



Enfouissement des litières de feuilles pour réduire l'innoculum de tavelure présent en verger
Source: L. Jamar CRA-W.

Réduction du cuivre

Focus pomme de terre et arboriculture fruitière

Laurent Jamar, Vincent César et Charlotte Bataille,
Centre Wallon de Recherches agronomiques (Cellule Transversale de
Recherches Agriculture Biologique et Autonomie Protéique – CRA-W)

Le cuivre est l'un des seuls produits efficaces homologués en agriculture biologique (AB) contre le mildiou de la pomme de terre et la tavelure du pommier et du poirier. Il est également reconnu pour avoir des effets sur de nombreux autres champignons et bactéries pathogènes. Ce produit est donc très précieux pour les producteurs en AB. Cependant, il accuse une certaine toxicité envers les macro- et micro-organismes du sol et aquatiques. C'est pourquoi, dans l'attente d'une alternative aussi efficace, il doit être utilisé avec beaucoup de précaution. Ainsi, afin de limiter les conditions de toxicité dans les sols, il est nécessaire de trouver une manière de réduire les doses appliquées tout en maintenant une protection efficace de la culture.

Règlementation et propriétés du cuivre

La limite actuelle régie par le règlement européen 889/2008, est de 6 kg/ha/an. Pour les cultures pérennes, cette limite peut être dépassée si la quantité moyenne sur 5 ans ne dépasse pas 6 kg. (principe du lissage). Cependant, des limitations encore plus strictes sont envisagées dans certains Etats membres (4 kg/ha/an en France), d'autres sont déjà en vigueur en Suisse (4 kg/ha/an quel que soit le mode de production), en Allemagne et en Autriche (3 kg/ha/an) et le cuivre est même totalement interdit au Danemark et aux Pays-Bas comme produit de protection phytosanitaire.

Le cuivre est un produit de contact agissant à la surface des feuilles. Sous l'action de l'eau, l'ion Cu^{2+} va se libérer et agir sur les spores de champignons en germination. La différence entre chaque formulation (**Tableau 1**) tient dans la vitesse de libération de l'ion

Tableau 1: Les différentes formes de cuivre utilisables en culture de pomme de terre et en arboriculture biologique inscrits à l'annexe II, partie B, du règlement CE 2092/91.

Sulfate de cuivre (ex: les bouillies bordelaises)	Agréé en Belgique
Hydroxyde de cuivre	Agréé en Belgique
Oxychlorure de cuivre	Agréé en Belgique
Oxyde cuivreux	Non agréé en Belgique
Octanoate de cuivre	Non agréé en Belgique

cuivrique Cu^{2+} , la matière active des préparations. Cette libération est en effet plus ou moins rapide et/ou nécessite plus ou moins d'eau, la bouillie bordelaise étant connue pour libérer plus lentement ses ions Cu^{2+} . Tout cela va donc jouer sur le lessivage et la rapidité d'action.

Mais le cuivre est aussi un oligo-élément indispensable à la nutrition des plantes. En effet, il intervient dans le métabolisme de l'azote, la synthèse de protéines et composés de défense active des plantes. Ainsi, une carence en cuivre conduirait à un excédent d'azote soluble, attirant de ce fait les ravageurs et le développement de maladies. On le trouve, de ce fait, aussi commercialisé sous forme d'engrais foliaire.

Le cuivre est présent dans l'environnement de manière ubiquitaire, à des teneurs variant entre 2 et 120 mg/kg de matière sèche selon les différentes roches de l'écorce terrestre. Dans les sols cultivés, la teneur moyenne est de 35 mg/kg de matière sèche. La valeur maximale tolérée par l'union européenne dans les sols agricoles est de 150 mg/kg.

