

Réduction des apports cupriques en viticulture biologique. Etude du lessivage foliaire sous simulateur de pluie

Bernard MOLOT¹, Cyril Gaimon²

¹ITV France, Nîmes/Rodilhan

²Elève ingénieur ENSAM

Résumé

Le lessivage de deux fongicides cupriques a été étudié à l'aide d'un simulateur de pluie. La formulation à base d'hydroxyde s'est révélée moins sensible au lessivage que celle à base de sulfate. La hauteur de pluie est le critère déterminant du lessivage tandis que l'intensité, la répartition des pluies ou le délai entre traitement et pluie se révèlent sans effet dans les conditions de l'essai, tout comme la dose initiale de cuivre. La perte de cuivre se fait de façon hyperbolique et une forte partie de l'apport initial semble peu ou pas solubilisable et donc inefficace. Cette modélisation permet de simuler la concentration en cuivre de l'eau de lessivage et donc de prévoir les probables seuils de renouvellement des différentes doses de cuivre.

Mots-cles : cuivre, lessivage, simulateur de pluie, vigne, mildiou

Summary

In order to study two copper formulations washoff, a rainfall simulator has been used. Tenacity of hydroxide appears higher than Bordeaux mixture one. Rainfall amount is the most important factor in copper washoff, contrary to rainfall intensity, number of rainfalls, initial deposit of copper or time between spraying and rain. Copper losses follows an hyperbolic pattern, and an important part of copper remains no soluble and thus ineffective against downy mildew. Washoff modelling allows solubilization forecast and indicates thresholds of renewal to be taken into account.

Key-words : copper, washoff, rainfall simulator, grapevine, downy mildew

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) génère 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 Héliocuire (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 expérimental de l'essai d'efficacité pratique

- 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 1
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 2
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

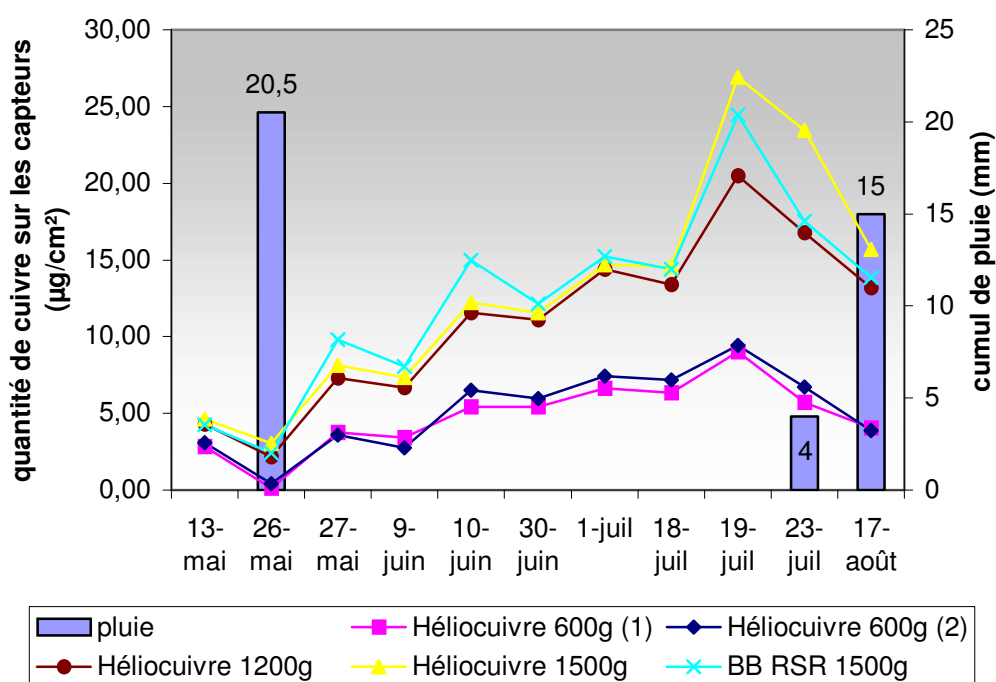
Les conditions météorologiques de mai à août ont empêché toute installation significative de la maladie bien qu'une contamination artificielle ait été réalisée en fin floraison et que l'essai jouxte un autre essai mildiou sous brumisation. Aucune conclusion ne peut donc être tirée en termes d'efficacité 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 Hélocuivre 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 2203



NB : (les valeurs en cuivre résiduel présentées dans la figure 1 correspondent à des mesures réalisées après le cumul de pluie mentionné en histogramme)

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 Héliocuvivre 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 corréler dose/ha et dépôts de cuivre par cm^2 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 m^2 , 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 3

La variabilité due à la pulvérisation pneumatique à dos entraîne une variabilité trop importante ($\text{CV} > 50\%$) 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.

