

Impacts des néonicotinoïdes sur la biodiversité

Laure Mamy¹, Stéphane Pesce², Wilfried Sanchez³, Stéphanie Aviron⁴, Carole Bedos¹, Philippe Berny⁵, Colette Bertrand¹, Stéphane Betoulle⁶, Sandrine Charles⁷, Arnaud Chaumot², Michael Coeurdassier⁸, Marie-Agnès Coutellec⁹, Olivier Crouzet¹⁰, Juliette Faburé¹, Clémentine Fritsch⁸, Patrice Gonzalez¹¹, Mickael Hedde¹², Christophe Leboulanger¹³, Christelle Margoum², Christian Mougin¹, Dominique Munaron¹³, Sylvie Nélieu¹, Céline Pelosi¹⁴, Magali Rault¹⁵, Elliott Sucre^{13,16}, Marielle Thomas¹⁷, Julien Tournebize¹⁸, Sophie Leenhardt¹⁹

¹ INRAE, UMR ECOSYS 91120 Palaiseau, France (laure.mamy@inrae.fr)

²⁻¹⁹ Cf. diapositive 44



➤ 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 produits phytopharmaceutiques (PPP), est l'une des principales causes du déclin de la biodiversité (IPBES, 2019)
- **Expertise scientifique collective (ESCo) « Impacts des PPP sur la biodiversité et les services écosystémiques »**



INRAE



<https://doi.org/10.17180/0gp2-cd65>

https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/PestiEcotox_Synth%C3%A8se_Experts_V12_rev2.pdf

https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/ExpertiseCollectivePestiEcotox_R%C3%A9sum%C3%A9.pdf

<https://www.quae-open.com/produit/216/9782759236572/impacts-des-produits-phytopharmaceutiques-sur-la-biodiversite-et-les-services-ecosystemiques>

INRAE

ECOScience, 12 avril 2024, Palaiseau

Mamy et al. Impacts des néonicotinoïdes sur la biodiversité

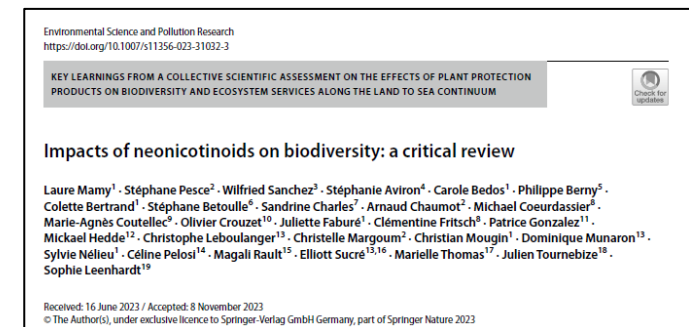
➤ Introduction

Expertise scientifique collective



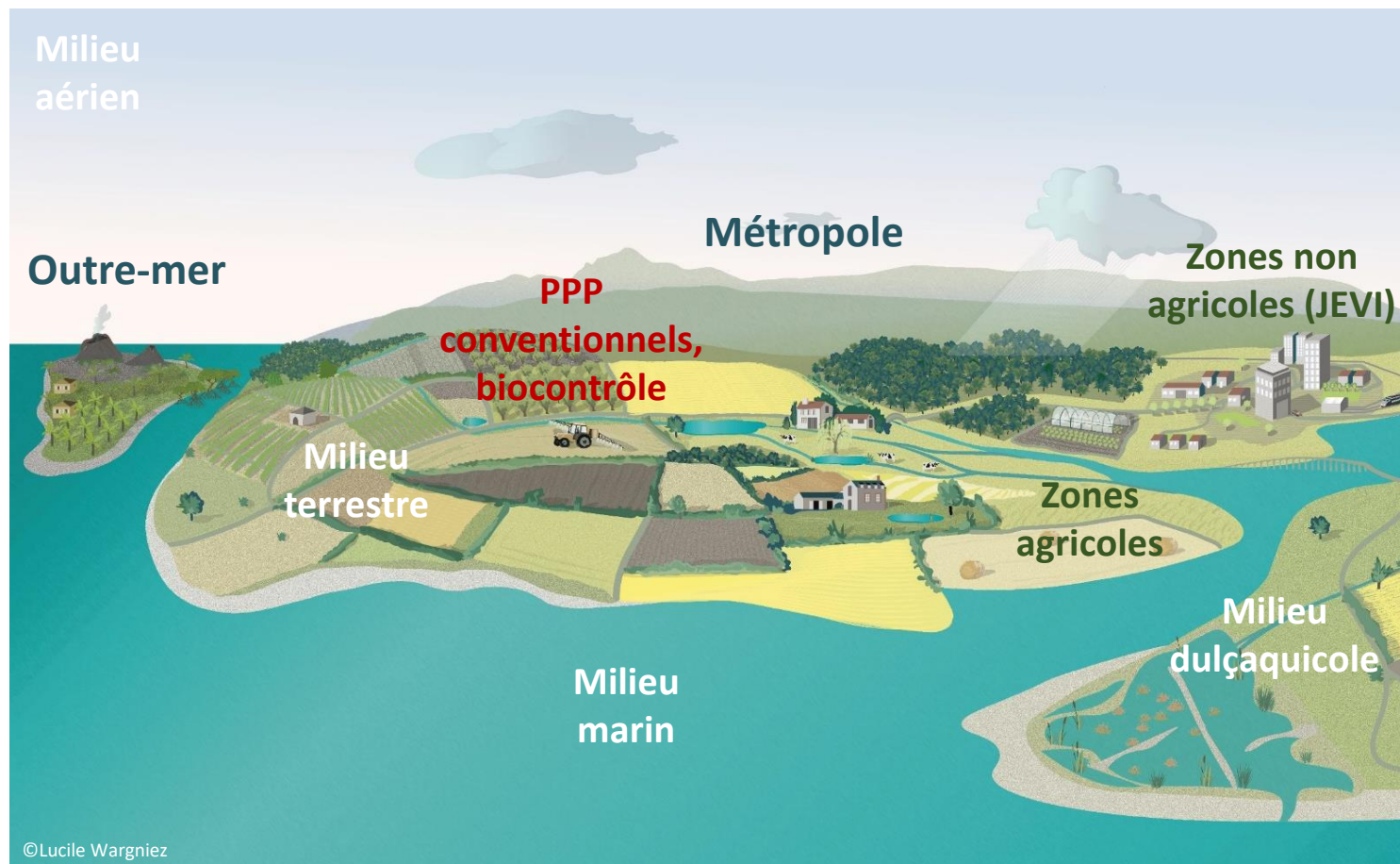
- **Expertise scientifique collective** : Informer les politiques et contribuer au débat public en analysant la bibliographie
- Revue bibliographique focalisée sur les **études les plus intégratives et les plus réalistes possible du point de vue écologique**

NB : Pour éviter de surcharger les diapositives, les références ne sont pas indiquées. Elles sont disponibles dans Mamy et al. (2024)



➤ Introduction

ESCo « Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques »



- Contamination
- Transfert et leviers de réduction
- Effets sur :
 - Producteurs primaires
 - Microorganismes
 - Invertébrés terrestres
 - Invertébrés aquatiques
 - Vertébrés terrestres
 - Vertébrés aquatiques
- Réseaux trophiques
- Services écosystémiques
- Biocontrôle
- Modélisation
- Règlementation

➤ **A partir de cette ESCo ➡ Focus sur les néonicotinoïdes**

INRAE

ECOScience, 12 avril 2024, Palaiseau

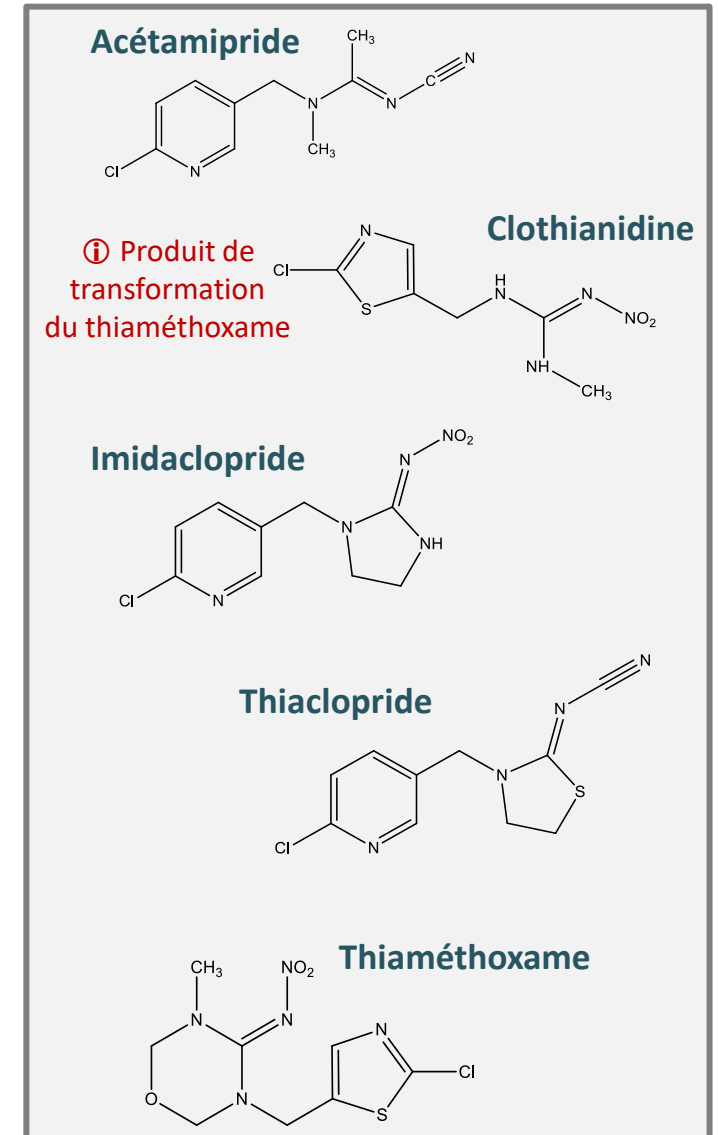
Mamy et al. Impacts des néonicotinoïdes sur la biodiversité

