

Le réseau ENI-BC+

Réseau ENI-BC+

Webinaire, 27 juin 2023

Solutions de biocontrôle : devenir dans l'environnement et impacts écotoxicologiques

Marcel Amichot¹, Cédric Bertrand², Bruno Chauvel³, Marie-France Corio-Costet⁴,
Fabrice Martin-Laurent³, Sophie Le Perchec⁵, Laure Mamy⁶

¹ INRAE, Université Côte d'Azur, CNRS, UMR ISA 06560 Sophia Antipolis, France

² Université de Perpignan Via Domitia CRIOBE UAR 3278 CNRS-EPHE-UPVD 66860 Perpignan, France

³ Institut Agro Dijon, INRAE, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, Agroécologie 21000 Dijon, France

⁴ INRAE, Bordeaux Science Agro, UMR SAVE 1065 33882 Villenave d'Ornon, France

⁵ INRAE, DipSO, UAR1266 35042 Rennes, France

⁶ Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS 91120 Palaiseau, France



➤ Introduction

➤ Introduction

Contexte

- Préservation de la biodiversité et des services écosystémiques cruciale pour le développement durable et le bien-être humain
 - Erosion de la biodiversité sans précédent depuis de nombreuses années
 - La pollution chimique, incluant les produits phytopharmaceutiques (PPP), est l'une des principales causes du déclin de la biodiversité (IPBES, 2019)
- Expertise scientifique collective : Impacts des PPP sur la biodiversité et les services écosystémiques



INRAE



<https://www.inrae.fr/en/news/impacts-plant-protection-products-biodiversity-and-ecosystem-services-findings-inrae-ifremer-collective-scientific-expert-report>

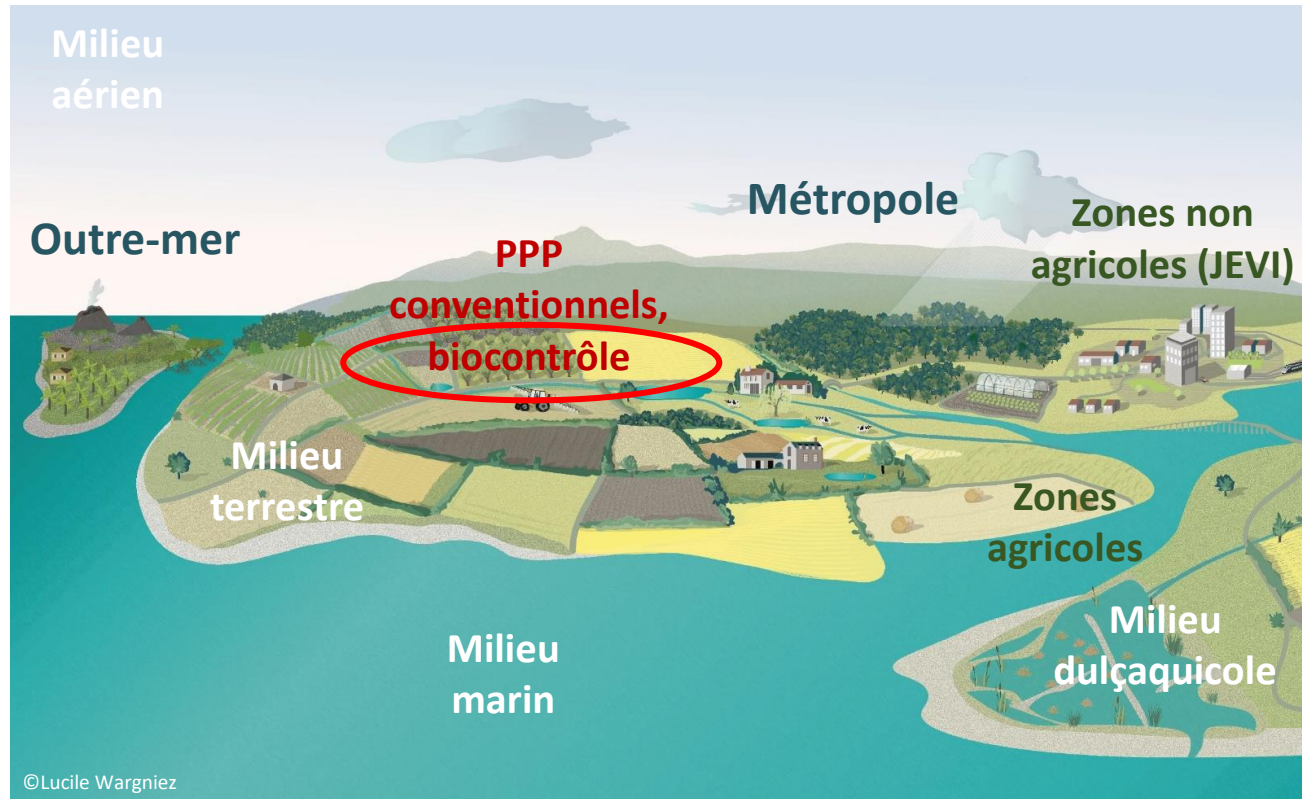
INRAE

Réseau ENI-BC+ - Webinaire, 27 juin 2023

Amichot, Mamy et al.

➤ Cadre d'analyse

ESCo portant sur les impacts des PPP sur la biodiversité et les services écosystémiques



- Contamination
- Transferts et aménagements
- Effets sur :
 - Producteurs primaires
 - Microorganismes
 - Invertébrés terrestres
 - Invertébrés aquatiques
 - Vertébrés terrestres
 - Vertébrés aquatiques
- Propagation
- Services écosystémiques
- **Biocontrôle**
- Modélisation
- Réglementation

- **Biocontrôle** : Ensemble de méthodes de protection des cultures défini comme « des agents et produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures »

➤ Introduction

Objectif et approche

Objectif

➤ **Déterminer la durabilité des solutions de biocontrôle**

Approche

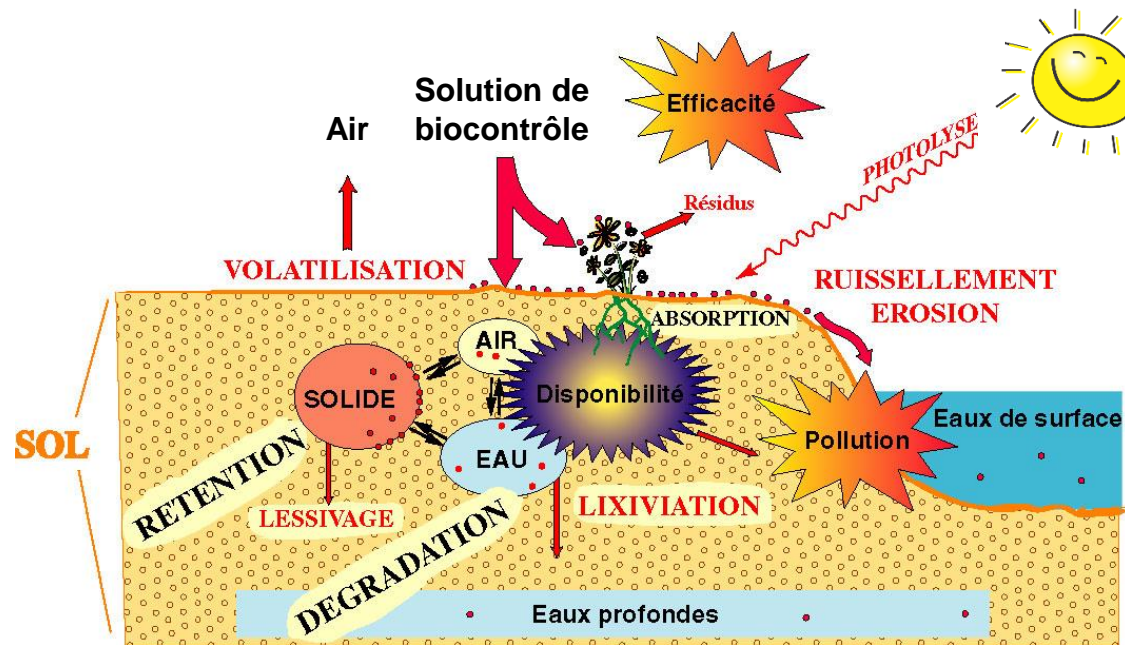
- Réaliser une synthèse bibliographique portant sur :
- La contamination de l'environnement par les solutions de biocontrôle
 - Le devenir des solutions de biocontrôle dans l'environnement
 - Les effets écotoxicologiques des solutions de biocontrôle sur la biodiversité
 - Les effets des solutions de biocontrôle comparés à ceux des PPP conventionnels



