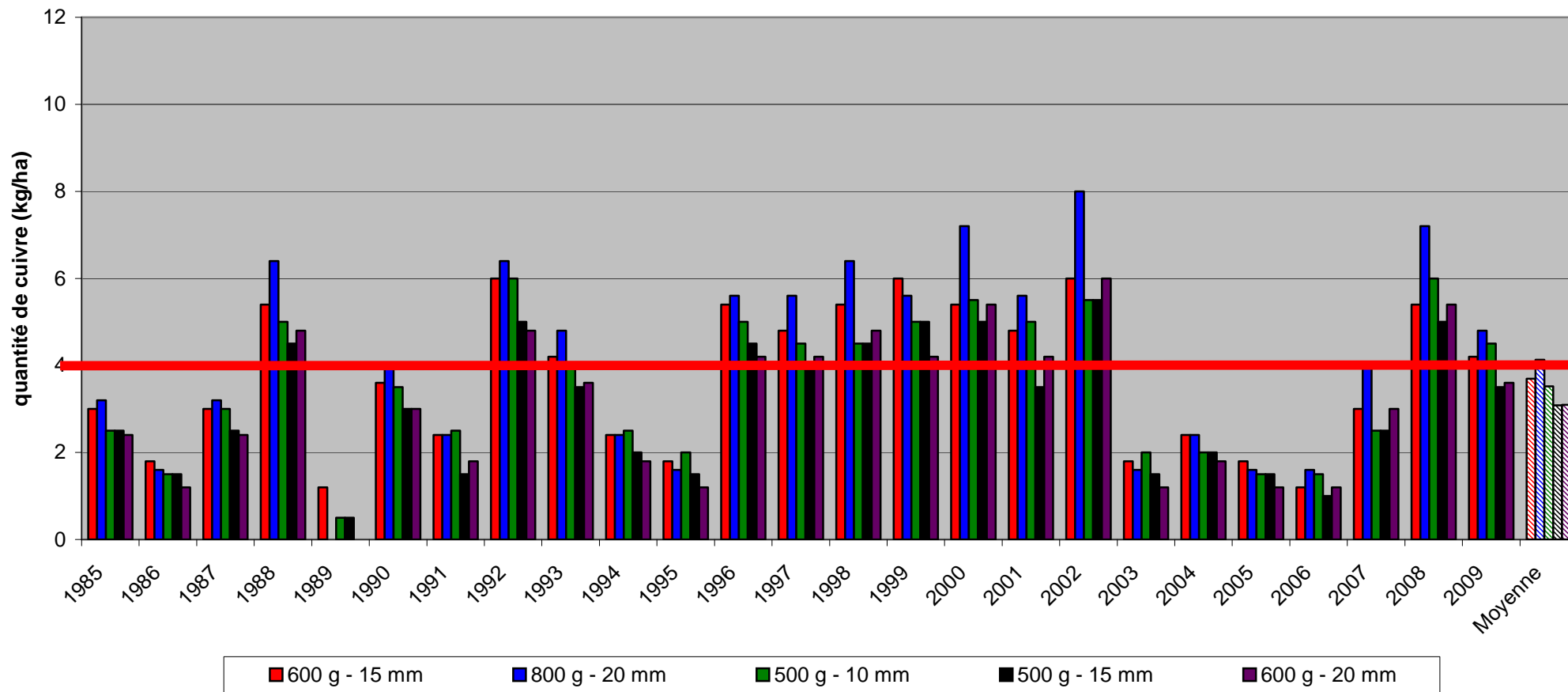
Total = pluie + FTA

	Nombre traitements					Quantité totale de cuivre				
	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm
1985	5	4	5	5	4	3,0	3,2	2,5	2,5	2,4
1986	3	2	3	3	2	1,8	1,6	1,5	1,5	1,2
1987	5	4	6	5	4	3,0	3,2	3,0	2,5	2,4
1988	9	8	10	9	8	5,4	6,4	5,0	4,5	4,8
1989	2	0	1	1	0	1,2	0,0	0,5	0,5	0,0
1990	6	5	7	6	5	3,6	4,0	3,5	3,0	3,0
1991	4	3	5	3	3	2,4	2,4	2,5	1,5	1,8
1992	10	8	12	10	8	6,0	6,4	6,0	5,0	4,8
1993	7	6	8	7	6	4,2	4,8	4,0	3,5	3,6
1994	4	3	5	4	3	2,4	2,4	2,5	2,0	1,8
1995	3	2	4	3	2	1,8	1,6	2,0	1,5	1,2
1996	9	7	10	9	7	5,4	5,6	5,0	4,5	4,2
1997	8	7	9	8	7	4,8	5,6	4,5	4,0	4,2
1998	9	8	9	9	8	5,4	6,4	4,5	4,5	4,8
1999	10	7	10	10	7	6,0	5,6	5,0	5,0	4,2
2000	9	9	11	10	9	5,4	7,2	5,5	5,0	5,4
2001	8	7	10	7	7	4,8	5,6	5,0	3,5	4,2
2002	10	10	11	11	10	6,0	8,0	5,5	5,5	6,0
2003	3	2	4	3	2	1,8	1,6	2,0	1,5	1,2
2004	4	3	4	4	3	2,4	2,4	2,0	2,0	1,8
2005	3	2	3	3	2	1,8	1,6	1,5	1,5	1,2
2006	2	2	3	2	2	1,2	1,6	1,5	1,0	1,2
2007	5	5	5	5	5	3,0	4,0	2,5	2,5	3,0
2008	9	9	12	10	9	5,4	7,2	6,0	5,0	5,4
2009	7	6	9	7	6	4,2	4,8	4,5	3,5	3,6
Moyenne	6,2	5,2	7,0	6,2	5,2	3,7	4,1	3,5	3,1	3,1

Nombre de traitements calculés

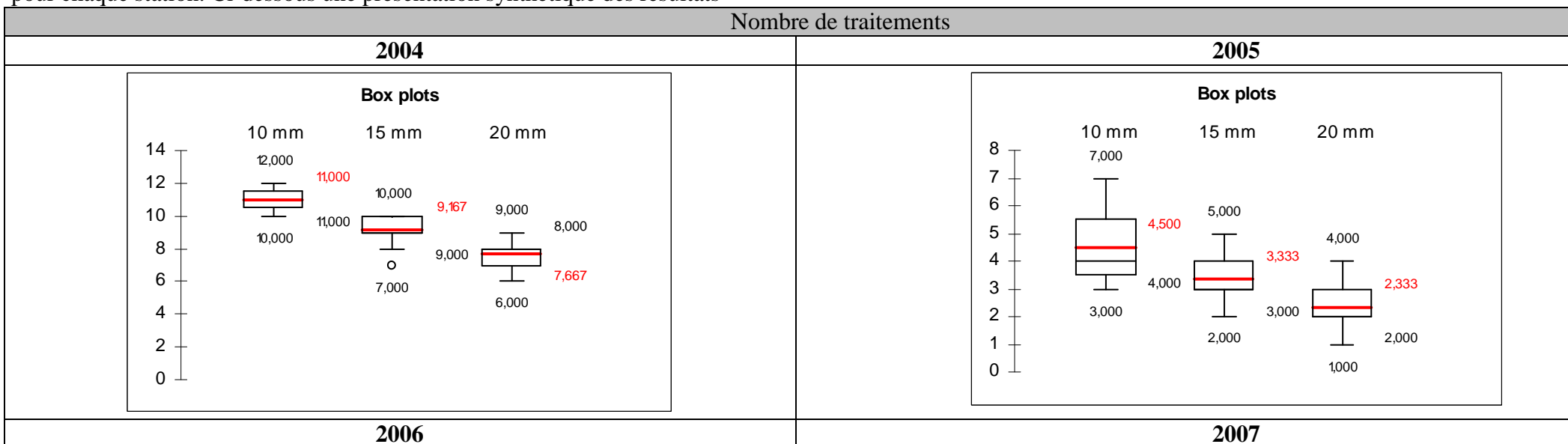


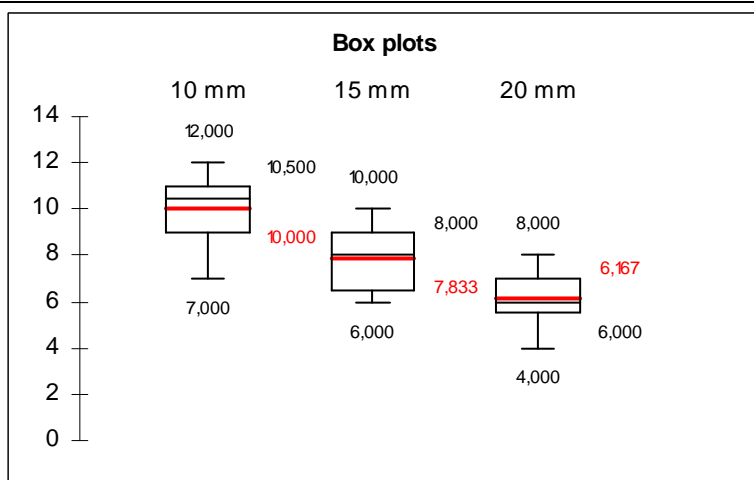
Doses annuelles de cuivre calculées



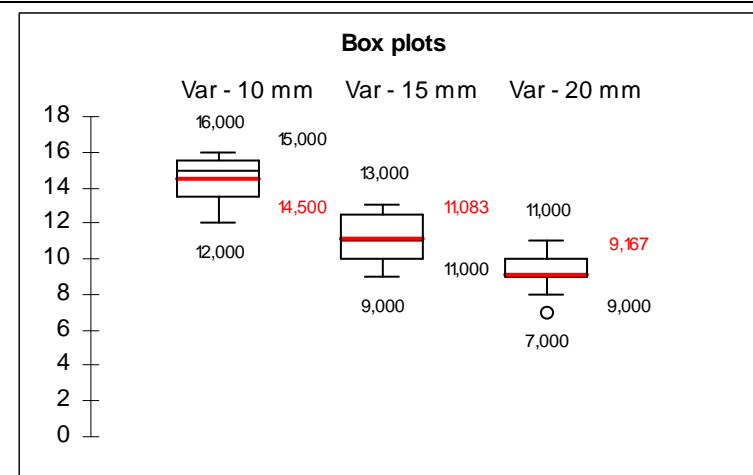
Gironde

Calcul à partir des données climatiques 2004 à 2009 des stations d'Arbanats, Belves de Castillon, Berson, Blanquefort, Blasimon, Galgon, Margaux, Pauillac, Pujols sur Ciron, Saint Médard d'Eyrans, Saint Seurin de Bourg, Vensac. Le nombre de traitements et les quantités de cuivre ont été calculés pour chaque station. Ci-dessous une présentation synthétique des résultats

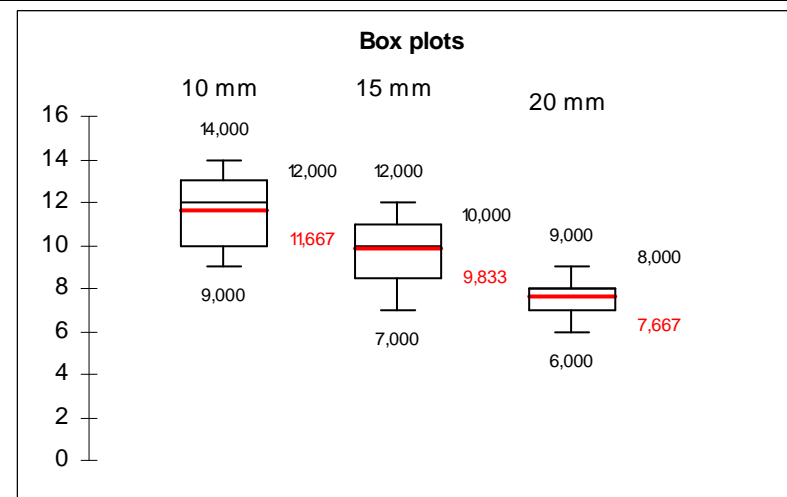
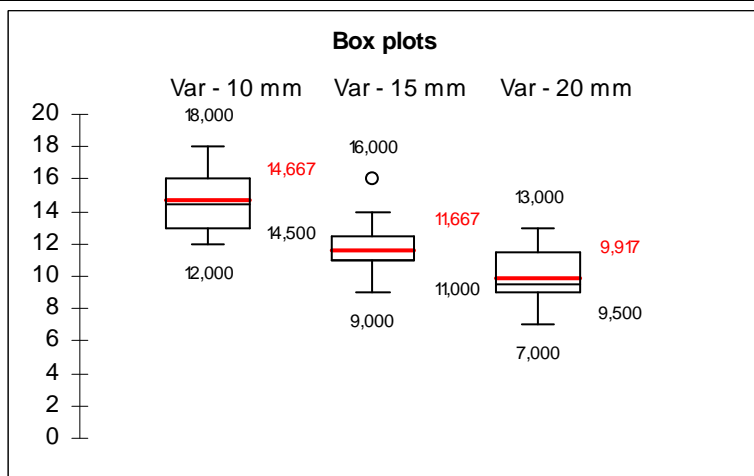




