



**HAL**  
open science

## **Solutions de biocontrôle : Devenir dans l'environnement et impacts écotoxicologiques**

Laure Mamy, Cédric Bertrand, Bruno Chauvel, M.-F. Corio-Costet, Fabrice  
Martin-Laurent, Sophie Le Perchec, Marcel Amichot

► **To cite this version:**

Laure Mamy, Cédric Bertrand, Bruno Chauvel, M.-F. Corio-Costet, Fabrice Martin-Laurent, et al..  
Solutions de biocontrôle : Devenir dans l'environnement et impacts écotoxicologiques. 51<sup>ème</sup> congrès  
du Groupe Français de Recherches sur les Pesticides, GFP Groupe Français de Recherches sur les  
Pesticides, May 2023, Paris, France. 29 p. hal-04135395

**HAL Id: hal-04135395**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04135395>**

Submitted on 20 Jun 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



51<sup>ème</sup> congrès du Groupe Français de Recherches sur les Pesticides

31 mai – 1<sup>er</sup> juin 2023, Paris

## Solutions de biocontrôle : Devenir dans l'environnement et impacts écotoxicologiques

Laure Mamy<sup>1</sup>, Cédric Bertrand<sup>2</sup>, Bruno Chauvel<sup>3</sup>, Marie-France Corio-Costet<sup>4</sup>,  
Fabrice Martin-Laurent<sup>3</sup>, Sophie Le Perchec<sup>5</sup>, Marcel Amichot<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS 91120 Palaiseau, France (laure.mamy@inrae.fr)

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

<sup>3</sup> Institut Agro Dijon, INRAE, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, Agroécologie 21000 Dijon, France

<sup>4</sup> INRAE, Bordeaux Science Agro, UMR SAVE 1065 33882 Villenave d'Ornon, France

<sup>5</sup> INRAE, DipSO, UAR1266 35042 Rennes, France

<sup>6</sup> INRAE, Université Côte d'Azur, CNRS, UMR ISA 06560 Sophia Antipolis, France



➤ Introduction

# ➤ Introduction

## Contexte

- Préservation de la biodiversité 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 pesticides, est l'une des principales causes du déclin de la biodiversité (IPBES, 2019)
- Recherche d'alternatives aux pesticides
- **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 » (Article L. 253-6 du code rural et de la pêche maritime)