➤ Introduction

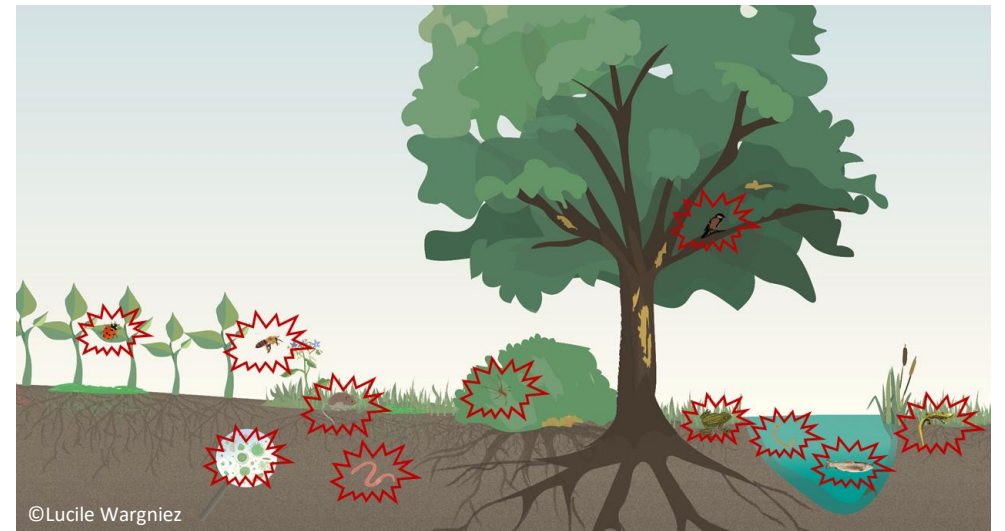
Devenir des solutions de biocontrôle dans l'environnement et effets écotoxicologiques

Devenir & Contamination



D'après Barriuso et al. (1996)

Exposition & Effets



© Lucile Wagniez

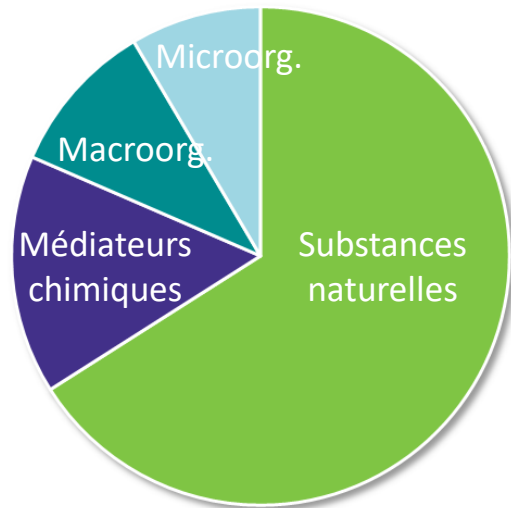


➤ Solutions de biocontrôle

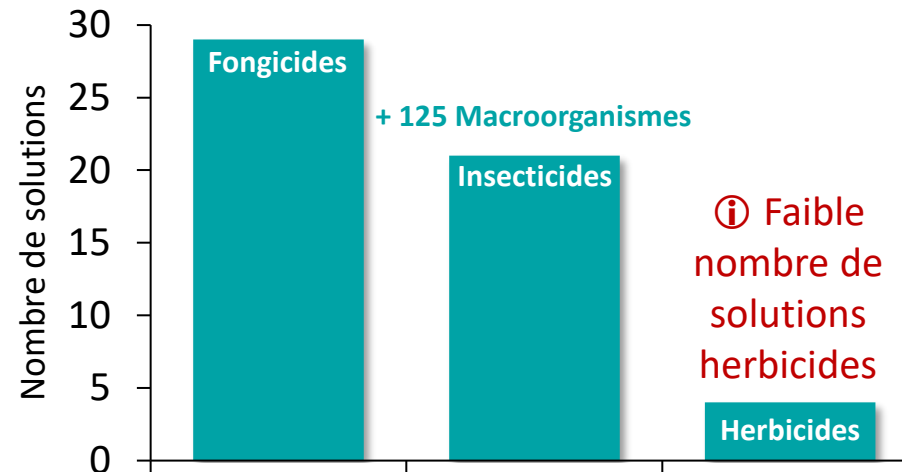
➤ Solutions de biocontrôle

Exemple de la France

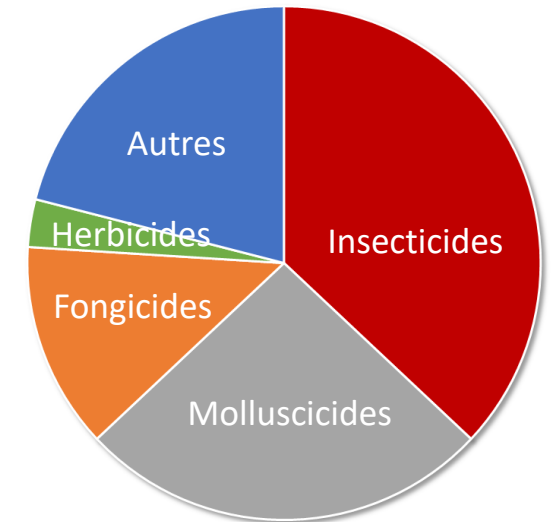
➤ Marché du biocontrôle en plein essor : 12% du marché des PPP en 2020, 30% prévu en 2030 (IBMA, 2021)



Utilisation des produits de biocontrôle par catégorie (% parts de marché en 2019-2020) (IBMA, 2021)
NB : Le soufre est le produit le plus utilisé



Nombre de substances actives ou d'espèces de micro et macroorganismes différentes par usage fongicide, insecticide ou herbicide (DGAL, 2023)



Vente des solutions de biocontrôle (% parts de marché en 2020) (IBMA, 2021)



➤ Corpus bibliographique

➤ Corpus bibliographique

Définition des requêtes et mots-clés

Requête 1

Générale

Mots-clés non spécifiques /
Biocontrôle



Biological control
Biocontrol
Semiochemical
Natural extract
Plant extract
Natural substance
Biopesticide...

Requête 2

*Microorganismes, substances naturelles,
Médiateurs chimiques*

Liste des produits
phytopharmaceutiques de
biocontrôle (Code rural et
de la pêche maritime)



Bacillus thuringiensis
Beauveria bassiana
Trichoderma asperellum
Straight chain lepidopteran pheromone
Abamectin
Acetic acid
Eugenol
Heptamaloxylolglucan...

Requête 3

Macroorganismes



Innovations Agronomiques 79 (2020), 425-439

Macroorganismes de biocontrôle en France, état des lieux

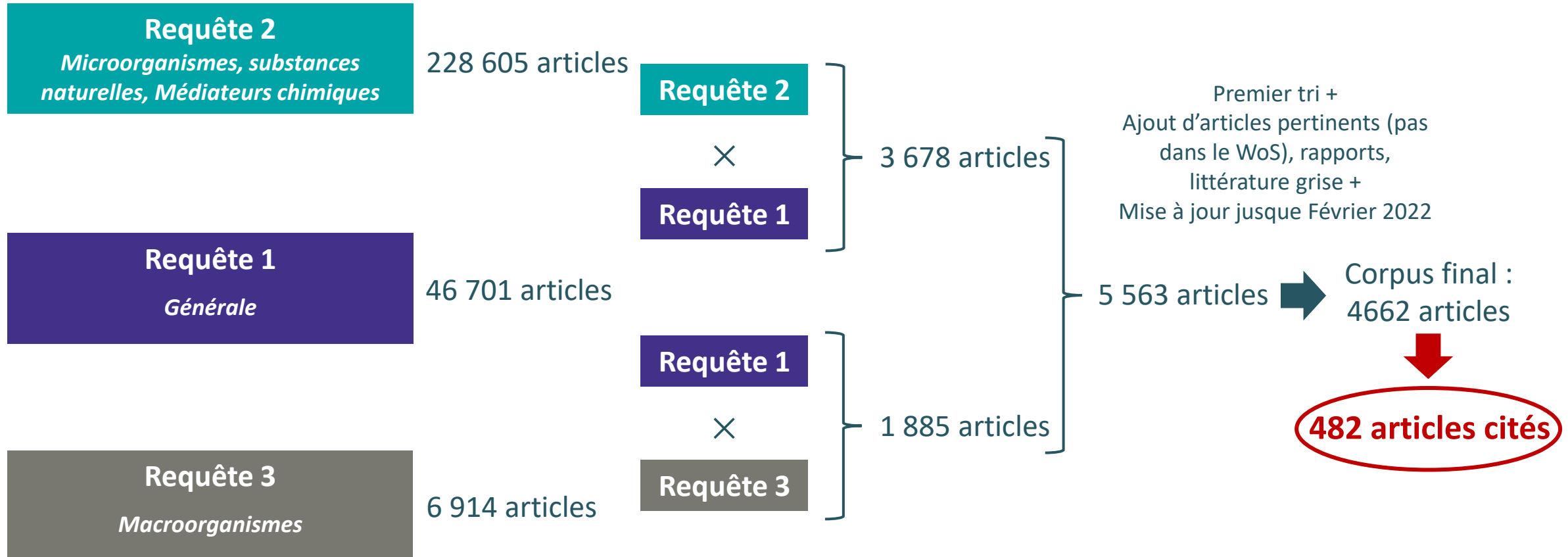
Robin D.C.¹, Marchand P.A.¹



Adalia bipunctata
Bombus terrestris
Chrysoperla carnea
Harmonia axyridis
Leptomastidea abnormis
Orius laevigatus
Osmia bicornis
Trichogramma achaeae...

