

Quelles alternatives au cuivre ?

Bilan du projet européen CO-FREE

Claude-Eric Parveaud



This project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement no 289497.

The ITAB logo, Institut Technique de l'Agriculture Biologique, in green and black text.A photograph of a field with green plants and purple flowers.

26 & 27 avril 2016
à Paris

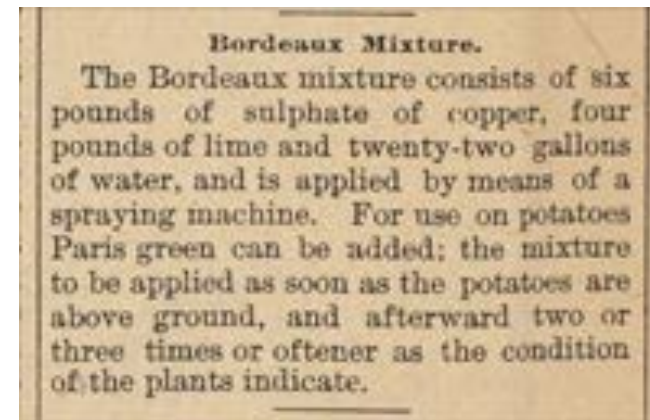
Journées PNPP *Réglementation, expérimentation, usages...*

Substances naturelles en production végétale

The ASTREA logo, Institut National de la Recherche Agronomique, in green and black text.The Bio-France logo, in red and black text.

Quelques éléments sur le cuivre

- Naturellement présent
 - Air : 5-50 ng/m³
 - Eau douce / de mer : 5-30 µg/L - 0,5-12 µg/L
 - Sol : 2-250 mg/kg
- Cuivre utilisé depuis la fin du 19^{ème} siècle en protection des cultures
 - vigne, pomme de terre
- Présence dans les sols agricoles à des concentrations très variables : 5-1030mg/kg
- Toxicité dépend
 - cuivre disponible (EDTA)
 - pH
- Les ions Cu²⁺
 - Toxicité sur micro-organismes même à faible dose
 - Toxicité lié à une activité multi-site
- Rapport coût / efficacité très bon ... la concurrence est rude !



[Ann Arbor Argus, June 3, 1892](http://www.oldnews.aadl.org)
www.oldnews.aadl.org

Quelques éléments sur le cuivre

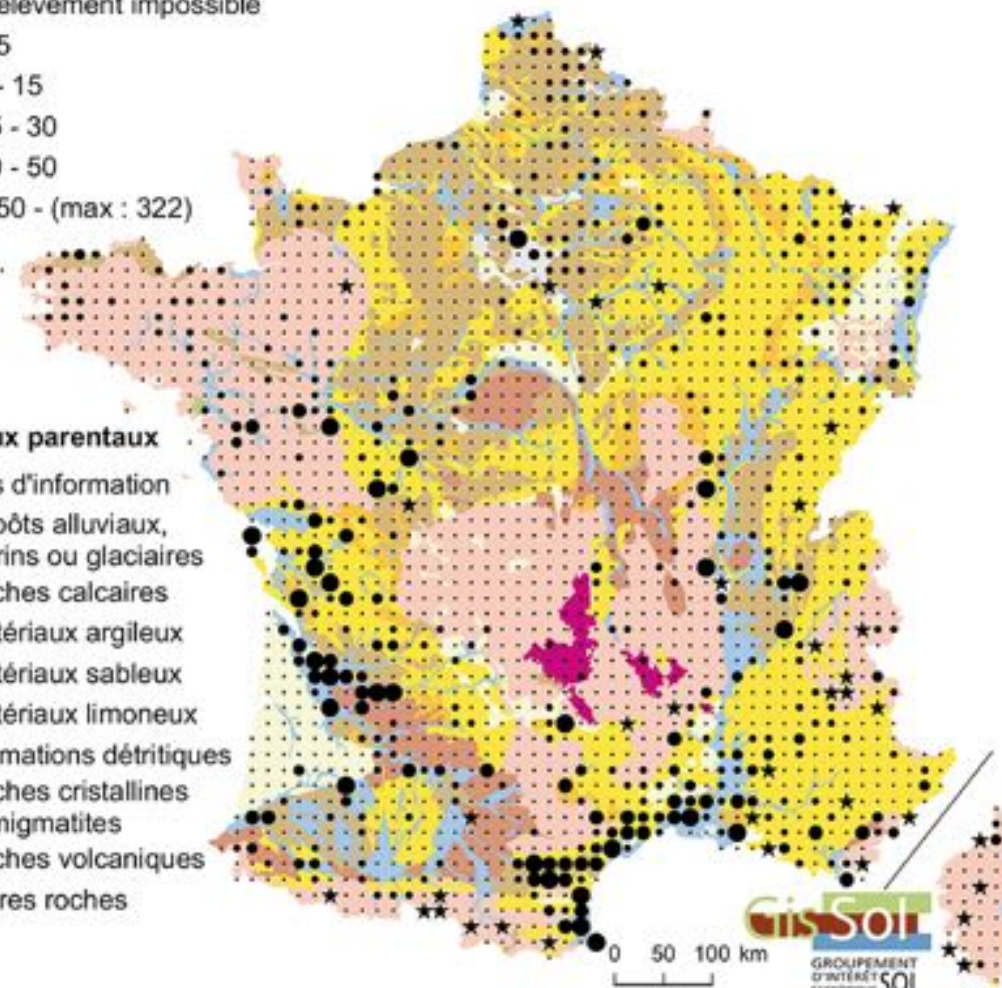
Les teneurs en cuivre EDTA des horizons de surface (0-30 cm) des sols de France