2008

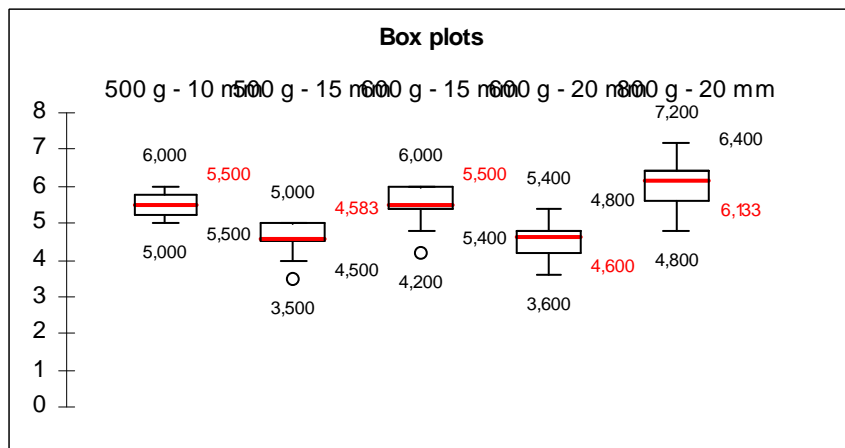


2009



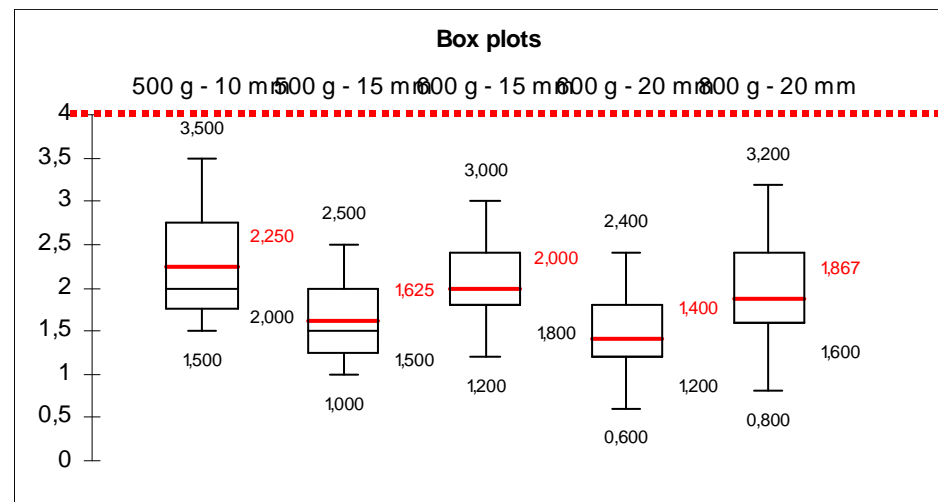
Quantité de cuivre

2004

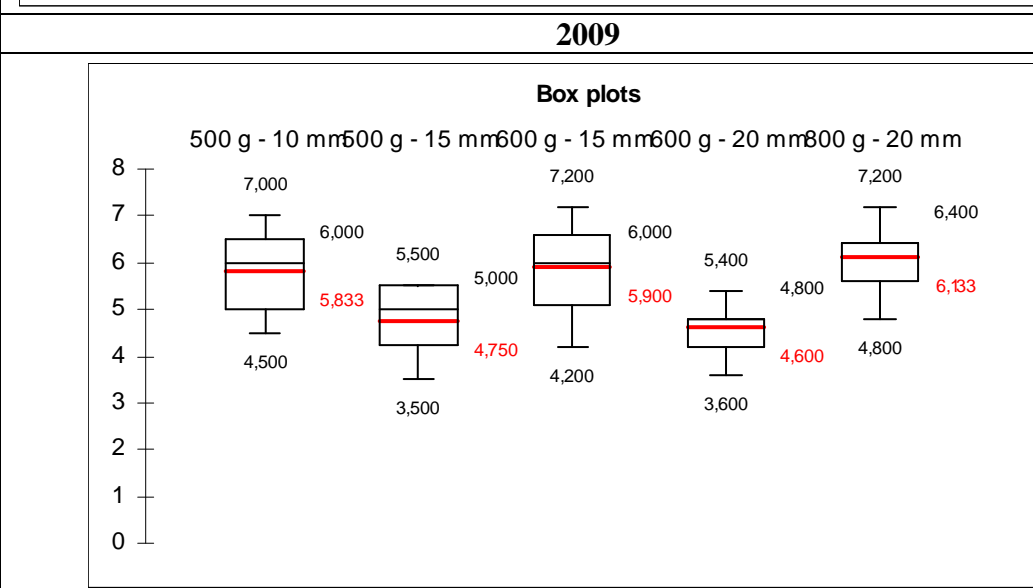
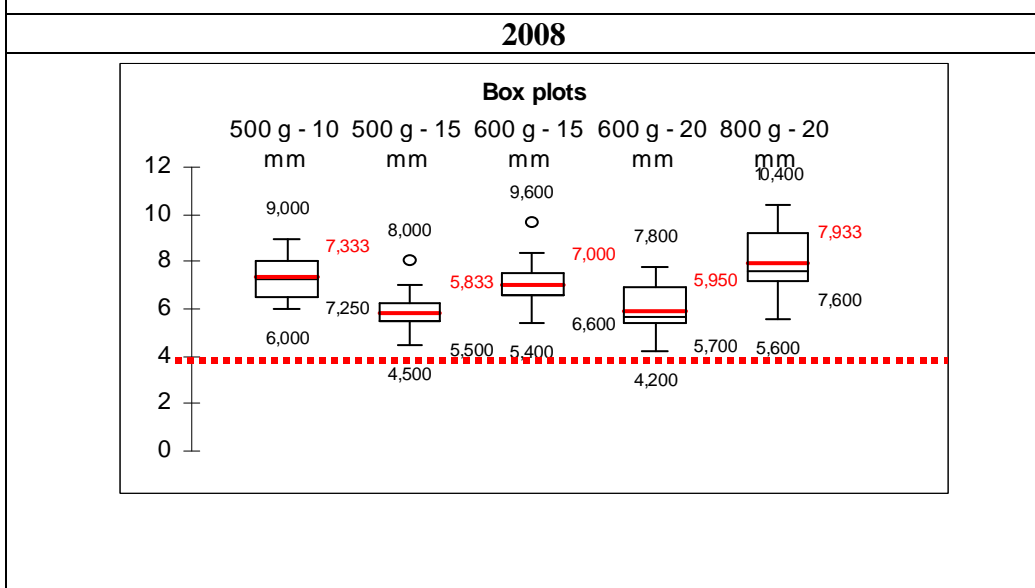
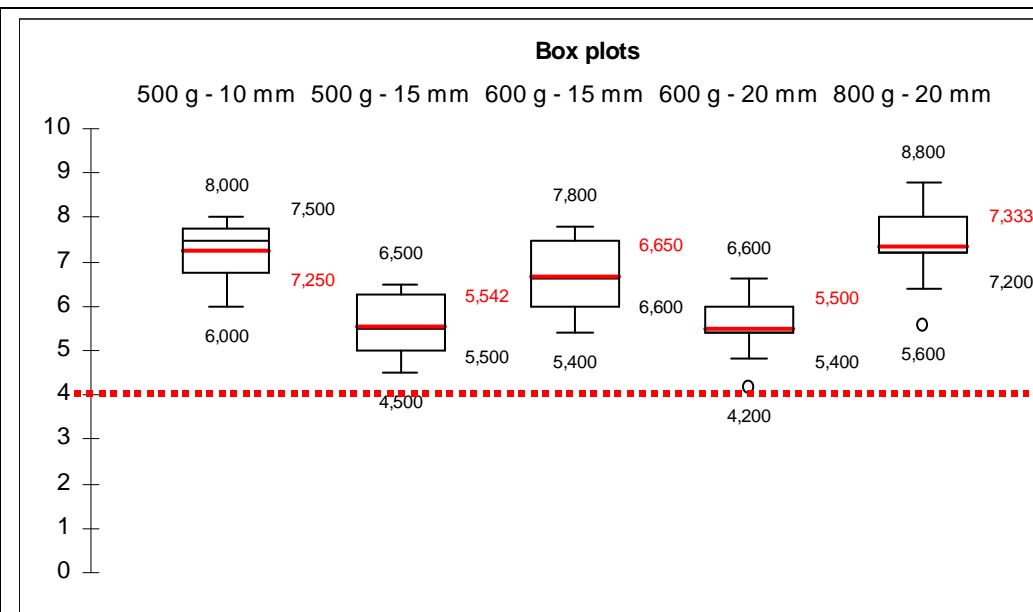
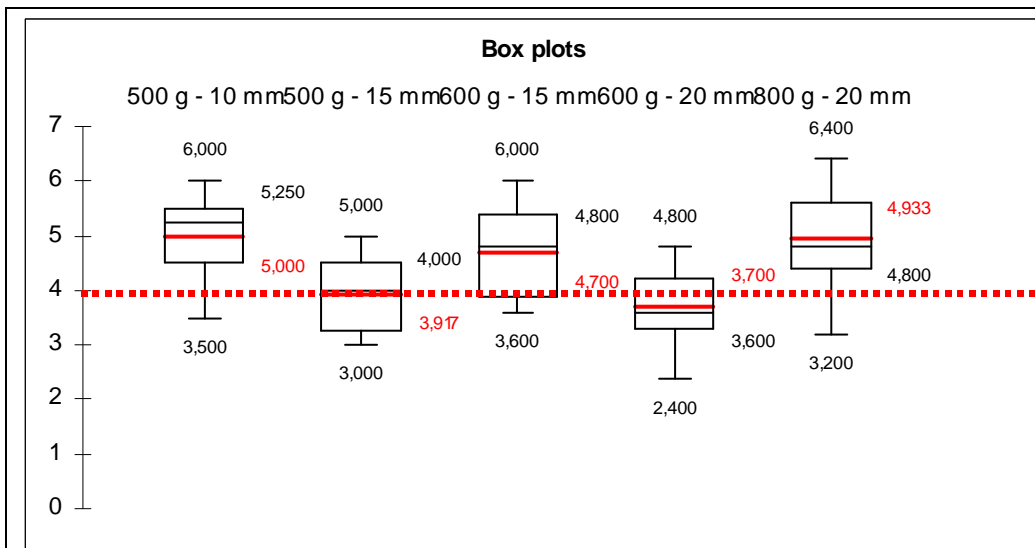


2006

2005



2007

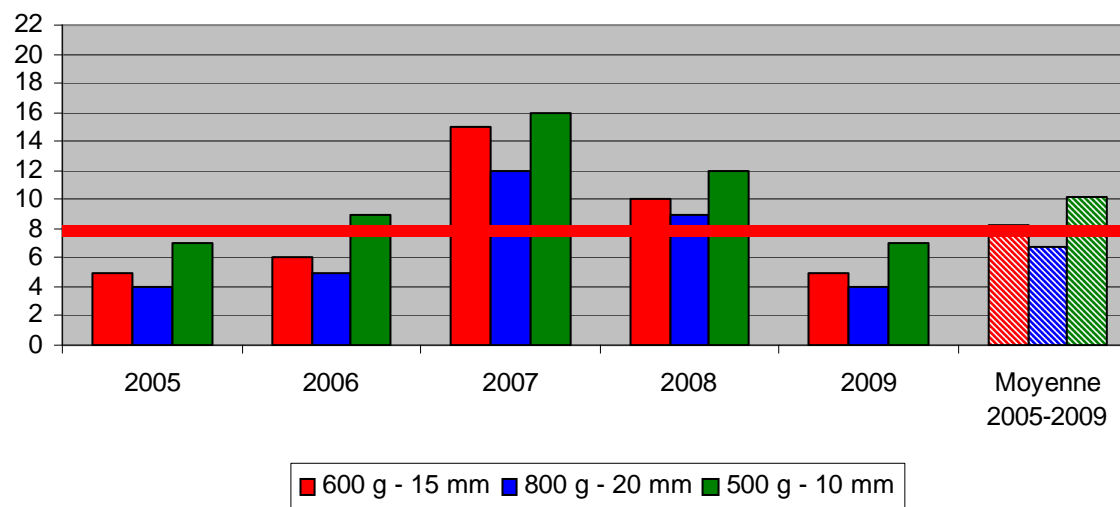


Pays de Loire

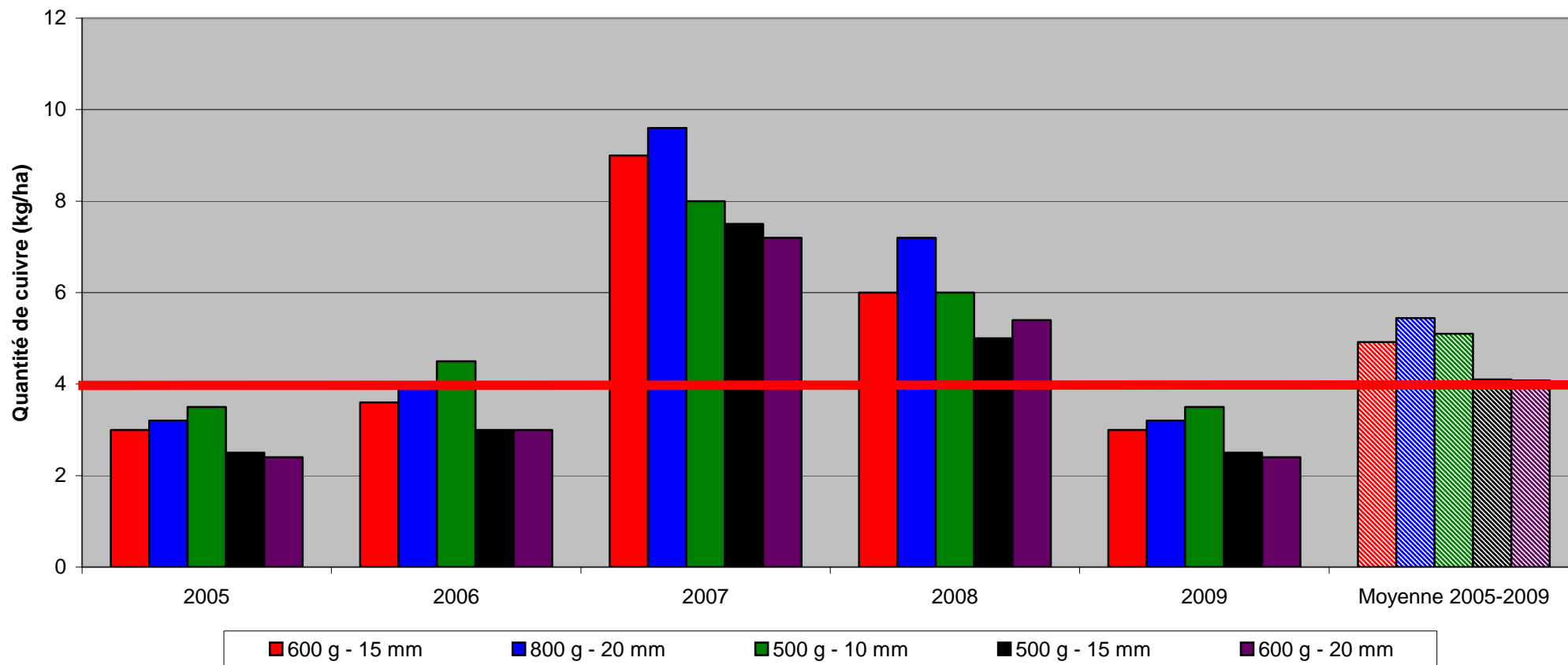
Calcul à partir des données climatiques 2005 à 2009 (jusqu'au 30 juin 2009) de la moyenne journalière de l'ensemble des stations du réseau du GDDV

Total										
	Nombre traitements					Quantité totale de cuivre				
	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm
2005	5	4	7	5	4	3,0	3,2	3,5	2,5	2,4
2006	6	5	9	6	5	3,6	4,0	4,5	3,0	3,0
2007	15	12	16	15	12	9,0	9,6	8,0	7,5	7,2
2008	10	9	12	10	9	6,0	7,2	6,0	5,0	5,4
2009	5	4	7	5	4	3,0	3,2	3,5	2,5	2,4
Moyenne	8,2	6,8	10,2	8,2	6,8	4,9	5,4	5,1	4,1	4,1

Nombre de traitements calculés



Doses de cuivre calculées



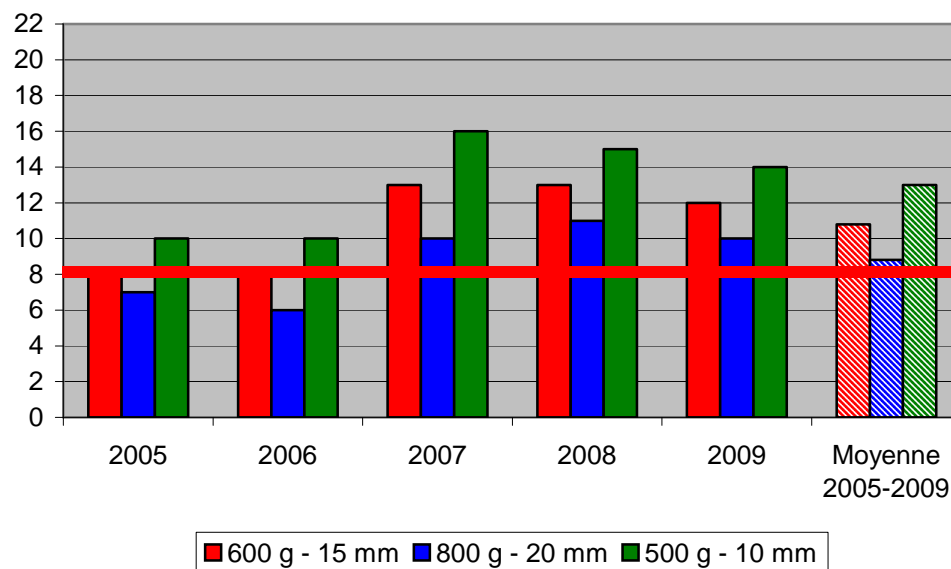
Bourgogne

Calcul à partir des données climatiques de 2005 à 2009 sur les stations de Chablis, Beaune et Romanèche

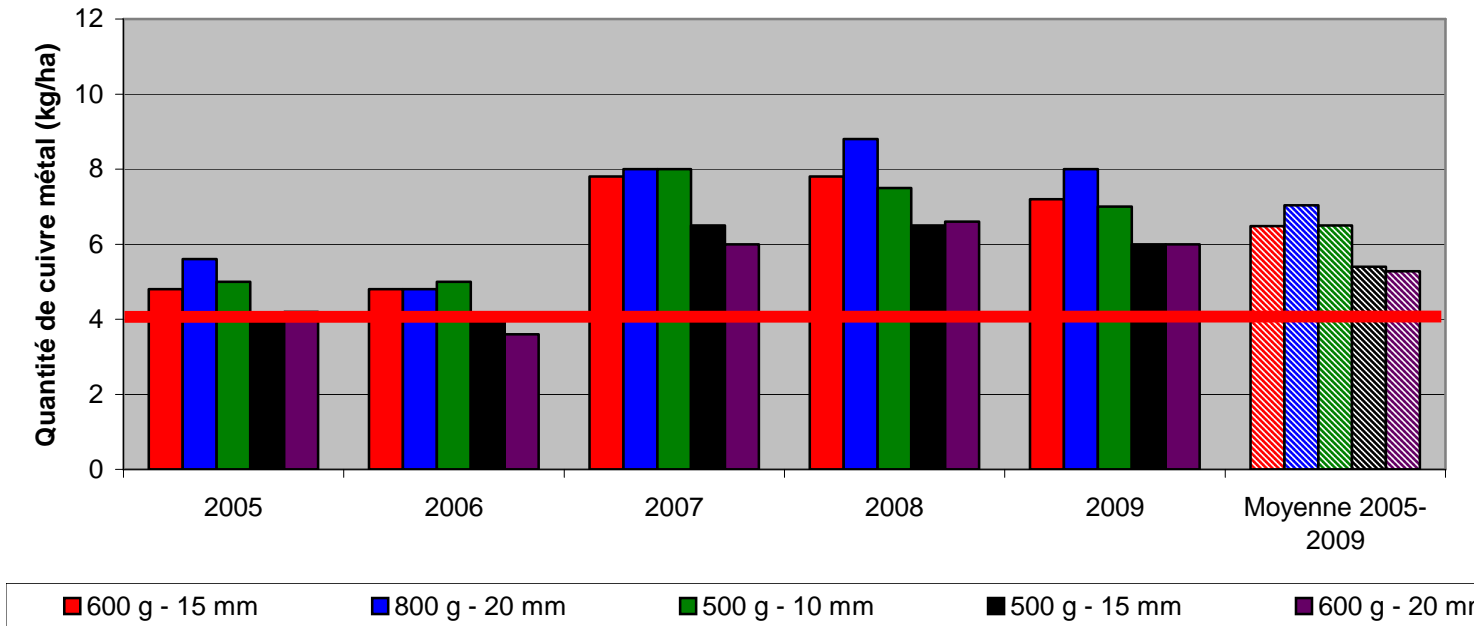
Chablis

	Nombre traitements					Quantité totale de cuivre				
	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm
2005	8	7	10	8	7	4,8	5,6	5,0	4,0	4,2
2006	8	6	10	8	6	4,8	4,8	5,0	4,0	3,6
2007	13	10	16	13	10	7,8	8,0	8,0	6,5	6,0
2008	13	11	15	13	11	7,8	8,8	7,5	6,5	6,6
2009	12	10	14	12	10	7,2	8,0	7,0	6,0	6,0
Moyenne 2005-2009	10,8	8,8	13,0	10,8	8,8	6,5	7,0	6,5	5,4	5,3

Nombre de traitements calculés - Chablis



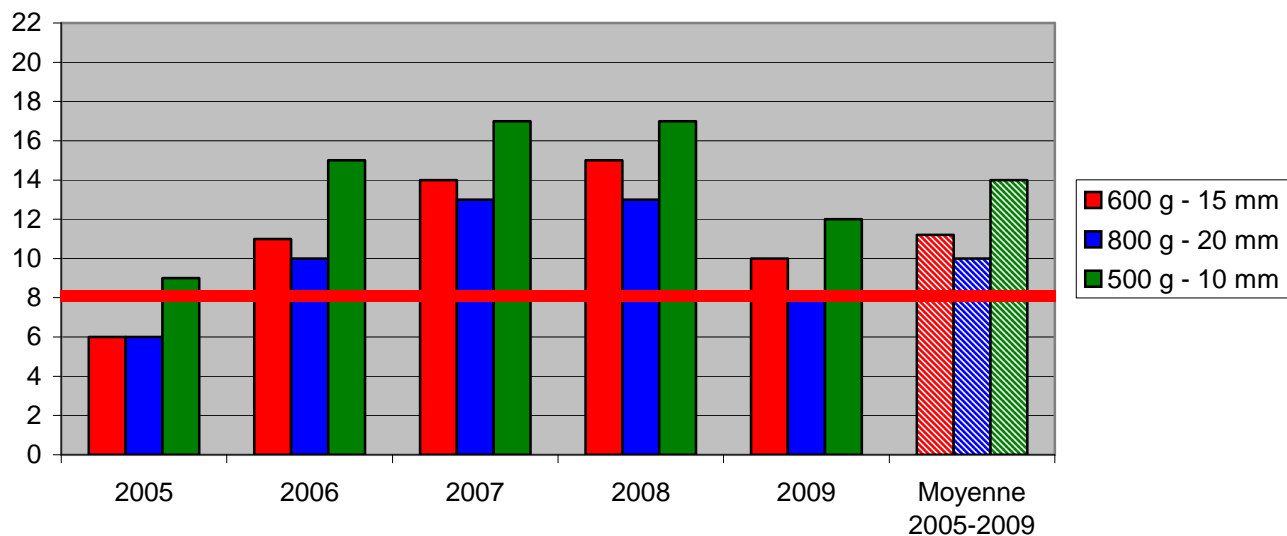
Doses de cuivre calculées (kg/ha) - Chablis