➤ Corpus bibliographique

Sélection d'articles dans le Web of Science™ (WoS) de 2000 à 2020



① Très grand nombre d'articles focalisés sur la production, l'amélioration, l'utilisation et l'efficacité des solutions de biocontrôle
➔ Non pris en compte dans ce travail



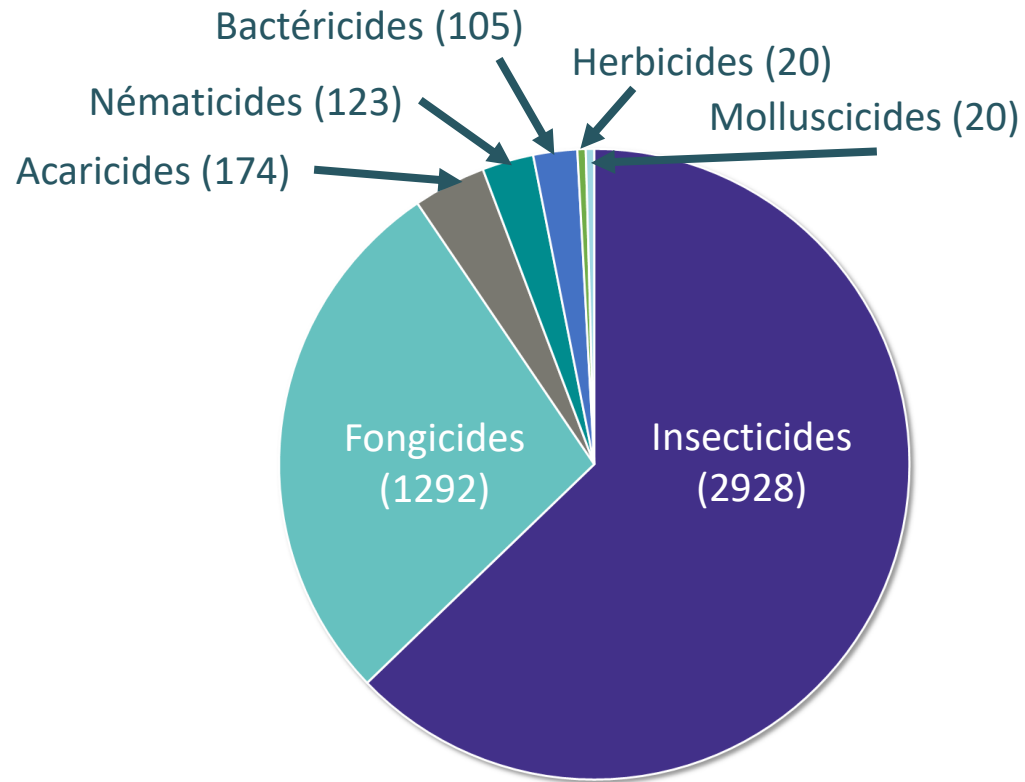
INRAE

Réseau ENI-BC+ - Webinaire, 27 juin 2023

Amichot, Mamy et al.

➤ Corpus bibliographique

Distribution des articles en fonction des usages du biocontrôle



- Grand nombre d'articles / insecticides, fongicides
- Très peu d'articles / herbicides, molluscicides
- Cohérence entre nombre d'articles et ventes (cas de la France), sauf pour les molluscicides



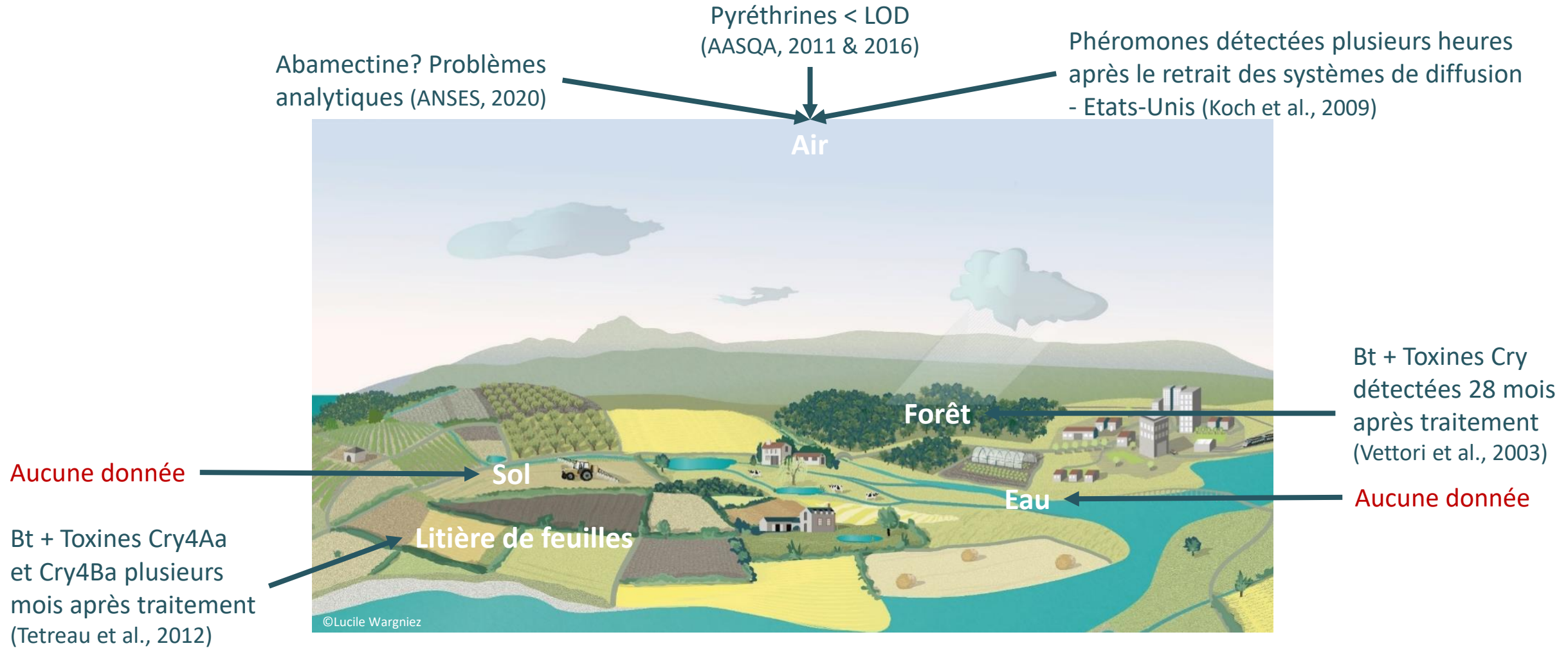
➤ Contamination de l'environnement par les solutions de biocontrôle

➤ Contamination de l'environnement

- Substances de biocontrôle rarement recherchées dans l'environnement
 - Certaines y sont naturellement présentes : acides gras, hydrogène-carbonate de potassium, kaolin, soufre...
 - Fraction provenant du biocontrôle / fraction naturelle ?
 - Certaines substances ont une nature chimique incompatible avec un suivi analytique : farine de sang, graisse de mouton, huile de poisson...
- **Quelques rares résultats pour les substances exogènes de biocontrôle pouvant être mesurées dans l'environnement**