➤ **Durabilité ?**



# ➤ Introduction

Objectif et approche

## Objectif

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

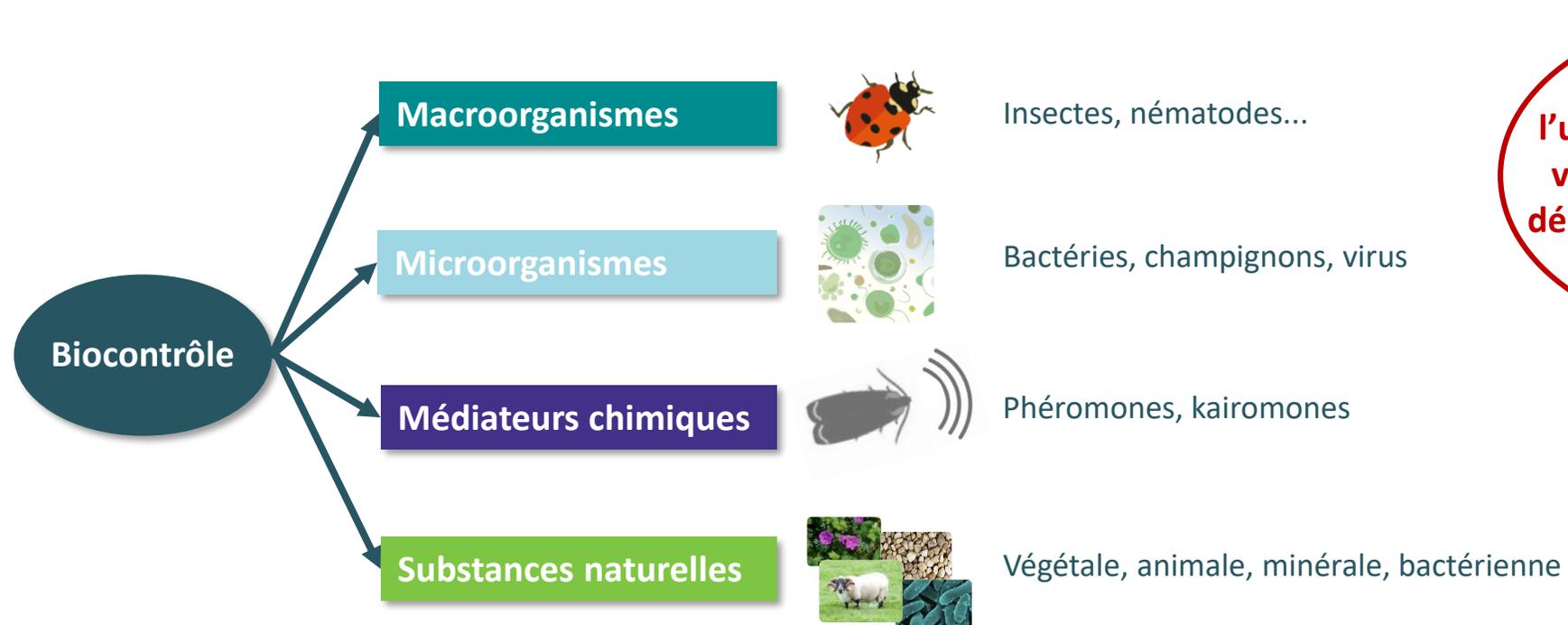
## Approche

- 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 des solutions de biocontrôle sur la biodiversité
  - Les effets des solutions de biocontrôle comparés à ceux des pesticides conventionnels



# > Introduction

## Biocontrôle : Définition



**ⓘ Spécificités de l'utilisation d'organismes vivants : multiplication, déplacement, colonisation d'autres milieux**



➤ 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  
Heptamaloxylglucan...

## Requête 3

Macroorganismes



Innovations Agronomiques 79 (2020), 425-439

Macroorganismes de biocontrôle en France, état des lieux

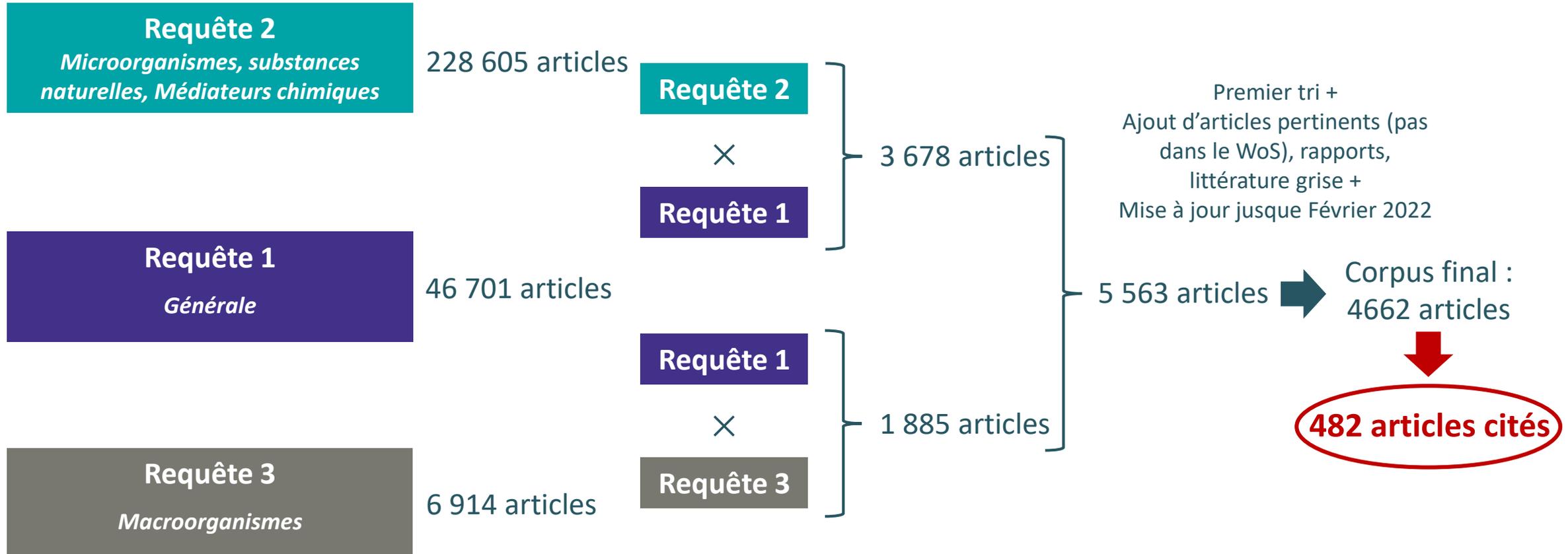
Robin D.C.<sup>1</sup>, Marchand P.A.<sup>1</sup>