Dans la littérature, le seuil de nuisibilité renseigné du cuivre dans les sols est de l'ordre de 80 à 100 mg/kg de sol sec, mais cette valeur est très variable d'un sol à l'autre. En effet, sur sols très acides, une diminution de la vie microbienne peut déjà être observée à partir de 55 mg Cu/kg, mais sur sols équilibrés et normalement carbonatés, ce seuil

passé à 100 mg/kg ou plus. Selon une étude récente menée par l'INRA de Dijon, l'utilisation des herbicides a un impact plus négatif que le cuivre à ce niveau. D'autre part, toutes les pratiques visant à améliorer la fertilité (apports réguliers de matière organique, carbonatation du sol, travail du sol) sont utiles pour limiter la toxicité du cuivre (ITAB, 2013).

Selon une étude menée en Belgique (Smolders et al., 2013) ayant comme objectif d'évaluer l'effet à long terme de l'usage du cuivre dans les sols cultivés (pomme de terre, verger de pommiers et poiriers, houblon et vigne), biologiques et conventionnels, seuls 5% des sites étudiés montrent des teneurs en cuivre présentant un risque potentiel de toxicité sur les plantes, invertébrés ou microorganismes. Pour une moyenne de 52 mg Cu/kg, les concentrations en cuivre dans les parcelles traitées se situent entre 9 et 159 mg Cu/kg de sol et sont en moyenne supérieures de 34 mg Cu/kg par rapport aux parcelles non traitées correspondantes. La plus grande différence est observée en verger de poiriers (culture pérenne, 40 ans et plus) et la plus petite en pomme de terre (rotation sur 6 ans). Un apport régulier de cuivre, dans la limite des 6 kg/ha/an, n'altérerait pas significativement la vie du sol, tandis que les situations de pollution du sol seraient à attribuer aux fortes doses appliquées au cours du XXème siècle (de 20 à 25 kg/ha/an). Dans l'attente d'une alternative, les pratiques actuelles de l'AB seraient donc sans conséquences sur la vie du sol.

LES AVANCÉES DU BIO

Tableau 2: Cuivre résiduel présent sur les feuilles après un lessivage par la pluie

	En conditions contrôlées 24 mm de pluie	En verger 33 mm de pluies
Héliocuvivre	45 %	46 %
Bouillie bordelaise RSR	38 %	45 %
Kocide WG	25 %	43 %

Pour concevoir au mieux les applications de cuivre, il est nécessaire de comprendre le comportement de chaque formulation vis-à-vis du lessivage. Des essais réalisés au CRA-W, sur plantules de pommiers, ont montré qu'après 24 mm de pluie la quantité résiduelle de cuivre sur les feuilles était de 45, 38 et 25 % de la dose initiale pour respectivement l'Héliocuvivre, la bouillie bordelaise et le Kocide (Tableau 2). En verger de pommiers, traité avec 300 g de cuivre par ha, il a été observé qu'après 33 mm de pluie environ 45 % du cuivre était toujours présent sur les feuilles, quelle que soit la formulation utilisée. Une fraction importante du cuivre étant assez rapidement solubilisée, ce sont les 10 premiers mm de pluie qui génèrent le plus de pertes et c'est la mise au point de formulations libérant plus progressivement le cuivre qui doit être privilégiée. La modélisation du lessivage de l'Héliocuvivre à la dose de 600 g Cu métal/ha permet d'estimer le seuil de renouvellement à 15-20 mm de pluie.

Méthodes agronomiques permettant de réduire la pression des maladies

Mildiou de la pomme de terre

Comme la plupart des maladies, le mildiou est favorisé par des conditions humides. Choisir des parcelles aérées, réduire la densité de plantation, orienter les buttes dans le sens du vent dominant, éliminer les adventices envahissantes, irriguer le matin, ... permettent par conséquent d'en limiter le développement.

Un écartement inter-buttes plus important (0,90 m) facilite la protection contre le mildiou et les opérations de désherbage. Cela améliore également la qualité des tubercules sans générer de diminution de rendement par rapport à un écartement de 0,75 m. Une plantation profonde réduira les risques de contamination des tubercules par le mildiou mais pourra aussi augmenter le risque de développement de bactérioses en sols à drainage peu favorable.