Mamy et al. (2022); Leenhardt et al. (2023); Pesce et al. (2024)

➤ Introduction

Néonicotinoïdes

- Insecticides systémiques
 - Agissent sur le système nerveux central des insectes en ciblant les récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine (nAChRs) dans le cerveau
 - Usages : Agriculture, Produits vétérinaires, Biocides
 - Agriculture : Traitement de semences essentiellement, mais aussi application en granulés, pulvérisation, traitement du sol
- 5 néonicotinoïdes majoritairement utilisés : Acétamipride, Clothianidine, Imidaclopride, Thiaclopride, Thiaméthoxame
- **Seul l'acétamipride est encore approuvé au niveau EU**
- **Autres néonicotinoïdes interdits depuis 2019 & 2020**
- **Mais dérogations en 2021, 2022 (jaunisse de la betterave)**



➤ Introduction

Objectif

Synthèse bibliographique :

- **Contamination de l'environnement (sol, eau, air, biote) par les néonicotinoïdes**
- **Impacts des néonicotinoïdes sur la biodiversité terrestre et aquatique**





➤ Corpus bibliographique

➤ Corpus bibliographique

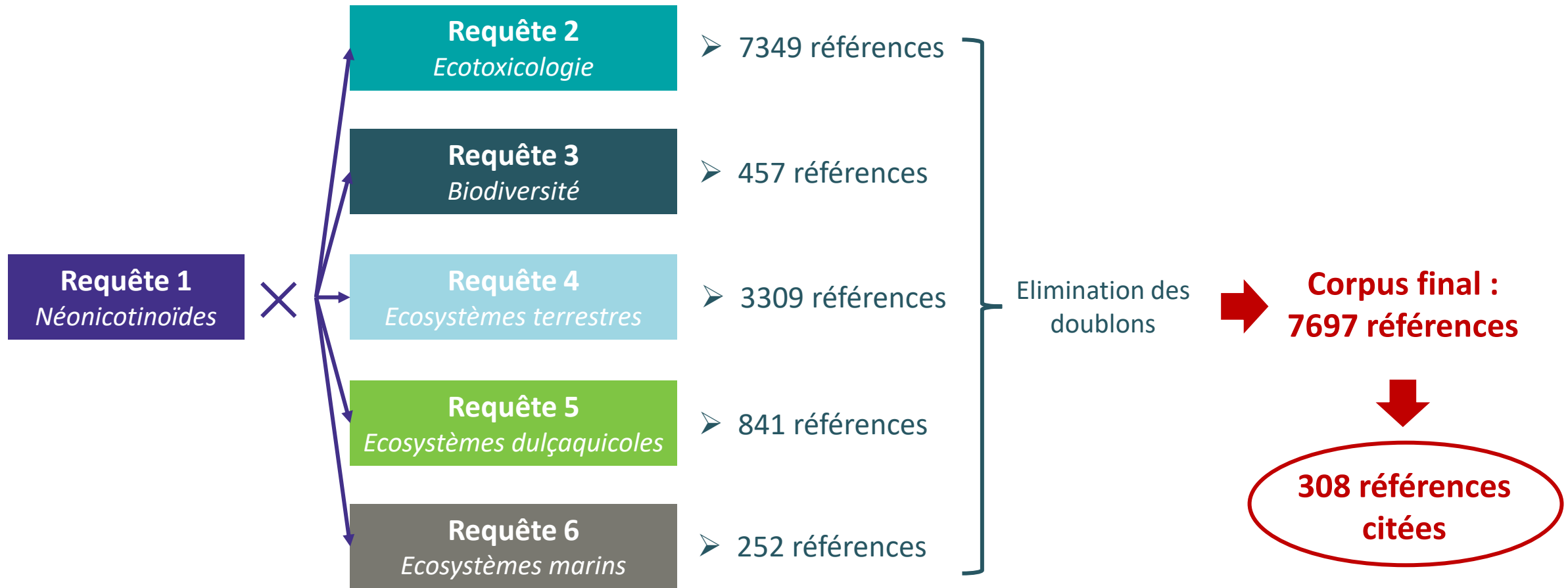
Définition des requêtes et mots-clés

| Requête 1 <i>Néonicotinoïdes</i> | Requête 2 <i>Ecotoxicologie</i> | Requête 3 <i>Biodiversité</i> | Requête 4 <i>Ecosystèmes terrestres</i> | Requête 5 <i>Ecosystèmes dulçaquicoles</i> | Requête 6 <i>Ecosystèmes marins</i> |
|--|---|---|--|--|---|
| Neonicotinoid* Acetamiprid Clothianidin Imidacloprid Thiacloprid Thiamethoxam | Biomarker* Bioaccumulat* Biodisponibility Biomonitoring Ecotoxic* Effect* Epigenetics Exposome Exposure* Impact* Resistance Respons* | Biodiversity Animal diversity Faunal diversity Insect diversity Microbial diversity Plant diversity Species richness Functional diversity Genetic diversity Biomarker* Pop. dynamic* Food web ... | Soil fauna* Soil biota* Soil organism* Arthropod* Earthworm* Hymenoptera* Invertebrate* Mammal* Mesofauna* Nematod* Pollinator* Landscape* ... | Alga* Amphibian* Bird\$ Crustacean* Fish Food web Insect* Invertebrate* Mammal* Microorganism* Plankton* Lake* ... | Marin* Bird* Crustacean* Fish Insect* Invertebrate* Mammal* Food web Coastal* Estuar* Lagoon* Coral reef* ... |



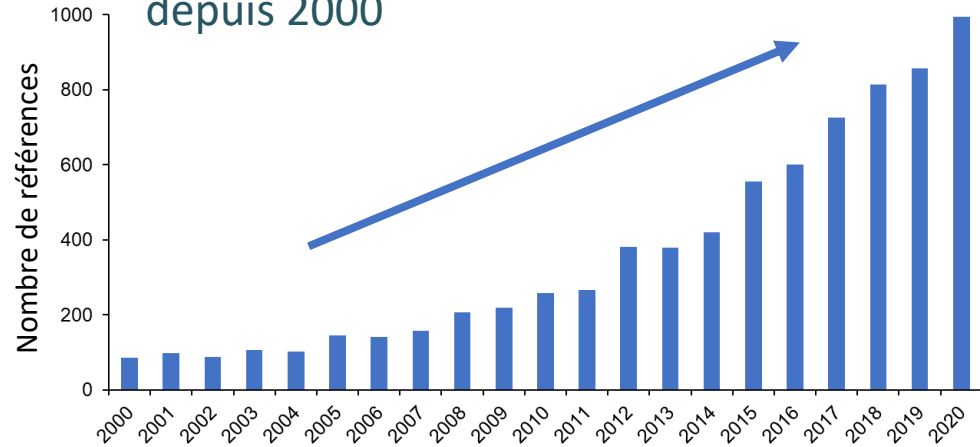
➤ Corpus bibliographique

Sélection des références dans le Web of Science™ (WoS) entre 2000 et 2020



➤ Corpus bibliographique

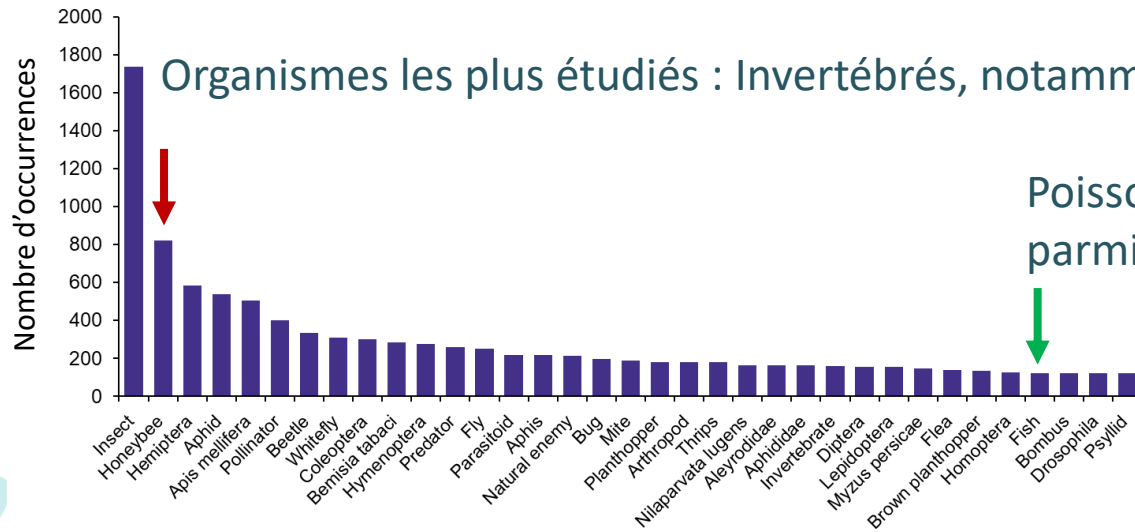
Forte augmentation du nombre de références depuis 2000