**Teneur en cuivre extractible
en mg.kg^{-1}**

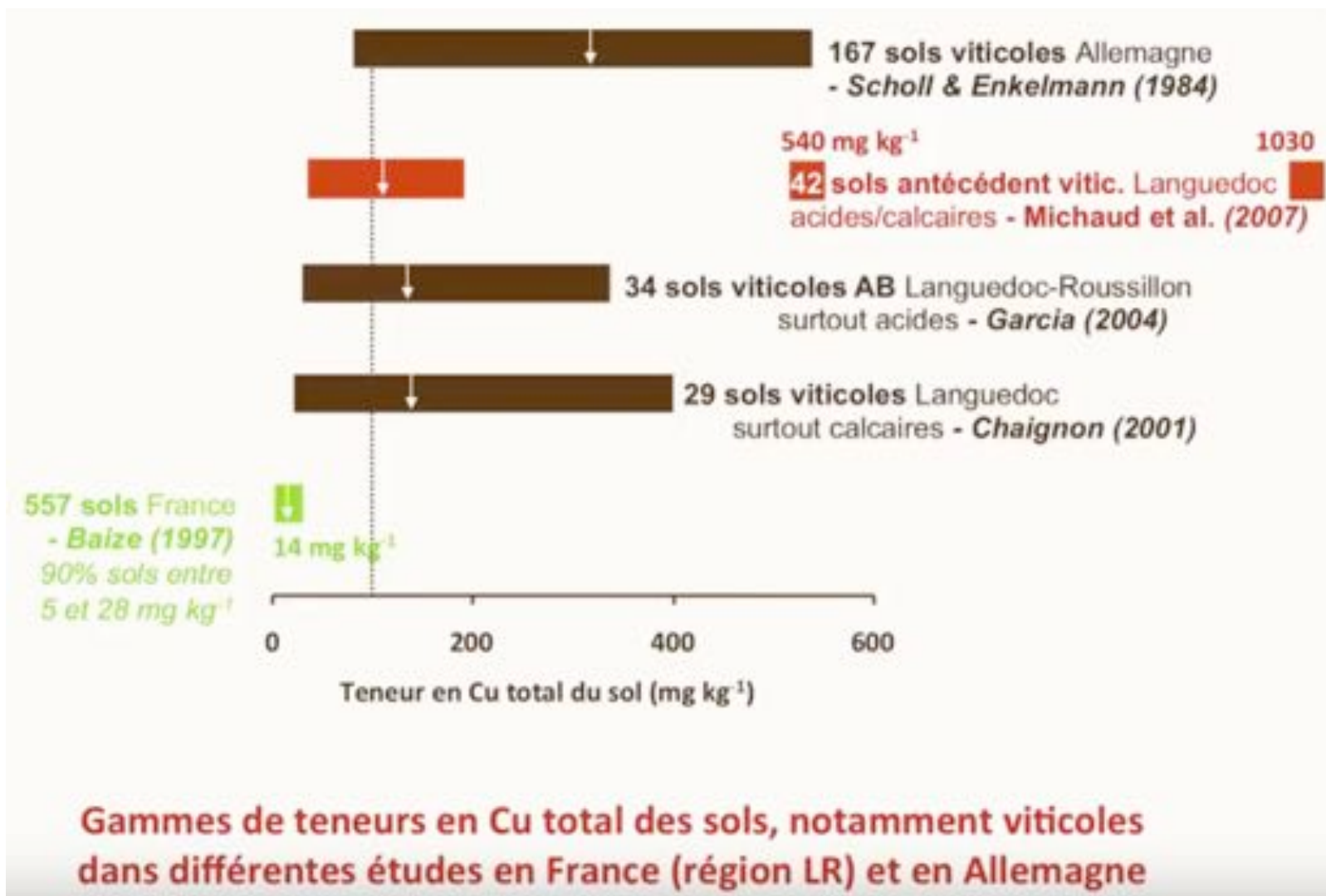
- ★ prélèvement impossible
- < 5
- 5 - 15
- 15 - 30
- 30 - 50
- > 50 - (max : 322)

Matériaux parentaux

- Pas d'information
- Dépôts alluviaux, marins ou glaciaires
- Roches calcaires
- Matériaux argileux
- Matériaux sableux
- Matériaux limoneux
- Formations détritiques
- Roches cristallines et migmatites
- Roches volcaniques
- Autres roches



Quelques éléments sur le cuivre



Source : P. Hinsinger (INRA Montpellier, UMR Eco&Sols)

→ <https://www.supagro.fr/wordpress/agrosys/2016/03/13/colloque-que-sait-on-aujourd'hui-de-l'impact-du-cuivre-et-des-produits-phytosanitaires-sur-la-vie-des-sols/>

Réglementation européenne et nationale

Niveau européen

→ No 889/2008 : 6 kg de cuivre métal / ha / an

Niveau national – France

→ AMM : 6 kg de cuivre métal / ha / an

→ ANSES suggère de réduire à 4 kg / ha / an

Niveau national - autres pays européens

→ Allemagne, Suisse : 3 kg (4 kg) / ha / an

→ Allemagne / Demeter : 0 kg en protection des cultures

→ Danemark, Norvège, Hollande : 0 kg en protection des cultures

➔ Cu : partie intégrante de la protection des cultures dans la plupart des pays européens

➔ Cu : homologué en Europe jusqu'en 2018

➔ Après 2018 : « with or without you ? »

➔ Besoin de solutions pour réduire son usage ou le remplacer

Alternatives au cuivre : projets nationaux



Avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
«développement agricole et rural»



Projet 4P (2010-2012) : Protection des plantes par les plantes - Projet CASDAR – ITAB

→ Efficacité in vitro, résultats partiels au champ

Action \ Plante	Absinthe	Armoise	Consoude	Prêle	Saule
Antigerminatif	☹	☹	☹	☹	☹
Curatif	X	X	X	X	X
Préventif	☹	X	X	☹	☹

Efficacité des PNPP contre *P.viticola* ; ■ Efficacité avérée; ■ Efficacité légère ; X Sans efficacité



Avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
«développement agricole et rural»



Projet Huiles essentielles (2013-2015) : Evaluation de l'intérêt de l'utilisation d'huiles essentielles dans des stratégies de protection des cultures - Projet CASDAR – ITAB

→ ce matin !

... et de très nombreux projets nationaux et régionaux



Blight MOP (1998-2002) : Approche système pour la gestion du mildiou de la pomme de terre biologique en Europe - Projet FP 5 – Suisse
→ Réduction possible des doses de cuivre de 16-50% si utilisation de matériel végétal adapté



REPCO (2002-2006) : Remplacement du cuivre dans la production de raisin et de pomme biologique en Europe - Projet FP 6 – Hollande
→ 128 produits alternatifs testés
→ Efficacité faible (max 30-40%)
→ Difficulté : stabilité ; persistance d'action ; sensibilité lessivage



Are there alternatives to copper for controlling grapevine downy mildew in organic viticulture?