*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

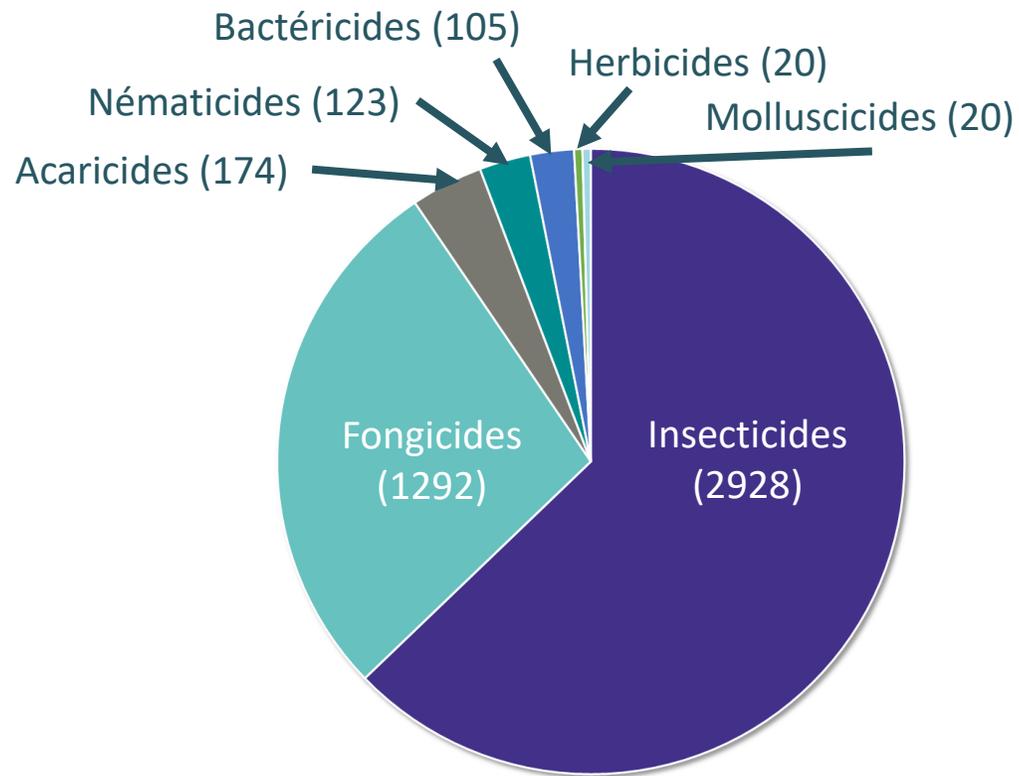


① Très grand nombre d'articles focalisés sur la production, l'amélioration, l'utilisation et l'efficacité des solutions de biocontrôle  
➔ Non pris en compte dans ce travail



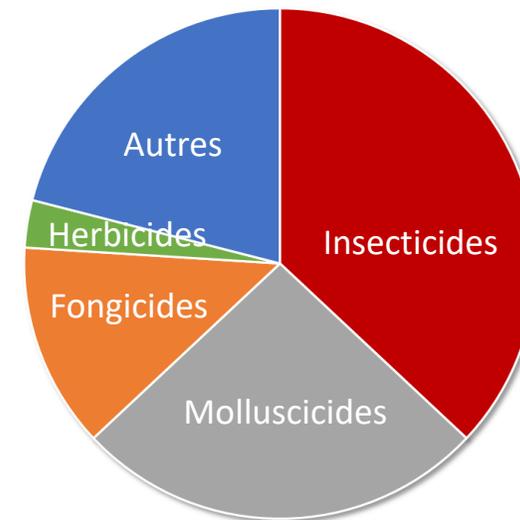
## ➤ Corpus bibliographique

Distribution des articles en fonction des usages du biocontrôle



D'après Amichot et al. (soumis)