➤ Contamination de l'environnement

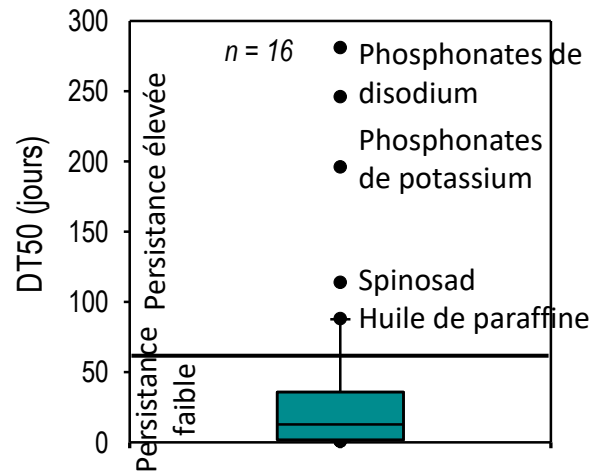




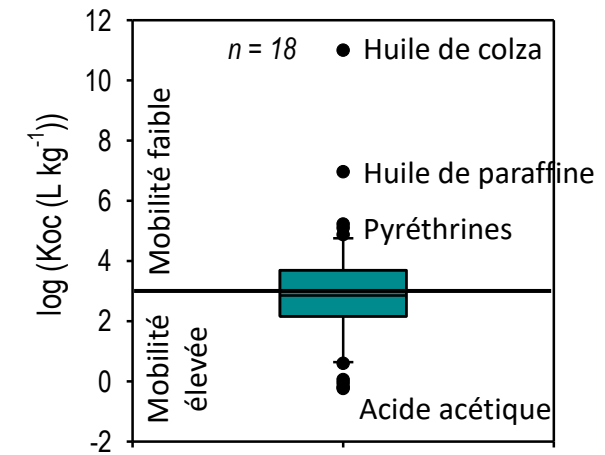
➤ Devenir des solutions de biocontrôle dans l'environnement

➤ Devenir dans l'environnement

Substances naturelles



Représentation en « boxplots » de la distribution des DT50 et Koc des substances naturelles (d'après Mamy et Barriuso, 2022)



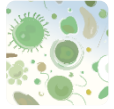
- La plupart des substances naturelles ont une faible persistance dans l'environnement
- ① La dégradation peut engendrer des produits de transformation (abamectine, spinosad)
- Certaines substances sont immobiles, d'autres ont une mobilité très élevée
- ➔ Risque de contamination des eaux souterraines

➤ **Manque de données de persistance et de mobilité pour de nombreuses substances**



➤ Devenir dans l'environnement

Microorganismes, macroorganismes et médiateurs chimiques



Microorganismes

- Les insecticides à base de champignons sont persistants dans l'environnement (Meyling et Eilenberg, 2007)
- Les insecticides Bt sont persistants (Tetreau et al., 2012; Bruhl et al., 2020; Liu et al., 2021)
- Les fongicides à base de champignons ou de bactéries ne sont pas persistants (Kohl et al., 2019)



Macroorganismes

- Persistance à court terme bien caractérisée (efficacité)
- Persistance à long terme ?



Médiateurs chimiques

- Aucune donnée

➤ **Manque de données pour caractériser le devenir des microorganismes, macroorganismes et médiateurs chimiques dans l'environnement**

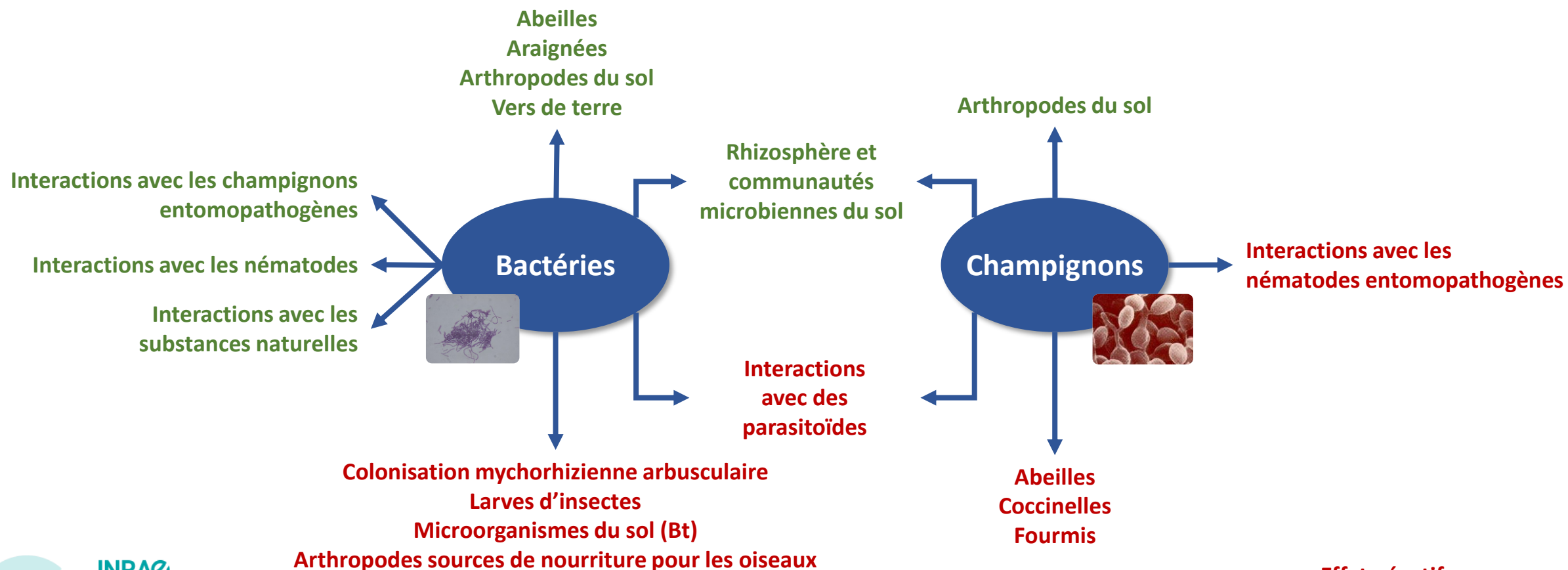


➤ Effets écotoxicologiques et impact sur la biodiversité des solutions de biocontrôle

➤ Microorganismes

Synthèse des effets observés

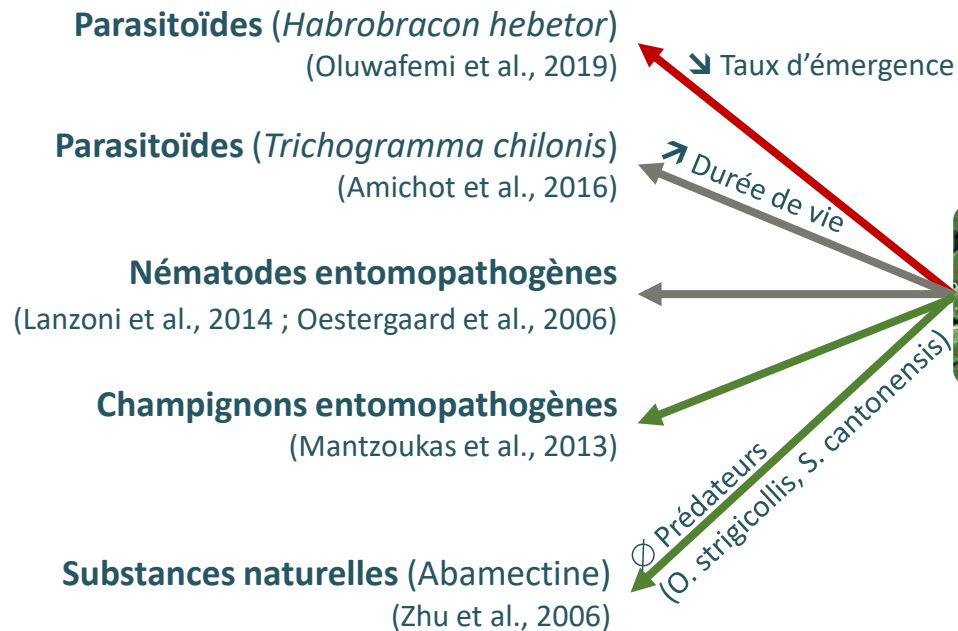
- Nombreux résultats pour la bactérie Bt, quelques résultats pour les champignons *Beauveria Bassiana* et *Metarhizium anisopliae*, aucun résultat pour les virus



➤ Microorganismes

Exemple de *Bacillus thuringiensis* (Bt)

Interactions avec les agents de biocontrôle



Effets écotoxicologiques



➤ **Grande complexité des interactions entre Bt et agents de biocontrôle et entre Bt et d'autres (micro)organismes**



INRAE

Réseau ENI-BC+ - Webinaire, 27 juin 2023

Amichot, Mamy et al.