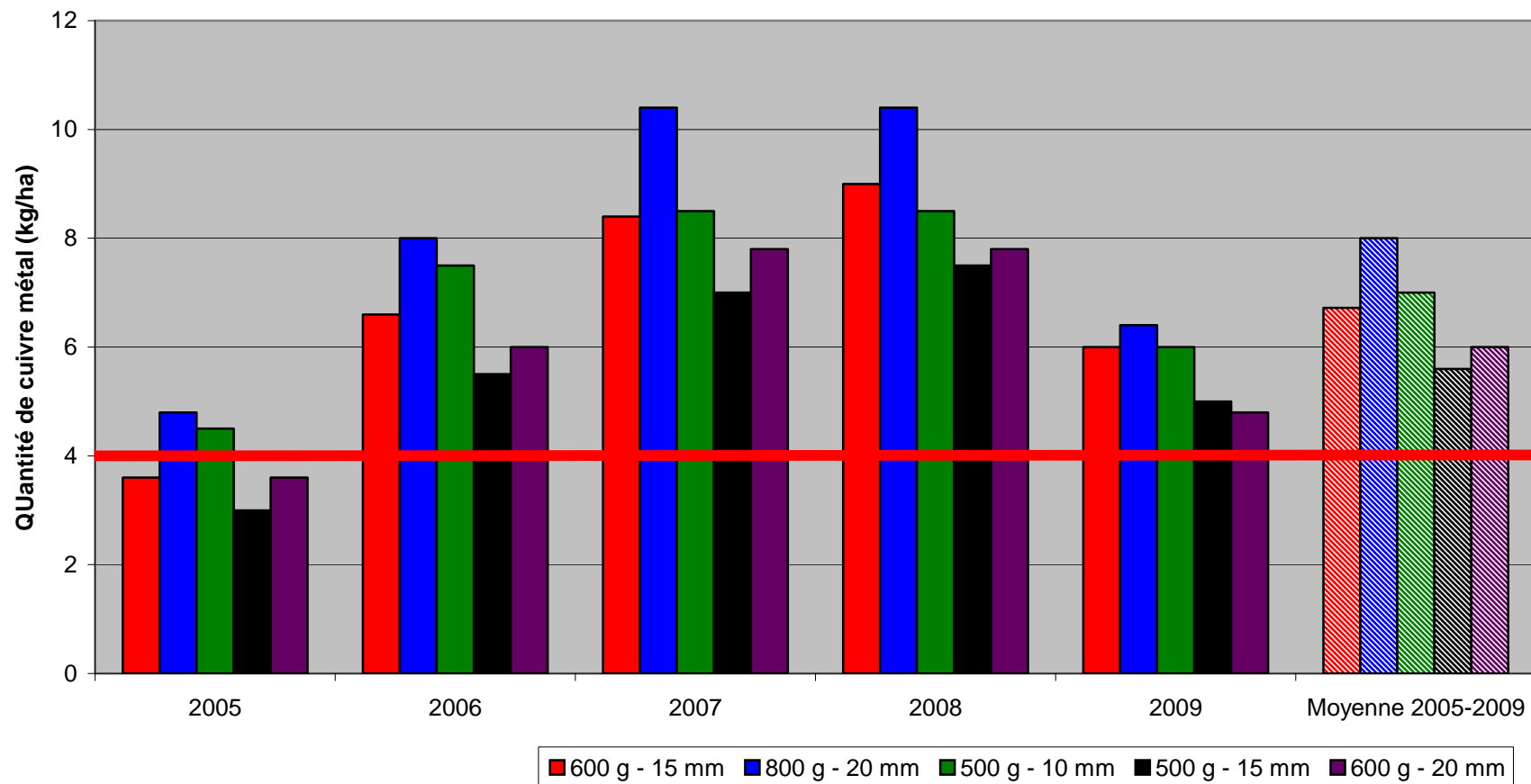
Beaune

	Nombre traitements					Quantité totale de cuivre				
	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm
2005	6	6	9	6	6	3,6	4,8	4,5	3,0	3,6
2006	11	10	15	11	10	6,6	8,0	7,5	5,5	6,0
2007	14	13	17	14	13	8,4	10,4	8,5	7,0	7,8
2008	15	13	17	15	13	9,0	10,4	8,5	7,5	7,8
2009	10	8	12	10	8	6,0	6,4	6,0	5,0	4,8
Moyenne 2005-2009	11,2	10,0	14,0	11,2	10,0	6,7	8,0	7,0	5,6	6,0

Nombre de traitements calculés - Beaune



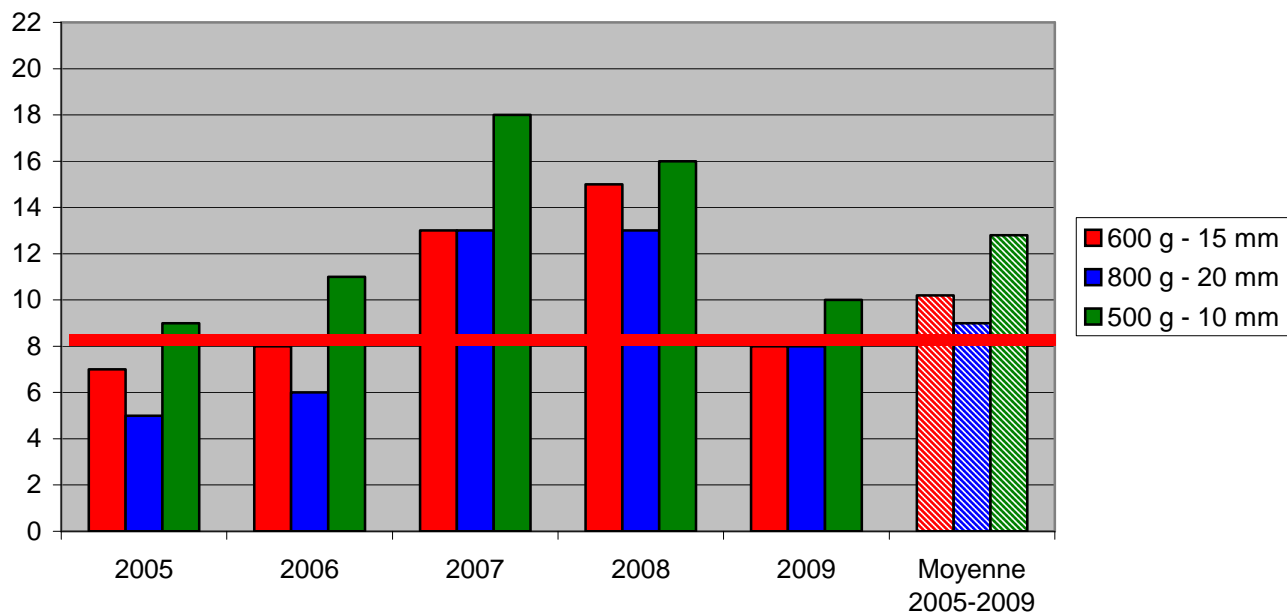
Doses de cuivre calculées (kg/ha) - Beaune



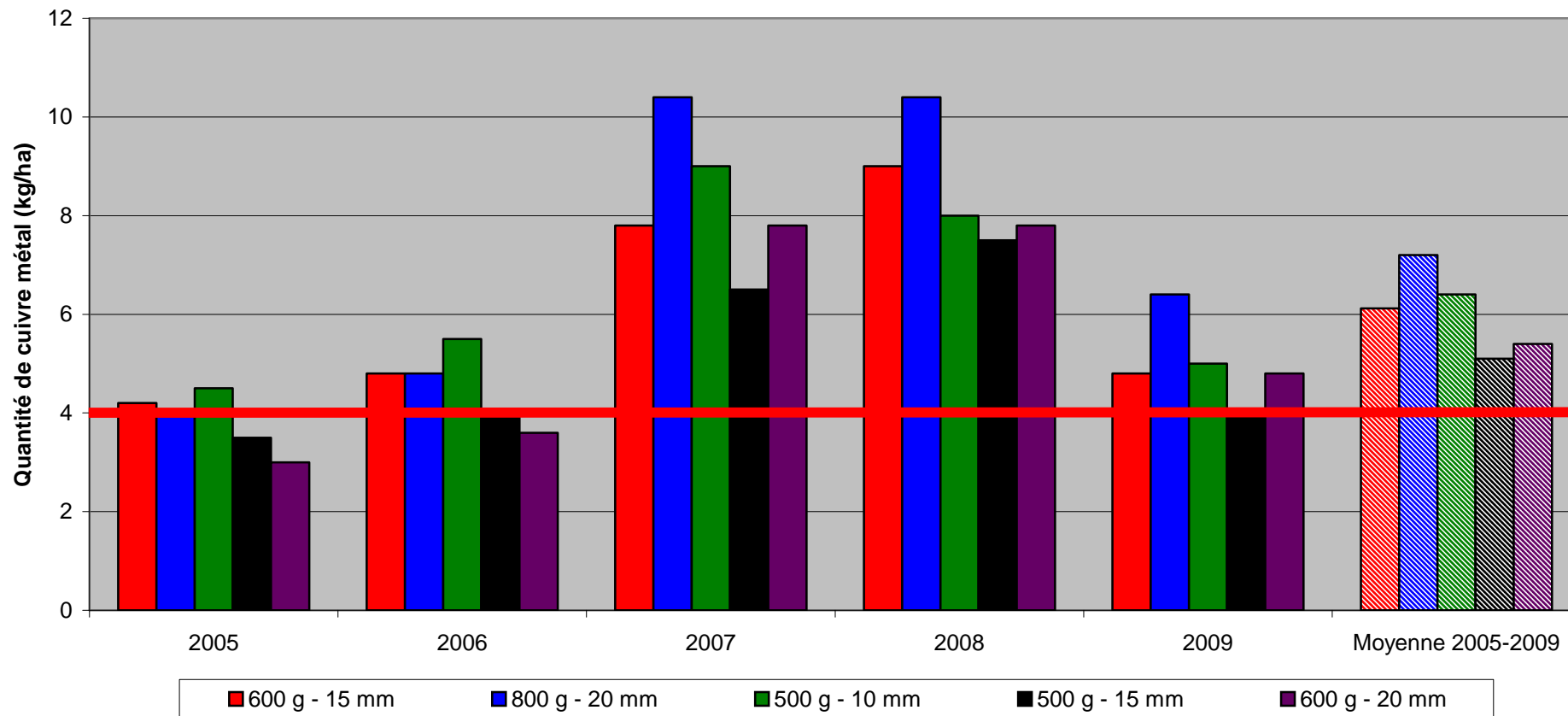
Romanèche

	Nombre traitements					Quantité totale de cuivre				
	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm
2005	7	5	9	7	5	4,2	4,0	4,5	3,5	3,0
2006	8	6	11	8	6	4,8	4,8	5,5	4,0	3,6
2007	13	13	18	13	13	7,8	10,4	9,0	6,5	7,8
2008	15	13	16	15	13	9,0	10,4	8,0	7,5	7,8
2009	8	8	10	8	8	4,8	6,4	5,0	4,0	4,8
Moyenne 2005-2009	10,2	9,0	12,8	10,2	9,0	6,1	7,2	6,4	5,1	5,4

Nombre de traitements calculés - Romanèche



Doses de cuivre calculées (kg/ha) - Romanèche

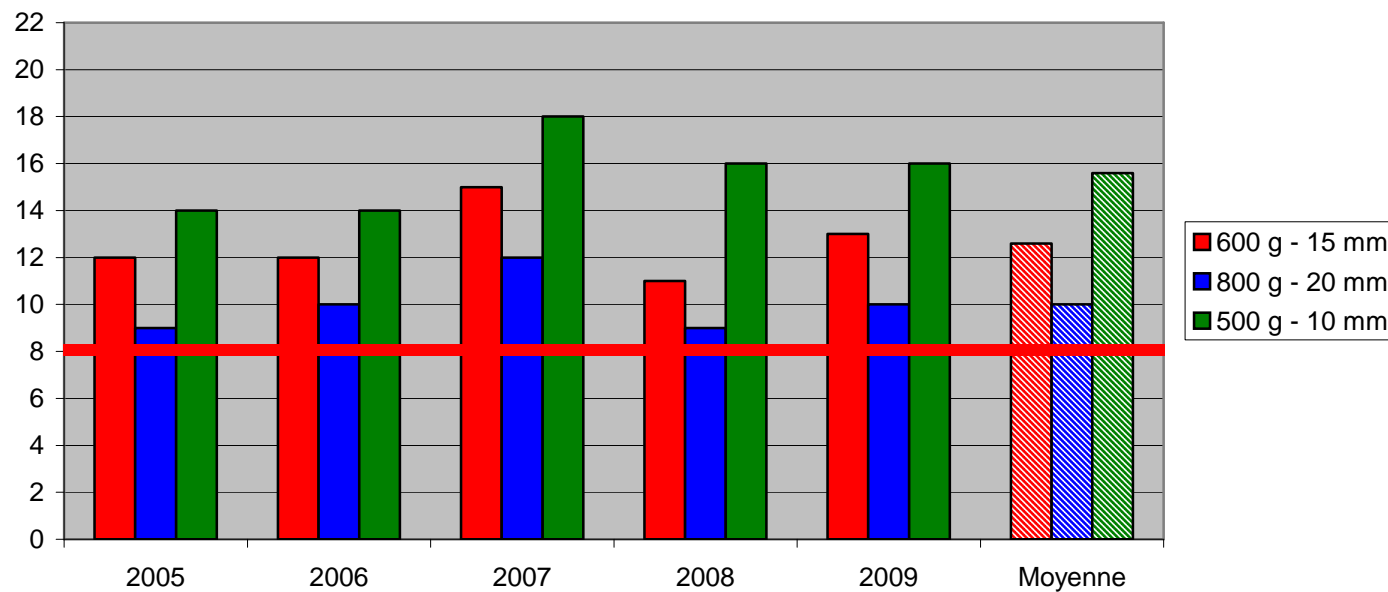


Champagne

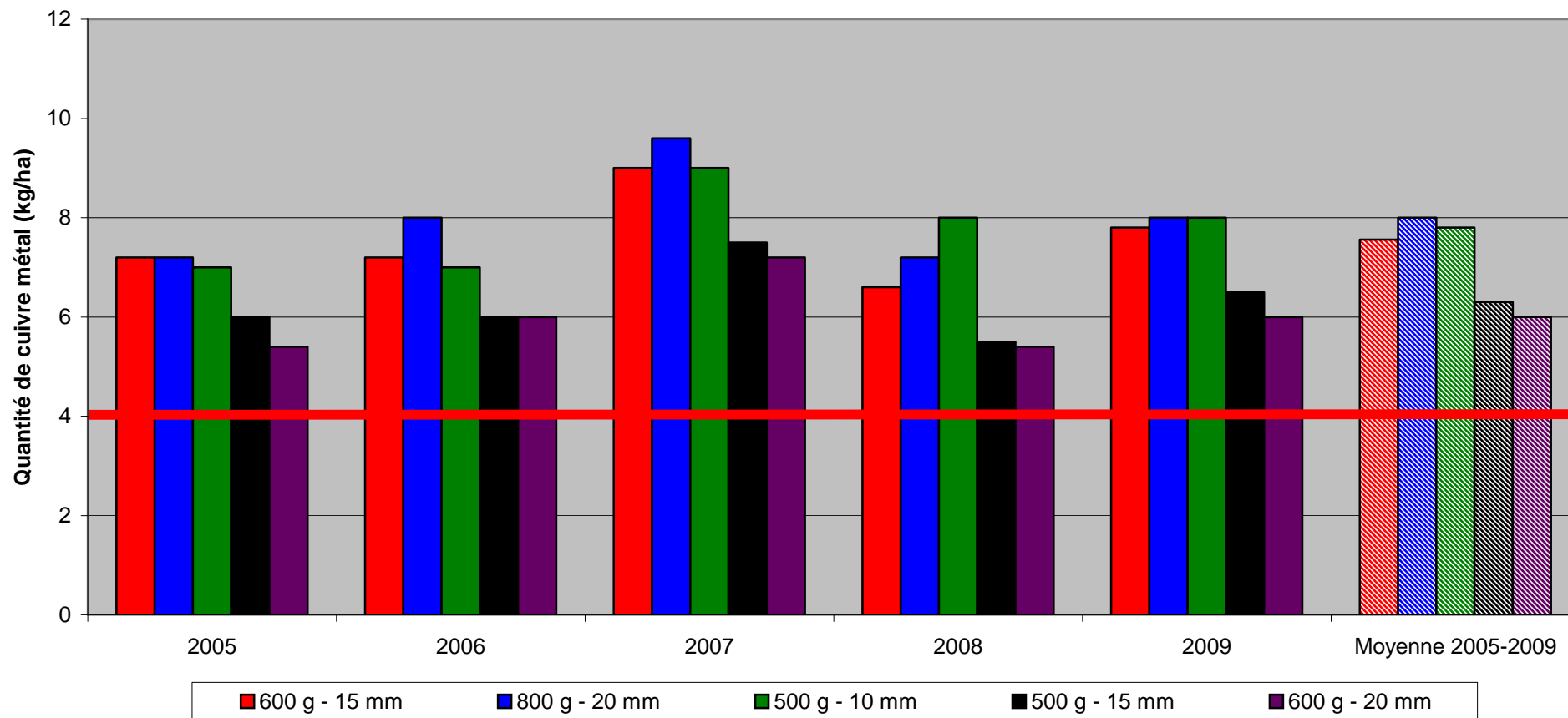
Calcul à partir des données climatiques de 2005 à 2009 sur les moyennes quotidiennes de 38 stations réparties sur l'ensemble du vignoble champenois

	Nombre traitements					Quantité totale de cuivre				
	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm	600 g - 15 mm	800 g - 20 mm	500 g - 10 mm	500 g - 15 mm	600 g - 20 mm
2005	12	9	14	12	9	7,2	7,2	7,0	6,0	5,4
2006	12	10	14	12	10	7,2	8,0	7,0	6,0	6,0
2007	15	12	18	15	12	9,0	9,6	9,0	7,5	7,2
2008	11	9	16	11	9	6,6	7,2	8,0	5,5	5,4
2009	13	10	16	13	10	7,8	8,0	8,0	6,5	6,0
Moyenne 2005-2009	12,6	10,0	15,6	12,6	10,0	7,6	8,0	7,8	6,3	6,0

Champagne



Doses de cuivre calculées (kg/ha)



USAGE DU CUIVRE EN ARBORICULTURE BIOLOGIQUE RESULTATS D'EXPERIMENTATION

J. FAURIEL, G. LIBOUREL





CLOQUE DU PECHER :
REDUCTION DES DOSES DE CUIVRE

J. Fauriel, G. Libourel (GRAB)

1 - OBJECTIFS

Réduire l'utilisation du cuivre dans la lutte contre la cloque du pêcher *Taphrina deformans*

Evaluation de l'efficacité de produits alternatifs au cuivre

2 - MATERIELS ET METHODE

2.1 - Description de la parcelle

- **Lieu** : Pont de l'Isère (26)

- **Variété** : Rich May / GF 677 conduite en agriculture biologique

- **Densité de plantation** : 5 x 3 m, année de plantation : 1996

2.2 - Modalités

7 modalités + 1 témoin non traité.