Une rotation de 5 à 7 ans intégrant 1 à 3 ans de prairies temporaires est recommandée et il est à éviter d'intégrer dans la rotation des cultures sensibles aux parasites de la pomme de terre (carotte pour les bactérioses, bet-

terave rouge pour les gales, tomate pour le mildiou...).

Le mildiou peut survivre tout l'hiver dans des tubercules «oubliés», il est donc conseillé d'implanter la culture dans une parcelle propre, sans repousses de pommes de terre ni tas de déchets.

La recherche de variétés résistantes pour l'AB s'oriente vers des variétés à résistance polygénique, partielle et non spécifique, beaucoup plus difficilement contournée par le pathogène. Depuis 2005, le CRA-W a redémarré un programme de création variétale orienté vers la résistance au mildiou. A partir de 2014, certains clones issus de ce programme d'amélioration seront mis à disposition des producteurs de plants de pomme de terre pour évaluation en conditions locales. Une base de données, consultable sur www.organicxseeds.be, reprend les semences et plants de pommes de terre biologiques disponibles sur le territoire Belge.

Les variétés plus précoces ou les plantations hâtives permettent de limiter la coïncidence entre la période de risque important en mildiou et la période de croissance active de la plante. Elles exigent, dans nos régions, une protection contre le gel.

Par la pré-germination il est possible de raccourcir le cycle de la culture. Une culture bien développée au moment où survient l'attaque

de mildiou assure déjà un certain niveau de rendement (Vetab, 2005).

La fertilisation azotée est favorable au développement du mildiou et doit être pensée en fonction des besoins de la culture.

Les services du CARAH, en partenariat avec le CRA-W et l'asbl PAMESEB, sont les prescripteurs des avertissements en Wallonie. Sur base des conditions climatiques et des prévisions météo, un modèle épidémiologique prévoit l'évolution du pathogène et prédit le moment précis où les cultures doivent être protégées. Depuis 2013, un site internet, www.avertissementspommesdeterre.be, permet également aux abonnés de visualiser les données météos et les courbes d'incubation du pathogène. Il fournit également l'avertissement pour les 3 stations météos les plus proches. Ces modèles sont en passe d'être adaptés au mode de production AB où intervenir selon les avertissements permet de réduire les doses de cuivre de 0,4 à 0,8 kg Cu métal/ha (Vetab, 2005).

Tavelure des pommes et poires

Les pratiques sanitaires, qui visent à réduire l'inoculum primaire présent dans la litière de feuilles tombées au sol, réduisent significativement les infections de tavelure. Les essais menés durant deux années au CRA-W ont montré que le ramassage ou l'enfouissement des feuilles en automne réduisent de 75 % les vols d'ascospores et les infections de tavelure sur fruits.

Le choix de variétés tolérantes à la tavelure permet également de réduire l'usage du cuivre. Ce choix n'est pas toujours possible, notamment dans le cas de vergers en place convertis à l'AB. Par ailleurs, les variétés tolérantes à la tavelure ne sont pas forcément adaptées à toutes les conditions



Témoin sans intervention.
Source: L. Jamar CRA-W.



Enfouissement des litières de feuilles pour réduire l'inoculum de tavelure présent en verger
Source: L. Jamar CRA-W

pédo-climatiques, elles peuvent aussi présenter des sensibilités rédhibitoires à d'autres maladies ou ravageurs. Les variétés de pommiers et poiriers tolérantes à la tavelure, adaptées à nos conditions et à la demande commerciale, sont encore assez rares et le programme d'amélioration du CRA-W en propose de nouvelles. Le guide TransBioFruit (Jamar et al., 2013) inclut des recommandations de variétés de pommes et poires pour l'AB.