Btk: *Bt kurstaki*, Bti: *Bt israelensis*

Effet négatif
Sans effet
Effet positif

➤ Microorganismes

Principales conclusions

- Impact limité des microorganismes sur la micro-biodiversité du sol, sauf pour Bt
- Les champignons peuvent avoir des effets sur différents organismes

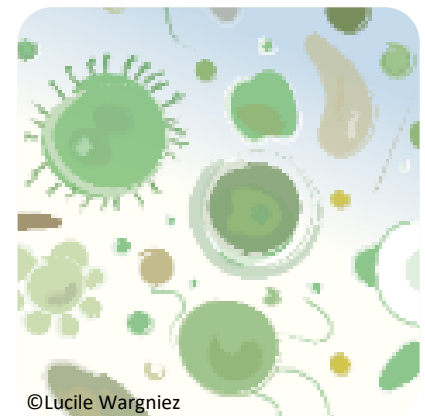
➤ **Impact des microorganismes sur la biodiversité ?**

➤ **Impact des virus ?**

➤ **Invasion par les microorganismes ?**

➤ **Effets « cocktail » sur la biodiversité locale ?**

➤ **Effets sur les fonctions et services écosystémiques ?**

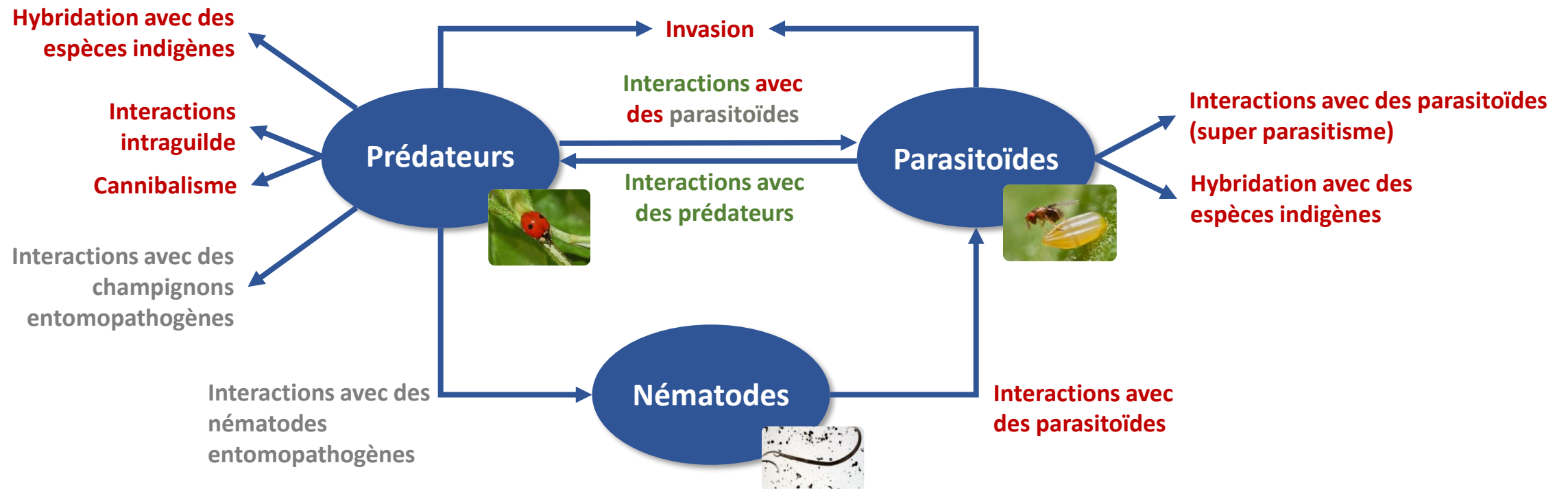


©Lucile Wargniez

➤ Macroorganismes

Synthèse des effets observés

- Affectent la biodiversité par leur mode d'alimentation, leur capacité à se reproduire et leur capacité à se déplacer



➤ Macroorganismes

Exemple de l'échappement du prédateur *Harmonia axyridis*

- Introduction pour réguler les ravageurs, en particulier les pucerons



➤ Illustration de ce qui doit être évité en biocontrôle

➤ Macroorganismes

Principales conclusions

- Grande complexité des modes d'action
 - Interactions entre prédateurs et avec les organismes indigènes
 - Interactions directes : prédation, parasitisme, hybridation
 - Interactions indirectes : compétition pour les ressources
 - Changement d'hôte ou de proie
-
- **Effets « cocktail » sur la biodiversité locale ?**
 - **Effets sur les fonctions et services écosystémiques ?**



➤ Substances naturelles

Synthèse des effets observés



➤ La plupart des résultats concernent l'abamectine, le spinosad et les pyréthrinés

	✘ Effet négatif	✓ Pas d'effet
Abamectine	<ul style="list-style-type: none"> • Coccinelles (James, 2003) • Enchytréides, vers de terre (Kolar et al., 2008; EFSA, 2020) • Organismes aquatiques, pollinisateurs (EFSA, 2020) • Parasitoïdes, prédateurs (Gradish et al., 2011) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vertébrés terrestres (EFSA, 2020)
Spinosad	<ul style="list-style-type: none"> • Abeilles solitaires (Botina et al., 2020) • Araignées (Marliac et al., 2016) • Daphnies (Duchet et al., 2010) • Drosophile (Martelli et al., 2022) • <i>Forficula auricularia</i> (Malagnoux et al., 2015) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fourmis (Pereira et al., 2010) • Parasitoïdes (D'Avila et al., 2018) • Vers de terre (EFSA, 2018) • Vertébrés terrestres (Poulin et Lefebvre, 2018)
Huile de paraffine	<ul style="list-style-type: none"> • Coccinelles (Karagounis et al., 2006) • Invertébrés aquatiques (EFSA, 2009) • Microorganismes du sol (Bundy et al., 2004) 	<ul style="list-style-type: none"> • Araignées (Bajwa and Aliniazee, 2001) • Vers de terre (Erlacher et al., 2013)
Pyréthrinés	<ul style="list-style-type: none"> • Abeilles, fourmis, organismes aquatiques, vers de terre (EFSA, 2013) • Araignées (Marliac et al., 2016) • Grenouilles (Oliveira et al., 2019) 	<ul style="list-style-type: none"> • Thrips (Nikolova et al., 2015) • Vertébrés terrestres (EFSA, 2013)
Soufre	<ul style="list-style-type: none"> • Coccinelles (Sutherland et al., 2010) • Enchytréides (Ohtonen et al., 1992) • Microorganismes du sol (Czerwonka et al., 2017) 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible écotoxicité (EFSA, 2008) • Acariens (Tacoli et al., 2020) • Carabes (Carcamo et al., 1998)

① Modes d'action similaires à ceux des PPP conventionnels

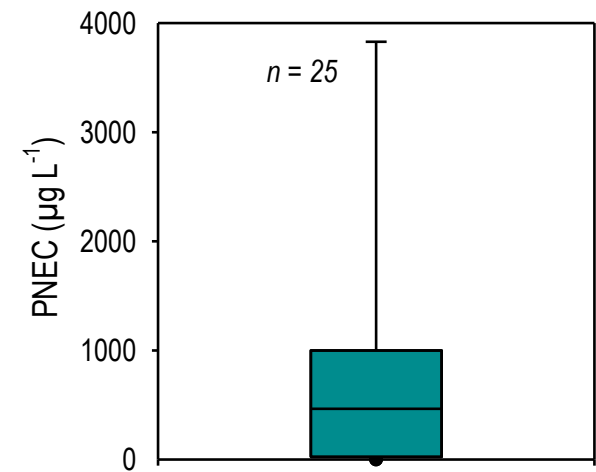
➤ **Ecotoxicité observée des substances naturelles, en particulier abamectine et spinosad**

➤ Substances naturelles

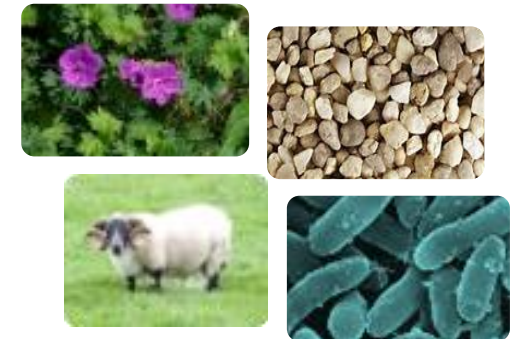
Principales conclusions

- Certaines substances naturelles ont une écotoxicité élevée (abamectine, spinosad...)
- Manque de données pour de nombreuses substances

- **Impact des substances naturelles sur la biodiversité ?**
- **Effets chroniques à faibles doses ?**
- **Effets “cocktail” sur la biodiversité locale ?**
- **Effets sur les fonctions et services écosystémiques ?**