1. BB1T : Bouillie bordelaise (1 seule traitement au débourrement)
2. REF : Référence : Bouillie Bordelaise (1^{er} traitement) + Cuivrol (traitements suivants)
3. BSC : Bouillie sulfocalcique (origine Italienne)
4. BN : Bouillie Nantaise
5. F : Phytocuire
6. A : Aminocuire
7. P : Agribioprop

2.3 - Dispositif expérimental

Randomisation totale. 4 répétitions soit 28 parcelles élémentaires, 3 arbres par modalité.

2.4 - Réalisation des traitements

Volume de pulvérisation : 800 l/ha

Le premier traitement a été renouvelé pour cause de mauvaises conditions climatiques.

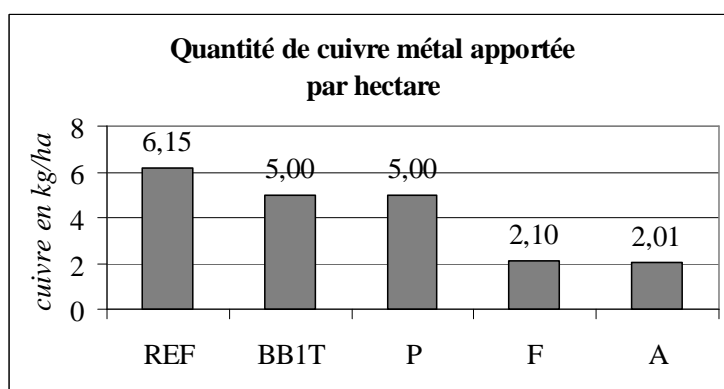
Date (stade)	BB1T	REF	BSC	BN	F	A	P
22/01/01 (B) nuageux, vent sud fort	BB 12,5 kg/ha	BB 12,5 kg/ha	8 %	4 %	Ferticuire 12kg/ha	0,6 %	BB 12,5 kg/ha
05/02/01 (B-C) (feuilles proche sortie) T=14°C, vent sud léger	12,5 kg/ha	12,5 kg/ha	8 %	4 %	Phytocuire 6 l/ha	0,6 %	BB 12,5 kg/ha
23/02/01 (pointe verte) T = 10.5°C, vent nord léger	—	Cuivrol 0,3%	3 %	2 %	Phytocuire 3 l/ha	0,37 %	—
05/03 (pointe verte) T = 15°C, vent nord léger	—	Cuivrol 0,3%	3 %	2 %	Phytocuire 3 l/ha	0,37 %	Agribio prop0,3 %
12/03 (F) T = 14,5°C, vent sud	—	Cuivrol 0,1%	3 %	2 %	Phytocuire 3 l/ha	0,37 %	Agribio prop0,3 %
22/03 (G) T = 19°C, vent sud léger	—	Cuivrol 0,1%	3 %	2 %	Phytocuire 3 l/ha	0,3 %	Agribio prop0,3 %

3 - RESULTATS

L'année 2001 a été particulièrement favorable à la cloque en Région Rhône-Alpes.

3.1 - Doses de cuivre métal

Les modalités BSC et BN sont des bouillies sulfocaciques ne contenant pas de cuivre. Sans tenir compte des pulvérisations cupriques automnales, la stratégie REF (boullie bordelaise



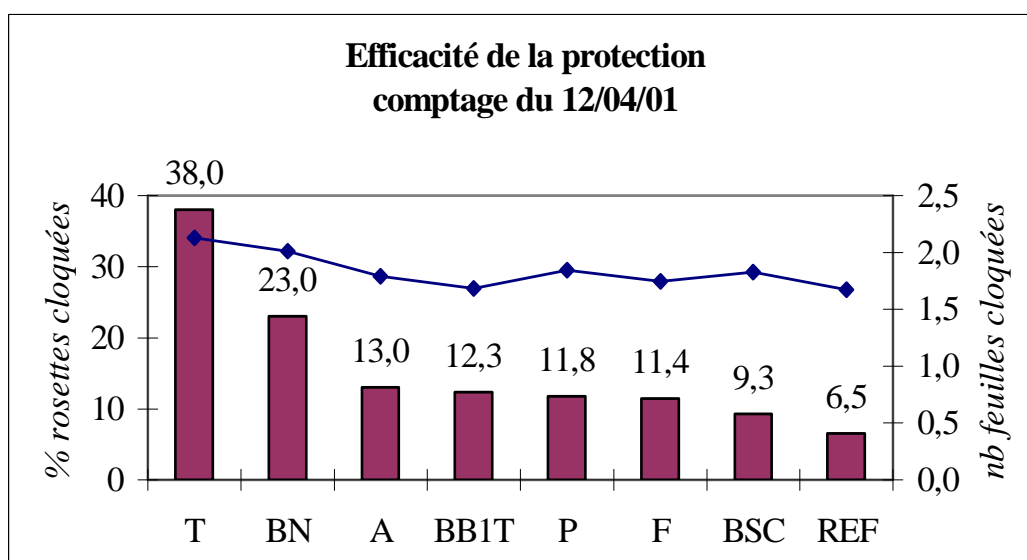
et Cuivrol) apporte 6,15 kg de cuivre métal à l'hectare. Le renouvellement du premier traitement a considérablement augmenté la dose de cuivre totale, elle est par exemple doublée les modalités BB1T et P. On peut considérer que F et A enregistrent des valeurs acceptables.

3.2 - Efficacité des stratégies

On note 38 % de rosettes cloquées sur les arbres témoins.

La modalité la plus efficace est celle qui apporte le plus de cuivre à l'hectare (REF). BN et BSC se distinguent largement et BSC a des résultats proches de la référence avec aucun apport de cuivre.

L'intérêt de l'Agribioprop n'est pas mis en évidence puisque les résultats sur le pourcentage de feuilles cloquées ne sont pas significativement différents du témoin.



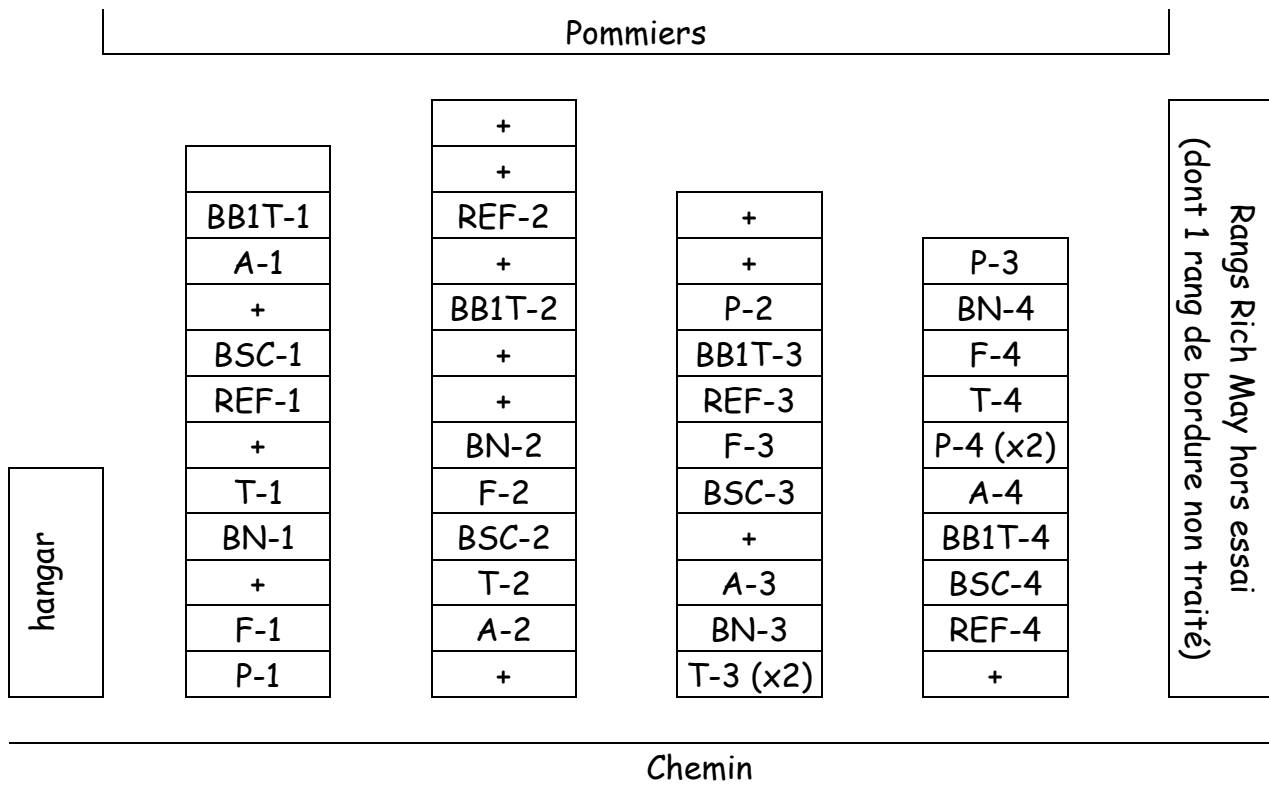
4 - CONCLUSION

La stratégie Bouillie Bordelaise puis Cuivrol apporte, dans le cadre de l'essai, un total de 6,15 kg de cuivre métal à l'hectare avec une efficacité maximale. Toutes les stratégies comprenant un traitement à la Bouillie Bordelaise apportent un minimum de 5 kg de cuivre métal. A l'extrême, une protection sans apport de cuivre au printemps est possible avec la bouillie sulfo-calciq. Ce produit montre une efficacité satisfaisante contre la cloque pour la deuxième année d'essai consécutive. Reste à mesurer l'efficacité du produit sur les autres maladies (*Coryneum*, *Fusicoccum*, bactériose).

Annexe : Plan de l'essai

Chaque parcelle élémentaire est un bloc de 3 arbres (sauf P-4 et T-3)
+ arbre hors essai, arbre mort ou manquant

← N



**BIODIVERSITE
DANS
LES VERGERS ET VIGNOBLES
BIOLOGIQUES**

Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers

B. Sauphanor¹, S. Simon², C. Boisneau³, Y. Capowiez¹, R. Rieux¹, J.C. Bouvier¹, H. Defrance², C. Picard¹, J.F. Toubon¹.

¹: INRA, PSH Equipe EPI, Agroparc, F-84914 Avignon Cedex 9

²: INRA, UERI Gotheron, F-26320 Saint-Marcel-lès-Valence

³: IRBI, UMR CNRS 6035, Université de Tours, Avenue Monge, F-37200 Tours

Correspondance : benoit.sauphanor@avignon.inra.fr

La mise en place de méthodes de lutte alternatives contre certains insectes, des conversions accrues en agriculture biologique, et à l'opposé une intensification de la lutte contre des ravageurs résistants aux pesticides, font aujourd'hui apparaître des stratégies de protection contrastées en arboriculture fruitière. Les vergers peu traités constituent, avec les haies environnantes, une source appréciable de biodiversité. Un fait à ne pas négliger dans le cadre de l'éco-conditionnalité des aides, mais également comme contribution à la régulation naturelle des populations de bioagresseurs.

Résumé :

La protection des vergers nécessite de nombreux traitements antiparasitaires, quel que soit le cahier des charges. L'agriculture biologique (AB) utilise des fongicides minéraux et des insecticides d'origine végétale, microbiologiques ou dérivés ; l'arboriculture conventionnelle a essentiellement recours à la chimie de synthèse. Evalués au moyen d'indicateurs synthétiques, ces différents programmes de protection ne se distinguent pas fondamentalement en termes d'impacts environnementaux. Les observations biologiques directes dans le verger et dans son environnement immédiat indiquent cependant un effet de l'AB moindre que celui du conventionnel sur les lombrics, les communautés aviaires, et sur l'abondance globale des arthropodes. Des réponses opposées sont enregistrées pour les hyménoptères parasitoïdes et les acariens prédateurs, sensibles aux applications répétées de fongicides minéraux contre la tavelure. Peu diversifiés, les insecticides biologiques dont les modes d'action s'apparentent souvent à ceux des molécules de synthèse sont fréquemment répétés, donc sujets à l'acquisition de résistances par les ravageurs cibles. Si la préservation de la biodiversité n'est pas acquise par le simple respect du cahier des charges AB, elle semble bien prise en compte par les arboriculteurs biologiques, conscients de son utilité pour la limitation des infestations parasitaires.

Mots clés : verger, pesticide, protection intégrée, lutte biologique, indicateur, diversité, durabilité

Abstract: Pest management and biodiversity in organic fruit production: the case of apple orchards

Numerous pesticide applications are required for orchard protection, regardless of the guidelines. Organic fruit production (OFP) mainly relies on the use of mineral fungicides and microbiological or naturally-occurring insecticides. The environmental impact of this type of production does not significantly differ from that of conventional production when assessed in terms of synthetic indicators. However, the abundance of earthworms, as well as the abundance and specific richness of arthropod pests and beneficials in the orchards and surrounding hedges, is greater in OFP than in conventional orchards. Generalist predators are usually less affected by OFP compounds than by the chemical pesticides applied in conventional orchards. OFP also benefits avian communities, and above all,

insectivorous birds, for which organic orchards offer a suitable habitat similar to that of undisturbed natural areas.

In addition to this general trend, discrepancies may be observed in the protection responses of different insect groups. The abundance of hymenopteran parasitoids is the lowest in organic orchards in which outbreaks of phytophagous mites are also recorded in relation to the intensive use of sulphur for scab protection. Biological insecticides often act in ways that are similar to those of chemical ones, and the restricted choice of available compounds is likely to induce resistance selection in insect pests.

Although maintaining biodiversity is not a direct result of the implementation of OFP guidelines, it seems to be widely considered as an option by organic growers, both alone and as a complementary tool for pest regulation.

Keywords: orchard; pesticide; integrated protection; biological pest control; indicator; diversity; sustainability.

Introduction

Selon la définition de l'IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements), l'agriculture biologique (AB) s'articule autour de 3 volets : un volet agronomique, prônant un mode de production s'opposant à l'agriculture intensive et limitant les atteintes à l'environnement ; un volet économique visant une production en quantité de qualité, par des entreprises à taille humaine et une filière équitable ; un volet social avec une dimension éthique, privilégiant le rapport producteur-consommateur, la qualité de vie des producteurs et la solidarité internationale.

Cette approche est assise sur une réglementation et un cahier des charges, qui portent essentiellement sur le volet agronomique. Ils ne comportent comme règle stricte que l'exclusion des intrants de synthèse, avec toutefois des exceptions pour quelques produits issus de synthèse industrielle figurant sur une liste positive. Les autres aspects du volet agronomique, concernant notamment la conduite de la culture et sa durabilité, figurent au rang de recommandations.

On peut donc s'attendre à une très grande diversité de transcription du concept d'AB dans les pratiques des producteurs. La question posée ici est de savoir si la principale règle objectivée dans le cahier des charges AB, à savoir la substitution des intrants, est à même de garantir les objectifs de préservation de la diversité agricole et naturelle du milieu cultivé.

Nous présentons une synthèse d'investigations conduites sur l'impact de systèmes de protection en vergers de pommiers biologiques et conventionnels, à la fois sur le site d'application des pesticides, à savoir la parcelle, et sur son environnement proche, à savoir la strate herbacée et les haies brise-vent bordant les vergers. Ces haies qui structurent le paysage arboricole du sud-est de la France reçoivent par dérive des brouillards de pulvérisation. L'étude fait appel à des indicateurs synthétiques qui mesurent un impact *a priori* et sont basés sur l'analyse des pratiques, et à des observations directes sur les communautés biologiques.

1. Les vergers d'étude

Les analyses sont conduites sur deux zones de production, la basse vallée de la Durance (vergers commerciaux proches d'Avignon) et la moyenne vallée du Rhône (domaine expérimental de l'INRA de Gotheron, près de Valence).

Un réseau de parcelles de référence en basse Durance, réparties entre le nord des Bouches du Rhône et le sud du Vaucluse, sert de support d'étude depuis 2002. Des observations biologiques et des

relevés de pratiques ont été conduits sur 5 vergers en AB et 10 vergers sous cahiers des charges Production Fruitière Intégrée (PFI) conformes à la Charte nationale pommes, dont cinq protégés contre le carpocapse par confusion sexuelle (modalité Confusion) et cinq exclusivement par voie chimique (modalité Conventionnel).

S'agissant de parcelles encadrées par un groupement de techniciens (réseau « PFI-PACA »), les pratiques pouvaient ne pas être représentatives de l'ensemble des exploitations de la région. Une zone d'étude (« site 13 ») a pour cela été mise en place par l'INRA sur une fenêtre de paysage de 70 km² à l'intérieur de ce réseau de référence, et sur lequel un échantillon de 80 parcelles de pommiers et poiriers a été tiré au sort (en incluant toutefois l'ensemble des vergers en AB du site). Un relevé détaillé des pratiques de protection a été réalisé sur ce site à l'issue des campagnes 2006 et 2007.

