



**HAL**  
open science

## L'expertise scientifique collective INRAE/Ifremer : Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques

Christian Mougin, Laure Mamy, Stéphane Pesce, Wilfried Sanchez, Sophie  
Leenhardt

### ► To cite this version:

Christian Mougin, Laure Mamy, Stéphane Pesce, Wilfried Sanchez, Sophie Leenhardt. L'expertise scientifique collective INRAE/Ifremer : Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Webinaires de la Fédération FIRE, Fédération FIRE, Dec 2022, Paris, France. hal-03902414

**HAL Id: hal-03902414**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03902414>**

Submitted on 1 Apr 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.



Expertise Scientifique Collective

*Phytopharmaceutiques*

*Biodiversité*

*Services Ecosystémiques*



➤ Expertise scientifique collective INRAE/Ifremer :  
Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et  
les services écosystémiques

Christian Mougin

INRAE, UMR 1402 ECOSYS, Campus Agro Paris-Saclay, 91120 Palaiseau  
[christian.mougin@inrae.fr](mailto:christian.mougin@inrae.fr)

Laure Mamy, Stéphane Pesce, Wilfried Sanchez, Sophie Leenhardt

Un collectif de 43 scientifiques francophones du domaine académique



INRAE



## ➤ Cadre d'une ESCo

### Principes généraux

**Compétence** des experts  
Repérage et qualification *via*  
publications

**Indépendance** des experts  
Recherche publique,  
liens d'intérêt identifiés

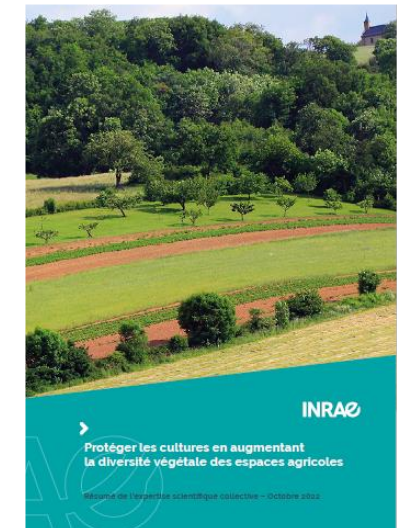
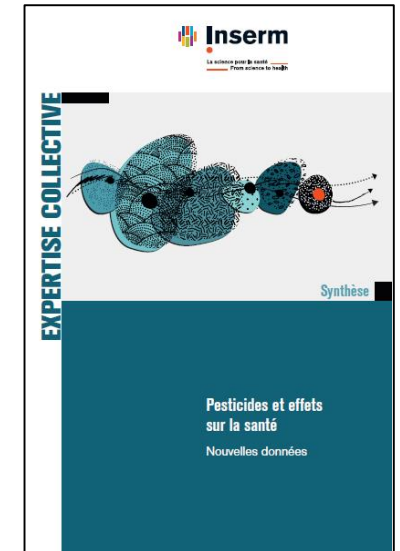
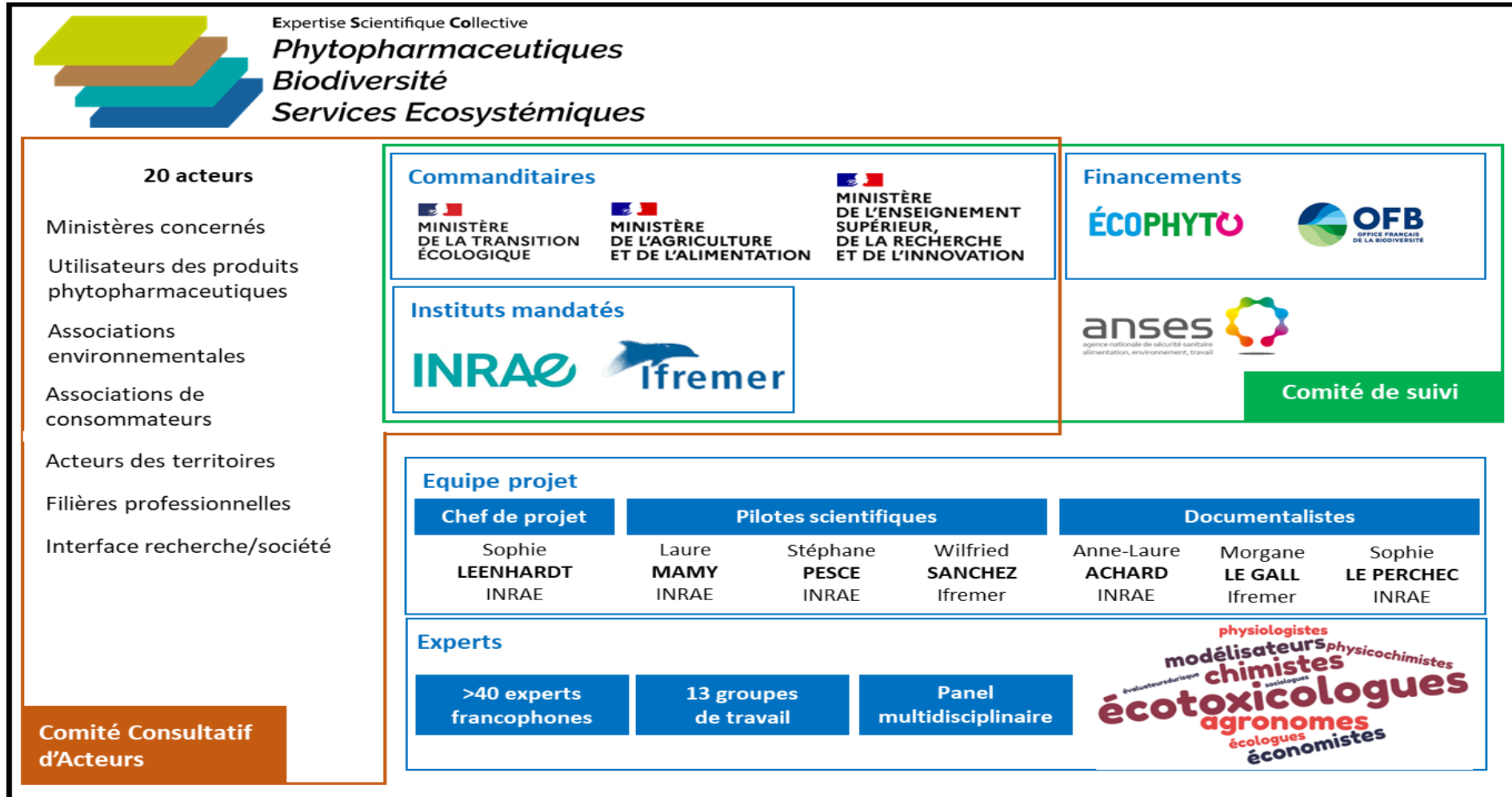
**Pluralisme** au sein du collectif  
Etablissements de rattachement,  
disciplines et approches diversifiés