- 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



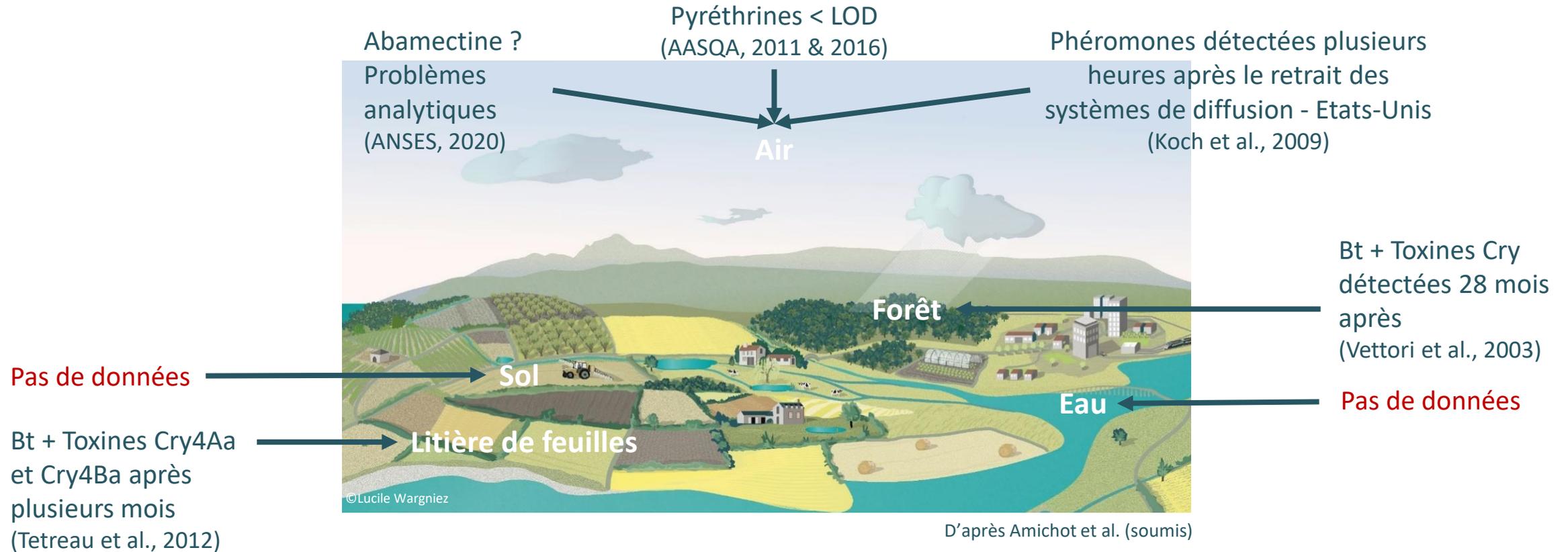
Vente des solutions de biocontrôle  
(% parts de marché en 2020)  
(IBMA, 2021)