Une étude similaire a été conduite en parallèle sur trois vergers de pommiers du domaine expérimental INRA de Gotheron (26). Pour chacune des trois modalités de protection, les stratégies et le choix des matières actives y sont calqués sur les pratiques observées sur le réseau de parcelles PFI-PACA.

2. Les indicateurs

Les pratiques de protection peuvent être caractérisées au moyen d'indicateurs de pression, comme les volumes de pesticides appliqués, le nombre de traitements ou le nombre de passages de pulvérisateur.

Elles peuvent également être appréciées par des indicateurs d'impact, reliant les pressions de protection à leurs effets biologiques et provenant de calculs réalisés à partir de relevés des pratiques de l'agriculteur (indicateurs agri-environnementaux) ou d'observations directes sur les communautés biologiques.

Un exemple d'indicateur agri-environnemental est représenté par l'Environmental Impact Quotient (EIQ) de l'Université de Cornell aux USA (Kovach *et al.*, 1992). Une comparaison de systèmes de protection en arboriculture au moyen de cet indicateur synthétique est diffusée sur le site de l'Université de Cornell (<http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/>). La note la plus favorable est obtenue pour les vergers en protection intégrée. L'impact calculé pour les vergers en AB est 10 fois plus fort, en raison principalement de la toxicité des traitements fongicides à base de soufre, appliqués à doses et fréquences élevées. La protection chimique conventionnelle obtient un classement intermédiaire.

Les effets des pratiques peuvent aussi être appréhendés par des indicateurs biologiques (espèces ou groupes d'espèces pouvant rendre compte par leur variation de densité de l'évolution du milieu), d'indices écologiques (variables caractérisant le milieu déterminées à partir de valeurs quantitatives propres aux communautés, comme l'abondance, la richesse spécifique, la diversité), ou de biomarqueurs (caractères comportementaux, physiologiques ou moléculaires révélant l'exposition d'un organisme aux toxiques). Une revue scientifique fait état de 76 études comparant la biodiversité de systèmes de culture conventionnels et biologiques ou intégrés (Hole *et al.*, 2005). Selon les communautés étudiées, les résultats peuvent être contradictoires, mais la majorité des études conclut à une minimisation des impacts sur les communautés par l'AB. Les études biologiques sur l'arboriculture fruitière restent cependant peu nombreuses et fragmentaires.

La contradiction apparente entre observations biologiques et évaluation *a priori* au moyen d'un indicateur agri-environnemental justifie la mise en œuvre conjointe sur un même dispositif de ces différentes méthodes d'évaluation, ainsi que la confrontation des résultats obtenus à partir de différents indicateurs synthétiques. L'EIQ n'est en effet qu'un exemple d'indicateur applicable à l'échelle de la parcelle agricole. Il existe plusieurs autres outils portant sur le même objet mais dont les constructions diffèrent, et qui sont pour une partie d'entre eux analysés dans une revue bibliographique (Devillers *et al.*, 2005). Par ailleurs, si les indicateurs biologiques ont la meilleure pertinence environnementale, leur difficulté de mise en œuvre restreint le nombre de parcelles analysables et pose la question de leur

représentativité. La question de la faisabilité se pose également pour les indicateurs agri-environnementaux, dont certains sont très complexes. Les indicateurs de pression, dont la pertinence environnementale est faible, permettent au contraire de traiter de plus gros échantillons pour appréhender la variabilité de pratiques et d'impacts potentiels.

L'étude s'appuie ici sur une analyse des pratiques de protection, sur le calcul de deux indicateurs synthétiques, l'EIQ et I-PHY_{arbo} (Devillers *et al.*, 2005), et prend en compte l'observation de communautés représentatives des compartiments sol (les vers de terre) et aérien (arthropodes et oiseaux).

2.1) Indicateurs de pression

En 2006 sur le site atelier 13, les vergers de pommiers en AB reçoivent en moyenne 29,9 traitements insecticides et fongicides, valeur proche de celle des vergers conventionnels (Tableau 1). Ces résultats s'apparentent à ceux du réseau PFI-PACA, sur lequel les parcelles en AB reçoivent en moyenne chaque année 14 traitements fongicides minéraux (2 au cuivre et 12 à base de soufre) contre la tavelure et l'oïdium et 12 applications de virus de la granulose contre le carpocapse (valeur en augmentation depuis l'acquisition de résistances à ce traitement biologique chez le carpocapse), très souvent complétées par la confusion sexuelle. Hormis quelques applications de roténone contre le puceron cendré, les autres insectes et les acariens ne font par contre l'objet d'aucun traitement déclaré.

Tableau 1 : Traitements phytosanitaires et production sur un échantillon de vergers en basse vallée de la Durance (parcelles de pommiers du site atelier 13, année 2006)

Type de verger (n)	Insecticides (n)	Fongicides (n)	Total (n)	Passages pulvérisateur	volume matière active kg/ha	Rendement (t/ha)
Conventionnel (26)	14,2	11,3	28,4	17,3	37,2	34,4
Confusion (14)	9,2	12,4	24,9	14,6	40,8	39,1
Biologique (7)	15,7	12	29,9	24	92,1	24,4

Dans les deux autres modalités, la protection contre la tavelure et l'oïdium s'effectue essentiellement au moyen de fongicides organiques de synthèse, auxquels s'ajoutent annuellement 3 à 5 fongicides minéraux. En 2006, sur le site atelier 13, la confusion sexuelle permet l'économie de cinq insecticides par rapport à la modalité conventionnelle, sans changement significatif dans le choix des matières actives. Il s'agit principalement d'insecticides neurotoxiques, dont 9 à 12 organophosphorés (OPs) contre le carpocapse, 2 à 3 pyréthrinoïdes contre la zeuzère et un nombre équivalent d'applications contre les pucerons (incluant les familles précitées et les néonicotinoïdes).

Si le nombre de traitements ne distingue pas les vergers en AB des vergers conventionnels, les volumes appliqués sont plus de deux fois plus élevés en AB, en lien avec les doses efficaces élevées des fongicides minéraux, soufre et cuivre. La protection en AB s'accompagne d'un plus grand nombre de passages de pulvérisateur que dans les autres modalités en raison de l'incompatibilité entre insecticides microbiologiques et fongicides minéraux.

2.2) Indicateurs d'impact

2.2.1) Indicateurs agri-environnementaux

Les deux indicateurs utilisés, l'EIQ et I-PHY_{arbo}, sont de construction différente. L'EIQ permet d'évaluer les risques vis-à-vis de deux compartiments de l'environnement (eaux de surface et eaux souterraines), de la biodiversité, de la santé de l'opérateur et du consommateur. Sa construction est fondée sur le produit de l'exposition par la toxicité sur chaque compartiment. Les notes obtenues sont agrégées de manière simple (somme pondérée et produit) pour obtenir un EIQ pour chaque substance active (EIQsa). Le risque à la parcelle s'obtient en multipliant chaque EIQsa par la dose épandue, puis en additionnant les résultats de l'ensemble des substances actives. I-PHY_{arbo} évalue l'impact environnemental en fonction des risques regroupés en différents modules : eaux de profondeur, eaux de surface, air, auxiliaires et faune utile et « I-PHYsa » lié à la présence du pesticide pour chaque substance active. Son mode d'agrégation est un système expert basé sur la logique floue (van der Werf *et al*, 1998), calculant pour chaque substance active une note de 0 (fort impact environnemental) à 10 (pas d'impact) avant d'agréger l'ensemble de ces notes au niveau de la parcelle.

Que l'on considère l'EIQ global ou chacun de ses trois sous-indicateurs relatifs aux travailleurs agricoles, à la consommation et au lessivage, ou à la composante écologique, la note d'impact est significativement plus élevée en AB qu'en conventionnel (Figure 1). Ce résultat est en partie attribuable à la dose d'utilisation de cuivre, de soufre ou des traitements d'hiver. L'effet dose est en effet intégré ici de manière linéaire. Parmi les autres questions que pose la construction de cet indicateur, le caractère simplement additif des effets est discutable quand les premiers traitements ont déjà fortement réduit les populations présentes notamment les auxiliaires (Dushoff *et al*, 1994).

Au contraire, selon I-PHY_{arbo}, qui ne retient pas le principe d'additivité des effets, les agriculteurs en AB ont des pratiques qualifiées de plus respectueuses de l'environnement que les conventionnels ou les producteurs utilisant la confusion sexuelle (Sauphanor *et al*, 2008). Ce moindre impact est essentiellement attribuable au module « auxiliaires et faune utile ». Cependant, les notes observées même en AB ne sont que très rarement supérieures à 7, note définie comme « acceptable » en termes d'impact, traduisant le fort poids de la protection phytosanitaire en arboriculture.

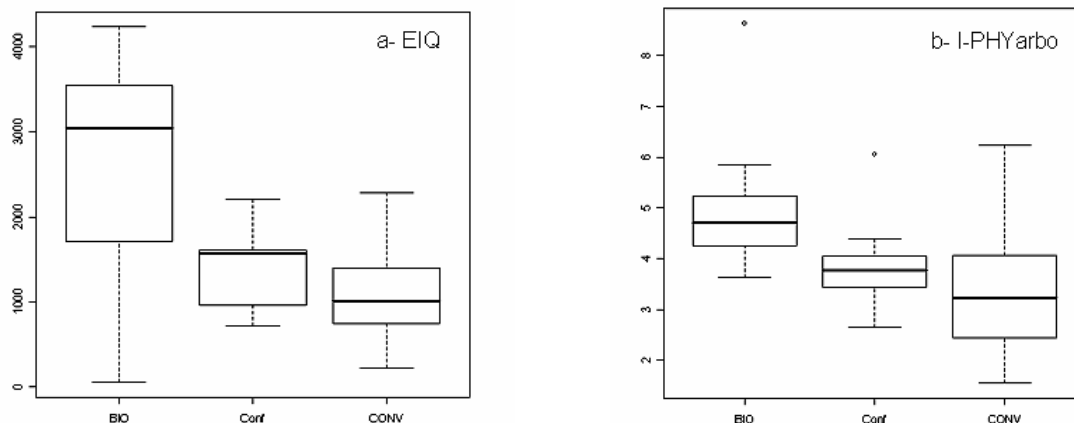


Figure 1 : Impacts environnementaux calculés selon les indicateurs EIQ et I-PHY_{arbo} pour des vergers en AB (BIO, n=12), Confusion (Conf, n=18) ou Conventionnels (CONV, n=41). Selon la notation EIQ, une note élevée traduit un fort impact environnemental. Selon I-PHY_{arbo}, une note élevée traduit un impact environnemental faible.

2.2.2) Indicateurs biologiques

Vers de terre

Six études sur cultures arables relatives dans la littérature font état d'une plus grande abondance des vers de terre en AB qu'en agriculture conventionnelle (Hole *et al.*, 2005). Cet effet s'exprime sur les parcelles cultivées comme sur leurs bordures. Un résultat différent est obtenu ici en vergers en termes d'abondance lombricienne puisque cette dernière n'est pas significativement influencée par les modes de protection (Figure 2A). Cependant, l'abondance d'une espèce de ver de terre anécique (*Lumbricus terrestris*) est significativement plus élevée dans les vergers en AB ou dans les parcelles abandonnées (Figure 2B). Mais si la densité dans la parcelle témoin (non traitée et non fertilisée) est significativement supérieure à celle des parcelles en conventionnel et confusion, elle est inférieure à celle des parcelles en AB. Des facteurs autres que les pesticides peuvent donc agir sur ces communautés, comme l'effet favorisant de la fumure organique ou du travail du sol.

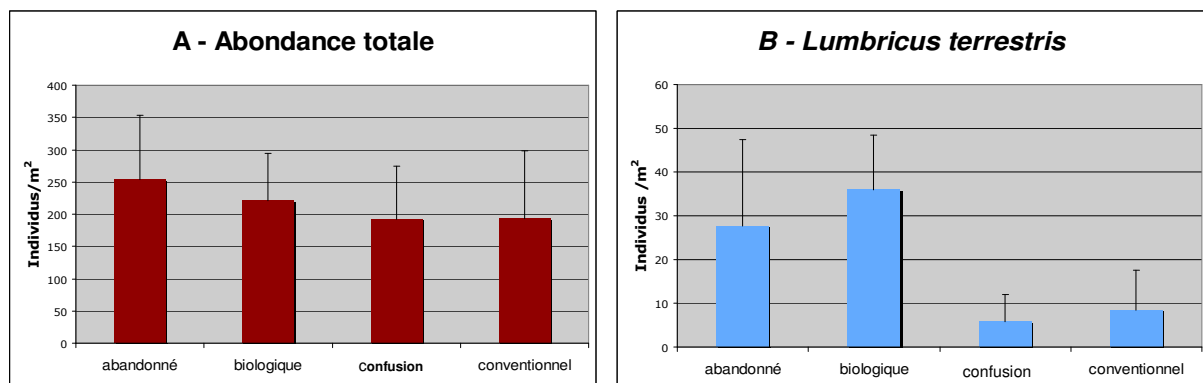


Figure 2 : Impact du système de protection en vergers de pommiers sur l'abondance des vers de terre

L'activité acétylcholinestérase (*Ace*), système enzymatique impliqué dans la transmission de l'influx nerveux et inhibé par les OPs et les carbamates, est analysée sur des échantillons de vers (*Allolobophora chlorotica*, espèce la plus fréquente dans les vergers) prélevés à différentes dates de mai à novembre 2003 dans chacune des parcelles. Ces activités sont similaires dans la parcelle témoin et dans les parcelles en AB, mais sont significativement altérées dans 50% des parcelles en confusion (sur lesquelles les applications d'OPs sont réduites mais non supprimées) et dans 75% des parcelles en conventionnel (Denoyelle *et al.*, 2007). Des analyses sont en cours pour identifier les facteurs (traitements, pratiques culturales, nature du sol) à l'origine de la variabilité enregistrée dans les parcelles recevant une protection chimique. Il est à noter que sur les parcelles où l'*Ace* est altérée, aucune restauration d'activité n'est observée plusieurs mois après l'arrêt des traitements.

Arthropodes auxiliaires

Selon les matières actives utilisées, les arthropodes non-cibles ne sont pas nécessairement plus sensibles aux traitements que les espèces cibles, et la fonction de régulation exercée par les auxiliaires n'est donc pas nécessairement altérée par la lutte phytosanitaire. Globalement toutefois, dix études citées par Hole *et al.* (2005) indiquent une plus forte abondance des insectes auxiliaires et des araignées dans les cultures en AB, comparée aux cultures protégées au moyen de pesticides chimiques. Par ailleurs, le déclin des espèces pollinisatrices, hyménoptères et diptères, très largement documenté dans la communauté scientifique, est attribué pour partie à l'utilisation des pesticides, mais également à la fragmentation des habitats et à la réduction des ressources alimentaires liées à la diversité végétale.

Parmi les trois modalités de protection, les parcelles en AB présentent la plus grande abondance et la plus forte richesse spécifique en arthropodes phytophages et auxiliaires, échantillonnés par battage pendant dix mois consécutifs sur les arbres du verger et de la haie. Ces deux indices ne différencient pas significativement entre elles les modalités confusion et conventionnel (Figure 3). Le rapport prédateurs-proies est légèrement mais non significativement supérieur dans les vergers en AB. On note également que valeurs d'abondance et de richesse spécifique des arthropodes sont plus fortes dans les haies que dans le verger, et que le système de protection influe aussi bien sur les communautés du verger que sur son environnement végétal. La diversité des arthropodes (indice de Shannon) ne sépare pas les parcelles des différentes modalités mais tend à être plus élevée dans les haies des parcelles en AB que dans celles des deux autres modalités.

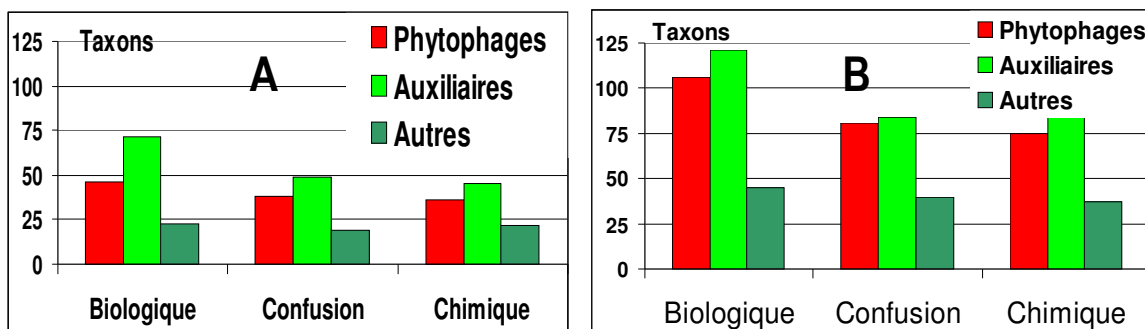


Figure 3 : Impact du système de protection en vergers de pommiers sur la richesse spécifique en arthropodes du verger (A) et de son environnement végétal proche, les haies (B).

Par ailleurs, au cours de quatre années de suivi en vergers expérimentaux à Gotheron, les échantillonnages d'arthropodes sur pommier et dans le couvert herbacé de l'inter-rang du verger pour les trois systèmes de protection indiquent :

- des effectifs élevés tout au long de la saison dans le verger AB, alors que des fluctuations importantes sont notées pour le verger conventionnel, notamment dans le couvert herbacé ;
- parmi les groupes fonctionnels d'auxiliaires présents, les hyménoptères parasitoïdes associés aux Névroptères, qui constituent une aéroentomofaune témoin de la recolonisation des vergers à partir de leur environnement (Kozár, 1992) sont prépondérants pour le verger conventionnel et, dans une moindre mesure, pour le verger en confusion ;
- le verger AB se distingue des deux autres par la présence de punaises prédatrices d'acariens (*Orius* sp.), de coccinelles (nombreuses larves, *Adalia bipunctata*), de diptères prédateurs (principalement des syrphes) et par la présence marquée de prédateurs de régulation tels les forficules.

Ces résultats, en termes de biomasse, de composition du cortège d'auxiliaires et probablement de fonctionnement des systèmes, peuvent être attribués à la protection phytosanitaire AB, via l'absence d'insecticide neurotoxique après floraison, l'utilisation importante de soufre en protection contre la tavelure (toxicité pour différents antagonistes), sans toutefois exclure l'effet d'autres facteurs culturels tel l'entretien du sol sur le rang (sol travaillé, apports de matière organique).