Néonicotinoïde le plus étudié : Imidaclopride



Organismes les plus étudiés : Invertébrés, notamment les abeilles



Poisson : Seule exception / invertébrés terrestres parmi les 35 premières occurrences

Mamy et al. (2024)

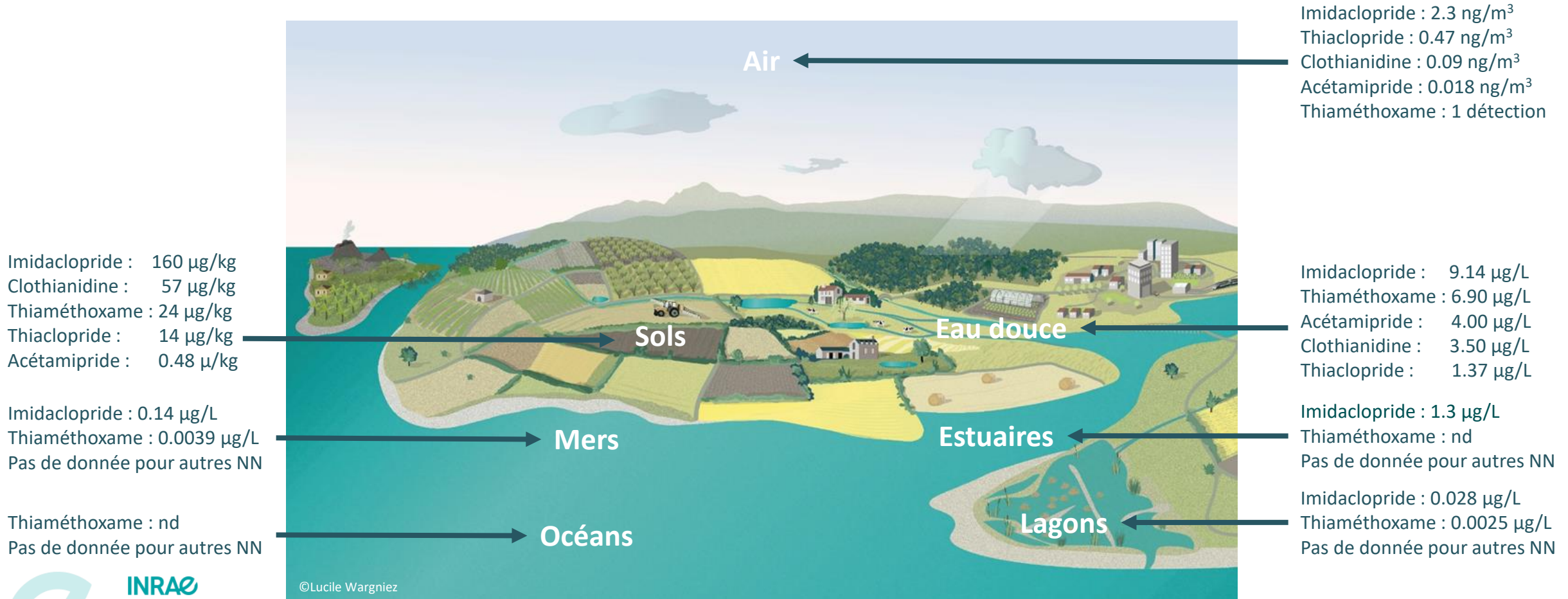


➤ Contamination de l'environnement par les néonicotinoïdes

➤ Contamination de l'environnement : sol, eau, air

Concentrations maximales observées

➤ **Les néonicotinoïdes sont retrouvés dans tous les milieux : sol, eau, air**

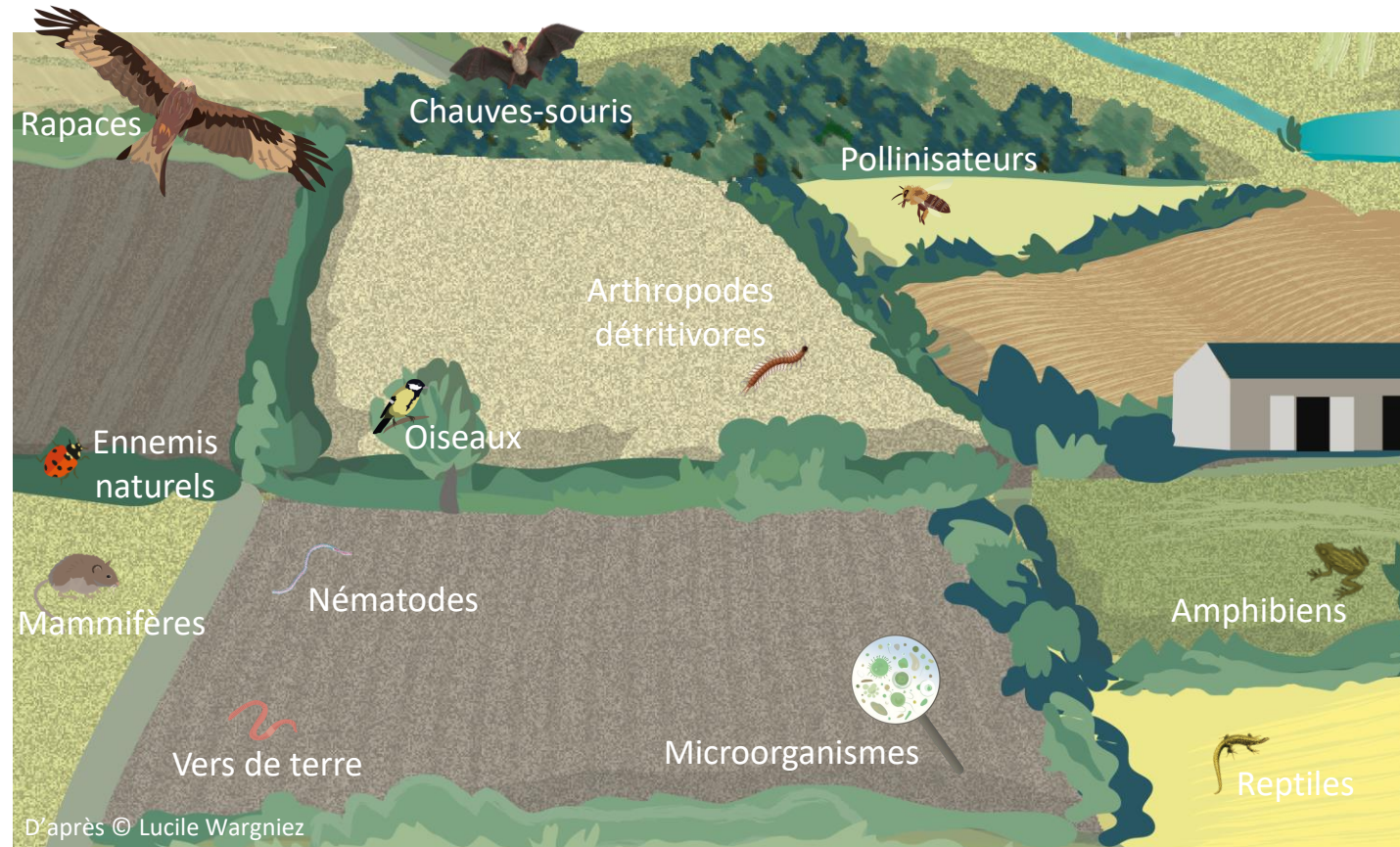




➤ Impacts des néonicotinoïdes
sur la biodiversité terrestre

➤ Biodiversité terrestre

Synthèse des organismes étudiés



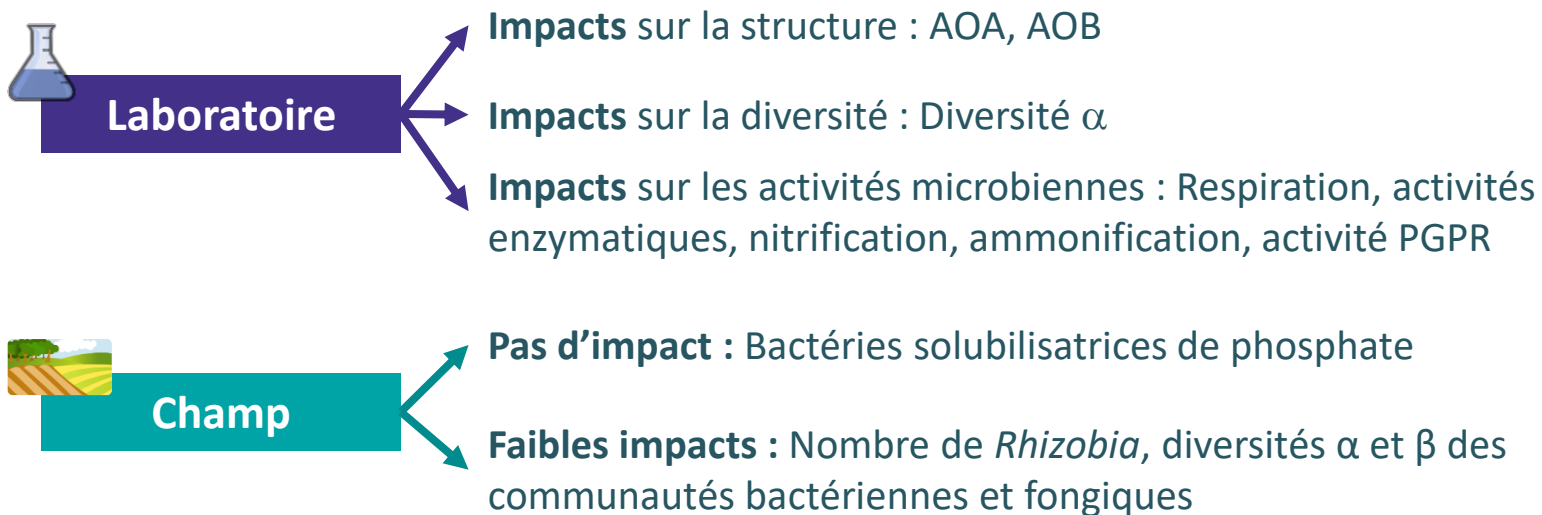
➤ Microorganismes hétérotrophes terrestres

Synthèse des effets observés

- Imidaclopride majoritairement étudié
- Quelques études / Acétamipride, clothianidine, thiaméthoxame
- Aucune étude / Thiaclopride



➤ Résultats contradictoires : Laboratoire (impacts négatifs) / Champ (peu d'impacts)



ⓘ Conditions agronomiques non réalistes

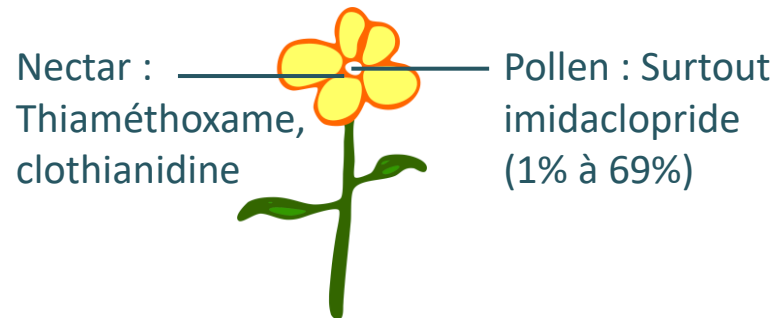
➤ Invertébrés terrestres : Pollinisateurs (1/3)

Exposition

- Les néonicotinoïdes impactent les pollinisateurs car ils sont retrouvés dans le pollen, le nectar et d'autres parties des plantes ➤ Exposition par voie orale et par contact



➤ L'exposition des abeilles aux néonicotinoïdes a été démontrée à de nombreuses reprises



➤ Invertébrés terrestres : Pollinisateurs (2/3)

Impacts des néonicotinoïdes



Abeilles domestiques

- ↗ Mortalité, Sensibilité aux pathogènes
- ↘ Mémoire, Capacités d'apprentissage
- ↘ Mécanismes de compensation au sein des colonies



Pollinisateurs sauvages

- ↗ Mortalité
- ↘ Reproduction, production des reines, croissance, consommation de pollen, recherche de nourriture, vol, endurance



Papillons

- ↘ Longévité, développement des populations, migration, hivernage
- ↘ Pas d'effet sur la production d'oocytes, migration

➤ **Toxicité des néonicotinoïdes nitro-substitués (imidaclopride, thiaméthoxame, clothianidine) > néonicotinoïdes cyano-substitués (acétamipride, thiaclopride)**

INRAE

ECOScience, 12 avril 2024, Palaiseau