**Transparence**  
Sources et méthodologies

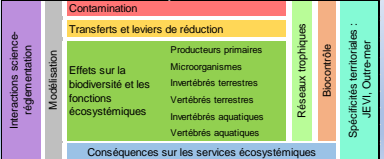


[https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DEPE\\_Principes\\_Conduite\\_ESCo\\_Etudes\\_V2\\_20211110.pdf](https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DEPE_Principes_Conduite_ESCo_Etudes_V2_20211110.pdf)

# ➤ Le contexte et les acteurs



# > Livrables

<b>Rapport</b> >1 000 pages
Contexte et enjeux
Méthode et sources bibliographiques
Cadrage scientifique
<b>Synthèses thématiques</b> 
<b>Conclusions générales</b>
<b>Annexes</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Glyphosate</li><li>• Néonicotinoïdes</li><li>• SDHI</li><li>• Perturbateurs endocriniens</li><li>• Chlordécone</li><li>• Cuivre</li><li>• Pollinisation</li></ul>

<https://hal.inrae.fr/hal-03777257>



## Synthèse

>100 pages

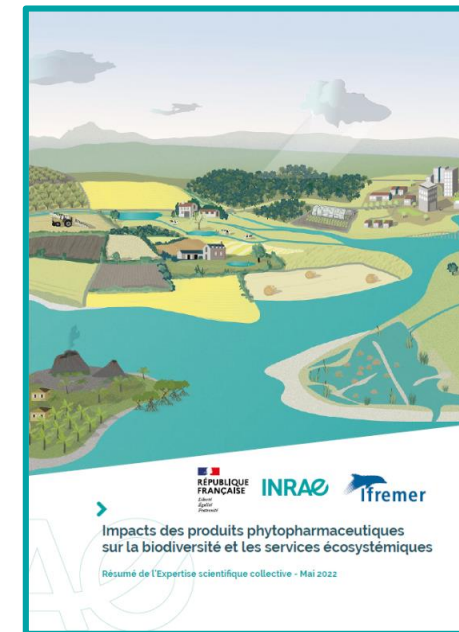
<https://hal.inrae.fr/hal-03759553>

## Résumé

10 pages

<https://hal.inrae.fr/hal-03697952>

≈ 4500 références citées

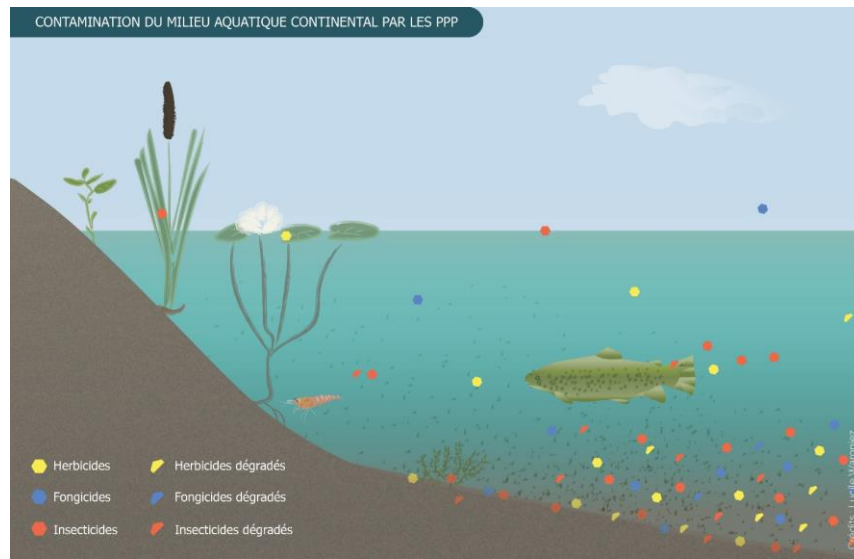




## ➤ Etat des lieux de la contamination par les PPP

Tous les compartiments de l'environnement sont contaminés par des mélanges de PPP issus principalement de l'activité agricole

## ➤ Une cartographie de plus en plus précise



- **Une présence généralisée** des PPP dans tous les compartiments et matrices
- La principale source est **l'agriculture**
- **Toutes les familles** (H, I, F) sont retrouvées, la nature des PPP et la concentration sont variables suivant le compartiment
- Les PPP **interdits** sont toujours détectés, mais leur concentration diminue



- **Manque de données** sur :
  - les produits de transformation,
  - Les produits de biocontrôle,
  - la contamination dans les DROM (hors chlordécone)



- **Manque d'études « intégrées »** :
  - continuum terre-mer,
  - biote et son habitat,
  - suivis long terme et/ou large échelle exploitables

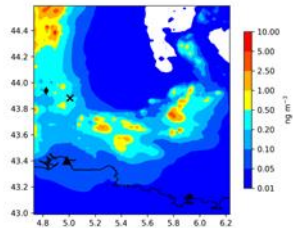
## ➤ Des pistes d'amélioration

**NAADES**  
Données sur la qualité des eaux de surface

Fédération des associations  
de surveillance de la  
qualité de l'air  
**Atmo**  
France



(c) simulated concentrations of S-metolachlor over the PACA region from 2014-04-15 to 2014-05-15



**INRAE** **Ifremer**

Présentation de l'ESCO «Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques»

Webinaire FIRE– 13 décembre 2022

- Mieux exploiter les **données de surveillance** (eau et air, sols ?)
  - lien avec les pratiques, les propriétés des substances, leur utilisation/interdiction, la météo...
- Développer des **stratégies d'échantillonnage et d'analyses** innovantes plus intégrées et/ou à spectre plus large (ex. des produits de transformation, très polaires...)
- Mettre en relation **présence des PPP, niveaux d'exposition et effets**
- Besoin de **modèles de transferts** pour :
  - prédire la dissipation des PPP et l'exposition des écosystèmes non cibles,
  - accompagner l'interprétation de la contamination observée,
  - aider à la définition de stratégies d'échantillonnage (spatial et temporel).