Silvia Dagostin^{a,*}, Hans-Jakob Schärer^b, Ilaria Pertot^a, Lucius Tamm^b

^a Fondazione Edmund Mach, IASMA Research and Innovation Center, Via Mach 1, S. Michele all'Adige, Trento 38010, Italy
^b Research Institute of Organic Agriculture FRO, Ackerstrasse, Frick 5070, Switzerland



Tested products overview

Chitosan

Hydrolyzed proteins, milk proteins, whey

Lactoperoxidase system

Propolis

Microorganisms: *Trichoderma* spp., *Fusarium* spp., *Bacillus* spp., *Pseudomonas* sp.

Homeopathic preparations

Zeolite, clays

Potassium bicarbonate, calcium carbonate, kaolin, aluminium oxide, silicium oxide

Rhamnolipid biosurfactant, fatty acids, saponin *Brassica napus* oil

Lignin derivatives

Compost tea of humus extracts

Resveratrol

Essential oils or extracts of *Melaleuca alternifolia*, *Thymbra spicata*, *Eugenia caryophyllata*, *Polygonum aviculare*, *Glycyrrhiza glabra*, *Salvia officinalis*, orange oil, limonene, *Moringa oleifera*, *Yucca schidigera*, *Abies sibirica*, *Quercus* sp., *Quillaja saponaria*, *Chenopodium quinoa*, *Rheum rhabarbarum*, *Inula viscosa*, *Solidago virgaurea*, *Salix alba*, *Camellia oleifera*, *C. quinoa*, *Thymus* sp., *Achillea millefolium*, *Urtica dioica*

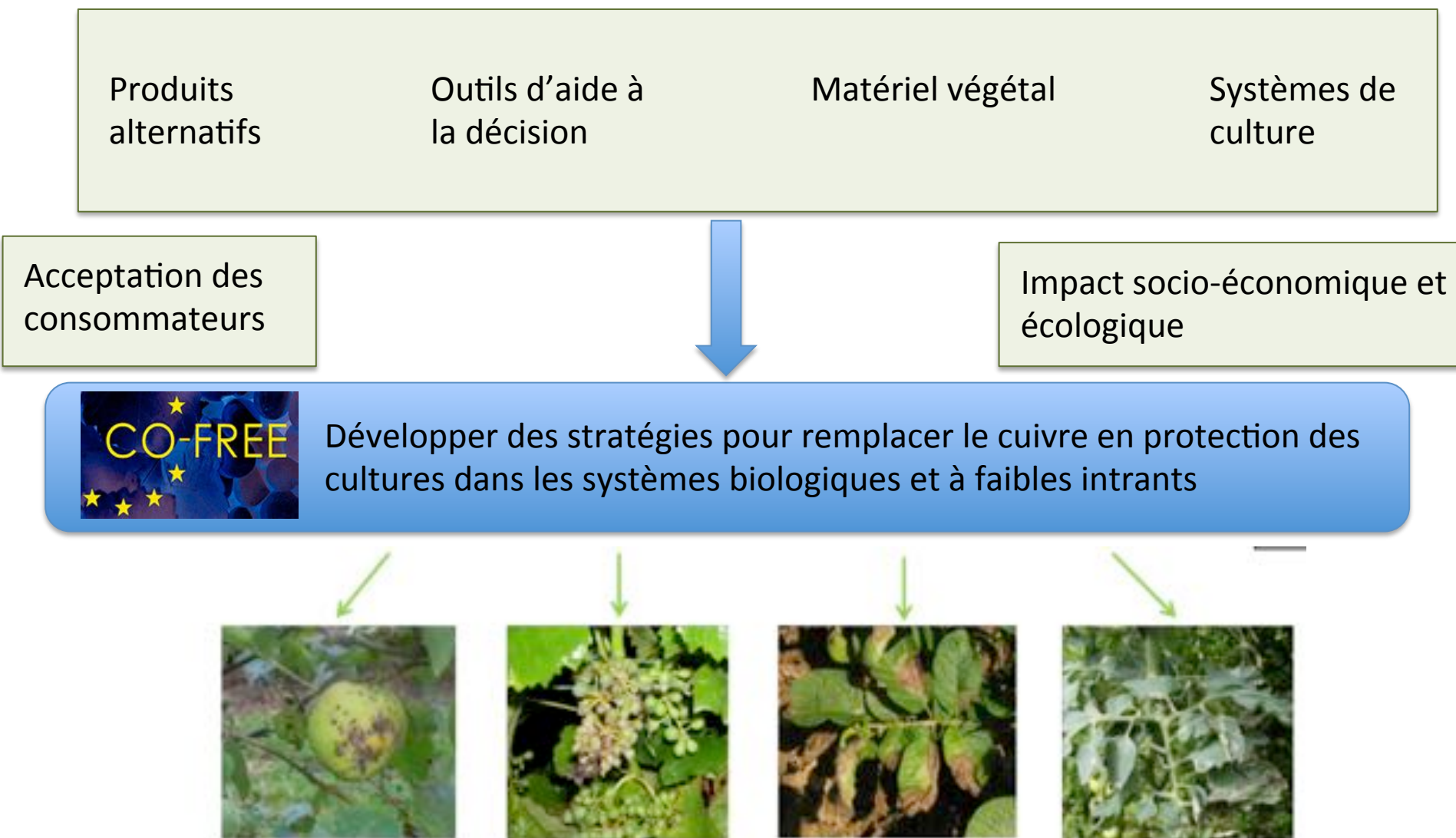
Ascophyllum nodosum (seaweed)

Electrolyzed acid water

Ozonated water + UV irradiation

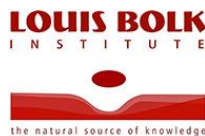
Beta-aminobutyric acid

CO-FREE : développer des stratégies alternatives au cuivre



CO-FREE : responsable du projet & partenaires

Responsable du projet : **Annegret Schmitt**, Julius Kühn-Institut
Coordinateur adjoint : **Lucius Tamm**, FiBL
20 partenaires, 10 pays