Mamy et al. Impacts des néonicotinoïdes sur la biodiversité

➤ Invertébrés terrestres : Pollinisateurs (3/3)

Principales conclusions

➤ Effets négatifs des néonicotinoïdes sur les pollinisateurs

- Certains résultats contradictoires s'expliquent par des biais méthodologiques :
 - Conditions de laboratoire non représentatives de celles observées *in natura*
 - Majorité des études focalisée sur les abeilles domestiques et les bourdons, or susceptibilité aux insecticides variable selon les espèces
 - Majorité des études focalisée sur un seul néonicotinoïde : Généralisation difficile
- **Besoins de recherches :**
 - Combiner approches de laboratoire et de plein champ
 - Etudier les effets des néonicotinoïdes aux niveaux sub-individuel et individuel, et les conséquences pour les colonies et populations
 - Développer des modèles aux niveaux colonie/population



➤ Invertébrés terrestres : Ennemis naturels

Principales conclusions

➤ Les néonicotinoïdes ont des effets négatifs sur les auxiliaires des cultures



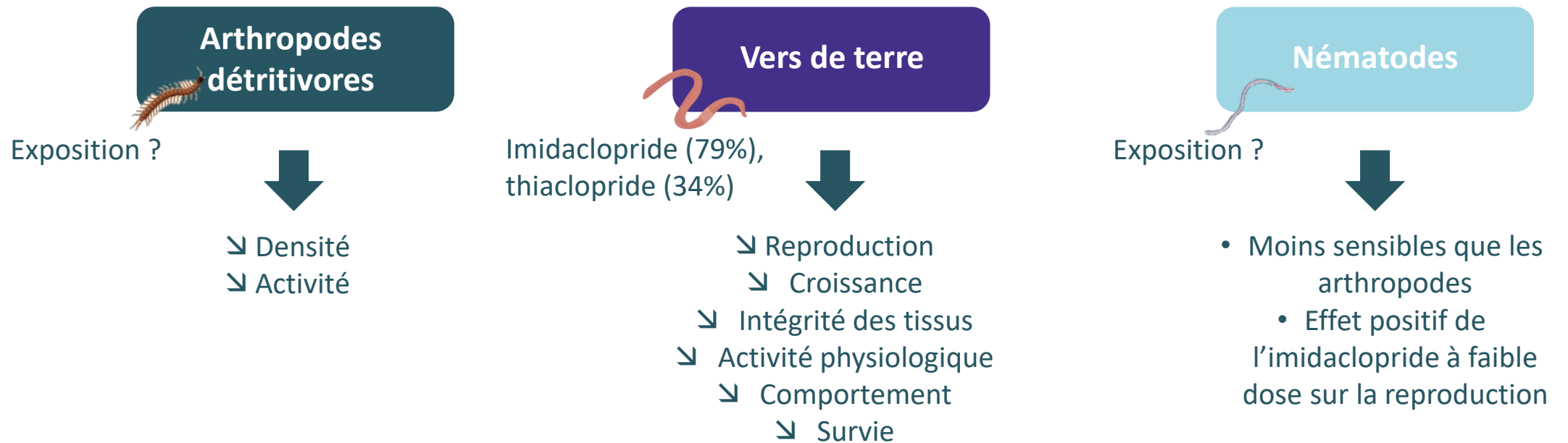
| Araignées | Acariens prédateurs | Carabes | Chrysopes | Coccinelles | Forficules | Fourmis | Hyménoptères parasitoïdes | Punaises |
|---|--|--|---|---|---|---|---|---|
| <p>Effets létaux et sublétaux, tels qu'une perturbation de la construction des toiles</p> <p>↘ Richesse des communautés</p> | <p>Perturbation du comportement</p> <p>Pas de perte d'abondance</p> <p>① Capacité à développer une résistance à l'acétamipride</p> | <p>Altération de la mobilité</p> <p>Paralyse</p> | <p>Altération de la mobilité</p> <p>↘ Survie</p> <p>① Capacité à développer une résistance à l'acétamipride</p> | <p>Altération de la mobilité</p> <p>↘ Nombre d'œufs qui se développent, prédation</p> | <p>↗ Mortalité</p> <p>↘ Croissance des larves, recherche de nourriture, comportement prédateur des mâles</p> <p>Altération de la mobilité</p> | <p>↗ Mortalité</p> <p>↘ Recherche de nourriture, construction des nids, comportement de compétition</p> | <p>↘ Abondance</p> <p>↗ Infestation des ravageurs</p> | <p>Allongement du dvpt des larves</p> <p>Oviposition retardée</p> <p>↘ Consommation des proies, poids</p> |