➤ Contamination de l'environnement par les solutions de biocontrôle

# ➤ Contamination de l'environnement

## ➤ Substances de biocontrôle rarement recherchées dans l'environnement

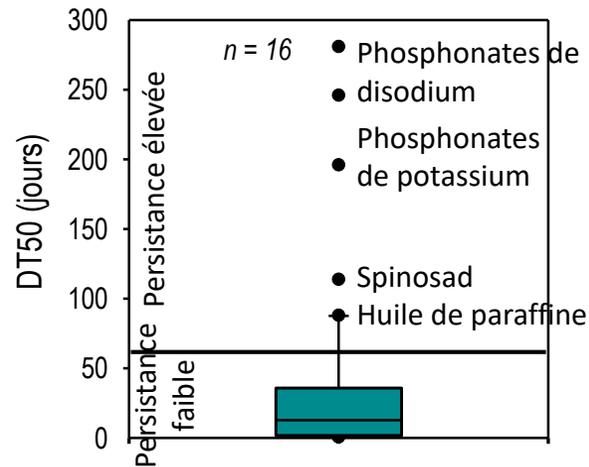




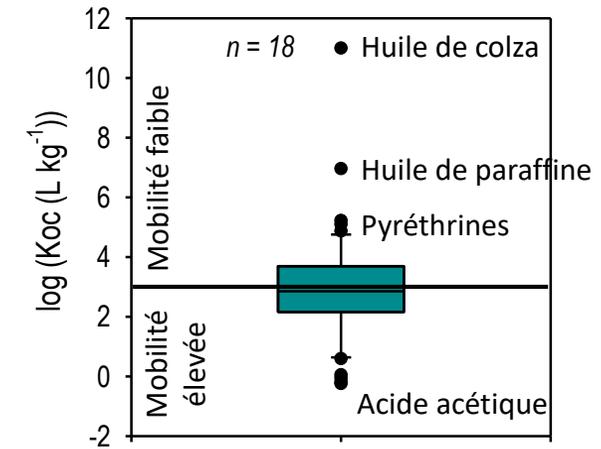
➤ Devenir des solutions de biocontrôle dans l'environnement

# ➤ 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**

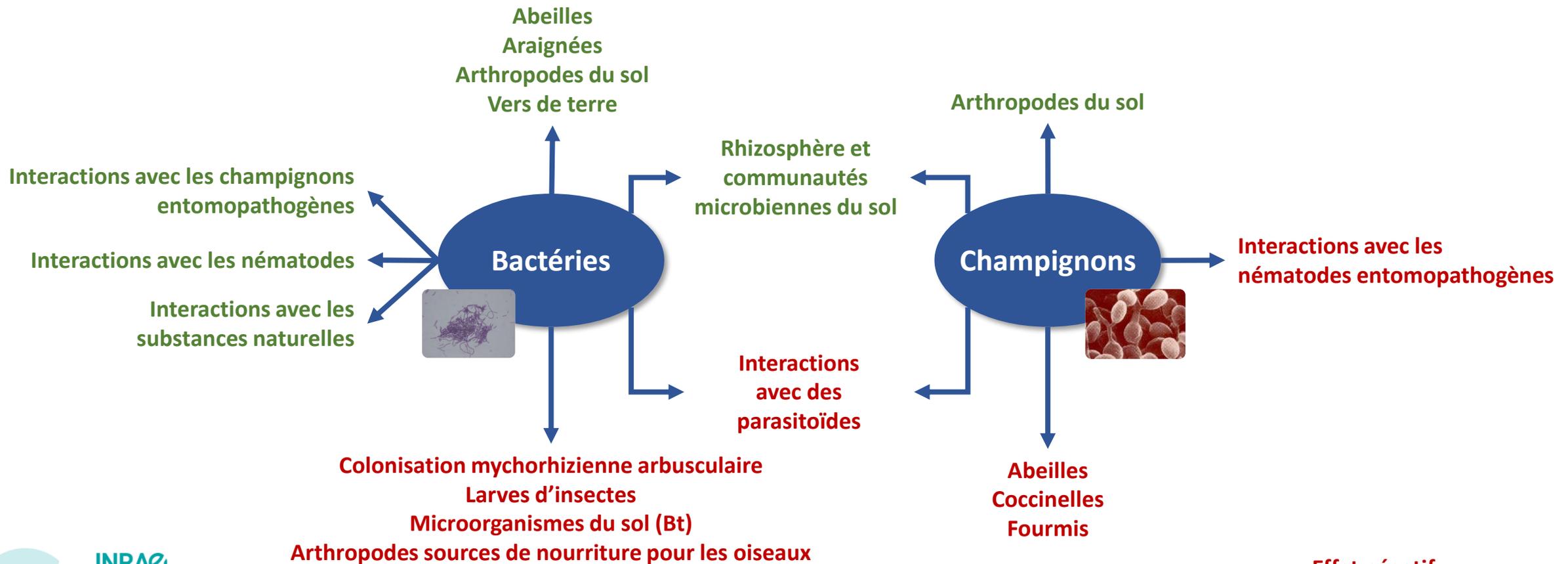


➤ Effets écotoxicologiques et impact sur la biodiversité des solutions de biocontrôle

# ➤ Microorganismes

Synthèse des effets observés

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



# ➤ Microorganismes

## Principales conclusions

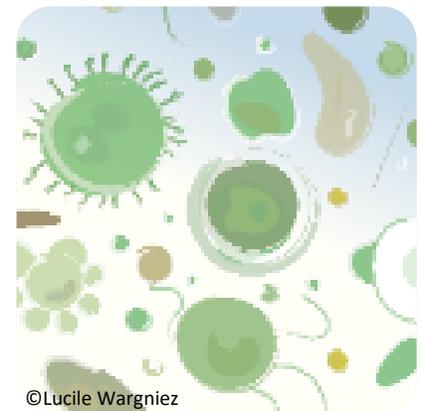
- Impact limité des microorganismes sur la micro-biodiversité du sol, sauf pour Bt
- Les champignons peuvent avoir des effets sur différents organismes