CO-FREE : essais ITAB / GRAB / IFV / SONITO



Claude-Eric Parveaud



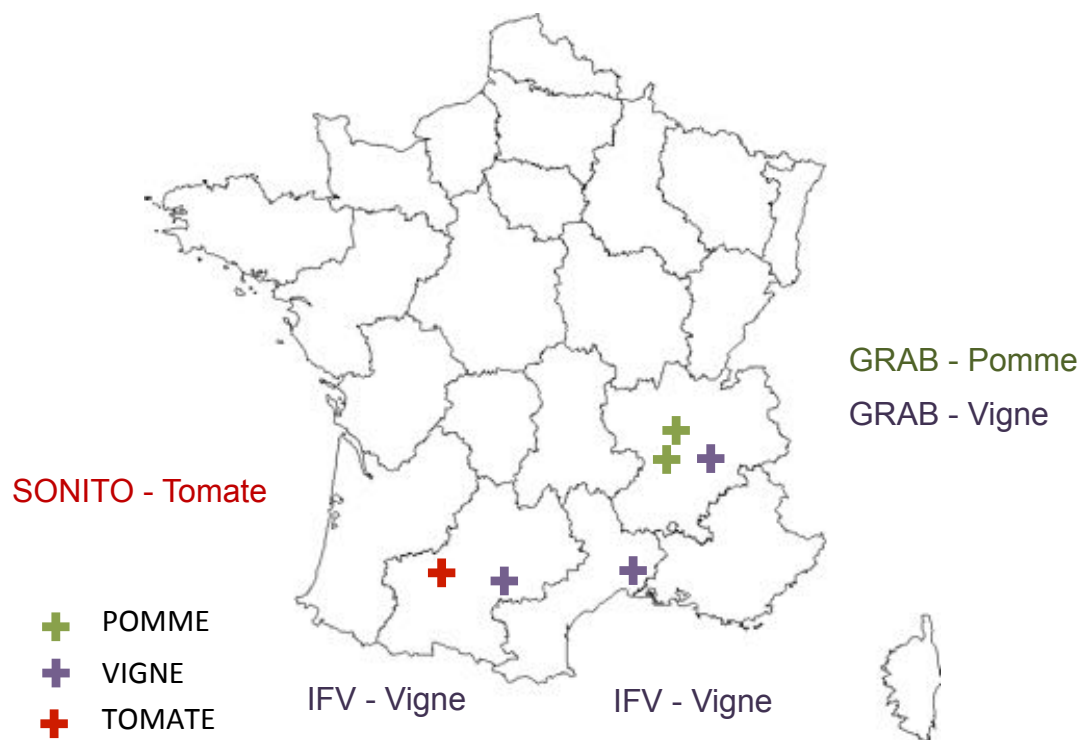
Claude-Eric Parveaud
Johanna Brenner



Bernard Molot
Eric Serrano
Audrey Petit



Robert Giovinazzo



CO-FREE : nature des produits testés

> 20 candidats (matière active x formulation) à base de

- micro-organismes

Trichoderma atroviride

Lysobacter spp

Cladosporium spp

Aneurinibacillus migulanus

> Nombre limité de produits alternatifs testés en plein champ

> Optimisation des produits (formulation) et leur mode d'application (mode d'action, technique d'application) : pas toujours finalisée lors des essais en plein champ

- protéines

- levures

- oligosaccharides complexes

- nématodes

bactéries *Xenorhabdus bovienii* produit par des nématodes *Steinernema*

- plantes ou algues

sauge

réglisse

PLEX

algues

CO-FREE : résultats expérimentaux tavelure/pomme (FR)



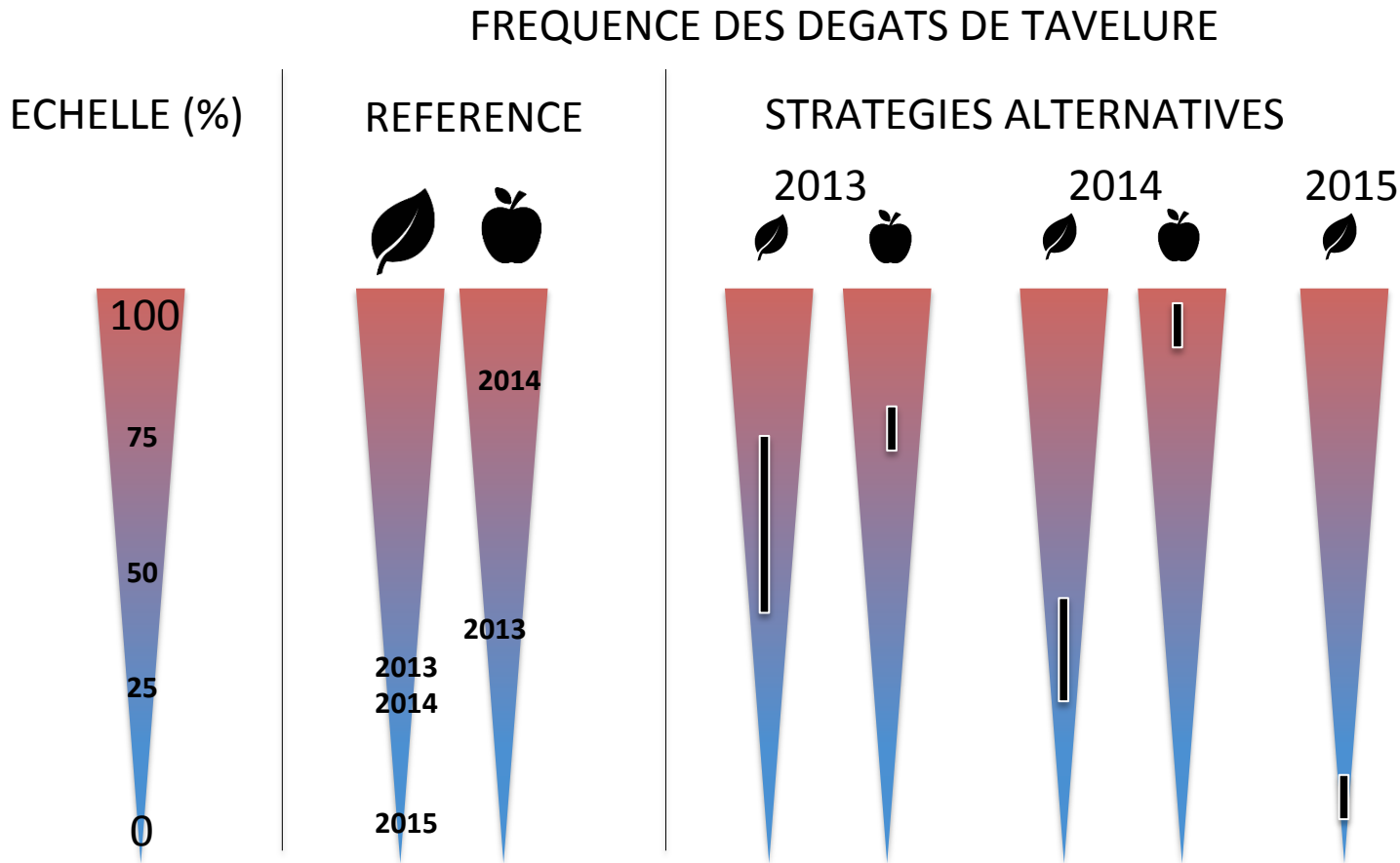
CO-FREE : résultats expérimentaux tavelure/pomme (FR)