➤ Aucune donnée concernant l'exposition

➤ Invertébrés terrestres : Arthropodes détritivores, vers de terre, nématodes

Principales conclusions

- **Les néonicotinoïdes ont des effets négatifs sur les arthropodes détritivores et les vers de terre, mais pas sur les nématodes**

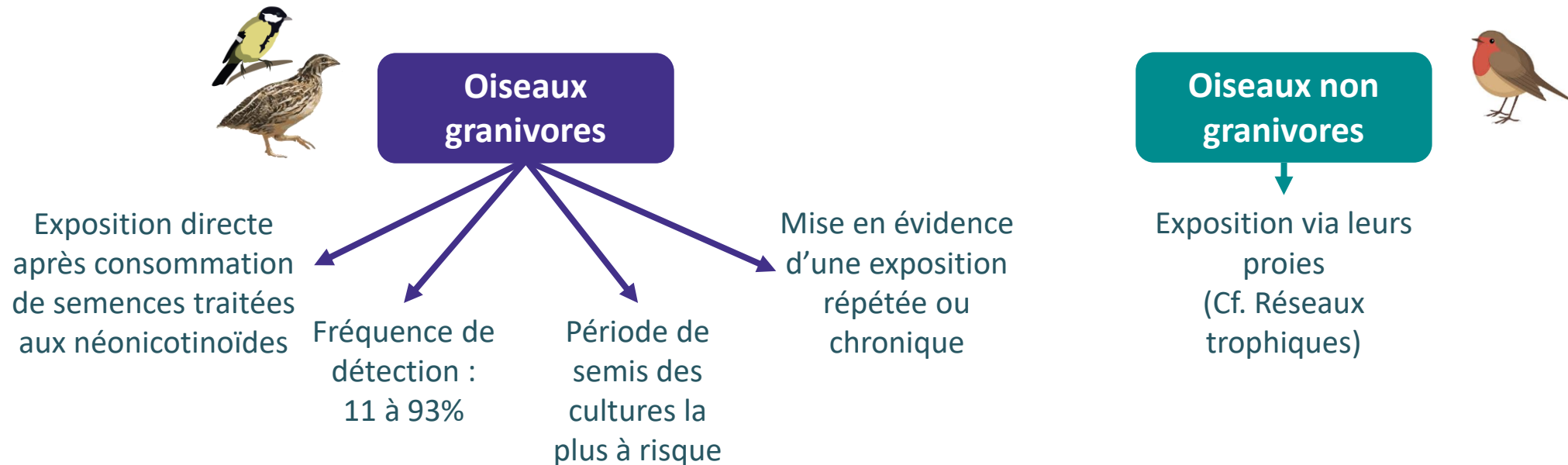


- **Besoin de données complémentaires**

➤ Vertébrés terrestres : Oiseaux (à l'exclusion des rapaces) (1/2)

Exposition

- **Exposition ubiquiste des oiseaux aux néonicotinoïdes**
- **Détection des néonicotinoïdes dans les œufs, plumes, foies, plasma, fèces**



➤ Vertébrés terrestres : Oiseaux (à l'exclusion des rapaces) (2/2)

Impacts des néonicotinoïdes

- **Les néonicotinoïdes sont identifiés parmi les causes majeures du déclin des oiseaux agricoles**
- **Effet direct** (ingestion de semences traitées) et/ou **indirect** (réduction des ressources alimentaires suite au déclin des proies : Cf. Réseaux trophiques)



- **Les oiseaux sont particulièrement à risque / Néonicotinoïdes**
- **Liens « Exposition par ingestion directe ou transfert trophique - Toxicité chronique et effets sublétaux » et « Cascades trophiques - Effets dynamiques des populations et impacts sur les communautés » ?**

➤ Vertébrés terrestres : Rapaces

Principales conclusions

- **De nombreux travaux montrent la présence des néonicotinoïdes dans les rapaces**

Détection (3 à 80%) dans le sang, plumes, foies de divers rapaces (Bondrée apivore, Chouette effraie, Hibou grand-duc...)



- **Aucune étude disponible concernant la toxicité des néonicotinoïdes pour les rapaces**

➤ Vertébrés terrestres : Mammifères (à l'exclusion des chauves-souris)

Principales conclusions

➤ Les néonicotinoïdes figurent parmi les composés les plus détectés dans les mammifères



Détection 16.5%



Détection 100%

➔ **Ubiquité de l'exposition** : Résidus détectés ∇ habitat (haies, cultures, prairies) ou pratiques agricoles

Concentrations les plus élevées : Imidaclopride, thiaclopride (jusqu'à 70.7 µg/kg)

➤ Nombreux effets négatifs des néonicotinoïdes sur les mammifères

- ↘ Croissance
- ↘ Développement
- ↘ Reproduction



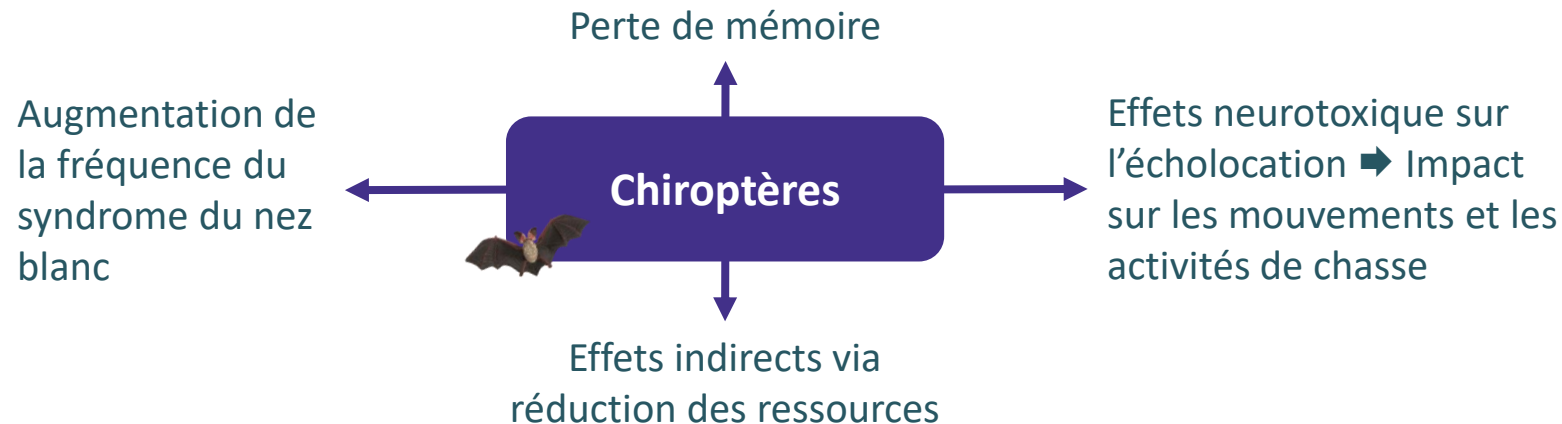
- Génotoxicité, cytotoxicité, immunotoxicité
- Troubles neuro-comportementaux
- Changement de comportement / Anxiété, peur
- Troubles de la thyroïde et de la rétine
- Réduction des mouvements...

ⓘ La plupart des recherches sont réalisées sur des rats et des souris au laboratoire : Toxicité pour les mammifères sauvages ?

➤ Vertébrés terrestres : Chauves-souris

Principales conclusions

- **Peu de résultats concernant l'exposition mais détection de clothianidine, imidaclopride, thiaméthoxame dans les poils des Grandes chauves-souris brunes**
 - Fréquence de détection la plus élevée : imidaclopride
- **Peu de résultats concernant les effets mais ils supportent l'hypothèse que les néonicotinoïdes ont un impact négatif sur les chauves-souris**