Ils témoignent enfin, tout comme précédemment pour les haies, d'un effet de la protection sur le peuplement du pommier mais également pour d'autres compartiments du verger (couvert herbacé) (Simon *et al.*, 2007).

En observant plus précisément une communauté trophique, celle des mineuses de feuilles présentes, on décèle une richesse spécifique maximale (quatre espèces), une structuration du réseau de

parasitoïdes (familles des Eulophidae, des Braconidae et des Encyrtidae) avec hyper et multi-parasitisme, et les densités les plus élevées (30 individus/100 feuilles) dans le verger témoin. En conventionnel, une seule espèce de mineuse est présente, les densités sont peu élevées (10 individus / 100 feuilles) et les réseaux de parasitoïdes ne sont constitués que de parasitoïdes primaires. La richesse spécifique des mineuses est identique pour les modalités AB et confusion. Cependant, celles-ci diffèrent par les densités de mineuses, supérieures en confusion, et par la structure des réseaux qui ne comptent que du parasitisme simple en AB. Les taux de mortalité et de parasitisme présentent de grandes variabilités intra-modalités mais ne diffèrent pas d'une modalité à l'autre. A l'échelle des mineuses et de leurs parasitoïdes, la modalité confusion est celle qui présente le moins de perturbation. Les pesticides chimiques et les composés soufrés agissent ici en perturbateurs : leur application répétée et leur toxicité s'opposent à l'installation de communautés à plusieurs niveaux de trophiques.

Communautés aviaires

Le mode de protection des vergers influe sur l'installation et la reproduction des oiseaux insectivores, suivies pendant trois ans au moyen de nichoirs installés à raison de cinq par verger d'étude. La mésange bleue (*Parus caeruleus*) et le moineau friquet (*Passer montanus*) ne s'installent que dans les vergers en AB. Et si la mésange charbonnière (*Parus major*) colonise l'ensemble des vergers des trois modalités, le nombre de jeunes produits, qui s'établit à 17/ha dans les vergers en AB, décroît significativement à 11 en confusion et à 9 en conventionnel. Le suivi des paramètres de reproduction permet d'attribuer ces différences en premier lieu à une moindre installation puis à un plus fort taux d'abandon des nids par les adultes en parcelles traitées chimiquement. Ces deux paramètres sont conditionnés par la disponibilité en nourriture. L'abandon des nids est également induit par l'action neurotoxique des traitements altérant la capacité de nourrissage des adultes (Bouvier *et al.*, 2005). De rares cas de mortalité directe dans les nids à l'occasion de traitements insecticides avant fleur sont enfin observés. De même, la communauté aviaire dans son ensemble diffère significativement entre les trois modalités AB – confusion – conventionnelle avec respectivement des abondances de 46,3 – 32,7 – 15,1 individus/ha, des richesses spécifiques de 18,5 – 14,5 – 7,2 espèces nicheuses/ha et des indices de diversité (Shannon) de 3,9 – 3,6 – 2,5. La structure fonctionnelle de ces communautés est elle-même altérée puisque les vergers de la modalité conventionnelle connaissent un fort déclin des taux relatifs d'insectivores et de rapaces, affectés à la fois par l'impact direct des traitements et par la raréfaction de leurs proies. Bien qu'également affectés (richesse spécifique réduite de 20% en chimique comparée aux vergers AB), les oiseaux granivores voient donc leur taux relatif s'accroître dans les vergers conventionnels (Figure 4).

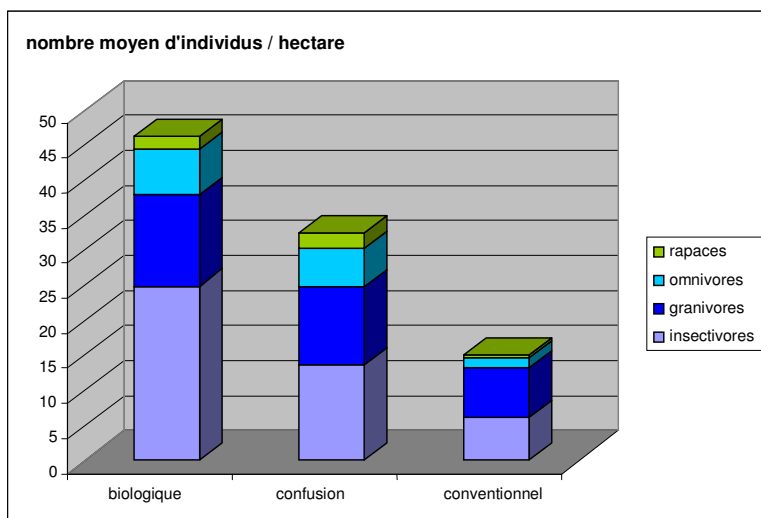


Figure 4 : Impact du système de protection en vergers de pommiers sur l'abondance des oiseaux classés par guildes.

3. Bilan des pratiques de protection en AB

3.1) Quels pesticides utilisés en AB ?

Bien que non issus de synthèse industrielle (hors dérogation), les pesticides utilisés en AB ne sont pas exempts d'impacts environnementaux. On peut rappeler l'effet du cuivre sur la faune aquatique et pour le sol, du soufre sur les parasitoïdes et les acariens prédateurs, de la roténone sur de nombreux auxiliaires. Les modes d'action des pesticides biologiques sont souvent similaires à ceux de pesticides chimiques. C'est le cas du pyrèthre, produit à partir d'un chrysanthème, et dont l'action sur la conduction nerveuse axonique est reproduite dans la famille des pyréthriinoïdes. C'est le cas de la nicotine et du Spinosad (insecticide dérivé de la bactérie *Saccharopolyspora spinosa*), qui, comme les néonicotinoïdes (exemple l'imidaclopride, matière active du Gaucho), agissent sur les récepteurs nicotiques à acétylcholinestérase. Par ailleurs, si la construction de l'EIQ engage à la prudence quant à son interprétation, les notes d'impact élevées obtenues dans les vergers en AB n'en constituent pas moins une alerte. Des restrictions de dose ou d'usage des produits les plus dommageables (cuivre, soufre en perspective) voire des retraits (retrait déjà ancien de la nicotine, de la roténone à compter de 2011, interdiction des fongicides à base de cuivre au Danemark et aux Pays-Bas) interviennent dans ce cadre au niveau de la réglementation européenne, au même titre que pour les pesticides chimiques. A l'inverse, des assouplissements du cahier des charges européen AB sont opérés. La récente autorisation en AB du Spinosad, qui n'est pas exempt de toxicité sur abeilles, sur faune aquatique et sur divers auxiliaires (et qui était très attendu par les arboriculteurs biologiques pour lutter contre le carpocapse en pommiers et poiriers ou contre la tordeuse orientale en pêcher), pourra rendre plus difficile la distinction entre AB et conventionnel en termes d'impacts environnementaux (en particulier par l'indicateur I-PHY_{arbo}). Rappelons enfin que la très grande majorité des vergers en AB reçoit une double protection contre le carpocapse associant au virus de la granulose la confusion sexuelle, dont le principe consiste à imprégner l'atmosphère du verger d'une phéromone de synthèse en vue d'interdire les accouplements de l'insecte.

3.2) Une difficile évaluation des effets des pesticides

Les différences d'impact entre familles chimiques d'insecticides sont souvent attribuées à des différences de persistance. La persistance du soufre explique l'impact de systèmes en AB sur certaines communautés biologiques des vergers, que notre étude semble confirmer sur les hyménoptères et les prédateurs d'acariens. En AB à Gotheron, des conditions climatiques favorables à la tavelure en 2002 avaient entraîné de nombreuses applications anti-fongiques avec un effet favorisant sur *Panonychus ulmi*. Ce déséquilibre, attribuable à la toxicité du soufre sur les ennemis naturels des acariens, s'était maintenu en 2003 avant que l'infestation ne soit régulée, en particulier par l'installation de punaises prédatrices du genre *Orius*.

Mais des produits non persistants dans le milieu peuvent avoir une persistance d'effet sur les organismes. C'est le cas pour l'altération de l'Ace par les OPs et les carbamates comme nous l'avons vu dans le cas du ver de terre. Ce constat renvoie à la question générale de la résilience des systèmes, à savoir leur capacité à retrouver leur état initial après une perturbation. De la même manière que la perturbation du système nerveux par les insecticides neurotoxiques peut être durable chez un individu, une communauté peut mettre un temps plus ou moins long à restaurer son intégrité, à partir des survivants d'une espèce sur la parcelle traitée ou d'immigrations d'individus en provenance de zones refuges. Une fréquence élevée de renouvellement des traitements peut donc interdire cette restauration même dans le cas de spécialités à faible persistance, comme le sont en AB le pyrèthre ou la roténone.

Au-delà de leur difficile mise en œuvre, les observations directes sur les communautés biologiques ne permettent pas d'individualiser l'effet des pesticides, et aucune espèce ou groupe d'espèces traduisant

spécifiquement l'effet des pesticides n'est identifiée. Les différences de colonisation observées entre modalités reflètent l'impact global du système de production, incluant les pesticides, les autres actes techniques, et l'aménagement végétal de l'environnement. On peut toutefois remarquer que les vergers étudiés dans le cadre du réseau Basse vallée de la Durance ont une conduite et un environnement homogènes, en raison de leur proximité géographique et d'un historique commun avant l'introduction de la confusion sexuelle contre le carpocapse ou d'une conversion en AB. Un classement similaire des itinéraires techniques pour leurs impacts biologiques est obtenu sur une expérimentation système conduite sur le domaine de Gotheron, où les différentes modalités sont implantées en conditions homogènes en termes de sol et d'environnement (Simon *et al.*, 2008). L'effet bénéfique des systèmes arboricoles en AB sur les communautés biologiques semble donc avéré. Des observations conduites en vergers de pêcheurs des principales régions productrices françaises indiquent de la même manière une plus grande diversité des auxiliaires en AB, tout particulièrement des ennemis naturels des pucerons (Penvern *et al.*, 2008).

3.3) Durabilité des méthodes de protection en AB

La protection phytosanitaire affecte la diversité intraspécifique des espèces cibles et non cibles, notamment par sélection de populations résistantes. Cette évolution est bien connue chez le carpocapse des pommes qui, dans la quasi-totalité des vergers du sud-est de la France, présente une résistance croisée à plusieurs familles d'insecticides chimiques. Depuis 2005, une forte résistance du carpocapse au virus de la granulose (CpGV) est également avérée dans les vergers en AB de quelques localités du sud-est et du centre de la France (Sauphanor *et al.*, 2006). En raison de la stabilité de ces différentes résistances, associée à leur faible coût biologique, et de la capacité du carpocapse à se déplacer de plusieurs km en cours de saison, des populations très résistantes aux insecticides chimiques sont détectées dans des parcelles en AB ou abandonnées depuis de nombreuses années. De manière similaire, les carpocapses de vergers conventionnels situés à proximité de vergers en AB présentent de forts taux de résistance au CpGV. D'une manière générale, le risque d'acquisition de résistances est fort dans les vergers en AB en raison d'une faible diversité de solutions utilisables et de leur moindre efficacité nécessitant une répétition des applications (10 à 15 traitements annuels au CpGV sur plus de 10 années consécutives dans certaines parcelles, par exemple). Des résistances au Spinosad sont également à attendre, d'autant qu'elles se sont déjà développées sur d'autres espèces (résistances métaboliques, fréquentes chez le carpocapse), et que leur cible moléculaire est la même que celle des néonicotinoïdes aujourd'hui très utilisés en vergers conventionnels contre le carpocapse et le puceron cendré. Il en est de même pour les fongicides minéraux (soufre, cuivre), une érosion de l'efficacité des produits à action multi-site étant suspectée. Enfin, une résistance à la confusion sexuelle, déjà observée chez quelques espèces de lépidoptères (Mochizuki *et al.*, 2002), n'est pas à exclure chez le carpocapse combattu par cette méthode sur 50% du verger français de pommiers-poiriers.

A l'inverse, certains bioagresseurs combattus en arboriculture conventionnelle ne font l'objet d'aucun traitement phytosanitaire en AB, faute de produit efficace. C'est particulièrement le cas pour les lépidoptères xylophages telles la zeuzère ou la sésie, ainsi que pour les acariens phytophages. Peu de traitements contre les pucerons sont par ailleurs déclarés dans les calendriers de traitement AB que nous avons analysés. Cette absence de possibilité de lutte directe contre des cibles dites secondaires, ainsi que l'efficacité relative des mesures de protection contre les cibles principales, font que les arboriculteurs en AB tolèrent des attaques parasitaires jugées inacceptables en conventionnel. Ils considèrent par contre comme prioritaire un raisonnement du système dans son ensemble, pour rendre la culture moins favorable ou plus tolérante au développement des bioagresseurs. Ce raisonnement, qui s'applique à l'implantation de la parcelle (quand il s'agit de nouveaux vergers), à l'aménagement de son environnement et à la conduite de l'arbre (taille, irrigation), est aussi un facteur de durabilité du système.

Conclusion

Le cas des vergers de pommiers illustre bien le fait que l'innocuité sur l'environnement des systèmes agricoles en AB n'est que partielle. Les pratiques de protection y sont intenses, tant au niveau de la fréquence des passages (peu favorable au bilan carbone) que des volumes de produits phytosanitaires appliqués, de leur persistance ou de leur toxicité potentielle sur les organismes vivants. Mais les valeurs élevées d'abondance, de richesse spécifique et de diversité observées pour certaines communautés, dès lors que l'intensité de la protection chimique est réduite, soulignent l'intérêt de systèmes comme l'arboriculture fruitière au titre de la conservation de la biodiversité. Les observations en vergers AB indiquent que ces milieux sont potentiellement aussi favorables pour l'installation et la reproduction de nombreuses espèces d'oiseaux que les milieux naturels non perturbés de la même aire géographique. Une réduction d'abondance et de richesse spécifique de 70% (plus élevée si on considère en bout de chaîne alimentaire les insectivores et rapaces) s'observe dans la modalité conventionnelle, indiquant la marge disponible. Mais les systèmes de production incluent aussi les aménagements paysagers comme la mosaïque de cultures et les haies brise-vent, influant eux-mêmes fortement sur la biodiversité animale (Burel et Baudry, 1999 ; Rieux *et al.*, 1999). Le maintien voire la diversification végétale des haies brise-vent - auquel semble aujourd'hui s'opposer l'implantation de filets para-grêle jouant également ce rôle de brise-vent - est donc à considérer comme une mesure d'intérêt agronomique au titre de la lutte biologique par conservation, mais également d'intérêt environnemental au même titre que l'enherbement des parcelles et la diversification des cultures. Au-delà du respect de la mention obligatoire du cahier des charges AB de non utilisation d'intrants de synthèse, une adhésion à l'esprit de l'AB prônant une désintensification des cultures et le respect de l'environnement est à promouvoir dans cet objectif.

Remerciements. *Nous remercions les agriculteurs de la région d'Avignon qui accueillent ces travaux dans leurs vergers. Les travaux mentionnés ont été réalisés dans le cadre des programmes Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des pesticides du Ministère chargé de l'Environnement et Ecoger de l'Agence Nationale pour la Recherche.*

Références bibliographiques :

- Bouvier J.C., Toubon J.F., Boivin T., Sauphanor B., 2005. Effects of apple orchard management strategies on the great tit (*Parus major*) in southeastern France. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24, 2846-2852.
- Burel F., Baudry J., 1999. *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications.* Tec & Doc, Paris, 409p
- Devillers J., Farret R., Girardin P., Rivière J.L., Soulas G., 2005. Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides. Tec & Doc, Paris, 278 p.
- Denoyelle R., Rault M., Mazzia C., Mascle O., Capowiez Y., 2007. Cholinesterase activity as a biomarker of pesticide exposure in *Allolobophora chlorotica* earthworms living in apple orchards under different management strategies. *Environmental Toxicology and Chemistry* 26, 2644-2649.
- Dushoff J., Caldwell B., Mohler C.L., 1994. Evaluating the environment effect of pesticides: A critique of the Environmental Impact Quotient. *American Entomologist* 40, 180-184.
- Hole D.G., Perkins A.J., Wilson J.D., Alexander I.H., Grice P.V., Evans A.D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological conservation* 122, 113-130.
- Kovach J., Petzold C., Degni J., Tette J., 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Science Bulletin* 139, 1-8.

- Kozar F., 1992. Organization of arthropod communities in agroecosystems. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.* 27, 365-373.
- Mochizuki F., Fukumoto T., Noguchi H., Sugie H., Mori-moto T., Ohtani K., 2002. Resistance to a mating disruptant composed of (Z)-11-tetradecenyl acetate in the smaller tea tortrix *Adoxophyes honmai* (Yasuda) (Lepidoptera : Tortricidae). *Appl Entomol Zoo.* 37, 299-304.
- Penvern S., Fauriel J., Bellon S., 2008. Peach aphid management in organic and conventional orchards: How to reconnect efficiency and ecology? in *Organic Fruit Conference (ISHS)*, 15-17 Juin 2008, Vignola, Italy.
- Rieux R., Simon S., Defrance H., 1999. Role of hedgerows and ground cover management on arthropod populations in pear orchards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 73, 129-140.
- Sauphanor B., Berling M., Toubon J.F., Reyes M., Delnatte J., 2006. Carpacse des pommes : cas de résistance au virus de la granulose en vergers biologiques. *Phytoma* 590, 24-27.
- Sauphanor B., Picard C., Plenet D., Simon S., 2008. Indicators to assess the environmental impact of protection practices in apple orchards. Book of Abstract poster 103, VII International Conference on Integrated Fruit Production, Avignon, France, 28-30 octobre 2008.
- Simon S., Defrance H. and Sauphanor B., 2007. Effect of codling moth management on orchard arthropods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122, 340-348.
- Simon S., Sauphanor B., Buléon S., Guinaudeau J., Brun L., 2008. Building up management and evaluation of orchards systems: a four-year experience in apple production. Book of Abstract poster 159, VII International Conference on Integrated Fruit Production, Avignon, France, 28-30 octobre 2008.
- Van der Werf H. M. G., Zimmer C., 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere* 36, 2225-2249.