Année	Parcelle	Pression maladie	Type essai	Nb produits testés	Référence : Cu (kg/ha/saison)
2013	producteur	forte	efficacité stratégie	4 1	2.8
2014	producteur	forte	efficacité stratégie	1 3	4.3
2015	expérimentale	nulle	stratégie	2	7.5

Efficacité = produits alternatifs seuls

Stratégie = produits seuls, pas de cuivre

CO-FREE : résultats expérimentaux tavelure/pomme (FR)



Forte pression

- Pas d'effet des éliciteurs testés
- Difficulté de rattraper un développement en période de contamination primaire
- Stratégie testée la plus efficace : bicarbonate de potassium en début de saison

Faible pression

- Pas d'effet des éliciteurs testés

CO-FREE : résultats expérimentaux mildiou/vigne (FR)



CO-FREE : résultats expérimentaux mildiou/vigne (FR)

Année	Partenaire	Parcelle	Inoculation	Pression maladie	Type essai	Nb produits testés	Référence : Cu (kg/ha/saison)
2013	GRAB	expérimentale	non	fort	E + S	4	1.6
2013	IFV	expérimentale	oui	fort	S	2	2.8
2014	GRAB	expérimentale	oui	fort	E + S	4	3.2
2014	IFV	expérimentale	oui	moyen	E + S	1	6.0
2015	GRAB	expérimentale	oui	faible	S	4	2.8
2015	IFV	expérimentale	oui	fort	S	2	7.5

E = Efficacité = produits alternatifs seuls

S = Stratégie = produits seuls + ½ dose de Cu

CO-FREE : résultats expérimentaux mildiou/vigne (FR)

Fréquence de mildiou sur feuille et grappes avant la vendange

GRAB (feuille/grappe)	2013	2014	2015
Pression mildiou	forte	forte	faible
Non traité	100 / 80	100 / 68	63 / 0
Référence	40 / 20	32 / 20	32 / 0
Produits testés	64-100 / 30-90	42-100 / 25-40	14-55 / 0

IFV (feuille/grappe)	2013	2014	2015
Pression mildiou	forte	moyenne	forte
Non traité	98 / 100	73 / 100	89 / 100
Référence	58 / 62	22 / 100	78 / 100
Produits testés	62-90 / 64-100	44-73 / 100	83-84 / 100

Lorsque des effets significatifs ont été observés

- Sur feuille uniquement
- durant la saison, pas de différence en fin de saison

Lorsque le pression est très forte, le cuivre n'est pas suffisant pour maintenir une vendange commercialisable



Institut Technique de
l'Agriculture Biologique



CO-FREE : résultats expérimentaux mildiou/tomate (FR)



CO-FREE : résultats expérimentaux mildiou/tomate (FR)

Année	Parcelle	Pression maladie	Type essai	Nb produits testés	Référence : Cu (kg/ha/saison)
2012	expérimentale	moyenne	E	8	10
2013	expérimentale	faible	E	7	13
2014	expérimentale	forte	E + S	6	9.5
2015	expérimentale	nulle	S	2	13.5

Efficacité = produits alternatifs seuls

Stratégie = produits seuls + ½ dose de Cu

Pression nulle (2015)

Faible pression mildiou (2013):

- Meilleure efficacité : Cu
- Demi dose Cu vs. plein dose Cu : **pas de différence significative**
- Efficacité des produits alternatifs avec demi dose de cuivre : pas de différence significative mais tendance intéressante
- produits alternatifs seuls : pas d'efficacité

Pression intermédiaire (2012):

- Meilleure efficacité : Cu, mais mildiou difficilement contrôlé (contamination très rapide)
- produits alternatifs seuls : pas d'efficacité

Forte pression (2014):

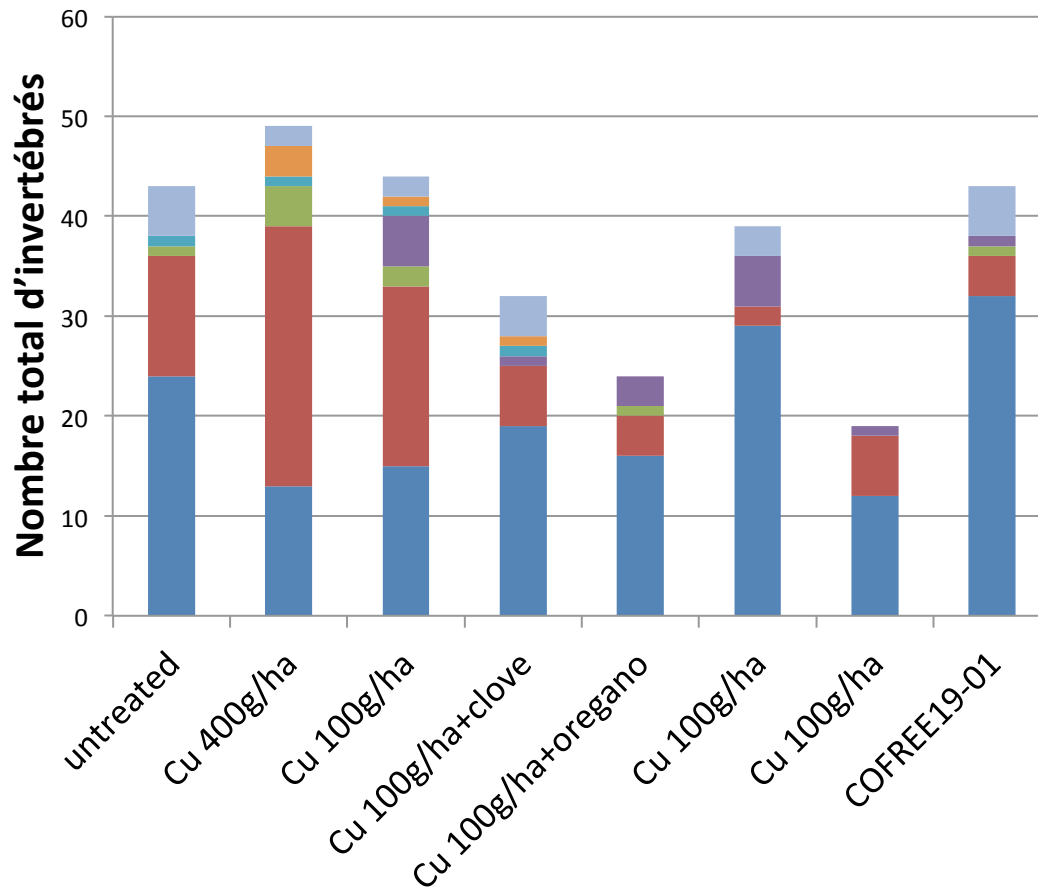
- Meilleure efficacité : Reference cuivre = demi-dose de cuivre
- Demi dose Cu vs. plein dose Cu : **pas de différence significative**
- Efficacité des produits alternatifs avec demi dose de cuivre : pas de différence significative mais tendance intéressante
- produits alternatifs seuls : pas d'efficacité