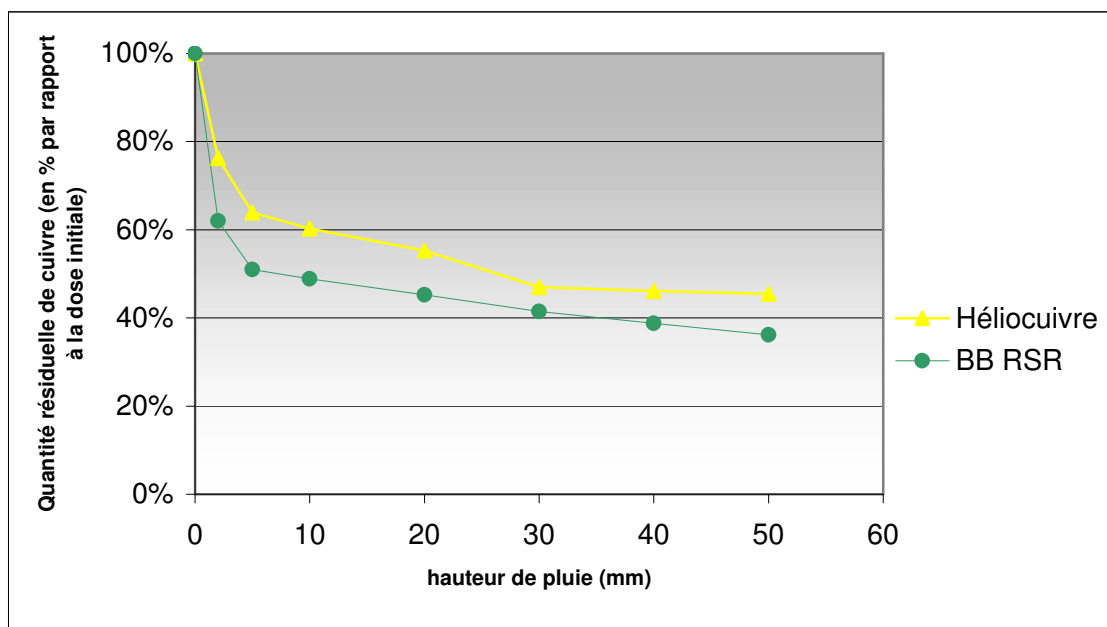
Tableau 3
Pertes en cuivre des capteurs selon l'origine de la pluie

PLUIE	Héliocuire 600	Héliocuire 600	Héliocuire 1200	Héliocuire 1500	BB RSR Disp. 1500
Moyenne :	28.9%	28.7%	20.7%	12.9%	28.4%
Ecart-type :	3.6	9.9	9.5	3.4	11.2
SIMULATEUR	Héliocuire 600	Héliocuire 600	Héliocuire 1200	Héliocuire 1500	BB RSR Disp. 1500
Moyenne :	20.7%	19.2%	18.6%	9.6%	20.2%
Ecart-type :	12.1	3.8	12.6	2.0	6.3

3.4. Effet de la hauteur d'eau sur le lessivage d'Héliocuire et de BB RSR Disperss

2 séries de 20 feuilles sont pulvérisées avec Héliocuire ou BB RSR en vue d'obtenir un dépôt de cuivre de 2.6 µg/cm², 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