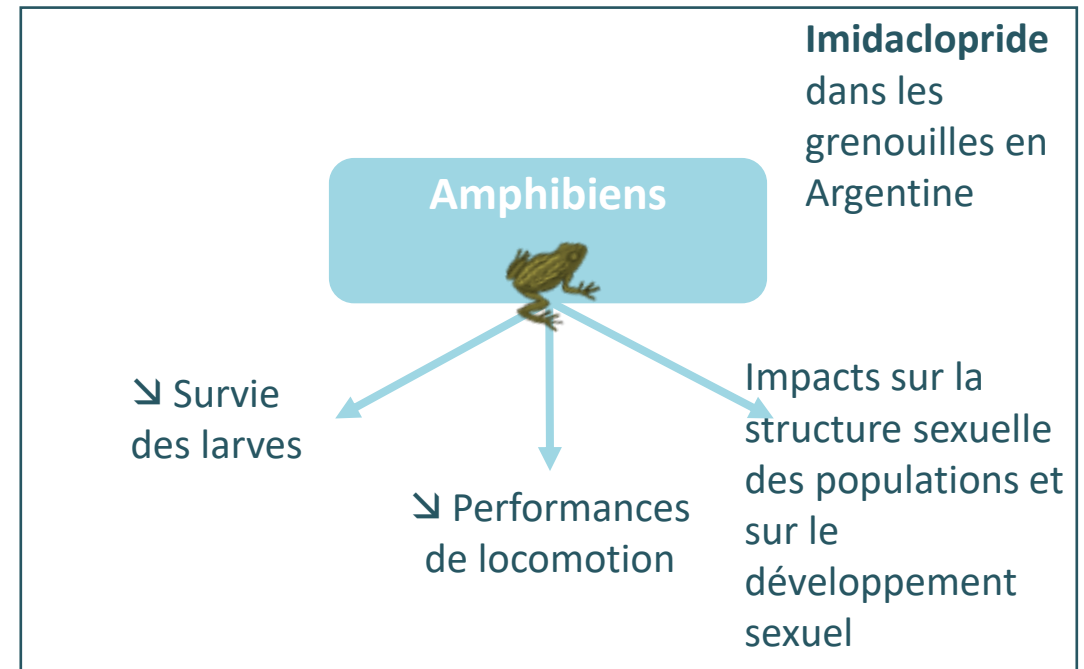
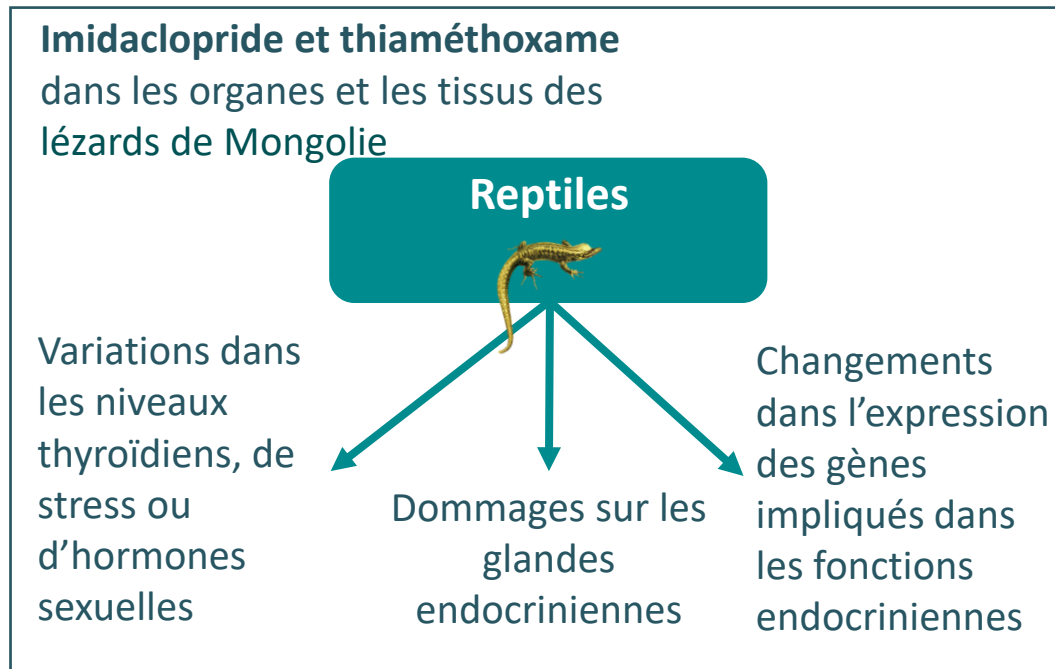


- **Manque de connaissance pour caractériser les effets des néonicotinoïdes sur les chauves-souris**


➤ Vertébrés terrestres : Reptiles et amphibiens

Principales conclusions

➤ **Très peu de données**



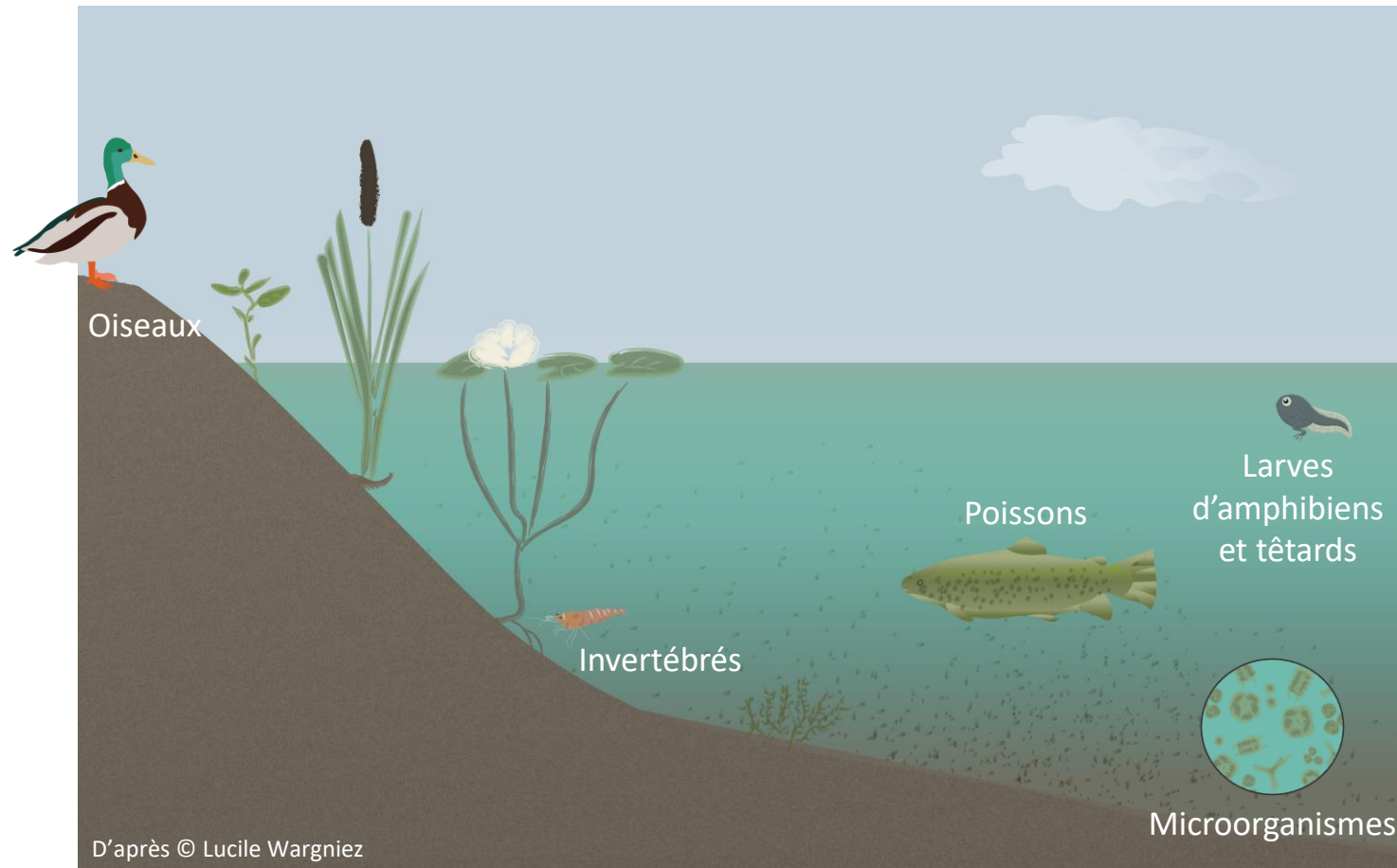
➤ **De nombreuses recherches restent à mener pour les reptiles et la phase terrestre des amphibiens**



➤ Impacts des néonicotinoïdes sur la biodiversité aquatique

➤ Biodiversité aquatique

Synthèse des organismes étudiés



➤ Microorganismes aquatiques

Principales conclusions

➤ Peu d'études sur les effets des néonicotinoïdes sur les microorganismes aquatiques



Décomposeurs
aquatiques microbiens



Pas d'effet sur l'activité et la respiration (imidaclopride)

Microalgues
Cyanobactéries



Effets à très hautes concentrations (mg/L), irréalistes /
concentrations environnementales

➤ **Les néonicotinoïdes ne sont pas susceptibles d'être toxiques pour les microorganismes aquatiques sauf en cas d'épisodes de contamination extrêmes**

> Invertébrés aquatiques

Principales conclusions

- L'exposition aux néonicotinoïdes dans les milieux aquatiques est fréquente, à long terme et à des concentrations > seuil réglementaire / Qualité de l'eau
- Peu d'études concernent les effets des néonicotinoïdes sur la biodiversité des invertébrés aquatiques mais elles montrent un impact marqué sur les arthropodes



Macroinvertébrés

- ↘ Biomasse
- Changement dans l'abondance et la structure des communautés



Arthropodes

- Changements dans la diversité, l'abondance des communautés
- ↘ Populations



Chironomes

- Altération du comportement d'alimentation (imidaclopride)
- Changement dans la motilité, la sélection alimentaire, la capacité à se nourrir (imidaclopride)



Gammares

- ↗ Sensibilité (imidaclopride)
- ⓘ Tolérance (clothianidine)

- **Relations « Impacts des néonicotinoïdes - Fitness des organismes » et « Impacts sur le système nerveux - Comportement » ?**

ⓘ Risque chronique peu évalué car souvent basé sur des tests de toxicité « Daphnies » qui sont tolérantes aux néonicotinoïdes