CO-FREE : Evaluation des effets non-intentionnels



CO-FREE : Evaluation des effets non-intentionnels (FR)

Nombre total d'invertébrés capturés du 16 juin – 21 juillet 2014, site d'Espenel, Drôme, France.

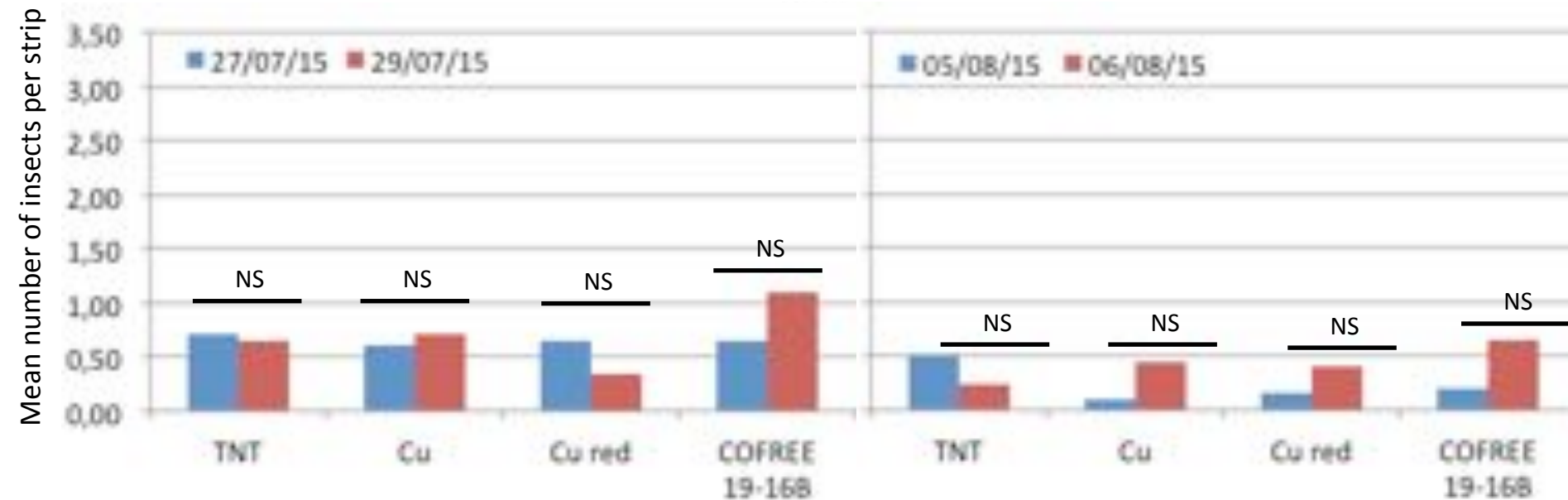


- others
- Acari
- Coleoptera
- Coccinea
- Dermaptera
- Collembola
- Araneae



CO-FREE : Evaluation des effets non-intentionnels (FR)

Nombre moyen de Phytoseids par feuille observé avant et après traitement en vigne sur le site d'Espenel, Drôme, France.



CO-FREE : bilan des produits alternatifs testés seuls



Produits testés seuls*	Efficacité**
Plant extract 1	M-H
Plant extract 2	M-H
Plant extract 3	L-H
Milk derivative	M-H
Bacterium 1	M-H
Microbial derivate	L-M
Fungus 1	L
Oligosaccharide	L
Bacterium derivatives	L-H
Protein hydrolizate	L
Plant extract 4	L-M
Plant extract 5	L
Plant extract 6	L-M
Resistance inducer (elicitor)	L

**Niveau d'efficacité: L=pas d'efficacité, M=efficacité supérieure au témoin non traité et inférieure au cuivre, H=efficacité identique au cuivre. * Tous les produits en développement n'ont pas été testé au champ et des produits hors projet sont inclus dans ce tableau.

Source : Ilariat Pertot (Fondazione E. Mach)

CO-FREE : bilan des produits alternatifs testés en stratégie

- Plus de 20 candidats : matière active x formulation
- Ecotoxicité
 - Absence ou très faible toxicité des produits testés
- Efficacité
 - Similaire au cuivre dans les meilleures cas
- Coût
 - Coût supérieur eu cuivre : de +10% à +100%
- 1 matière active est homologuée
- 3 dossiers d'homologation sont envisagés
- 4 candidats : besoin de travaux complémentaires
- Meilleur scénario d'introduction sur le marché pour 3 candidats : 2022

CO-FREE : produits alternatifs : quels enseignements retenir ?