Représentation en « boxplots » des PNEC des substances naturelles (d'après Mamy et Barriuso, 2022)



➤ Médiateurs chimiques

➤ **Aucune donnée dans la bibliographie !**



- 
- Comparaison des effets des solutions de biocontrôle et des effets des PPP conventionnels

➤ Effets des solutions biocontrôle / PPP conventionnels



Microorganismes

Solutions de biocontrôle	PPP conventionnels	Organismes non cibles	Effet Biocontrôle / PPP	Référence
<i>B. amyloliquefaciens</i>	Thirame, carbendazime	Communauté microbienne rhizosphérique	<	Correa et al. (2009)
<i>B. subtilis</i>	Dazomet	Activité du sol	<	Chen et al. (2018)
<i>B. thuringiensis</i>	Métaflumizone, indoxacarbe	Prédateur <i>Orius laevigatus</i>	<	Biondi et al. (2012)
<i>B. subtilis, Burkholderia ambifaria, Trichoderma harzianum</i>	Thiophanate-méthyl + mancozeb + cymoxanil	Activité microbienne	<	Larkin (2016)
<i>Trichoderma harzianum and Pythium oligandrum</i>	Métalaxyl + cuivre + mancozeb	Acariens oribatides	<	Al-Assiuty et al. (2014)
<i>Clonostachys rosea</i>	Fosétyl-aluminium + propamocarbe	Populations microbiennes	=	Fournier et al. (2020)
Huile de paraffine	Métamitron	Microorganismes du sol	<	Engelen et al. (1998)
Huile de paraffine	Bifenthrine	<i>Chrysoperla rufilabris</i>	<	Quesada and Sadof (2020)
Spinosad	Lambda-cyhalothrine	Abondance et diversité des araignées	<	Liu et al. (2013)
Abamectine, spinosad	Métaflumizone, indoxacarbe	Prédateur <i>Orius laevigatus</i>	>	Biondi et al. (2012)
Spinosad	Imidaclopride, lambda-cyhalothrine	Parasitoïde <i>Aphidius colemani</i>	>	D'Avila et al. (2018)
Spinosad	Imidaclopride	Drosophile	>	Martelli et al. (2022)



Substances naturelles



- Solutions de biocontrôle semblent avoir une écotoxicité < PPP conventionnels, mais il y a des exceptions

➤ Besoin de données

Réseau ENI-BC+ - Webinaire, 27 juin 2023

Amichot, Mamy et al.

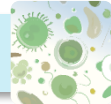


➤ Conclusion

➤ Conclusion (1/2)

➤ Très peu de résultats dans la bibliographie

Microorganismes



- Persistance élevée des insecticides (Bt), faible persistance des fongicides
- Des effets observés (sauf sur les microorganismes du sol)
- Modification de la biodiversité du sol ?
- Espèces non indigènes envahissantes ?

Macroorganismes



- Effets directs : prédation, hybridation
- Effets indirects : compétition / ressources
- Diminution de la biodiversité locale (*H. axyridis*)
- Persistance à long terme ?

Substances naturelles



- Faible persistance dans l'environnement
- Faible écotoxicité / PPP conventionnels
- ⓘ Abamectine, pyréthrinés, spinosad
- Contamination ?

Médiateurs chimiques



- ?



© Lucile Wagniez

➤ Conclusion (2/2)

- Contamination de l'environnement ?
- Effets chroniques ?
- Effets « Cocktail » ?
- Effets sur les fonctions et services écosystémiques ?
- Nanoparticules ?
- Evaluation des risques et réglementation ?
- Gestion des invasions potentielles ?
- Biocontrôle / PPP conventionnels ?

NB : Manque de solutions herbicides biosourcées

- **Biocontrôle : alternative prometteuse aux PPP conventionnels, mais dépend du type de solution**
- **De nombreuses recherches restent à mener**



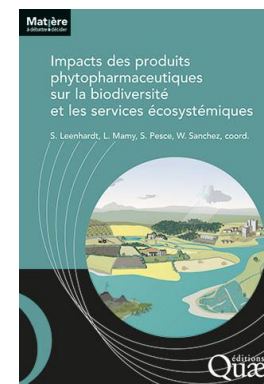
➤ Remerciements

- Thierry Caquet, INRAE, Directeur Scientifique Environnement, et la Direction Générale de l'Ifremer
- Guy Richard, INRAE, Directeur de la Direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE)
- Nicolas Ris (INRAE) pour son expertise concernant les macroorganismes
- Illustrations : Lucile Wagniez
- Graphisme : Sacha Desbourdes (INRAE)
- Comité de Suivi
- Comité d'Acteurs
- ANSES
- Commanditaires : Ministère de la Transition Ecologique, Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
- Financement : Office Français pour la Biodiversité (OFB) via le Plan Ecophyto



➤ Pour en savoir plus

- Corio-Costet MF, Mamy L, Martin-Laurent F, Chauvel B, Bertrand C, Amichot M, 2022. Biocontrôle : impacts écologiques et durabilité. Phytoma. La Défense des Végétaux, No 758, Novembre 2022, 42-47
- Mamy L, Barriuso E, 2022. Les substances naturelles : une alternative aux pesticides de synthèse. L'Actualité Chimique, 470 : 9-14.
- Amichot M, Bertrand C, Chauvel B, Corio-Costet MF, Martin-Laurent F, Le Perchec S, Mamy L (soumis). Natural products for biocontrol: Review of their fate in the environment and impacts on biodiversity.
- Leenhardt S, Mamy L, Pesce S, Sanchez W, 2022. Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Résumé de l'Expertise scientifique collective - Mai 2022, 14p.
https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/ExpertiseCollectivePestiEcotox_R%C3%A9sum%C3%A9.pdf
- Leenhardt S (coord.), Mamy L (coord.), Pesce S (coord.), Sanchez W (coord.), Achard AL, Amichot A, Artigas J, Aviron S, Barthélémy C, Beaudouin R, Bedos C, Bérard A, Berny P, Bertrand C, Bertrand C, Betoulle S, Bureau-Point E, Charles S, Chaumot A, Chauvel B, Coeurdassier M, Corio-Costet MF, Coutellec MA, Crouzet O, Doussan I, Faburé J, Fritsch C, Gallai N, Gonzalez P, Gouy V, Hedde M, Langlais A, Le Bellec F, Leboulanger C, Le Gall M, Le Perchec S, Margoum C, Martin-Laurent F, Mongrueil R, Morin S, Mougine C, Munaron D, Néliu S, Pelosi C, Rault M, Sabater S, Stachowski-Haberkorn S, Sucre E, Thomas M, Tournebize J, 2022. Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques, Synthèse du rapport d'ESCO, INRAE - Ifremer (France), 138 p. https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/PestiEcotox_Synth%C3%A8se_Experts_V12_rev2.pdf
- Mamy L, Pesce S, Sanchez W, Achard AL, Amichot M, Artigas J, Aviron S, Barthélémy C, Beaudouin R, Bedos C, Bérard A, Berny P, Bertrand C, Bertrand C, Betoulle S, Bureau-Point E, Charles S, Chaumot A, Chauvel B, Coeurdassier M, Corio-Costet MF, Coutellec MA, Crouzet O, Doussan I, Faburé J, Fritsch C, Gallai N, Gonzalez P, Gouy V, Hedde M, Langlais A, Le Bellec F, Leboulanger C, Le Gall M, Le Perchec S, Margoum C, Martin-Laurent F, Mongrueil R, Morin S, Mougine C, Munaron D, Néliu S, Pelosi C, Rault M, Sabater S, Stachowski-Haberkorn S, Sucre E, Thomas M, Tournebize J, Achard AL, Le Gall M, Le Perchec S, Delebarre E, Larras F, Leenhardt S, 2022. Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques, Rapport d'ESCO, INRAE - Ifremer (France), 1408 pp. <https://doi.org/10.17180/Ogp2-cd65>
- Leenhardt S, Mamy L, Pesce S, Sanchez W, 2023. Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques, Versailles, Éditions Quæ, 184 p. <https://www.quae-open.com/produit/216/9782759236572/impacts-des-produits-phytopharmaceutiques-sur-la-biodiversite-et-les-services-ecosystemiques>



➤ Références (1/2)