Un verger permettant une bonne circulation de l'air est essentiel pour limiter les dégâts de tavelure (densité, orientation, site ventilé, versant, taille, ...). L'apport de quantité importante d'azote augmente les risques

d'infection du pathogène.

Le positionnement des traitements est la clé pour maîtriser la tavelure et l'usage de produits de protection. Puisque, pour germer, le champignon a besoin d'un film d'eau, la protection phytosanitaire doit être ajustée aux conditions climatiques définies, si possible, au niveau du verger (ces conditions peuvent être très différentes d'un verger à l'autre). Deux outils sont essentiels: une station météo qui enregistre les données localement heure par heure et un modèle de simulation des infections qui analyse les données météos enregistrées.

Les produits de protection utilisables en AB

sont des produits de contact qui, agissant à la surface des feuilles, doivent être appliqués précisément pendant la phase de germination des spores qui dure 320 degré-heures (produit de la température moyenne horaire par le nombre d'heures comptées). Si le traitement est fait plus tard, il sera inefficace, car le champignon sera sous la cuticule. Les traitements préventifs, quant à eux, peuvent se révéler inutiles si le risque d'infection ne se confirme pas ou si l'infection n'apparaît qu'après une pluie qui a lessivé le produit. Tous les essais menés au CRA-W pendant 8 ans ont montré l'efficacité de cette stratégie, tout en réduisant les doses (300 à 600 g de Cu métal/ha/traitement) et la fréquence des traitements par rapport à la stratégie habituellement appliquée en verger biologique (Jamar et al., 2013).

Le service d'avertissement pour l'arboriculture du GAWI asbl (www.asblgawi.com) se base sur un réseau de stations iMétos de la firme Newfarm (www.newfarm-agriconsult.com). L'intérêt de ces stations provient de leur capteur d'humectation, capable de simuler le degré d'humectation du feuillage, et de leur capacité à fournir les données en temps réel, heure par heure, aux producteurs. Sous l'impulsion du CRA-W, ces services d'avertissement ont intégré plus finement les données climatiques et les stratégies adaptées aux conditions de l'AB en Wallonie.

Techniques d'application des produits

La Cellule Agriculture biologique et Autonomie protéique du CRA-W (BioPro) a lancé en 2013 et répète cette année des essais visant à optimiser l'utilisation du cuivre pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre, par pulvérisations localisées sur les rangs et ce, jusqu'au stade recouvrement.

Tableau 3: Produits alternatifs au cuivre identifiés comme efficaces contre le mildiou ou la tavelure

Produits	Agréation			Efficacité*		Remarques
	Annexe 1 CE/91/414	Annexe 2 CE/889/08	Be	Mildiou	Tavelure	
Soufre mouillable	Oui	Oui	Oui	O	+++	Pas efficace si T* < 10°C
Bouillie sulfocalcique (Polysulfure de Ca)	Oui	Oui	Non	O	+++	Ecotoxicité Action curative
Ecorce orange + Bore (engrais foliaire)	-	-	-	?	+	Mat. act. = Terpènes Coût élevé
Argile sulfurée + prêle	Oui	Non	Non	O	+	Phytotoxicité faible Mat. act. = ions Al+++
Bicarbonate de potassium (KHCO ₃)	Oui	Oui	Oui	O	+	Facilement lessivable Peu phytotoxique
Permanganate de potassium (KMnO ₄)	Oui	Oui	Non	?	++	Phytotoxicité forte Corosif
Phosphite de potassium (KH ₂ PO ₃)	Oui	Non	Non	+++	+++	Produit de synthèse Voir encadré

*O = pas efficace ; + = moyennement efficace, ++ = efficace, +++ = très efficace ; ? = pas testé

LES AVANCÉES DU BIO

Différents essais ont été entrepris au CRA-W afin d'étudier l'intérêt du pulvérisateur tunnel (pulvérisation centripète) par rapport à l'atomiseur standard (pulvérisation centrifuge) en verger de pommiers. Grâce à un système de récupération et recyclage des bouillies excédentaires, le pulvérisateur tunnel a permis une économie de produit de l'ordre de 30 % pour une même quantité de produit appliquée dans la canopée (Jamar, 2011).