- L'usage des produits alternatifs est à envisager :
 - En lien avec les variétés

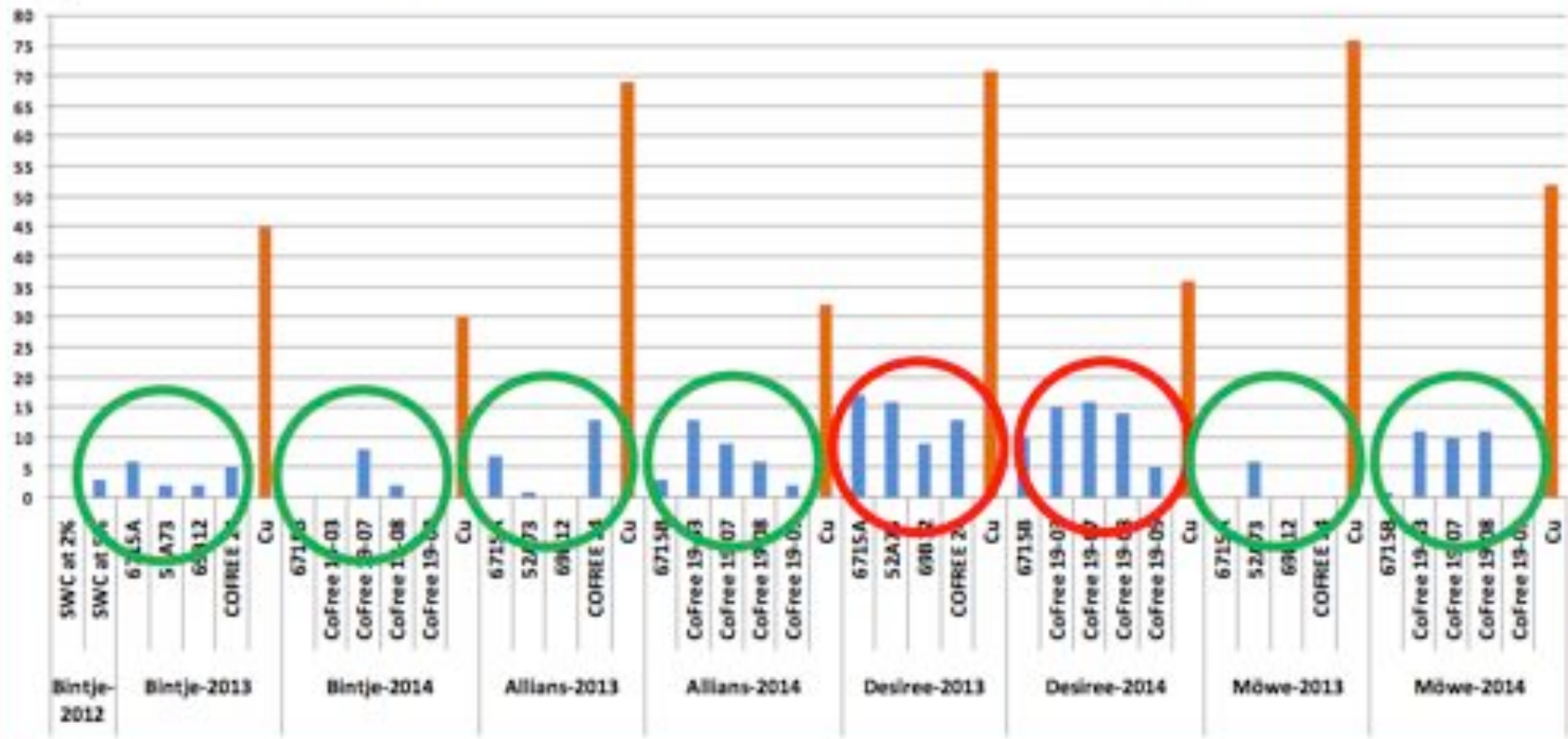
et en combinaison avec d'autres leviers :