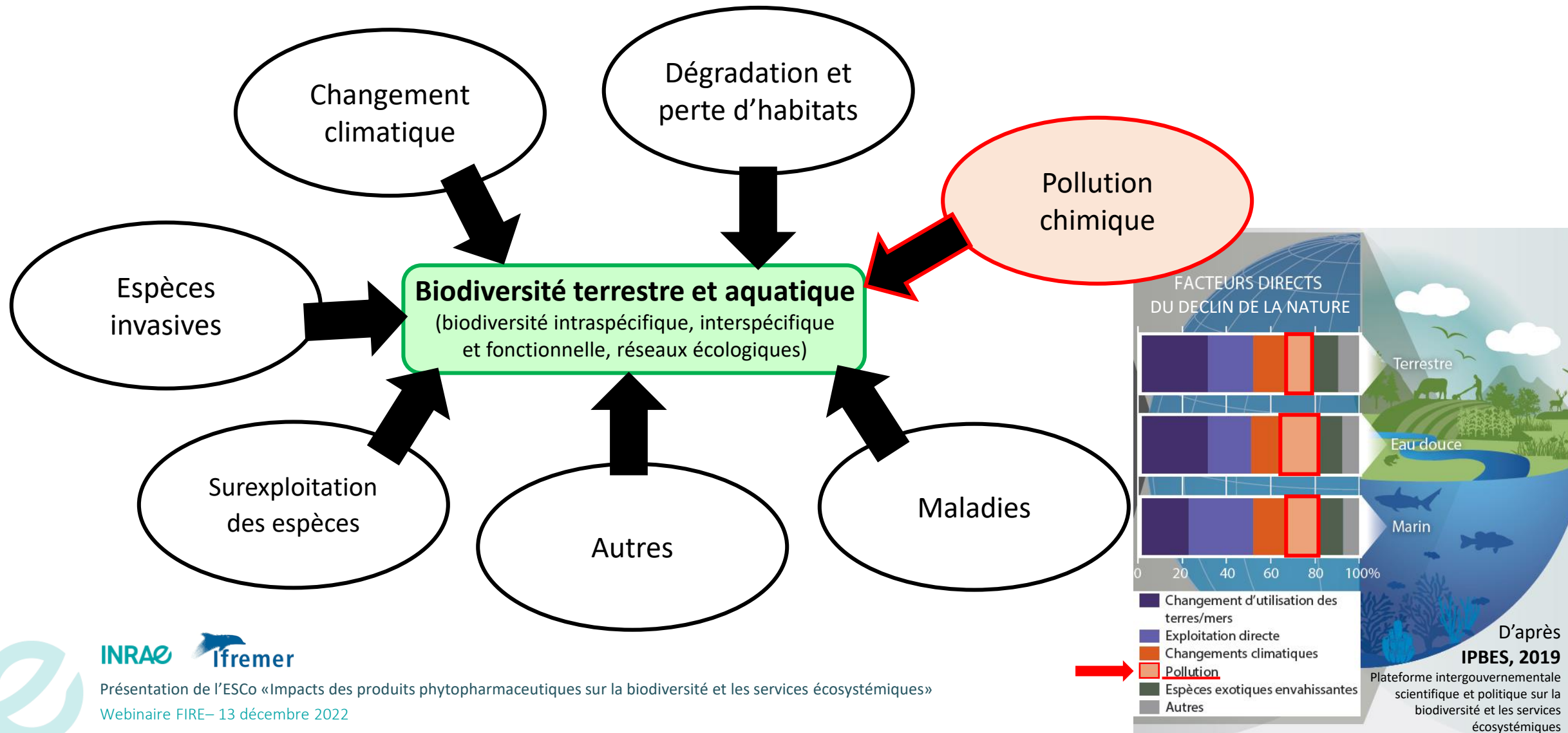


## ➤ Etat des lieux des effets des PPP sur la biodiversité

Les PPP contribuent au déclin de la biodiversité à travers la combinaison d'effets directs et indirects

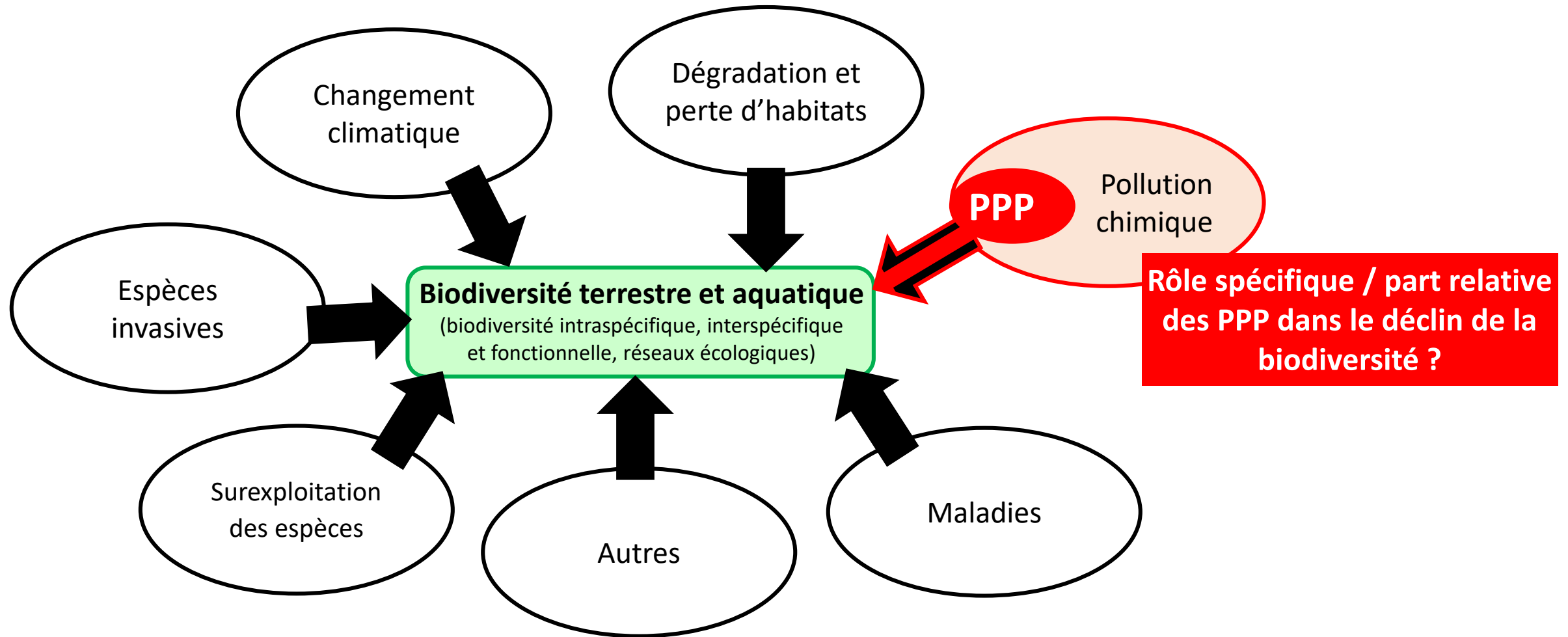
## ➤ Le déclin de la biodiversité est multi-causal...