- Al-Assiuty, A.; Khalil, M.A.; Ismail, A.W.A.; van Straalen, N.M.; Ageba, M.F., 2014. Effects of fungicides and biofungicides on population density and community structure of soil oribatid mites. *Sci Total Environ* 466: 412-420.
- Amichot, M.; Curty, C.; Benguettat-Magliano, O.; Gallet, A.; Wajnberg, E., 2016. Side effects of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* on the hymenopterous parasitic wasp *Trichogramma chilonis*. *Environ Sci Pollut Res* 23 (4): 3097-3103.
- ANSES, 2020. Campagne nationale exploratoire des pesticides dans l'air ambiant. Premières interprétations sanitaires. Préambule. Rapport d'appui scientifique et technique révisé. Paris: ANSES, 146 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2020SA0030Ra.pdf>
- Awkerman, J.A.; Marshall, M.R.; Williams, A.B.; Gale, G.A.; Cooper, R.J.; Raimondo, S., 2011. Assessment of indirect pesticide effects on worm-eating warbler populations in a managed forest ecosystem. *Environ Tox Chem* 30 (8): 1843-1851.
- Babin, A.; Nawrot-Esposito, M.P.; Gallet, A.; Gatti, J.L.; Poirie, M., 2020. Differential side-effects of *Bacillus thuringiensis* bioinsecticide on non-target *Drosophila* flies. *Scient Rep* 10 (1): 16.
- Bajwa, W.I.; Aliniabee, M.T., 2001. Spider fauna in apple ecosystem of western Oregon and its field susceptibility to chemical and microbial insecticides. *J Eco Entomol* 94 (1): 68-75
- Beck, L.; Rombke, J.; Ruf, A.; Prinzing, A.; Woaso, S., 2004. Effects of diflubenzuron and *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* toxin on soil invertebrates of a mixed deciduous forest in the Upper Rhine Valley, Germany. *Eur J Soil Biol* 40 (1): 55-62.
- Biondi, A.; Desneux, N.; Siscaro, G.; Zappala, L., 2012. Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: Selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere*, 87 (7): 803-812.
- Botina, L.L.; Bernardes, R.C.; Barbosa, W.F.; Lima, M.A.P.; Guedes, R.N.C.; Martins, G.F., 2020. Toxicological assessments of agrochemical effects on stingless bees (Apidae, Meliponini). *Methodsx* 7: 18.
- Bruhl, C.A.; Despres, L.; Fror, O.; Patil, C.D.; Poulin, B.; Tetreau, G.; Allgeier, S., 2020. Environmental and socioeconomic effects of mosquito control in Europe using the biocide *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti). *Sci Tot Environ* 724: 16.
- Bundy, J.G.; Paton, G.I.; Campbell, C.D., 2004. Combined microbial community level and single species biosensor responses to monitor recovery of oil polluted soil. *Soil Biol Biochem* 36 (7): 1149-1159.
- Carcamo, H.A.; Parkinson, D.; Volney, J.W.A., 1998. Effects of sulphur contamination on macroinvertebrates in Canadian pine forests. *App Soil Ecol* 9 (1-3): 459-464.
- Chen, H.J.; Zhao, S.; Zhang, K.K.; Zhao, J.M.; Jiang, J.; Chen, F.D.; Fang, W.M., 2018. Evaluation of soil-Applied chemical fungicide and biofungicide for control of the Fusarium Wilt of Chrysanthemum and their effects on rhizosphere soil microbiota. *Agriculture-Basel*, 8 (12): 15
- Czerwonka, G.; Konieczna, I.; Zarnowiec, P.; Zielinski, A.; Malinowska-Gniewosz, A.; Galuszka, A.; Migaszewski, Z.; Kaca, W., 2017. Characterization of Microbial Communities in Acidified, Sulfur Containing Soils. *Polish J Microbiol* 66 (4): 509-517.
- Dai, P.L.; Zhou, W.; Zhang, J.; Jiang, W.Y.; Wang, Q.; Cui, H.J.; Sun, J.H.; Wu, Y.Y.; Zhou, T., 2012. The effects of Bt Cry1Ah toxin on worker honeybees (*Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana*). *Apidologie* 43 (4): 384-391.
- D'Avila, V.A.; Barbosa, W.F.; Guedes, R.N.C.; Cutler, G.C., 2018. Effects of Spinosad, Imidacloprid, and Lambda-cyhalothrin on Survival, Parasitism, and Reproduction of the Aphid Parasitoid *Aphidius colemani*. *Journal of Econom Entomo* 111 (3): 1096-1103.
- DGAL, 2023. Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle, au titre des articles L.253-5 et L.253-7 du code rural et de la pêche maritime. In: Direction générale de l'alimentation, S.-d.d.l.s.e.d.l.p.d.v., Bureau des Intrants et du Biocontrôle, ed. DGAL/SDSPV/2023-240. 14 p.
- Duchet, C.; Coutellec, M.A.; Franquet, E.; Lagneau, C.; Lagadic, L., 2010. Population-level effects of spinosad and *Bacillus thuringiensis israelensis* in *Daphnia pulex* and *Daphnia magna*: comparison of laboratory and field microcosm exposure conditions. *Ecotoxicology* 19 (7): 1224-1237.
- EFSA, 2008. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance sulfur. *EFSA Scientific Report*, 221: 70 p.
- EFSA, 2009. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance paraffin oils (CAS 64742-46-7, 72623-86-0, 97862-82-3). *EFSA J* 7 (4): 59 p
- EFSA, 2013. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance pyrethrins. *EFSA J* 11 (1): 3032
- EFSA, 2018. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance spinosad. *EFSA J* 16 (5): 33
- EFSA, 2020. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance abamectin. *EFSA J* 18 (8): 28.
- EFSA, 2021. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance Straight Chain Lepidopteran Pheromones (SCLPs). *EFSA* 19(6):6656, 30 pp.
- Engelen, B.; Meinken, K.; von Wintzingerode, F.; Heuer, H.; Malkomes, H.P.; Backhaus, H., 1998. Monitoring impact of a pesticide treatment on bacterial soil communities by metabolic and genetic fingerprinting in addition to conventional testing procedures. *App Environ Microbiol* 64 (8): 2814-2821.
- Erlacher, E.; Loibner, A.P.; Kandler, R.; Scherr, K.E., 2013. Distillation fraction-specific ecotoxicological evaluation of a paraffin-rich crude oil. *Environ Pollut* 174: 236-243
- Ferreira, L.; Molina, J.C.; Brasil, C.; Andrade, G., 2003. Evaluation of *Bacillus thuringiensis* bioinsecticidal protein effects on soil microorganisms. *Plant Soil* 256 (1): 161-168.
- Fournier, B.; Dos Santos, S.P.; Gustavsen, J.A.; Imfeld, G.; Lamy, F.; Mitchell, E.A.D.; Mota, M.; Noll, D.; Planchamp, C.; Heger, T.J., 2020. Impact of a synthetic fungicide (fosetyl-Al and propamocarb-hydrochloride) and a biopesticide (*Clonostachys rosea*) on soil bacterial, fungal, and protist communities. *Sci Tot Environ* 738: 10.
- French AASQA, 2011 & 2016. <https://www.atmo-france.org/article/phytatmo>
- Gardiner, M.M.; Landis, D.A., 2007. Impact of intraguild predation by adult *Harmonia axyridis* (Coleoptera : Coccinellidae) on *Aphis glycines* (Hemiptera : Aphididae) biological control in cage studies. *Biol Cont*, 40 (3): 386-395.
- Gradish, A.E.; Scott-Dupree, C.D.; Shipp, L.; Harris, C.R.; Ferguson, G., 2011. Effect of reduced risk pesticides on greenhouse vegetable arthropod biological control agents. *Pest Manage Sci* 67 (1): 82-86.
- Harwood, J.D.; Samson, R.A.; Obyrcki, J.J., 2006. No evidence for the uptake of Cry1Ab Bt-endotoxins by the generalist predator *Scarites subterraneus* (Coleoptera : Carabidae) in laboratory and field experiments. *Biocontrol Sci Tech* 16 (4): 377-388.