- Outils d'aide à la décision (OAD)
- Matériel végétal
- Système de conduite

CO-FREE : interaction produit x variété

Efficacy disease severity under high infection pressure in %

Efficacy in %

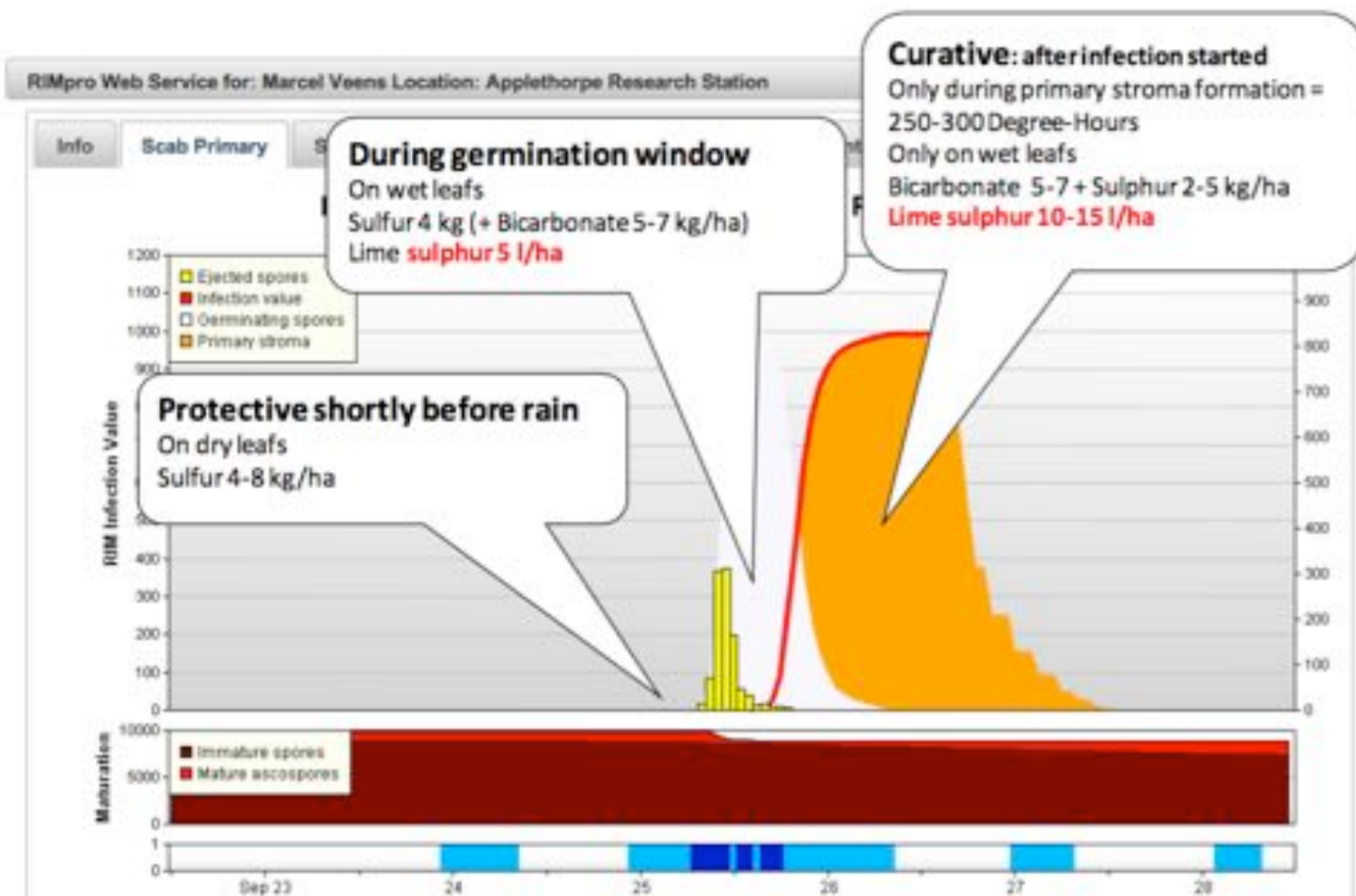


- Le niveau d'efficacité des produits alternatifs
- dépend étroitement de la variété
- n'est pas directement lié à la sensibilité variétale

Source : Didier Andrivon (INRA Rennes)

CO-FREE : outils d'aide à la décision

Un exemple : RIM Pro



Aide à appliquer « le bon produit au bon moment » → réduction des doses de cuivre

Source : Marc Trapman (Bio Fruit Advices)

Réalisation dans le projet CO-FREE

Mildiou de la vigne / RIM Pro

- Validation et optimisation du modèle

Black Rot de la vigne / RIM Pro

- Développement d'un nouveau modèle

Mildiou de la pomme de terre / SIMPHYT

- Optimisation du modèle existant

A retenir

- OAD : rôle clef pour réduire et remplacer le cuivre
- Précis et facile à utiliser pour rendre les stratégies alternatives aussi efficaces et fiables que l'utilisation de cuivre
- Plusieurs outils déjà disponibles

Evaluation de la réduction potentiel de cuivre dans des systèmes viticoles basés sur des variétés tolérantes au mildiou

- « PIWI » cultivars : cépages tolérants issus de croisement entre cépage européens x cépages américains résistants
- Réduction du nombre de traitement : 16 → 4 traitements
- Actuellement pas possible dans de nombreuses régions (AOC) mais possible pour un marché de niche
- Produits alternatifs testés peuvent permettre de réduire de 25-70% les doses de cuivre si il sont utilisés dans une stratégie adéquate. Formulations encore à améliorer.
- Remplacement complet du cuivre pas possible actuellement
- suppression du cuivre → émergence de nouvelles maladies ?

Vergers à très faibles intrants (FiBL, Suisse) & Systèmes agroforestiers (ORC, Royaume-Unis)

Augmentation de la biodiversité mais ...

Vergers faibles intrants

- Contournement de résistance à la tavelure et développement de souches virulentes
- Développement de *Marssonina coronaria* dans les vergers faibles intrants
- Pression des maladies de conservation et du carpocapse

Systèmes agroforestiers

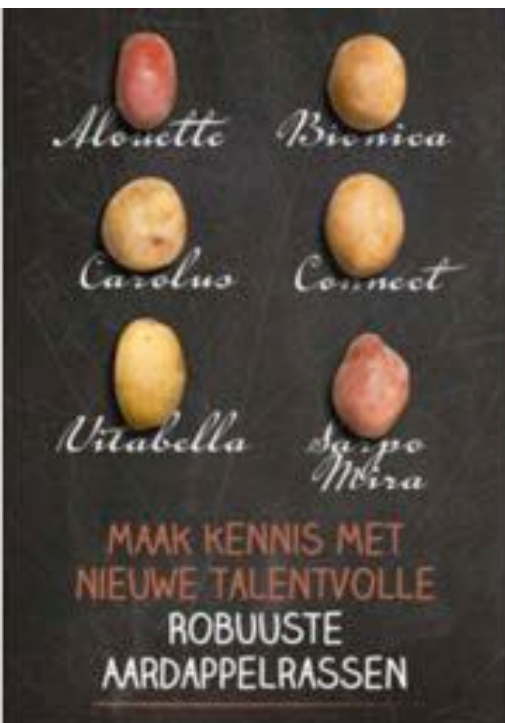
- Difficulté à gérer les bioagresseurs dans les systèmes agroforestiers

Recommandations

- Résultats intéressants mais encore loin des performances des vergers commerciaux classiques, principalement du à la difficulté à gérer les maladies
- Contournement des variétés résistantes limitent leur intérêt
- Emergence d'autres maladies en l'absence de cuivre ?

CO-FREE : acceptabilité de nouvelles variétés de pdt

- Pour faciliter l'introduction d'une nouvelle variété sur le marché, un besoin et un facteur d'attraction doivent être clairement identifiés;
- Une introduction réussie d'une nouvelle variétés implique un partage de critères communs entre producteurs, acheteurs, consommateurs. Toute la chaine, du producteur au consommateur, doit être mobilisée.



LOUIS BOLK
I N S T I T U U T

- L'utilisation de matériel végétal adapté peut permettre de produire des pommes de terre sans cuivre ... mais cela implique un débouché économique réel, sans quoi le développement des nouvelles variétés s'arrêtera.

CO-FREE : bilan

- > Un abandon immédiat du cuivre conduirait à des coûts et risques inconsidérés
- > Un abandon est actuellement pas envisageable mais une réduction du cuivre est possible : pomme de terre > pomme > tomate > vigne
- > OAD permettent de contribuer à réduire les quantités de cuivre utilisés avec les variétés/cépages sensibles
- > Les produits alternatifs testés pourrait contribuer à gérer les contournements de résistances
- > L'intérêt des systèmes « résilients » n'est pas encore totalement exploité dans un contexte de réduction du cuivre
- > Les systèmes innovants sont (trop) souvent focalisé sur les ravageurs (et non maladies)
- > Des efforts conséquents en R&D sont encore nécessaires pour transformer les résultats expérimentaux en solutions concrètement mise en œuvre, ce qui implique en général 20 ans
- > Quelle conséquence d'un abandon du cuivre ? émergence de nouvelles maladies à évaluer

Merci de votre attention !



This project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement no 289497.