...et la plupart des facteurs responsables de ce déclin ne sont pas indépendants les uns des autres



## ➤ Le déclin de la biodiversité est multi-causal...

...et la plupart des facteurs responsables de ce déclin ne sont pas indépendants les uns des autres



## ➤ Les PPP sont une des causes majeures du déclin de certaines populations

L'analyse de la littérature concerne l'ensemble des milieux le long du continuum terre mer

Le lien de causalité est principalement établi dans des études menées dans des **espaces agricoles (milieux terrestres et aquatiques)**

Les analyses sont faites à larges échelles spatiales et/ou temporelles  
**(PPP de synthèse et cuivre)**

*Pas de connaissance spécifique concernant le biocontrôle et l'Outre-mer*

# ➤ Les PPP sont une des causes majeures du déclin de certaines populations

## Invertébrés terrestres

En particulier:

Lépidoptères (papillons),

Hyménoptères (abeilles, bourdons, etc.)

Coléoptères (coccinelles, carabes, etc.)



## Macro-invertébrés aquatiques

Larves d'insectes, vers, crustacés, etc.

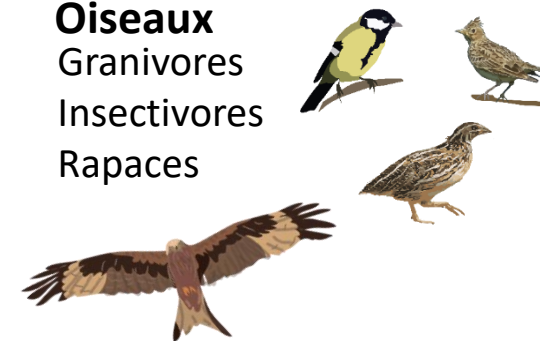


## Oiseaux

Granivores

Insectivores

Rapaces



## Amphibiens



## Chiroptères

(chauves-souris)



Les PPP impactent ces différents organismes de manières directes et indirectes

# ➤ Les PPP sont une des causes majeures du déclin de certaines populations

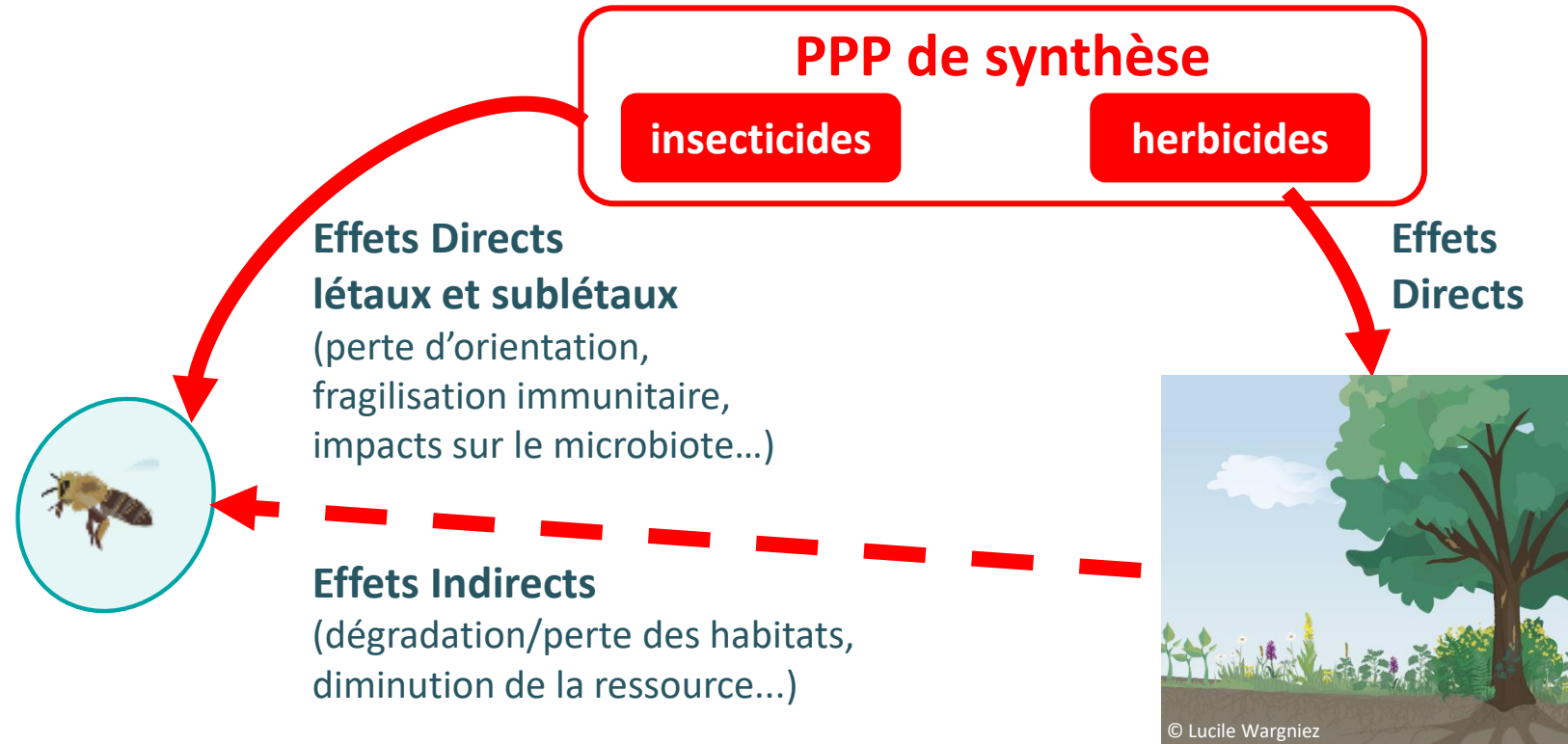
## Invertébrés terrestres

En particulier :

Lépidoptères (papillons)

Hyménoptères (abeilles, bourdons, etc.)