➤ Références (2/2)

- IBMA, 2021. Les culturales 15-16-17 juin 2021 Terralab, Betheny (51) : Dossier de presse. Paris: International Biocontrol Manufacturers Association, 9 p. https://www.ibmafrance.com/wp-content/uploads/2021/06/210615_Dossier_Presse_IBMA_France.pdf
- IPBES, 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio ES, Settele J, Díaz S, Ngo HT (Eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 p.
- James, D.G., 2003. Pesticide susceptibility of two coccinellids (*Stethorus punctum picipes* and *Harmonia axyridis*) important in biological control of mites and aphids in Washington hops. *Biocontrol Sci Technol* 13 (2): 253-259.
- Karagounis, C.; Kourdoumbalos, A.K.; Margaritopoulos, J.T.; Nanos, G.D.; Tsitsipis, J.A., 2006. Organic farming-compatible insecticides against the aphid *Myzus persicae* (Sulzer) in peach orchards. *J App Entomol* 130 (3): 150-154.
- Koch, U.T.; Luder, W.; Andrick, U.; Staten, R.T.; Carde, R.T., 2009. Measurement by electroantennogram of airborne pheromone in cotton treated for mating disruption of *Pectinophora gossypiella* following removal of pheromone dispensers. *Entomol Exp Applic* 130 (1): 1-9.
- Kohl, J.; Kolnaar, R.; Ravensberg, W.J., 2019. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. *Front Plant Sci* 10: 19.
- Kolar, L.; Erzen, N.K.; Hogerwerf, L.; van Gestel, C.A.M., 2008. Toxicity of abamectin and doramectin to soil invertebrates. *Environ Pollut* 151 (1): 182-189.
- Lanzoni, A.; Ade, G.; Martelli, R.; Radeghieri, P.; Pezzi, F., 2014. Technological aspects of *Steinernema carpocapsae* spray application alone or mixed with *Bacillus thuringiensis aizawai* in spinach crop. *Bull Insectology* 67 (1): 115-123.
- Larkin, R.P., 2016. Impacts of biocontrol products on *Rhizoctonia* disease of potato and soil microbial communities, and their persistence in soil. *Crop Protec* 90: 96-105.
- Li, H.R.; Li, B.P.; Lovei, G.L.; Kring, T.J.; Obrycki, J.J., 2021. Interactions Among Native and Non-Native Predatory Coccinellidae Influence Biological Control and Biodiversity. *Ann Entomol Soc Am* 114 (2): 119-136.
- Liu, T.X.; Irungu, R.W.; Dean, D.A.; Harris, M.K., 2013. Impacts of spinosad and lambda-cyhalothrin on spider communities in cabbage fields in south Texas. *Ecotoxicology*, 22 (3): 528-537
- Liu, J.; Liang, Y.S.; Hu, T.; Zeng, H.; Gao, R.; Wang, L.; Xiao, Y.H., 2021. Environmental fate of Bt proteins in soil: Transport, adsorption/desorption and degradation. *Ecotox Environ Safe* 226: 14.
- Lombaert, E.; Estoup, A.; Facon, B.; Joubard, B.; Gregoire, J.C.; Jannin, A.; Blin, A.; Guillemaud, T., 2014. Rapid increase in dispersal during range expansion in the invasive ladybird *Harmonia axyridis*. *J Evol Biol* 27 (3): 508-517.
- Malagnoux, L.; Capowiez, Y.; Rault, M., 2015. Impact of insecticide exposure on the predation activity of the European earwig *Forficula auricularia*. *Environ Sci Pollut Res* 22 (18): 14116-14126.
- Mamy, L.; Barriuso, E., 2022. Les substances naturelles : une alternative aux pesticides de synthèse. *L'Actualité Chimique*, 470: 9-14.
- Mantzoukas, S.; Milonas, P.; Kontodimas, D.; Angelopoulos, K., 2013. Interaction between the entomopathogenic bacterium *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* and two entomopathogenic fungi in bio-control of *Sesamia nonagrioides* (Lefebvre) (Lepidoptera: Noctuidae). *Ann Microbiol* 63 (3): 1083-1091.
- Marliac, G.; Mazzia, C.; Pasquet, A.; Cornic, J.F.; Hedde, M.; Capowiez, Y., 2016. Management diversity within organic production influences epigeal spider communities in apple orchards. *Agri Ecosys Environ* 216: 73-81.
- Martelli, F.; Hernandez, N.H.; Zuo, Z.; Wang, J.; Wong, C.-O.; Karagas, N.E.; Roessner, U.; Rupasinghe, T.; Robin, C.; Venkatachalam, K.; Perry, T.; Batterham, P.; Bellen, H.J., 2022. Low doses of the organic insecticide spinosad trigger lysosomal defects, elevated ROS, lipid dysregulation, and neurodegeneration in flies. *eLife*, 11: e73812.
- Meyling, N.V.; Eilenberg, J., 2007. Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control. *Biol Cont* 43 (2): 145-155.
- Nikolova, I.; Georgieva, N.; Tahsin, N., 2015. Toxicity of neem and pyrethrum products applied alone and in combination with different organic products to some predators and their population density. *Rom Agri Res* 32: 291-301.
- Oestergaard, J.; Belau, C.; Strauch, O.; Ester, A.; van Rozen, K.; Ehlers, R.U., 2006. Biological control of *Tipula paludosa* (Diptera : Nematocera) using entomopathogenic nematodes (*Steinernema* spp.) and *Bacillus thuringiensis* subsp *israelensis*. *Biological Cont* 39 (3): 525-531.
- Ohtonen, R.; Ohtonen, A.; Luotonen, H.; Markkola, A.M., 1992. Enchytraeid and nematode numbers in urban, polluted Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands in relation to other soil biological parameters. *Biol Fertl Soils* 13 (1): 50-54.
- Oliveira, C.R.; Garcia, T.D.; Franco-Belussi, L.; Salla, R.F.; Souza, B.F.S.; de Melo, N.F.S.; Irazusta, S.P.; Jones-Costa, M.; Silva-Zacarin, E.C.M.; Fraceto, L.F., 2019. Pyrethrum extract encapsulated in nanoparticles: Toxicity studies based on genotoxic and hematological effects in bullfrog tadpoles. *Environ Pollut* 253: 1009-1020.
- Oluwafemi, A.R.; Rao, Q.; Wang, X.Q.; Zhang, H.Y., 2009. Effect of *Bacillus thuringiensis* on *Habrobracon hebetor* during combined biological control of *Plodia interpunctella*. *Insect Sci* 16 (5): 409-416.
- Pereira, J.L.; Picanco, M.C.; da Silva, A.A.; de Barros, E.C.; da Silva, R.S.; Galdino, T.V.D.; Marinho, C.G.S., 2010. Ants as Environmental Impact Bioindicators From Insecticide Applic Corn *Sociobiol* 55 (1): 153-164.
- Poulin, B.; Lefebvre, G., 2018. Perturbation and delayed recovery of the reed invertebrate assemblage in Camargue marshes sprayed with *Bacillus thuringiensis israelensis*. *Insect Sci* 25 (4): 542-548.
- Quesada, C.R.; Sadof, C.S., 2020. Residual toxicity of insecticides to *Chrysoperla rufilabris* and *Rhyzobius lophanthae* predators as biocontrol agents of pine needle scale. *Crop Protec* 130: 7.
- Rondoni, G.; Onofri, A.; Ricci, C., 2012. Laboratory studies on intraguild predation and cannibalism among coccinellid larvae (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 109 (3): 353-362.
- Sutherland, A.M.; Gubler, W.D.; Parrella, M.P., 2010. Effects of fungicides on a mycophagous coccinellid may represent integration failure in disease management. *Biol Cont* 54 (3): 292-299
- Tacoli, F.; Cargnus, E.; Zandigiaco, P.; Pavan, F., 2020. Side Effects of Sulfur Dust on the European Grapevine Moth *Lobesia botrana* and the Predatory Mite *Kampimodromus aberrans* in Vineyards. *Insects* 11 (11): 13.
- Tayeh, A.; Hufbauer, R.A.; Estoup, A.; Ravigne, V.; Frachon, L.; Facon, B., 2015. Biological invasion and biological control select for different life histories. *Nature Comm* 6: 5.
- Telesinski, A.; Michalciewicz, W.; Platkowski, M.; Strek, M.; Onyszkol, M.; Wisniewska, J., 2015. The side-effect of organic insecticide spinosad on biochemical and microbiological properties of clay soil. *J Ecol Eng* 16 (4): 191-197.
- Tetreau, G.; Alessi, M.; Veyrenc, S.; Perigon, S.; David, J.P.; Reynaud, S.; Despres, L., 2012. Fate of *Bacillus thuringiensis* subsp *israelensis* in the Field: Evidence for Spore Recycling and Differential Persistence of Toxins in Leaf Litter. *App Environ Microbiol* 78 (23): 8362-8367.
- Weeks, D.M.; Parris, M.J., 2020. A *Bacillus thuringiensis* *kurstaki* Biopesticide Does Not Reduce Hatching Success or Tadpole Survival at Environmentally Relevant Concentrations in Southern Leopard Frogs (*Lithobates sphenoccephalus*). *Environ Tox Chem* 39 (1): 155-161.
- Zhu, Y.; Liu, B.; Sengonca, C., 2006. Efficiency of GCSC-BtA, as a new type of biocide, on different agricultural arthropod pests and its side-effect on some predators. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie*. Band 15 Juli 2006. Dresden, 21-24 märz 2005: 01/01, 309-313.