Produits alternatifs au cuivre

Les nombreuses recherches et expérimentations, menées depuis 10 ans en Belgique et en Europe sur les alternatives au cuivre, montrent qu'il n'existe pas, à ce jour, de matière active compatible avec le cahier des charges AB, capable de rivaliser avec le cuivre en termes d'efficacité (Itab, 2013). Parmi 60 substances alternatives au cuivre expérimentées au CRA-W sur le mildiou de la pomme de terre ou sur la tavelure du pommier, seules quelques-unes ont été identifiées comme efficaces (**Tableau 3**).

La menace des phosphonates

Font partie des points controversés abordés au prochain Scof (Standing Comity of organic farming), organe consultatif de la Commission européenne, auquel participent les représentants des ministères de l'agriculture de tous les Etats membres: les demandes de l'Allemagne et de l'Autriche – pour compenser une limitation des doses de cuivre à 3 kg/ha/an – d'ajouter des phosphonates à la liste positive des intrants autorisés en bio. Phosphonate, à ne pas confondre avec phosphate (PO_4^{3-}), désigne une famille de produits dérivés de l'acide phosphoreux (H_3PO_3): soit de simples sels comme le phosphite de potassium (K_2HPO_3), soit des molécules organiques plus complexes de types C- $PO(OH)_2$ ou C- $PO(OR)_2$, appelés aussi organo-phosphorés. Les phosphonates visés, sont des molécules de synthèse, ce qui est contraire aux principes de base du cahier des charges de l'AB. D'autre part, elles dérivent de la même molécule que l'éthyl-phosphonate d'aluminium (Fosetyl d'aluminium), autorisé comme fongicide conventionnel, et il ne sera pas possible de les distinguer après utilisation. Enfin, leur utilisation laisse des résidus, de l'acide phosphoreux principalement. L'efficacité de ces molécules a été démontrée par le CRA-W tant sur mildiou que sur tavelure et s'explique par leur caractère systémique, c'est-à-dire qu'elles sont absorbées par les feuilles et par les racines.

Conclusion

Les enquêtes réalisées en Belgique montrent que la quantité annuelle maximale de 4 kg/ha/an recommandée par certains pays de l'union ne permettrait pas, dans l'état actuel des choses et 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 expérimentations nationales et européennes menées depuis 10 ans sur la recherche d'alternatives au cuivre montrent que:

- il n'existe pas de matière active compatible avec le cahier des charges de l'agriculture biologique, susceptible de se substituer au cuivre ou de réduire son utilisation dans la limite des 4 kg/ha/an;
- la limitation à 4 kg/ha/an d'apport de cuivre métal n'est pas compatible avec les besoins de renouvellement de traitements montrés par les études sur le lessivage et l'analyse de la pluviométrie; les rares substances qui permettraient de réduire les quantités apportées, comme par exemple la bouillie sulfocalcique (BSC), ne possèdent pas d'autorisation de mise sur le marché en Belgique.

Les études sur la biodiversité des parcelles en production biologique montrent que, malgré l'usage du cuivre, les sols présentent des quantités et diversités d'espèces largement supérieures à celles des systèmes en production conventionnelle et intégrée. Les pratiques des producteurs en AB (fertilisation organique, travail du sol, enherbement,...) permettent d'atténuer les effets dépressifs du cuivre et devraient être pris en compte pour déterminer les quantités limites.