Coléoptères (coccinelles, carabes, etc.)



Les PPP impactent ces différents organismes de manières directes et indirectes

# ➤ Les PPP sont une des causes majeures du déclin de certaines populations

## Invertébrés terrestres

En particulier :

Lépidoptères (papillons)

Hyménoptères (abeilles, bourdons, etc.)

Coléoptères (coccinelles, carabes, etc.)



## Pollution chimique (dont PPP)

⇒ 2<sup>ème</sup> cause la plus importante du déclin des populations d'insectes (derrière la perte des habitats)

Parmi les PPP récents, les connaissances scientifiques mettent particulièrement en évidence les effets des insecticides néonicotinoïdes et pyréthrinoïdes



Substances très étudiées au cours de la dernière décennie



Biais associés à la littérature scientifique dans le domaine de l'écotoxicologie

- Études publiées = effets observés
- Des substances plus étudiées, d'autres peu/pas prises en considération

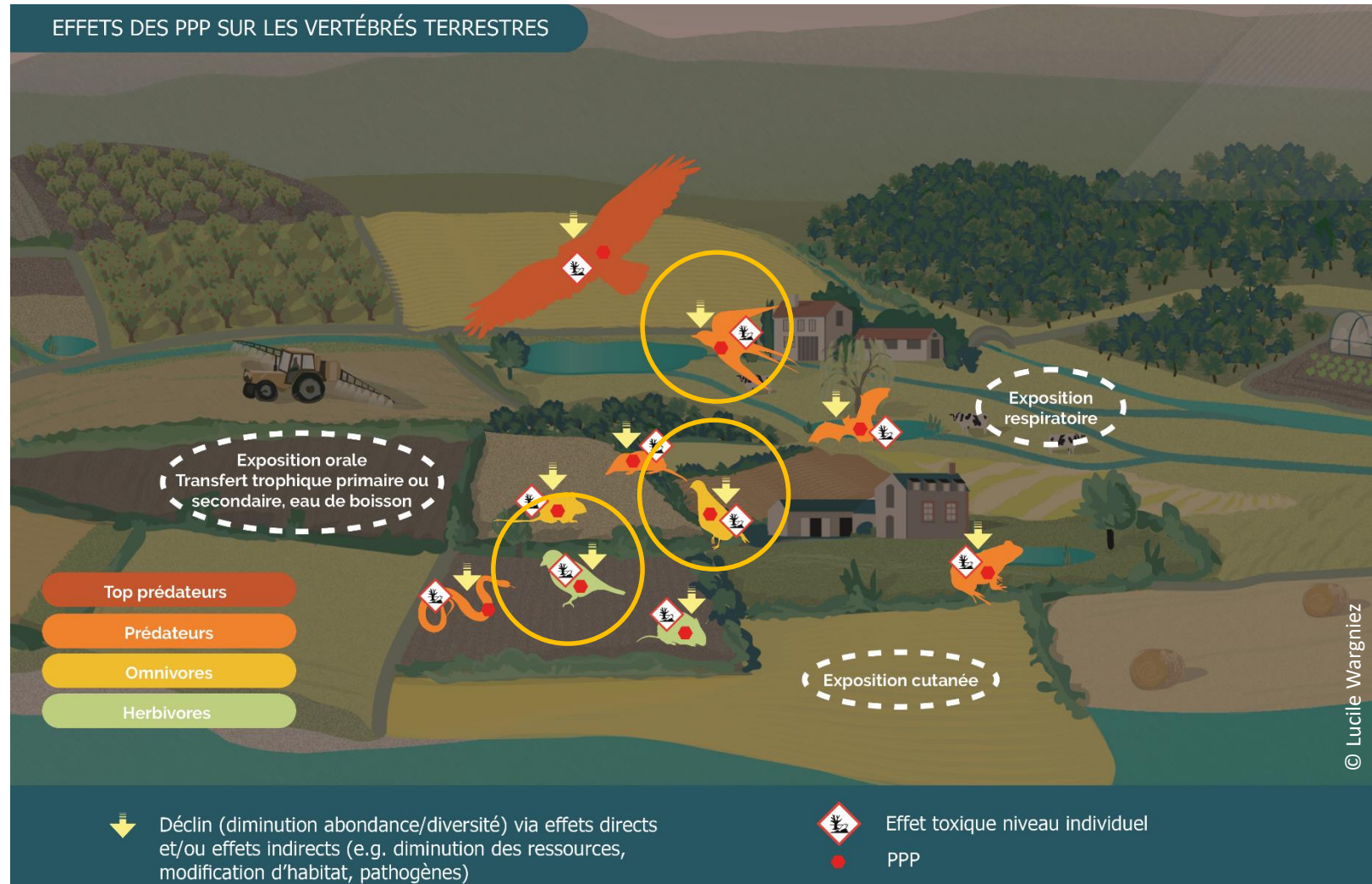


## ➤ Le cas des Néonicotinoïdes chez les oiseaux

### Effets :

- **Directs (létaux et sublétaux)** sur **oiseaux granivores** (ingestion semences enrobées) et
- **Indirects** sur **oiseaux insectivores / omnivores** (diminution de la ressource en insectes indispensable pour élevage des jeunes) **(principalement)**

*NB : des effets similaires sont constatés lors de toute utilisation large d'insecticides... y compris pyréthrinoïdes et Bacillus thuringiensis (Bt). Et sur d'autres taxons !*