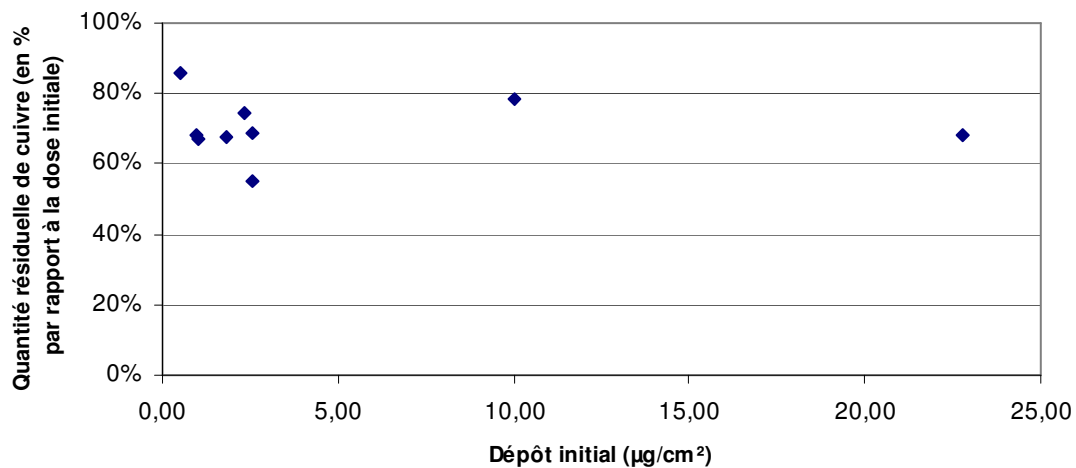
Une légère différence de résistance au lessivage est observable. Le cuivre restant sur le feuillage est statistiquement plus important dans la modalité Héliocuisse et ceci pour 6 hauteurs de pluie sur les 7 expérimentées.

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'Héliocuisse (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

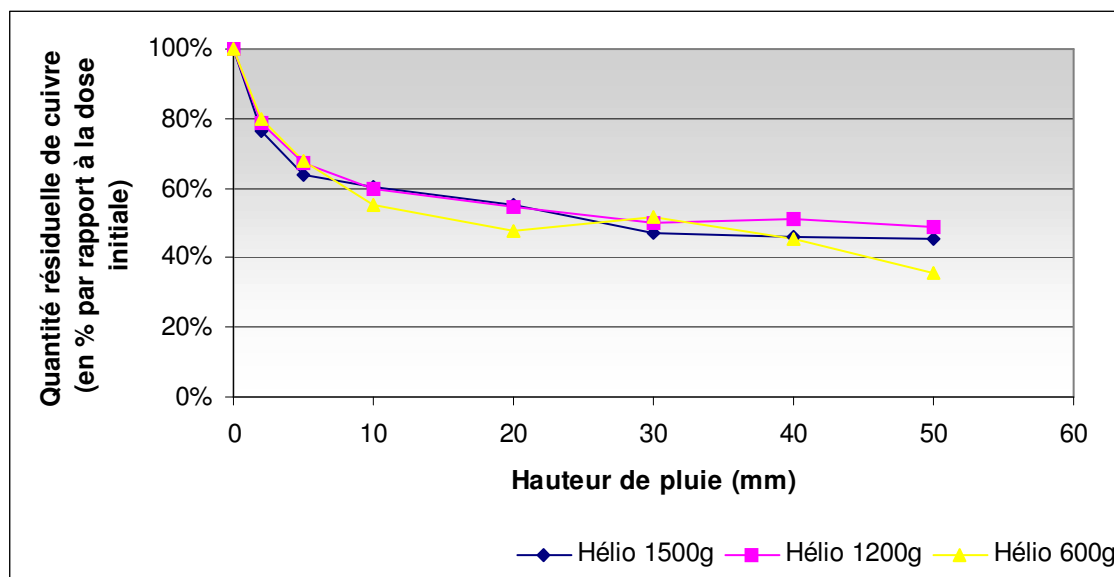


La figure 3 montre qu'il n'y a pas d'effet de la dose initiale sur le pourcentage de perte en cuivre, y compris pour des doses de 5 et 10 fois la dose homologuée. Les tests statistiques (corrélation Spearman et test de Student) sont non significatifs.

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'Héliocuisse confirme cette observation.