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

➤ **Impact des virus ?**

➤ **Invasion par les microorganismes ?**

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

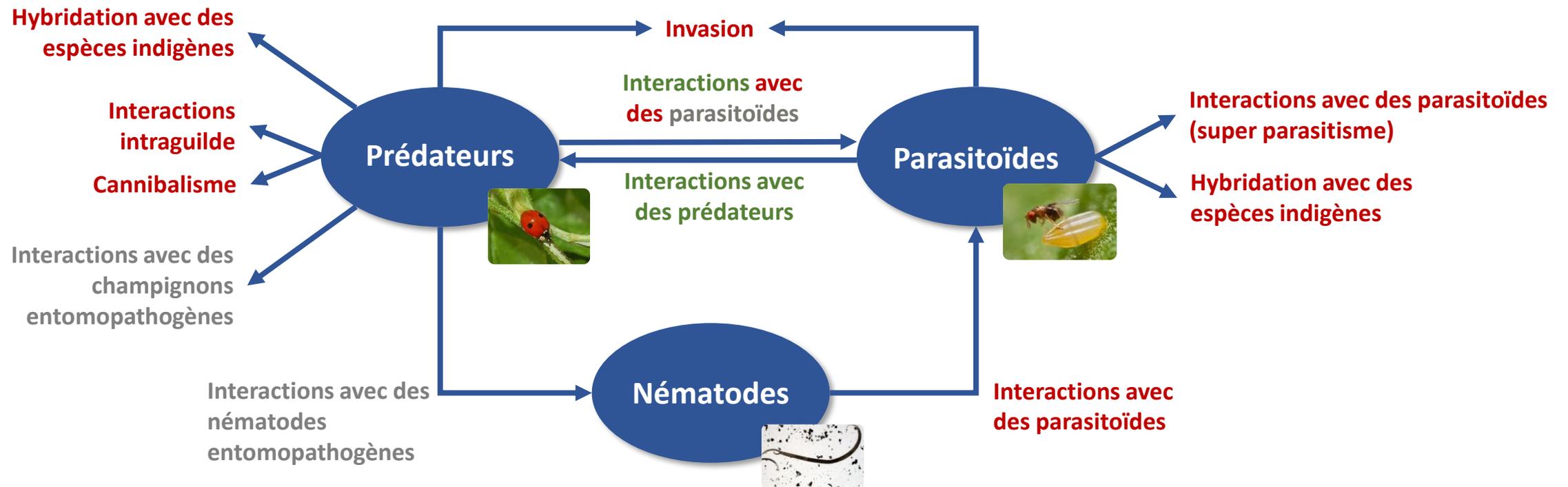


©Lucile Wagniez

# ➤ Macroorganismes

Synthèse des effets observés

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



Effet négatif  
Pas d'effet  
Effet positif

# ➤ 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 ?



# ➤ Substances naturelles

Synthèse des effets observés



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

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

① Modes d'action similaires à ceux des pesticides 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 ?**

## ➤ Médiateurs chimiques

➤ **Aucune donnée dans la bibliographie !**



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

## ➤ Effets des solutions biocontrôle / pesticides conventionnels



Microorganismes

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



Substances naturelles



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

### ➤ Besoin de données

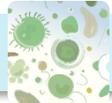


➤ Conclusion

# ➤ 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 / pesticides conventionnels
- ⓘ Abamectine, pyréthrinés, spinosad
- Contamination ?

### Médiateurs chimiques



- ?



© Lucile Wagniez

## ➤ Conclusion (2/2)

### Questions en suspens

- 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 / pesticides conventionnels ?

NB : Manque de solutions herbicides biosourcées

➤ **Biocontrôle : alternative prometteuse aux pesticides conventionnels, mais dépend du type de solution**

➤ **De nombreuses recherches restent à mener**



## ➤ Remerciements

- Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Expertise Scientifique Collective portant sur les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques
- 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 Wargniez
- 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](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](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>