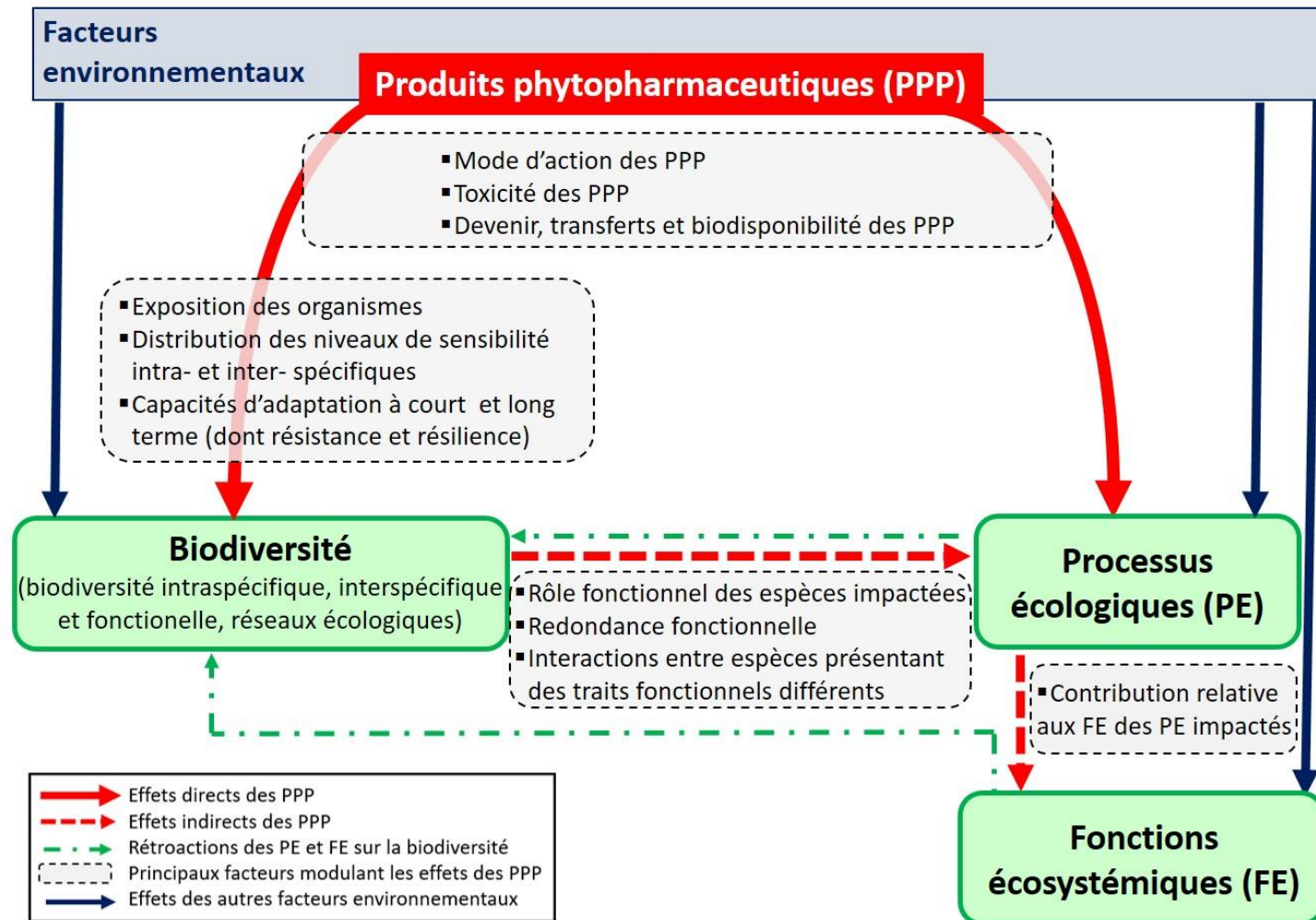




## ➤ Etat des lieux des effets des PPP sur les fonctions écosystémiques

Les PPP impactent directement et indirectement différentes fonctions écosystémiques

## ➤ Des liens complexes entre PPP, biodiversité et fonctions écosystémiques



**Importance de ne pas considérer uniquement la dimension taxonomique de la biodiversité**



## ➤ 12 catégories de FE identifiées comme potentiellement vulnérables aux PPP

<b>F1</b>	Régulation des échanges gazeux
<b>F2</b>	Dissipation des contaminants dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
<b>F3</b>	Résistance aux perturbations
<b>F4</b>	Rétention d'eau dans les sols et les sédiments
<b>F5</b>	Régulation des flux d'eau
<b>F6</b>	Albédo et réflexion
<b>F7</b>	Production et apport de matière organique dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
<b>F8</b>	Régulation des cycles de nutriments dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
<b>F9</b>	Formation et maintien de la structure des sols et des sédiments
<b>F10</b>	Dispersion des propagules dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
<b>F11</b>	Fourniture et maintien de la biodiversité et des interactions biotiques dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
<b>F12</b>	Fourniture et maintien des habitats et biotopes dans les écosystèmes terrestres et aquatiques

Des connaissances récentes qui confirment des impacts sur au moins 8 d'entre elles

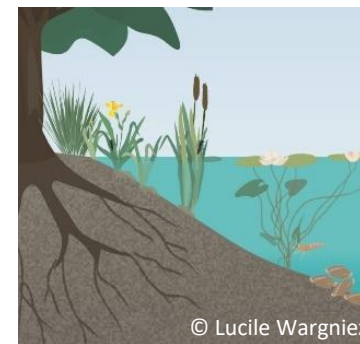
# ➤ Les PPP affectent la fourniture et le maintien des habitats

F1	Régulation des échanges gazeux
F2	Dissipation des contaminants dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F3	Résistance aux perturbations
F4	Rétention d'eau dans les sols et les sédiments
F5	Régulation des flux d'eau
F6	Albédo et réflexion
F7	Production et apport de matière organique dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F8	Régulation des cycles de nutriments dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F9	Formation et maintien de la structure des sols et des sédiments
F10	Dispersion des propagules dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F11	Fourniture et maintien de la biodiversité et des interactions biotiques dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F12	Fourniture et maintien des habitats et biotopes dans les écosystèmes terrestres et aquatiques