Programme « Atouts biodiversité »

Bilan 2006/2007/2008

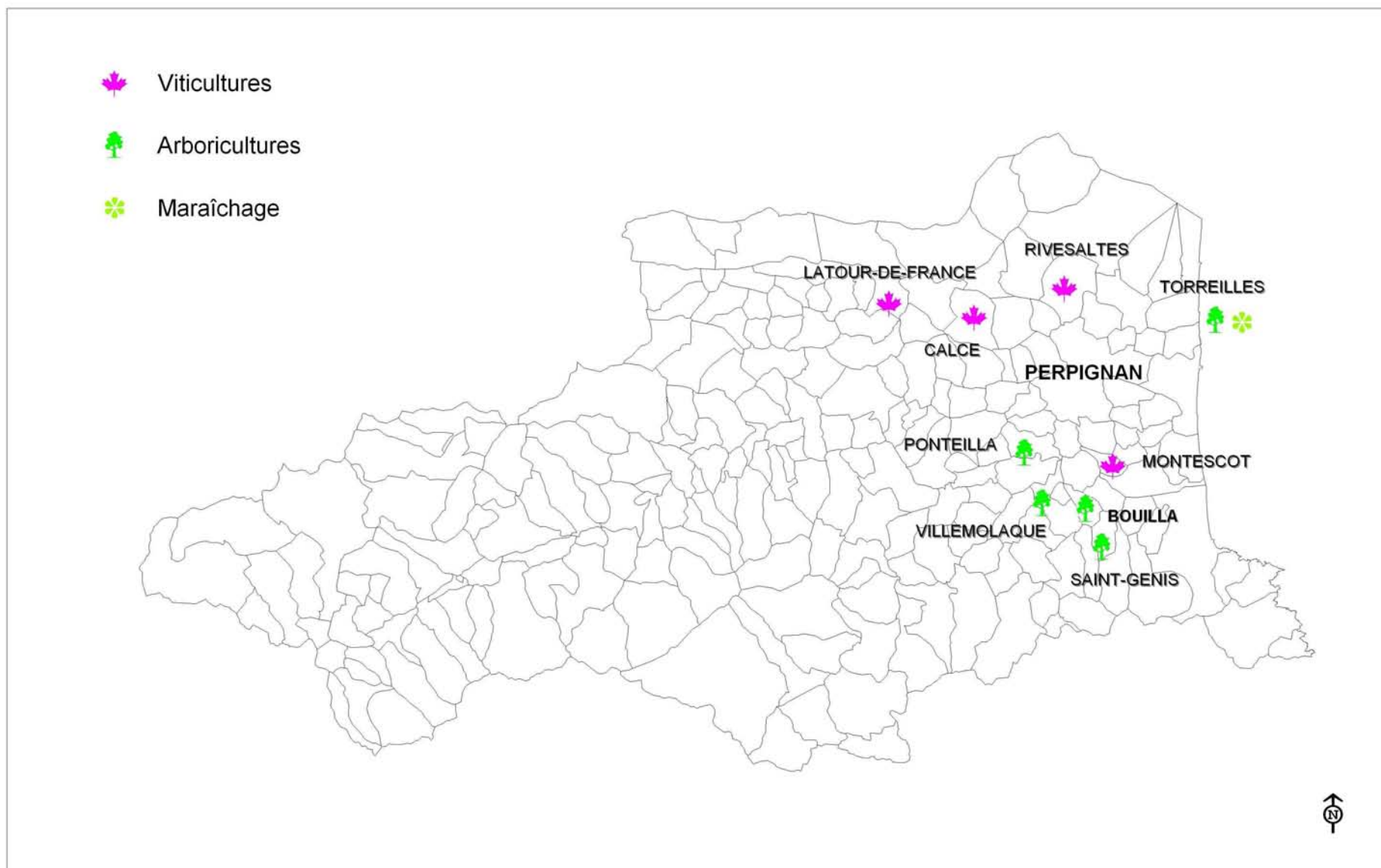
*Le but de ce programme est l'amélioration de la biodiversité et **des auxiliaires de cultures sur les exploitations BIO.***

*Le but de cette collaboration **entre le monde agricole et les associations de protection de la nature** est de réussir à **mettre au point**, avec l'aide de neuf agriculteurs volontaires (viticulteurs, arboriculteurs) ainsi qu'avec le site expérimental de la SICA CENTREX (arboriculture et maraîchage), **des méthodes simples et peu coûteuses destinées à augmenter la biodiversité sur leurs parcelles**, en y favorisant la présence d'auxiliaires de cultures (oiseaux et chauve souris).*

I. Bilan des exploitations ayant bénéficié des premiers équipements :

Dans le cadre de ce projet, 9 exploitations différentes ont été retenues afin de disposer de cas de figures les plus divers possibles. 8 ont fait l'objet d'une première série d'équipements en 2006 et une neuvième en début 2007, entraînant avec elle la révision de toutes les autres (Ajouts de nichoirs ou gîtes supplémentaires : *en rouge dans le tableau*). Certains sites possédaient depuis 1997 des nichoirs type « Rollier » postés sur des pylônes électriques, dans le cadre d'un autre programme en convention avec EDF. Situés à proximité des exploitations étudiées, le GOR a pris la décision de les inclure au programme ATOUTBIO. (*En bleu dans le tableau*). Pour l'année 2008, aucun nichoir n'a été rajouté, mais quelques uns se sont égarés, ou hors service (Donc un effectif très légèrement en dessous de 2007).

Nom de l'exploitation et exploitants	Type de culture équipée	Commune	Détails de l'équipement
Le Clos du Rouge gorge Mr Fhal	Vignoble	Latour de France	- 12 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32 et 1 nichoir ø 70 - 7 gîtes à chauves souris
Domaine CAZES Mr Cazes	Vignoble	Rivesaltes	- 10 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32 et 3 nichoirs ø 70 - 5 gîtes à chauves souris - 14 nichoirs à Rollier d'Europe
Mr Soler	Abricotiers, pêchers	St Genis des Fontaines	- 23+5 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32 et 2 nichoirs ø 70 - 7 gîtes à chauves souris
Mr Ey	Pêchers	Banyuls des Aspres	- 20+1 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32 et 2 nichoirs ø 70 - 9+5 gîtes à chauves souris
Mas de la Machine Mr Bareil	Pruniers, pêchers	Villemolaque	- 30+5 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32 et 3 nichoirs ø 70 - 12+2 gîtes à chauves souris
La Pommeraie Mme Serre	Pommiers	Ponteilla	- 16+9 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32, 2 nichoirs ø 70 et 1 grand nichoir semi ouvert - 10 gîtes à chauves souris
SICA CENTREX CIVAMBIO	Pêchers et maraîchage	Torreilles	- 5 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32 et 1+1 nichoir ø 70 - 2 gîtes à chauves souris
Le Mas de l'OU Mr Bourrier	Vignoble	Montescot	- 8 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32 et 3 nichoirs ø 70 - 8 gîtes à chauve souris - 17 nichoirs à Rollier d'Europe
Domaine Olivier Pithon Mr Pithon	Vignoble	Calce	- 5 nichoirs type boîte aux lettres ø 26, 32 et 1 nichoir ø 70 - 5 gîtes à chauves souris



Localisation à l'échelle du département des différentes exploitations intégrées au projet

Résultats de la nidification des oiseaux :

Tableau 1 : Résultats obtenus par exploitation

Nom de l'exploitation / exploitant	Commune	Nombre de niochirs posés			Nombre de nichées			Proportion de nichées par rapport au nombre de niochirs		
		2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Le Clos du Rouge gorge / Mr Fhal	Latour de France	13	13	13	3	5	4	23%	38,5%	30,8%
Domaine Cazes / Mr Cazes	Rivesaltes	27	27	27	14	13	22	52%	48%	81,5%
Mr Soler	St Genis des Fontaines	25	30	30	6	12	14	24%	40%	46,7%
Mr Ey	Banyuls des Aspres	22	23	24	0	14	9	0%	61%	37,5%
Mas de la Machine / Mr Bareil	Villemolaque	33	38	37	4	20	17	12%	52,5%	46%
La Pommeraie / Mme Serre	Ponteilla	18	28	26	17	26	26	94,5%	93%	100%
SICA Centrex / CIVAMBIO	Torreilles	6	7	7	0	4	3	0%	57%	42 ,9%
Le Mas de l'OU / Mr Bourrier	Montescot	20	28	24	5	7	5	25%	25%	20,8%
Mr Pithon	Calce	-	6	6	-	2	1	-	33%	16,6%
Total :		164	200	194	49	103	101	30%	51,5%	52,1%

Est entendu par « **nichée** », la ponte ainsi que la naissance de nouveau individus, la « **ponte** » quant à elle, désigne uniquement la présence de l'œuf dans le niochir. Une faible différence entre le nombre de ponte, et le nombre de nichée reflète donc un taux de naissance élevé.

Les œufs trouvés dans un nichoir le dernier jour des relevés sont considérés à défaut comme « *ponte* » et non comme « *niché* », dans l'incapacité de prévoir si il y aura naissance ou pas.

Le taux d'occupation des nichoirs pour la première année est de **30%**. Pour 2007, ce taux atteint la majorité avec **plus de 51%** des nichoirs occupés.

Cette augmentation peut être expliquée par le fait que les premiers nichoirs ont été installés assez tard dans l'année 2006 (fin mars et début mai).



Nichoires à oiseaux

Gîtes à chauves souris



1. Importance numérique des espèces :

Tableau 2 : Nombre de nichées et de jeunes produits par espèce

Espèce	Nombre de nichées			Pourcentage du total		Nombre de jeunes produits		
	2006	2007	Progression	2006	2007	2006	2007	Progression
Moineau friquet	16	32	+16	32,7	31,1	70	130	+60
Mésange charbonnière	10	38	+28	20,4	36,9	64	231	+167
Rollier d'Europe	17	16	-1	34,7	15,5	85	80	-5
Mésange bleue	2	5	+3	4,1	4,9	8	28	+20
Petit duc scops	1	2	+1	2,0	1,9	4	8	+4
Etourneau sansonnet	2	9	+7	4,1	8,7	6	95	+89
Chevêche d'Athéna	1	1	Stable	2,0	1,0	N.C.	N.C.	N.C.
Total	49	103		100,0	100,0	160	419	

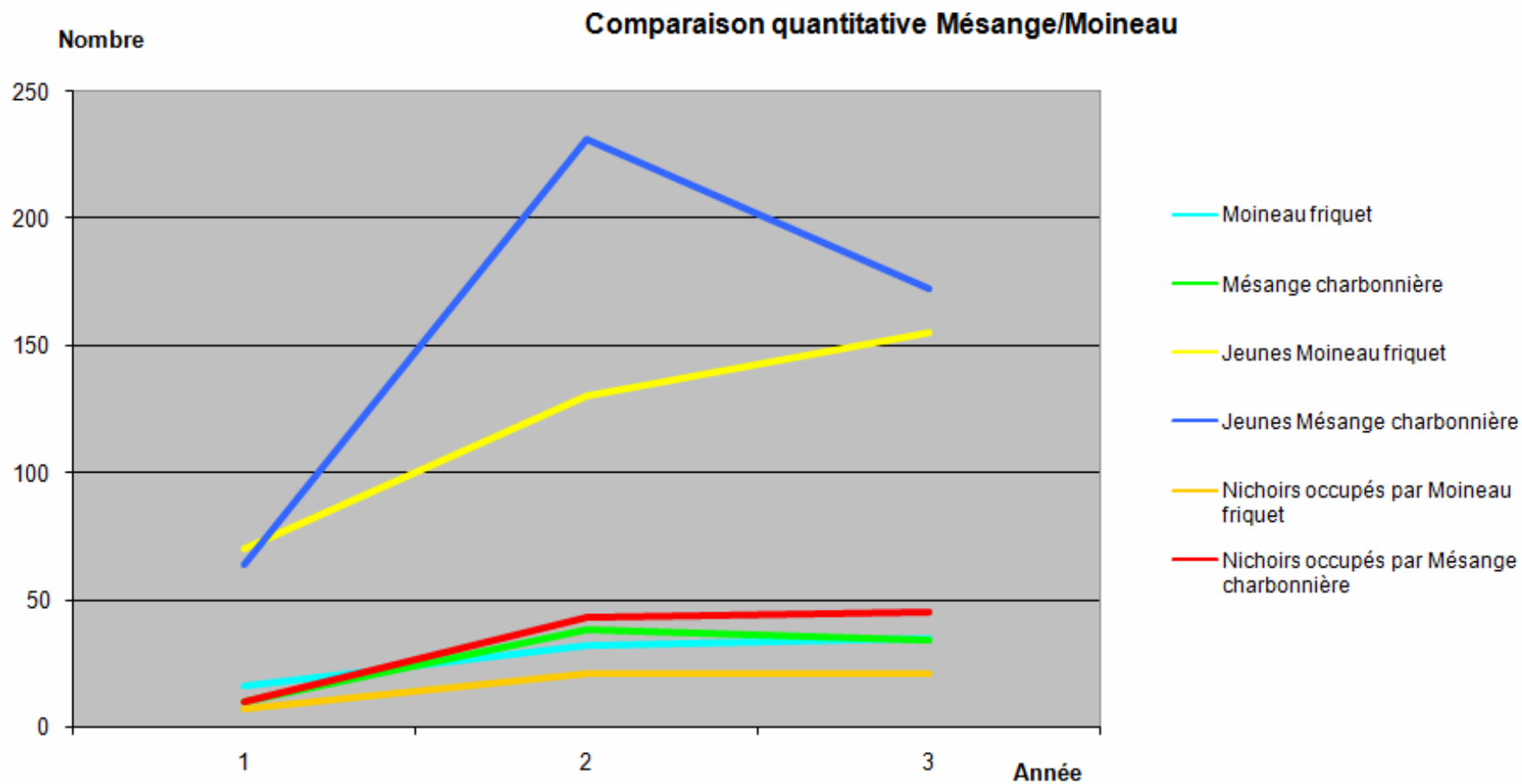
La première année, on remarque que trois espèces se partagent la majorité des nichées : Le Moineaux friquet, la Mésange charbonnière et le Rollier d'Europe. Les autres espèces se partageant les 10 pourcent restant. Le Moineau friquet a niché sur une seule exploitation (Ponteilla) où elle a été la seule à utiliser les nichoirs de type « boîte aux lettres » pour passereaux. Sa densité, sur cette même exploitation, fut de 1,4 couples à l'hectare. On peut expliquer cette forte densité par le fait que l'espèce niche en semi colonie et que c'est une espèce typique des vergers. En 2006, la Mésange charbonnière était l'espèce qui avait niché sur le plus d'exploitations (les 10 pontes découvertes à St Génis des Fontaines, Latour de France et Villemolaque). Confirmation en 2007 : on retrouve la Mésange charbonnière sur toutes les exploitations, avec un total de 45 pontes (sauf Rivesaltes qui comptabilise presque exclusivement du Rollier)).

Seulement deux pontes d'Etourneau sansonnet avaient été découvertes en 2006 contre 6 en 2007, Cette espèce est intéressante à cette époque car son régime alimentaire est exclusivement insectivore. En 2008, aucune nichée n'a été découverte, mais il se pourrait qu'une est échapper au contrôle à St Genis.

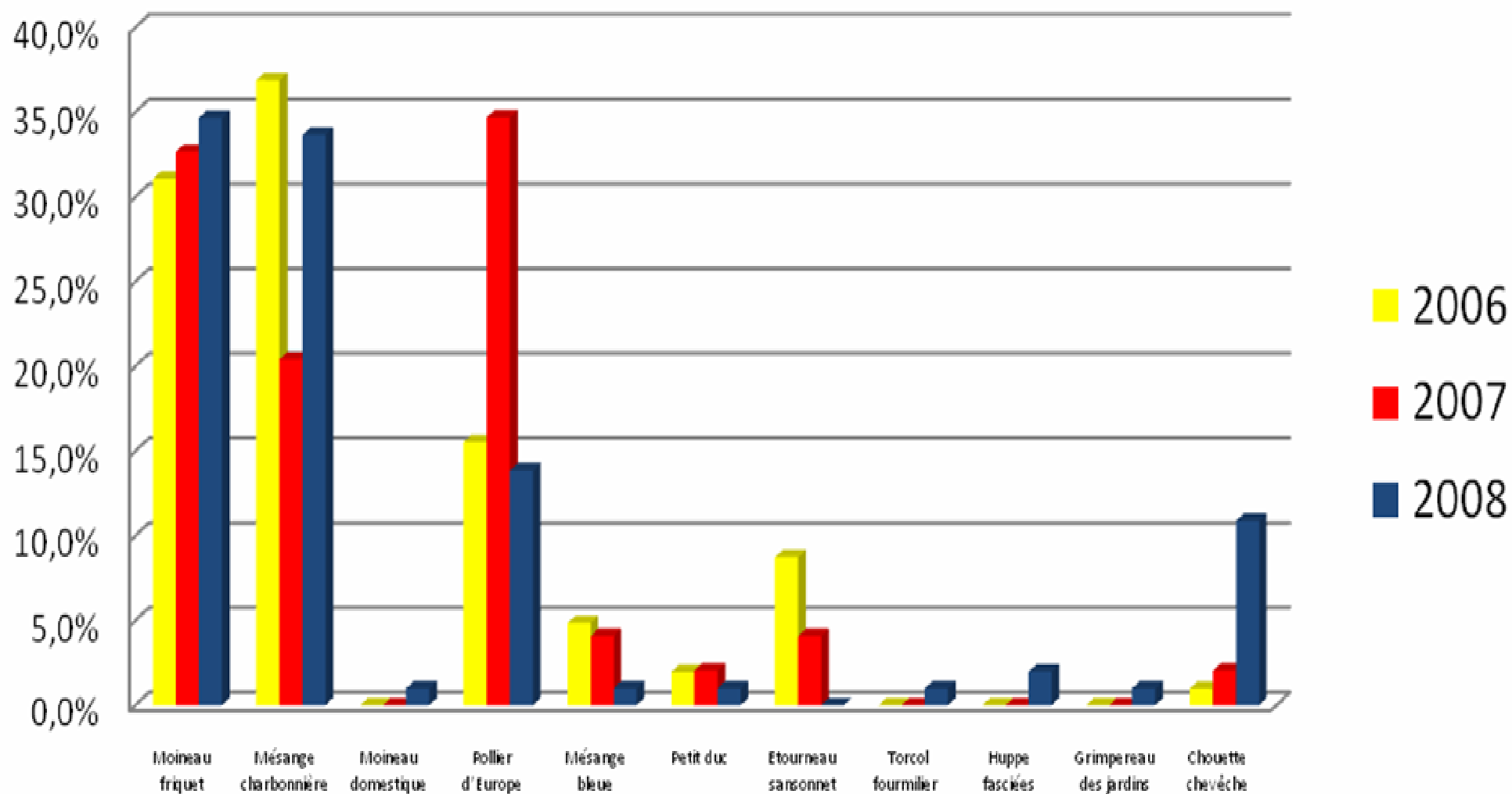
Deux espèces cavernicoles, le Torcol fourmilier et la Chevêche d'Athéna, nous ont surpris par leur absence durant cette première année de suivi. Ce sont deux espèces pouvant être relativement fréquentes dans les vergers et dont la période de reproduction peut s'étendre jusqu'en août. La pose relativement tardive des nichoirs (entre fin mars et début mai) peut expliquer cette absence. La Chevêche a tout de même été contacté (hors nichoir) à la Pommeraie et sur le Domaine CAZES mais une seule nichée a été observée sur l'exploitation de Rivesaltes, dans un nichoir de type « Rollier ». Une autre nichée a été découverte en 2007, sur l'exploitation de Montescot. Les suivis de cette deuxième année ont aussi fait état de la ponte de 6 œufs (très probablement de Torcol) dans un nid de Mésange charbonnière (Banyuls des Aspes, nichoir 4, ø 32mm). L'année 2008 fut plus clémente pour ces deux espèces, en effet, nous avons pu observer une nichée de torcol dans un petit nichoir à Villemolaque, ainsi qu'une dizaine de Chouettes chevêches dans les nichoirs type « rollier ».