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

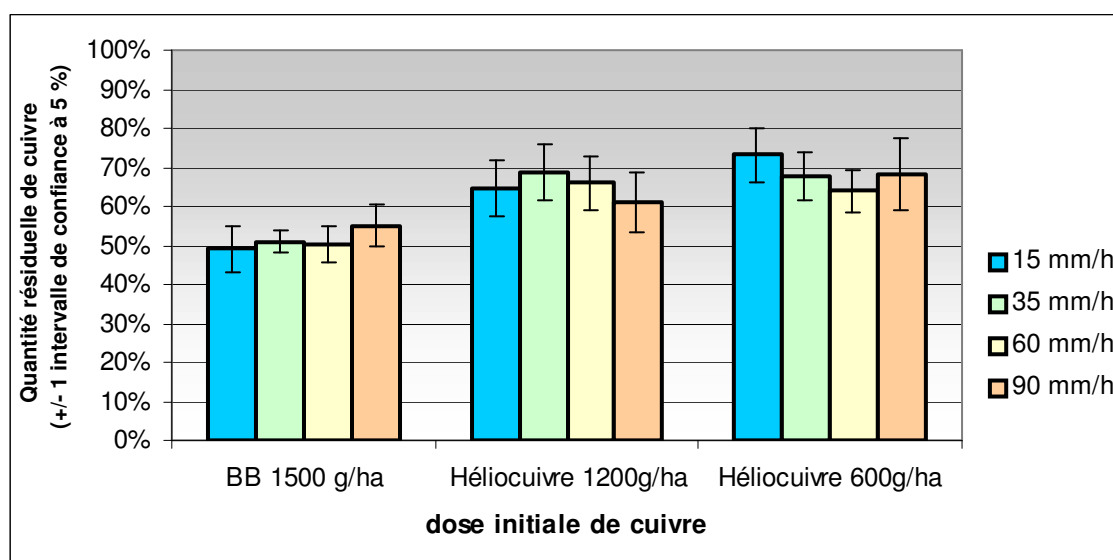
Figure 4
Cuivre résiduel selon dose initiale et hauteur d'eau



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 Héliocuire 1200 et 600g/ha.

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

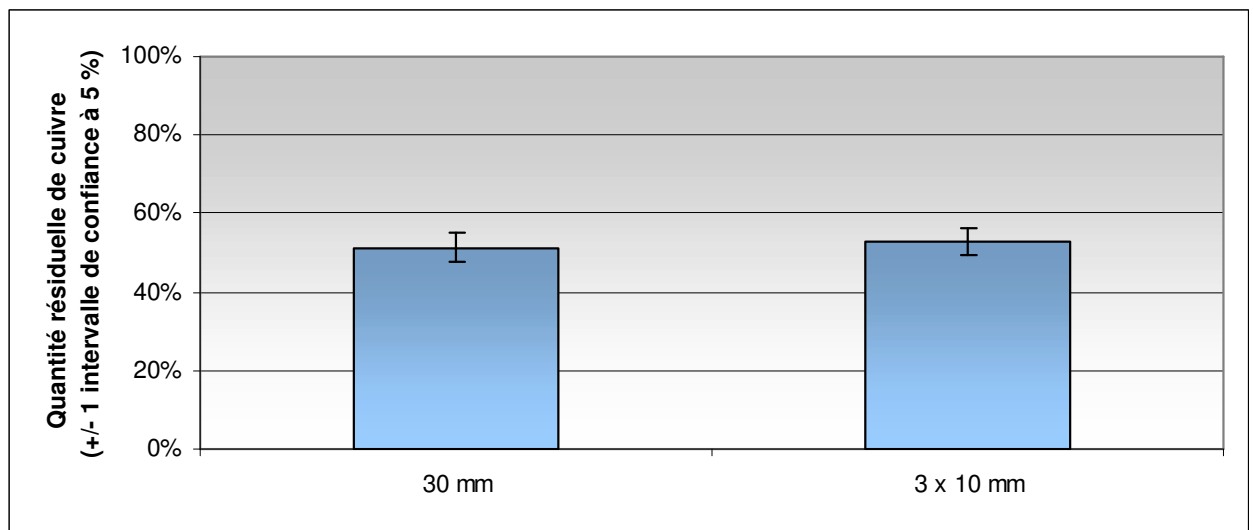


Résultats : au vu de la figure 5, **l'intensité de la pluie n'a pas d'influence sur le lessivage** des produits utilisés. Les tests statistiques (ADV) confirment ce constat mais également le fait que la BB RSR Disperss est statistiquement plus sensible au lessivage que l'Héliocuivre.

3.7. Effet de la répartition des pluies

2 séries de 30 feuilles sont traitées avec Héliocuivre 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 'au 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