**PPP**  
(principalement herbicides)



**végétation**  
terrestre et aquatique



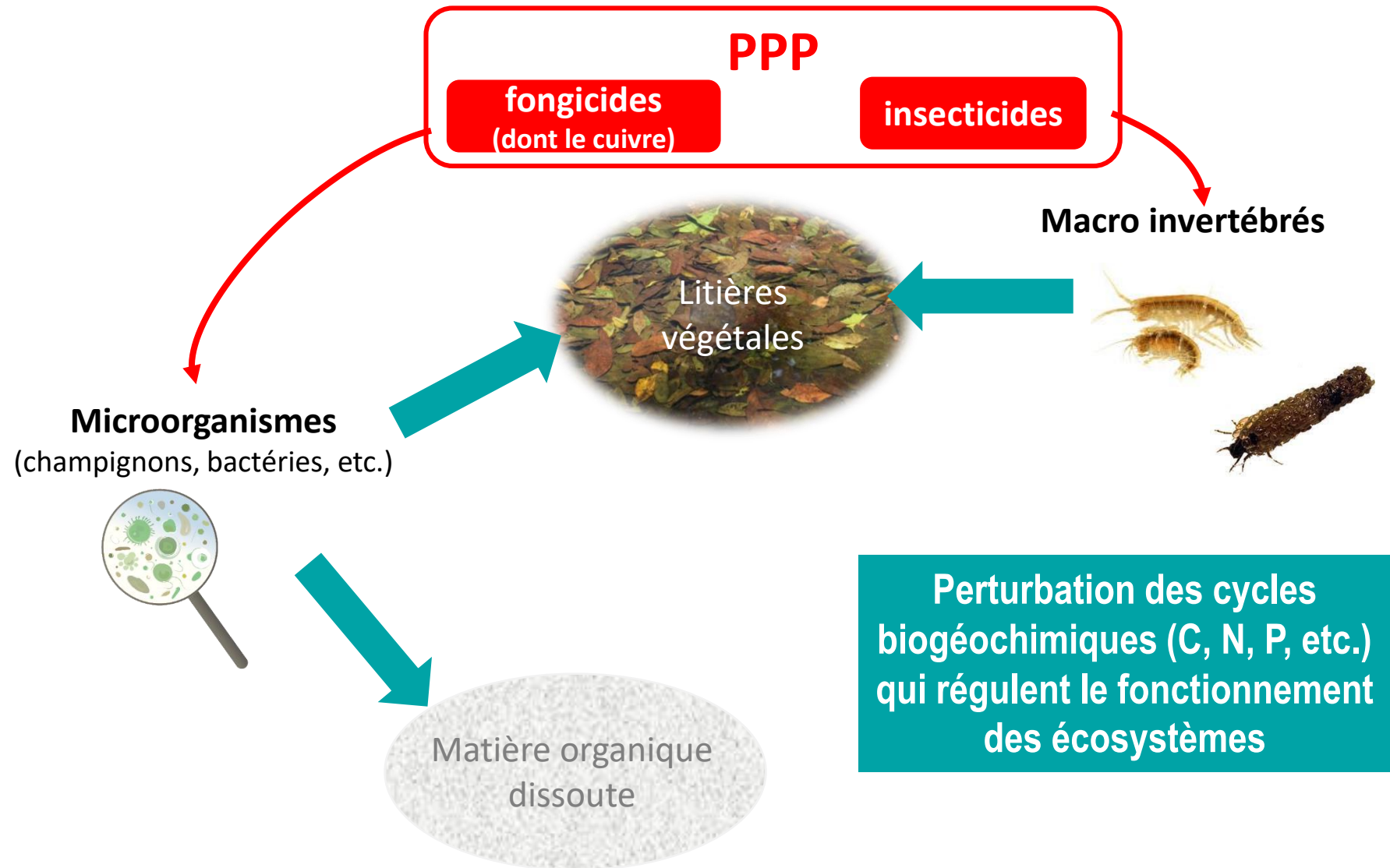
Dégradation/perte d'habitats et de zones refuges

Principalement **invertébrés** et **oiseaux**



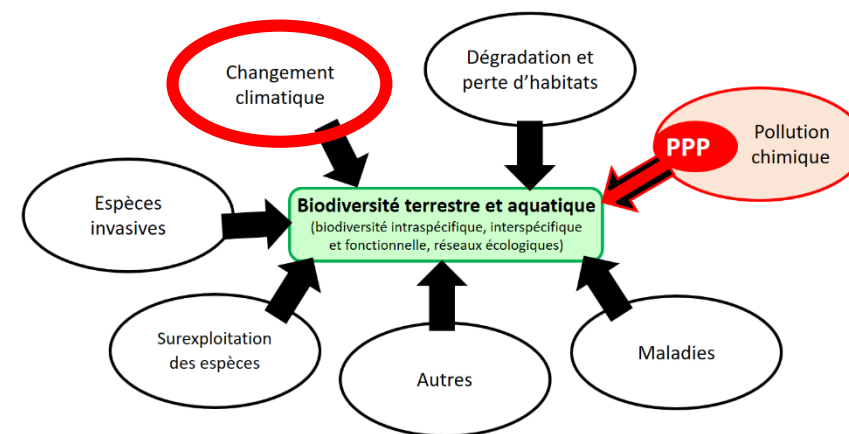
# ➤ Les PPP affectent la régulation des cycles de nutriments

F1	Régulation des échanges gazeux
F2	Dissipation des contaminants dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F3	Résistance aux perturbations
F4	Rétention d'eau dans les sols et les sédiments
F5	Régulation des flux d'eau
F6	Albédo et réflexion
F7	Production et apport de matière organique dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
<b>F8</b>	<b>Régulation des cycles de nutriments dans les écosystèmes terrestres et aquatiques</b>
F9	Formation et maintien de la structure des sols et des sédiments
F10	Dispersion des propagules dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F11	Fourniture et maintien de la biodiversité et des interactions biotiques dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F12	Fourniture et maintien des habitats et biotopes dans les écosystèmes terrestres et aquatiques



## ➤ Les PPP augmentent la vulnérabilité à d'autres pressions environnementales (et vice versa)

F1	Régulation des échanges gazeux
F2	Dissipation des contaminants dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F3	Résistance aux perturbations
F4	Rétention d'eau dans les sols et les sédiments
F5	Régulation des flux d'eau
F6	Albédo et réflexion
F7	Production et apport de matière organique dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F8	Régulation des cycles de nutriments dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F9	Formation et maintien de la structure des sols et des sédiments
F10	Dispersion des propagules dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F11	Fourniture et maintien de la biodiversité et des interactions biotiques dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F12	Fourniture et maintien des habitats et biotopes dans les écosystèmes terrestres et aquatiques