Pour ce qui est de la tendance Moineau friquet/Mésange charbonnière, en 2008, le nombre de nichées est sensiblement le même, mais les écarts entre le nombre de jeunes produits ce réduit :

Espèce	Nombre de nichées			Nombre de jeunes produits			Nombre de nichoirs occupés		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Moineau friquet	16	32	35	70	130	155	7	21	21
Mésange charbonnière	10	38	34	64	231	172	10	43	45



Proportions du nombre de nichées de chaque espèce, sur les 3 ans



2. Dates et taille des pontes

Tableau 3 : Dates des premières pontes et taille moyenne des pontes par espèce

Espèce	Premières pontes		Nombre total de pontes		Taille moyenne des pontes	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Moineau friquet	11-mai	25-avr	16	33	4,5	5
Mésange charbonnière	05-mai	02-avr	10	45	6,5	6,7
Rollier d'Europe	N.C.	N.C.	≤ 17	≤ 16	N.C.	N.C.
Mésange bleue	12-mai	18-avr	2	5	6	7,5
Petit duc scops	30-mai	04-juin	1	2	4	4
Etourneau sansonnet	11-mai	17-avr	2	9	2	4
(Torcol fourmilier)	-	(07-mai)	0	(1)	0	(6)
Chevêche d'Athéna	N.C.	N.C.	≤ 1	≤ 1110	N.C.	N.C.
INDETERMINEE	-	-	0	3	-	-
Total :			49	115		

La taille moyenne des pontes des mésanges est relativement basse par rapport aux moyennes nationales. Par exemple, celle de la Mésange charbonnière est de 6,5 œufs la première année et de 6,7 œufs la deuxième, ce qui constitue un minimum pour celle-ci, qui habituellement pond entre 6 et 12 œufs, préférant assurer la quantité pour compenser un taux de survie des jeunes très faible (environ 80 % meurent avant d'atteindre l'âge d'un an). Même constat pour la Mésange bleue dont la taille moyenne des pontes (calculée sur 2 et 5 pontes seulement) est de 6 et 7,5 œufs, alors qu'elle est généralement autour de 9 dans le département (Centrale de données du GOR).

Concernant le Moineau friquet, la taille moyenne des pontes est conforme au nombre habituel de 4 à 5 œufs pondus. De même pour le Petit duc scops dont la taille de ponte est généralement comprise entre 3 et 5. Quant à l'Etourneau sansonnet, qui pond en moyenne sur les deux années de suivi 3 œufs, il est proche de sa moyenne de 5-6 œufs.

Pour ce qui est de l'année 2008, la taille des pontes reste dans la même logique que les deux années précédentes, rien d'anormal à signaler.

3. Le taux de mortalité

En 2006, le taux de mortalité constaté en nichoir fut faible. Sur l'ensemble des exploitations, 2 nichées ont échoué. A St Génis des Fontaines, sur une nichée de Mésange bleue comportant 5 oisillons, 3 juvéniles sont morts au stade de développement des plumes. A Ponteilla, une nichée de Moineau friquet a échoué, les 3 juvéniles sont morts peu avant l'envol (mort d'un parent ?). Nous n'avons pas pu déterminer de manière certaine la cause de ces échecs. Cependant les dates de ponte relativement tardives (mi juin pour la Mésange bleue et fin juillet pour le Moineau friquet) laissent à penser qu'il s'agit de seconde ponte. Les poussins issus de deuxième ponte ont un taux de survie plus faible que ceux issus de la première. Pour la Mésange bleue, un seul parent a été observé lors des derniers contrôles, ce qui peut expliquer que moins de jeunes aient survécu.

Pour ce qui est de 2007, le taux de mortalité chez les très jeunes a légèrement augmenté. Lors des contrôles de nichoirs, nous avons une proportion de 3.6%(3 sur 83 nichées). Exemple d'un cas à Toreilles (Moineau friquet, nichoir 4, ø 32mm),

Date de contrôle	Contenu du nichoir
17 mai 2007	4 oeufs
29 mai 2007	4 juvéniles (2-4 jours)
26 juin 2007	4 morts

Ce genre de phénomène peut s'interpréter par la mort d'un ou des deux parents de la nichée, entraînant ensuite l'abandon du nid et des juvéniles.

On retrouve aussi des jeunes morts parmi des juvéniles en pleine santé, ce qui peut se traduire par une sélection naturelle (pas assez de nourriture pour tous, naissances décalées, notion dominants/dominés...)

Cette année 2008, on a pu remarquer un petit nombre de couvées abandonnées, notamment de mésanges charbonnières à Villemolaque.

Analyse des résultats

1. Premier constat

Diversité des espèces :

Par exemple, en 2006, à St Genis des Fontaines, sur les 6 nichées trouvées, 5 appartiennent à une mésange (la sixième étant une nichée de Petit duc). Pour comparaison, à Ponteilla, sur les 17 nichées trouvées dans cette même année, 16 appartiennent au Moineau friquet (la dix septième étant une nichée d'Etourneau sansonnet). Pour ce qui est de 2007, la répartition des espèces est un peu plus homogène sur chaque exploitation : Villemolaque qui, en 2006, accueillait uniquement de la Mésange charbonnière ce retrouve en 2007 avec des nichées d'Etourneau sansonnet, de Moineau friquet, de Mésange bleue en plus de celle de Mésange charbonnière.

De manière générale, sur les deux années, on peut dire que la Mésange charbonnière, le Moineau friquet et le Rollier d'Europe représentent la majorité des espèces présentes. Cela est très bien modélisé sur le diagramme précédent.

2008 a prouvé que l'on pouvait gagner plus de diversité avec le temps. En effet, 3 nouvelles espèces sont apparues sur les exploitations participantes : une nichée de Grimpereau des jardins découverte dans un gîte à chauve-souris, dans la pommeraie de Ponteilla, deux pontes successives de Huppe fasciée dans un même nichoir à Villemolaque, et toujours à Villemolaque, une nichée de Torcol fourmilier.

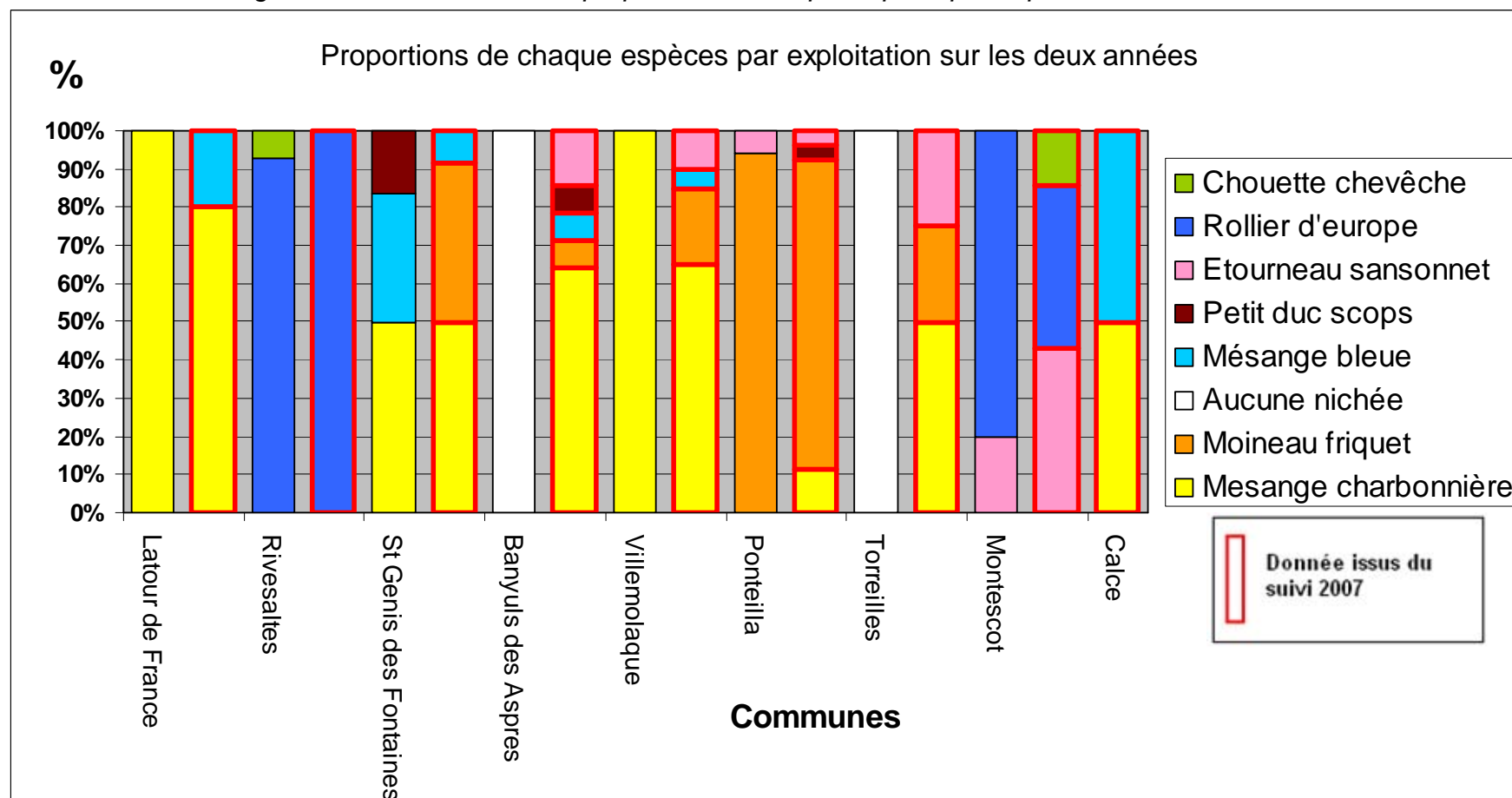
Evolution de la diversité des espèces au cours des 3 ans

Année	2006	2007	2008
Espèces différentes	7	7	11
Noms	Mésange bleue Mésange charbonnière Moineau friquet Rollier d'Europe Petit duc Etourneau sansonnet Chouette chevêche	Mésange bleue Mésange charbonnière Moineau friquet Rollier d'Europe Petit duc Etourneau sansonnet Chouette chevêche	Mésange bleue Mésange charbonnière Moineau friquet Rollier d'Europe Petit duc Etourneau sansonnet Chouette chevêche Torcol fourmilier Grimpereau des jardins Huppe fasciée Moineau domestique

Taux d'occupation :

Le taux d'occupation est très hétérogène, que ce soit d'un point de vue spatial, ou temporel. En effet, sur la première année, l'exploitation de Banyuls des Aspres (15 hectares, 23 nichoirs posés le 30 Mars 2006 : Aucune nichée trouvée), contraste fortement avec des exploitation telles que St Genis des Fontaine (20 hectares, 25 nichoirs posés le 30 Mars 2006 : 3 nichées de Mésange charbonnière, 2 nichées de Mésange bleue et 1 nichée de Petit duc scops) ou encore Ponteilla (16 nichées de Moineau friquet et une d'Etourneau sansonnet).

Le diagramme suivant montre la proportion de chaque espèce par exploitation, en 2006 et 2007.



2. Taux d'occupation et taille des pontes.

La date tardive de pose des niohirs, qui s'est étendue jusqu'au mois de mai (l'idéal étant l'hiver précédant la période de reproduction) a du influencer sur les résultats obtenus cette première année. En effet, certaines espèces cavernicoles, comme la Mésange charbonnière, débutent leur période de reproduction à la fin du mois de mars. Pour ces espèces, les niohirs n'ont donc été utilisés que pour accueillir les secondes pontes. Le pourcentage de couples de Mésange bleue s'engageant dans une deuxième couvée est compris entre 5 et 10% ; ce qui explique le faible taux d'occupation de cette dernière sur l'ensemble des exploitations. Pour la Mésange charbonnière, malgré le fort investissement énergétique des adultes lors de la première ponte (nombre d'œufs pondus et nombre de jeunes élevés), 40 à 50 % des couples effectuent une seconde ponte. Ceci explique le fort taux d'occupation par cette dernière et l'écart important avec celui de la Mésange bleue.

Les tailles de ponte relativement faible peuvent être expliquées par le fait que la majorité de celles-ci correspondent à des secondes pontes. Le deuxième effort de reproduction comporte moins d'œufs en raison de la condition corporelle de la femelle qui est affaiblie par la première ponte.

La première année, trois espèces se partageaient **90%** des nichées (Moineau friquet, Mésange charbonnière et Rollier d'Europe). Les suivis de la deuxième année montre que ces trois espèces maintiennent le cap avec une proportion cumulée de **83,5%**

Ces chiffres sont également à mettre en relation avec le type de milieu concerné. En effet, la qualité du milieu et les ressources alimentaires ne sont pas les mêmes, par exemple, en agriculture et en chênaie pubescente. Ce facteur joue sur la densité de la population (nombre de couples à l'hectare) et le nombre d'œufs pondus. Certaines exploitations bénéficient d'un biotope plus favorable à l'inverse d'autres, ce qui génère des fluctuations d'occupation assez importantes.

II. Résultats de l'occupation des gîtes à chiroptères

Tableau 4 : Résultats obtenus par exploitation – contrôles réalisés fin octobre 2006

Exploitation	Nb de gîtes installés	Nb de gîtes utilisés	Nb de chiroptères en gîte béton de bois	Nb de chiroptères observé dans des nichoirs pour les oiseaux	Total de chauves souris observés
Ponteilla	10	4	10	6	16
Banyuls des Aspres	9	5	11	0	11
St Génis des Fontaines	7	2	3	1	4
Villemolaque	12	8	18	0	18
Rivesaltes	5	1	3	0	3
Torreilles	2	1	0	0	0
Latour de France	7	0	0	0	0
Total	52	21	45	7	52

52 gîtes spécifiques pour les chiroptères ont été installés sur les sept exploitations au début du mois de mai.

52 individus ont utilisé ces gîtes, répartis en 23 groupes d'une taille variant de 1 à 6 animaux.

Nous avons pu identifier trois espèces différentes, du même genre *Pipistrellus* :

- la Pipistrelle pygmée (*Pipistrellus pygmaeus*) : 26 individus
- la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) : 5 individus
- la Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus Kuhlii*) : 2 individus

Les chiroptères sont particulièrement sensibles aux dérangements répétés. C'est pourquoi 17 individus n'ont pas été déterminés jusqu'au stade de l'espèce, le doute restant entre les deux types de pipistrelle (commune ou pygmée).

La Pipistrelle de Kuhl, quant à elle, se distingue des autres par une taille nettement plus grande et par une couleur de poil plus roux contrastant avec le reste de peaux très sombre. Cette espèce est moins abondante que les deux autres, et les deux individus que nous avons contactés l'ont été à Banyuls dels Aspres.

III. Choix des gîtes à chiroptères

Pipistrelle pygmée ↓



Pipistrelle de Kuhl ↑

Cette année était une phase test en terme de gîtes à chiroptères. Nous avons posés plusieurs types de gîtes, se différenciant par leur taille et leurs spécificités : taille, nombre de paroi intérieures, nombre d'entrées. Ces gîtes préfabriqués sont en béton de bois, très robustes mais d'un investissement important. Nous avons installé les gîtes par combinaison de 2 à 3, en variant les orientations cardinales car les chauves souris changent de gîte en fonction de leurs exigences thermiques.

Tableau 5 : Les différents types de gîtes à chiroptères

Type de gîte	Nb de gîte installés	Nb de gîte occupés	Pourcentage de gîtes occupés	Nb moyen d'individus par gîte occupé
Gros gîte	3	2	66	2
Double entrée	15	6	40	1
Simple paroi	16	6	37,5	3
Double paroi	9	3	33	5
Oiseaux chiro	4	1	25	1
Gîte plat	5	1	20	1
Total	52	19		



Pour cette première année, le type de gîte ayant le plus de réussite en terme d'occupation est le "Gros gîte", avec 2 gîtes utilisés sur les 3 installés. Cependant, ces deux gîtes ne contenaient que très peu de guano, et lors du contrôle, seules trois chauves-souris y ont été découvertes.

Les gîtes "Double entrée" et "Simple paroi" ont été les plus utilisés, toutefois le nombre moyen d'individus par cavité est, respectivement, de 1 et 3 individus. En comparaison, les gîtes "Double paroi", qui ont eut une réussite de 30 % d'occupation, contenaient de plus grands groupes (3 à 6 individus).

Enfin, les gîtes "mixte Oiseaux/chiroptères" et "Gîte plat" non pas eu le succès escompté. Un seul gîte plat, gîte parmi ceux pouvant accueillir le plus grand nombre d'individus, a été utilisé par une Pipistrelle.

En tout cas, le taux d'occupation des gîtes est supérieur à nos espérances et c'est très encourageant.