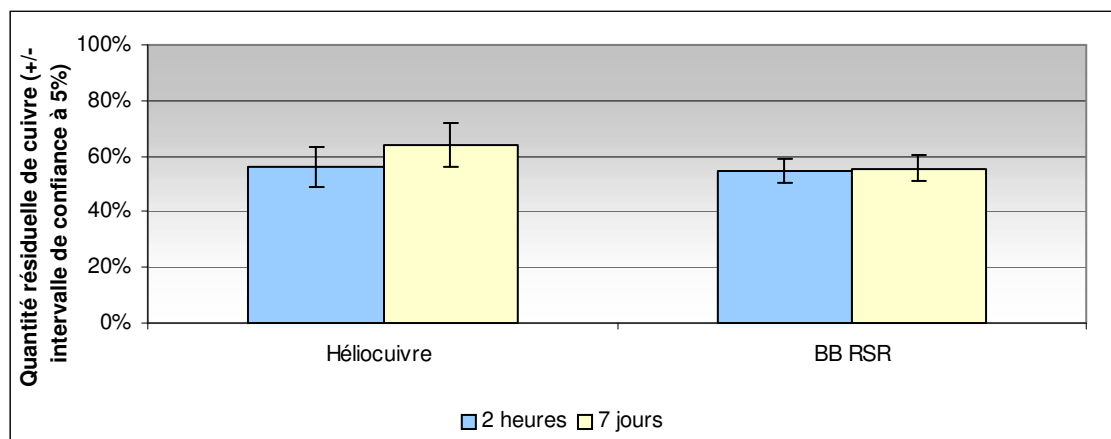


3.8. Effet de l'intervalle de temps entre traitement et lessivage

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 Héliocuivre 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 courbes « corrigées » présentées dans les figures 8 et 9.

Figure 8
Héliocuiivre : lessivage observé et calculé

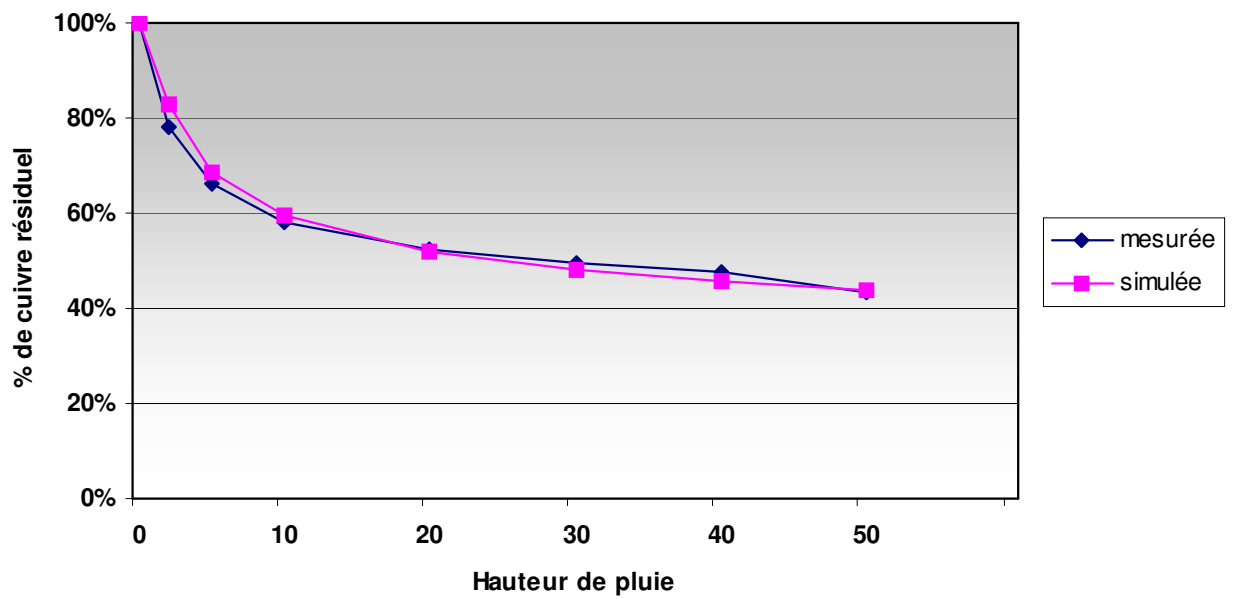
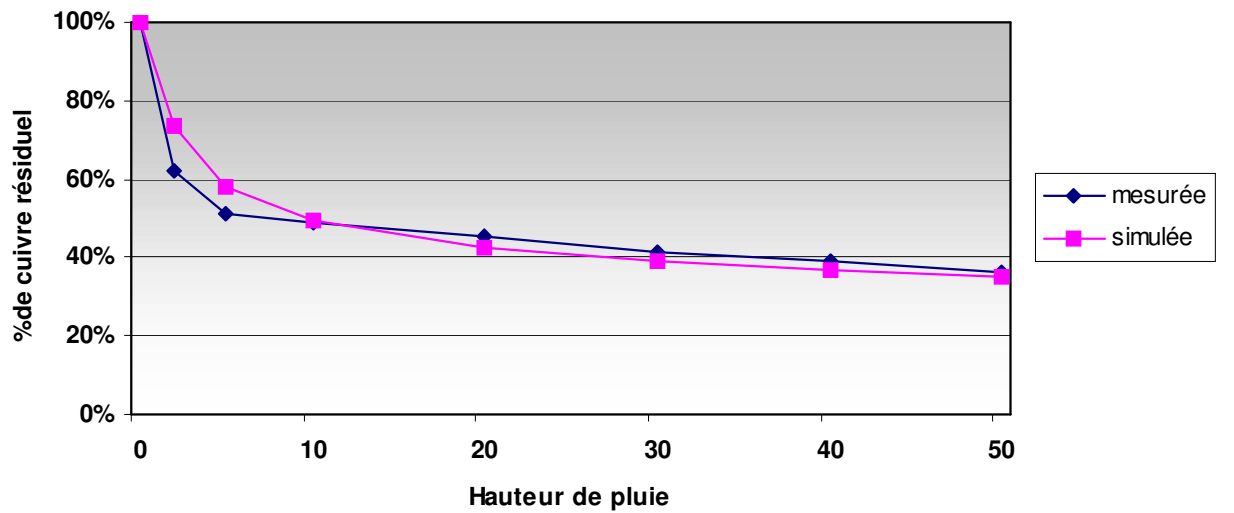