➤ Vertébrés aquatiques : Larves d'amphibiens et têtards

Principales conclusions

- **Sensibilité des amphibiens aux néonicotinoïdes via la contamination de l'eau rarement étudiée**



(imidaclopride)

Effets négatifs

Grenouille tachetée des marais :

- Mortalité élevée (jusqu'à 17%)
- ↳ Vitesse de nage, distance, fuite

Hylode et Grenouille aboyeuse :

- ↳ Taille
- Malformations morphologiques
- Changements dans l'activité de nage

Grenouille léopard du Nord :

- ↳ Recherche de nourriture

Grenouille des bois :

- ↳ Fuite
- ↳ Fonction cognitive

Pas d'effet

Grenouille verte (imidaclopride)

Effets positifs

Grenouille léopard du Nord : ↗ Croissance (imidaclopride)

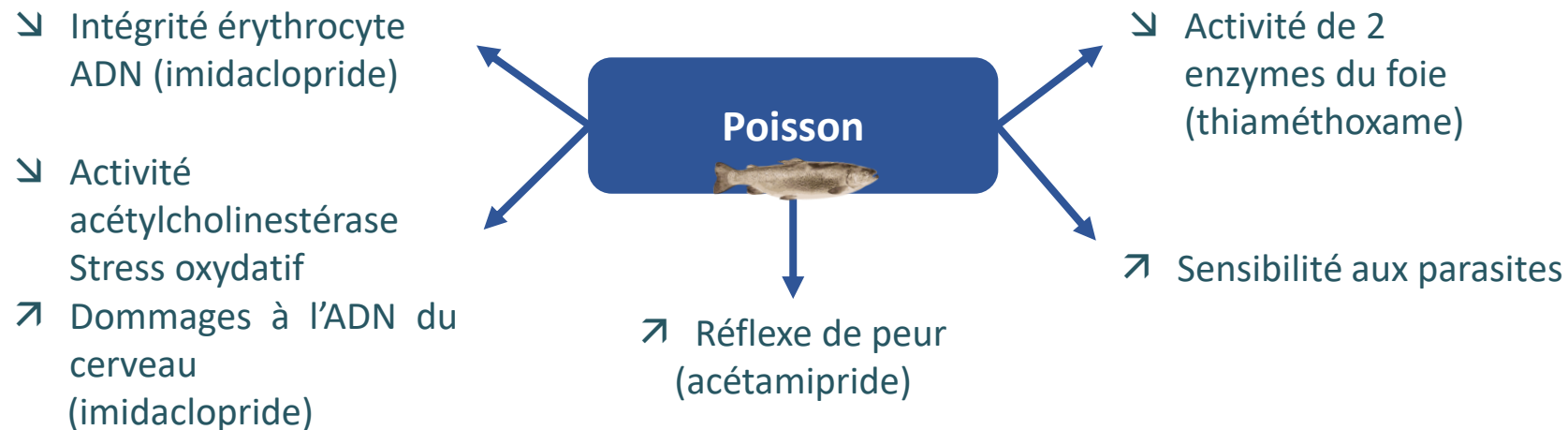
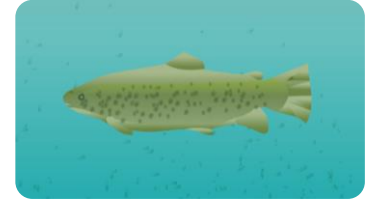
Têtards de grenouille : ① Tolérance (clothianidine)

- **De nombreuses recherches restent à mener**

➤ Vertébrés aquatiques : Poissons

Principales conclusions

- En général, les néonicotinoïdes sont peu toxiques pour les poissons
- Mais effets négatifs observés après exposition à des concentrations sublétales

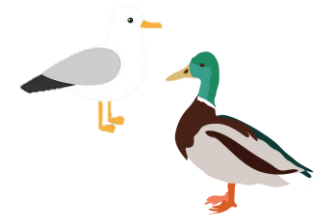


- **La plupart des études sont focalisées sur l'imidaclopride, peu d'études sur les autres néonicotinoïdes**
- **Aucune étude portant sur les mélanges de néonicotinoïdes**
- **Manque d'études à l'échelle des écosystèmes**
- **Besoin de recherches portant sur les effets sublétaux et chroniques aux concentrations environnementales**

➤ Vertébrés aquatiques : Oiseaux

Principales conclusions

➤ Très peu de données

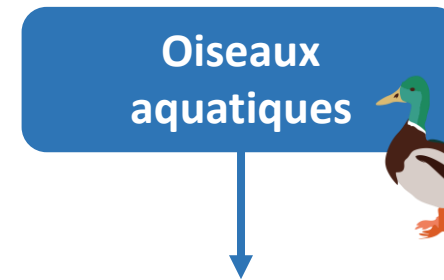


Plumes :

58% à 100% (imidaclopride, clothianidine)
<20% (thiaclopride)

Foie, sang :


Aucun résidu



Rizicultures :

Canards pour contrôler les adventices et les ravageurs ➡ Contamination par les résidus de néonicotinoïdes ?

➤ **Aucun résultat concernant les effets des néonicotinoïdes sur les oiseaux marins et aquatiques**



➤ Impacts des néonicotinoïdes sur les réseaux trophiques

➤ Impacts sur les réseaux trophiques

Introduction

- Les néonicotinoïdes peuvent impacter la biodiversité terrestre et aquatique via :
 - Dispersion à travers les réseaux trophiques
 - Propagation d'effets biologiques adverses dans les réseaux trophiques et perturbation des interactions trophiques (réduction des taux de prédation, augmentation de la mortalité des prédateurs)
 - Réduction des ressources alimentaires



➤ Peu de résultats

➤ Impacts sur les réseaux trophiques : Ecosystèmes terrestres (1/2)

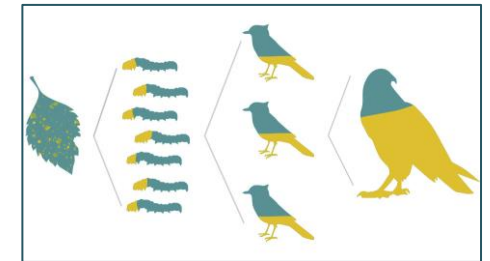
Principales conclusions

- **Exposition trophique ubiquiste** : 50% à 100% des bols alimentaires des oiseaux sont contaminés par au moins un néonicotinoïde (clothianidine la plus fréquemment détectée)



- **Bioaccumulation**

- ① Perturbation des réseaux trophiques possible même lorsque les néonicotinoïdes ne sont pas bioaccumulés dans les réseaux trophiques :
Dépend de la sensibilité des taxons des différents niveaux trophiques



www.guepe.qc.ca

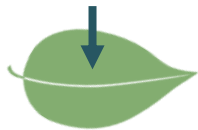
- **Simplification des réseaux trophiques** : Affecte les populations de proies et de prédateurs par des mécanismes de cascade trophique et de rétroactions
- **Distorsion des réseaux trophiques** par la diminution de l'abondance et de la diversité des proies et des prédateurs
- **Perturbation des réseaux trophiques suite à une altération de l'équilibre écologique due à l'empoisonnement des prédateurs**

➤ Impacts sur les réseaux trophiques : Ecosystèmes terrestres (2/2)

Principales conclusions

• Effets des néonicotinoïdes via les réseaux trophiques

Imidaclopride



Orme



- ↘ Alimentation
- ↘ Réaction au toucher
- ↘ Longévité
- ↗ Tremblements

- ↗ Régurgitations
- ↗ Toilettage
- ↗ Incapacité à se relever
- Altération de la mobilité

• Propagation des effets sublétaux par des interactions trophiques

Imidaclopride



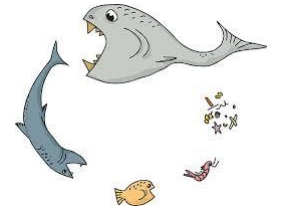
- ↗ Mouvement

- ↘ Alimentation
- ↘ Gain de poids
- ↘ Croissance du thorax
- ↘ Mobilité
- ↘ Survie à la prédation

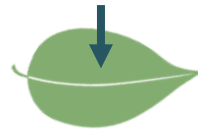
➤ Impacts sur les réseaux trophiques : Ecosystèmes aquatiques

Principales conclusions

- Les effets adverses des néonicotinoïdes se propagent dans les réseaux trophiques aquatiques **via les producteurs primaires contaminés**



Imidaclopride



Aulne



Plécoptère



Isoperla

↘ Survie

↘ Longueur

↘ Biomasse

↘ Décomposition des feuilles

↘ Longueur

↘ Biomasse

- **Bioaccumulation** de l'imidaclopride (salamandres, macroinvertébrés benthiques) ➔ Exposition des consommateurs aux niveaux trophiques supérieurs
- Déclin des insectes émergeant des écosystèmes aquatiques ➔ ↘ Populations poissons, oiseaux aquatiques à cause de la **diminution de l'abondance des proies**