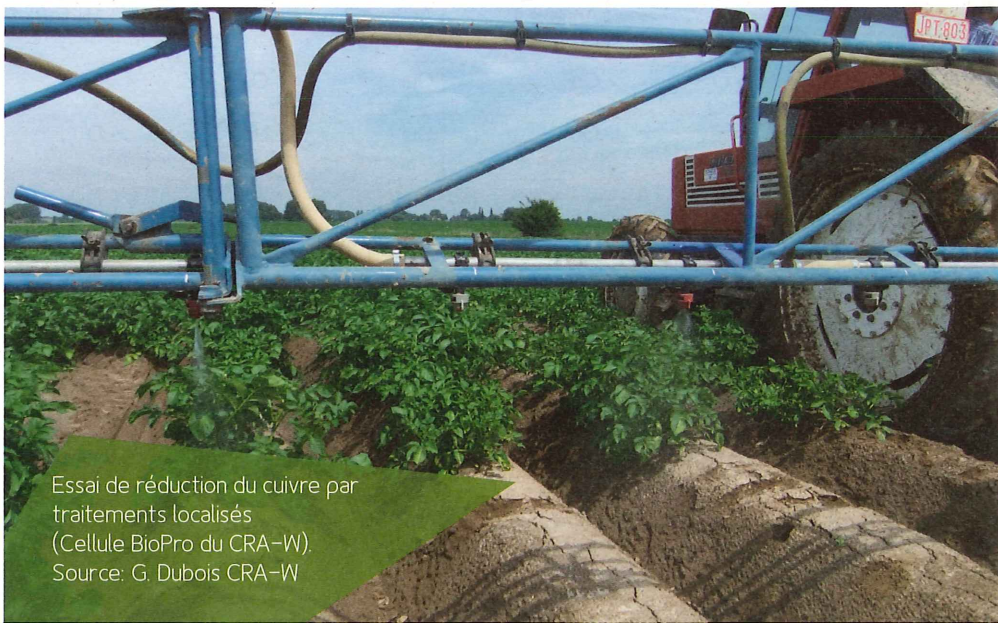
La Cellule Agriculture biologique et Autonomie protéique du CRA-W (BioPro) a lancé cette année plusieurs essais visant à optimiser l'utilisation du cuivre pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre ou la tavelure

du pommier: (1) réduction des doses de cuivre en pomme de terre par pulvérisation localisée sur les rangs, (2) évaluation d'efficacité de formulations du cuivre sur les deux cultures, et (3) évaluation de variétés tolérantes aux maladies. Par ailleurs, la recherche et la création de variétés tolérantes aux maladies, à travers différents programmes d'amélioration végétale, sont poursuivis au sein du CRA-W, que cela concerne la culture de la pomme de terre ou l'arboriculture fruitière.

Bibliographie

- INERIS, 2010. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France: cuivre, composés et alliages, 82 p., <http://www.ineris.fr/substances/fr/>
- ITAB, 2013. Argumentaire pour le maintien d'une dose efficace de cuivre en agriculture. <http://www.itab.asso.fr/> le 25/03/2014. 20 p.
- Jamar L., 2011. Innovative strategies for the control of apple scab in organic apple production (Thèse de doctorat), <http://orbi.ulg.ac.be>. University of Liege – Gembloux Agro-Bio Tech, 188 p.
- Jamar et al., 2013. Les principales clés du verger bio transfrontalier, Ed. Interreg IV TransBioFruit, p. 84, <http://www.cra.wallonie.be/fr/52/brochures-et-dossiers/680>
- VETAB, 2005. Guide de l'Agriculture Biologique en Grandes Cultures, Interreg III, 44 p., http://www.cebio.be/documents_telechargeables/guide_cplt.pdf
- Smolders E., Moors K., Oorts K., 2013. Surveying soils for total soil Cu in Belgium. Final report to the EUCuTF. K.U. Leuven and Arche-Consulting Gent, p. 11

Contact: ljamar@cra.wallonie.be
Unité Amélioration des Espèces & Biodiversité. Cellule Agriculture biologique et Autonomie protéique



Essai de réduction du cuivre par traitements localisés (Cellule BioPro du CRA-W).
Source: G. Dubois CRA-W