Figure 9
BB RSR Dispers : lessivage observé et calculé

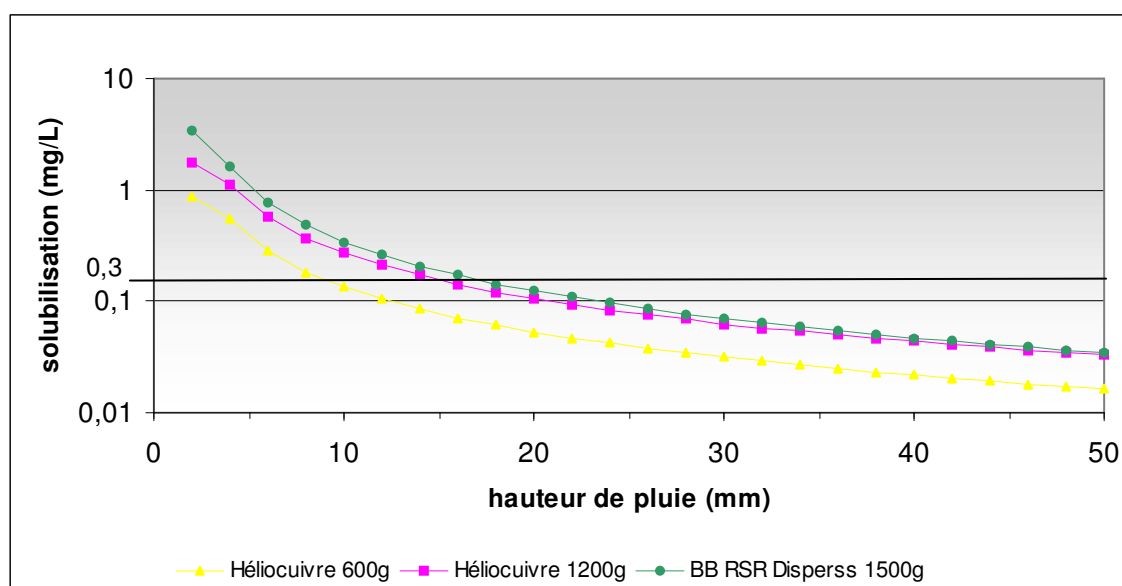


4.0. Approche théorique du seuil de renouvellement selon la dose

La modélisation des pertes par un volume d'eau connu sur une surface déterminée permet aisément le calcul d'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 des produits cupriques étudiés (Héliocuvire et BB RSR Disperss) 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 Disperss.
- Les 5 premiers mm de pluie sont ceux générant le plus de pertes, le taux de lessivage diminuant très rapidement au-delà.
- Environ 40% de la dose initiale reste 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.

Bibliographie

ASSELINE J. & VALENTIN C. 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM* XV(4), 321-349

ASSELINE J. 1997. Le simulateur de pluie type ORSTOM adapté aux zones arides. *Bull. Réseau Erosion*, 17, 272-281

WEATLEY H.G. 1973. Pesticides in the atmosphere. *In* Edwards CA (ed) Environmental pollution by pesticides. Plenum press, New York.