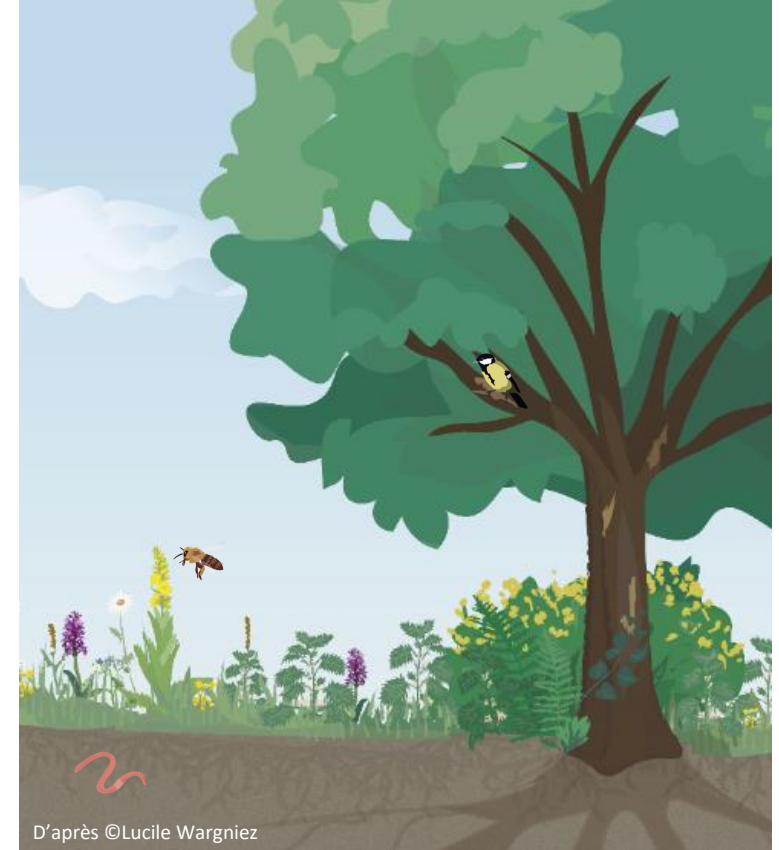


➤ Conclusion

➤ Conclusion (1/2)

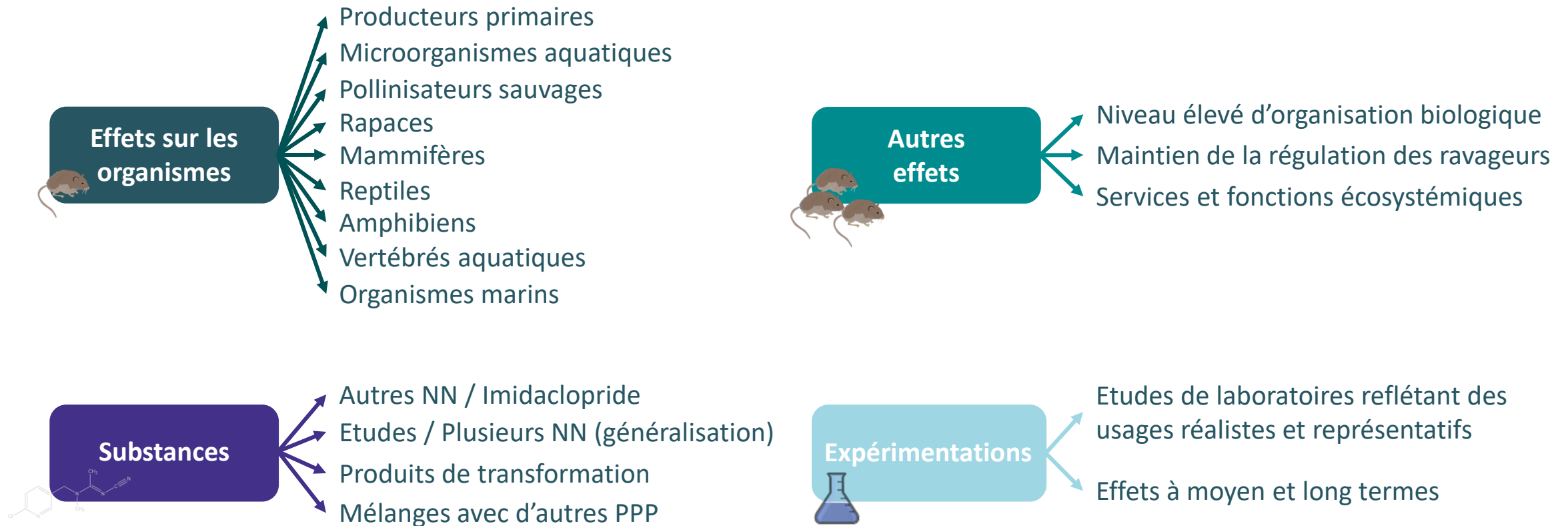
Synthèse

- Les **néonicotinoïdes** sont **présents dans tous les milieux** : sol, eaux douces, air, milieu marin
- Les néonicotinoïdes ont **des effets directs et indirects sur les invertébrés** (en particulier les pollinisateurs) et **vertébrés** (en particulier les oiseaux) **terrestres**, et sur les **invertébrés aquatiques**
- **Les effets des néonicotinoïdes sur les vertébrés aquatiques sont peu documentés**
- Les néonicotinoïdes induisent des **effets indirects** sur certaines espèces (invertébrés et vertébrés, terrestres et aquatiques) **via des cascades trophiques** mais les données restent limitées



➤ Conclusion (2/2)

Lacunes de connaissances



➤ **De nombreuses recherches restent à mener pour caractériser les impacts des néonicotinoïdes et protéger la biodiversité**

➤ Remerciements

- Thierry Caquet, INRAE, Directeur Scientifique Environnement
- Direction Générale de l’Ifremer
- Guy Richard, INRAE, Directeur de la DEPE
- Illustrations : Lucile Wargniez
- Graphiste : Sacha Desbourdes (INRAE)
- Documentalistes : Anne-Laure Achard, Morgane Le Gall, Sophie Le Perchec
- Comité de Suivi
- Comité consultatif d’acteurs
- ANSES
- Commanditaires : Ministères de l’Agriculture et de l’Alimentation ; de l’Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l’Innovation ; de la Transition Ecologique
- Financement : OFB



➤ Adresses des auteurs

Laure Mamy¹, Stéphane Pesce², Wilfried Sanchez³, Stéphanie Aviron⁴, Carole Bedos¹, Philippe Berny⁵, Colette Bertrand¹, Stéphane Betoulle⁶, Sandrine Charles⁷, Arnaud Chaumot², Michael Coeurdassier⁸, Marie-Agnès Coutellec⁹, Olivier Crouzet¹⁰, Juliette Faburé¹, Clémentine Fritsch⁸, Patrice Gonzalez¹¹, Mickael Hedde¹², Christophe Leboulanger¹³, Christelle Margoum², Christian Mougin¹, Dominique Munaron¹³, Sylvie Néliou¹, Céline Pelosi¹⁴, Magali Rault¹⁵, Elliott Sucré^{13,16}, Marielle Thomas¹⁷, Julien Tournebize¹⁸, Sophie Leenhardt¹⁹

¹ Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, 91120 Palaiseau, France

² INRAE, UR RiverLy, 69625 Villeurbanne, France

³ Ifremer, Direction Scientifique, 34200 Sète, France

⁴ INRAE, Institut Agro, ESA, UMR BAGAP, 35042, Rennes, France

⁵ UR ICE Vetagro Sup, Campus Vétérinaire, 69280 Marcy-L'Etoile, France

⁶ Université de Reims Champagne-Ardenne, Normandie Université, ULH, INERIS, SEBIO, UMR-I 02, 51100 Reims, France

⁷ Université Lyon 1, UMR CNRS 5558, 69100 Villeurbanne, France

⁸ Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249 CNRS - Université de Franche-Comté, 25000 Besançon, France

⁹ DECOD (Ecosystem Dynamics and Sustainability), INRAE, L'Institut Agro, Ifremer, 35042 Rennes, France

¹⁰ OFB, Direction de la Recherche et Appui Scientifique (DRAS), 78610, Auffargis, France

¹¹ Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, EPOC, UMR 5805, 33600 Pessac, France

¹² Eco&Sols, Univ. Montpellier, INRAE, IRD, CIRAD, Institut Agro Montpellier, 34060 Montpellier, France

¹³ MARBEC, Univ Montpellier, CNRS, Ifremer, IRD, 34200 Sète, France

¹⁴ INRAE, Avignon Université, UMR EMMAH, 84000, Avignon, France

¹⁵ Université d'Avignon, Université Aix-Marseille, CNRS, IRD, IMBE, Pôle Agrosociétés, 84916 Avignon, France

¹⁶ Centre Universitaire de Formation Et de Recherche de Mayotte (CUFR), 97660 Dembeni, Mayotte, France

¹⁷ Université de Lorraine, INRAE, UR AFPA, 54000 Nancy, France

¹⁸ Université Paris-Saclay, INRAE, UR HYCAR, 92160 Antony, France

¹⁹ INRAE, DEPE, 75338 Paris Cedex 07, France

INRAE

ECOScience, 12 avril 2024, Palaiseau

Mamy et al. Impacts des néonicotinoïdes sur la biodiversité