- **Vulnérabilité face aux conséquences du changement climatique\***

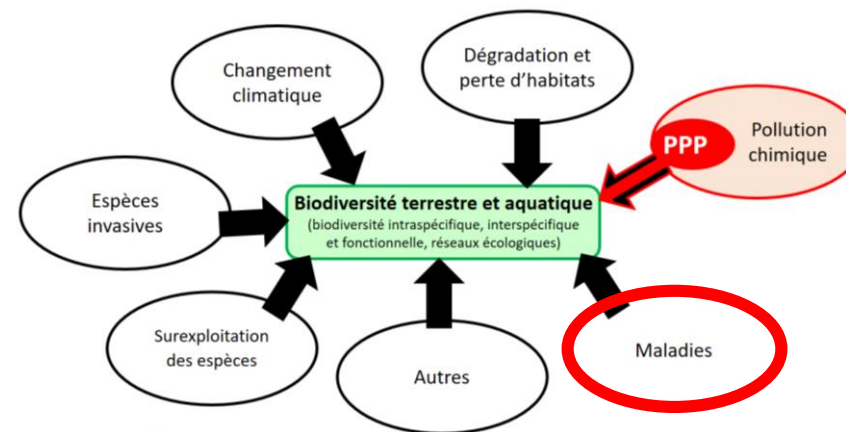
*\* augmentation des températures moyennes et de leurs fluctuations, intensité accrue des précipitations et des périodes de sécheresse, acidification des océans, etc.*

ex. effets des PPP et d'une hausse de température amplifiés dans >80% des études lorsque ces 2 facteurs sont combinés






- **Besoin d'innovations conceptuelles et méthodologiques pour aborder la question « PPP et changement climatique » de manière plus globale**

# ➤ Les PPP augmentent la vulnérabilité à d'autres pressions environnementales (et vice versa)

F1	Régulation des échanges gazeux
F2	Dissipation des contaminants dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F3	Résistance aux perturbations
F4	Rétention d'eau dans les sols et les sédiments
F5	Régulation des flux d'eau
F6	Albédo et réflexion
F7	Production et apport de matière organique dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F8	Régulation des cycles de nutriments dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F9	Formation et maintien de la structure des sols et des sédiments
F10	Dispersion des propagules dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F11	Fourniture et maintien de la biodiversité et des interactions biotiques dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F12	Fourniture et maintien des habitats et biotopes dans les écosystèmes terrestres et aquatiques



## • Vulnérabilité face aux parasites et agents pathogènes

		
<b>néonicotinoïdes</b>	abeilles sauvages	
		
oiseaux	chauves souris	amphibiens
		
<b>organochlorés</b>		
	<b>glyphosate</b>	certains poissons





## ➤ Effets des PPP sur les services écosystémiques

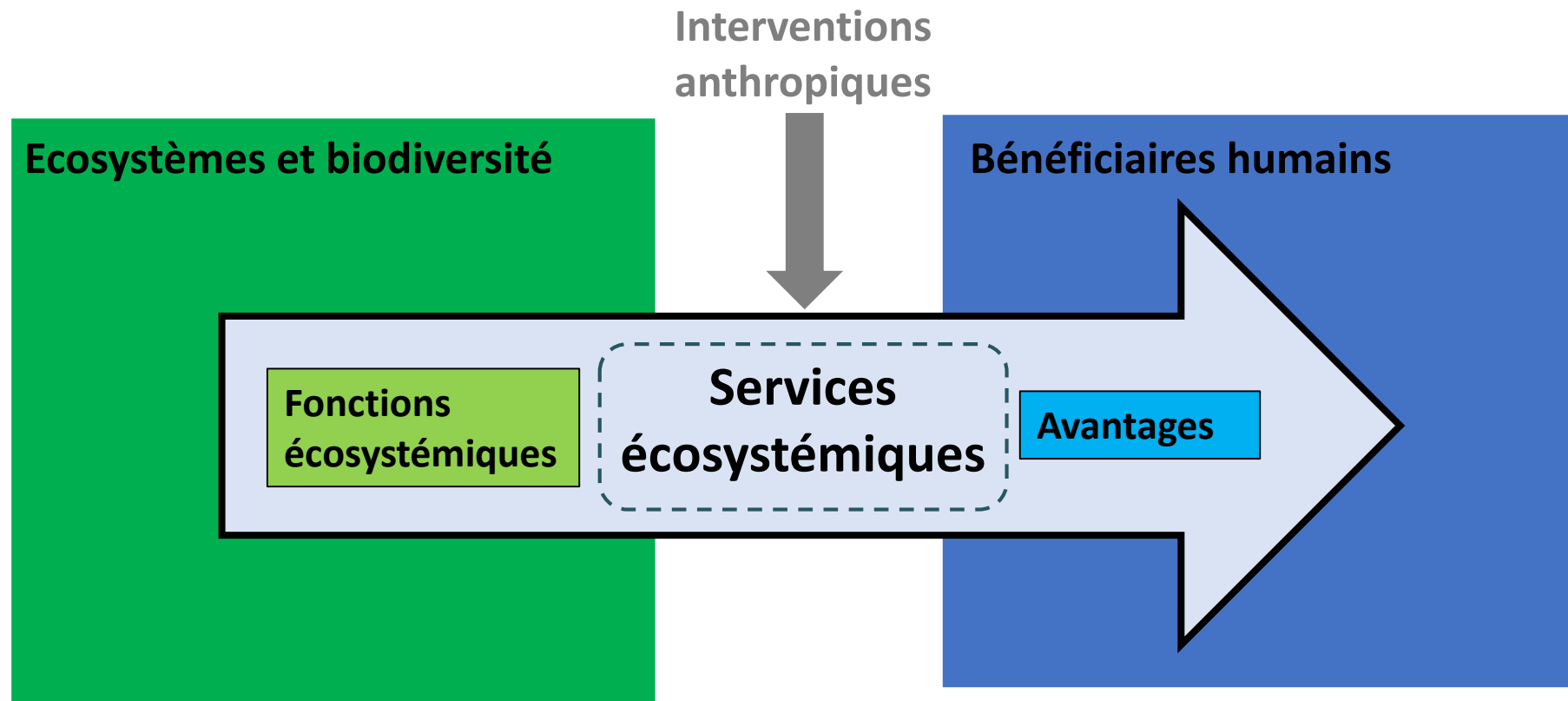
Une approche novatrice et à consolider  
qui présente encore des limites



## ➤ Les services écosystémiques

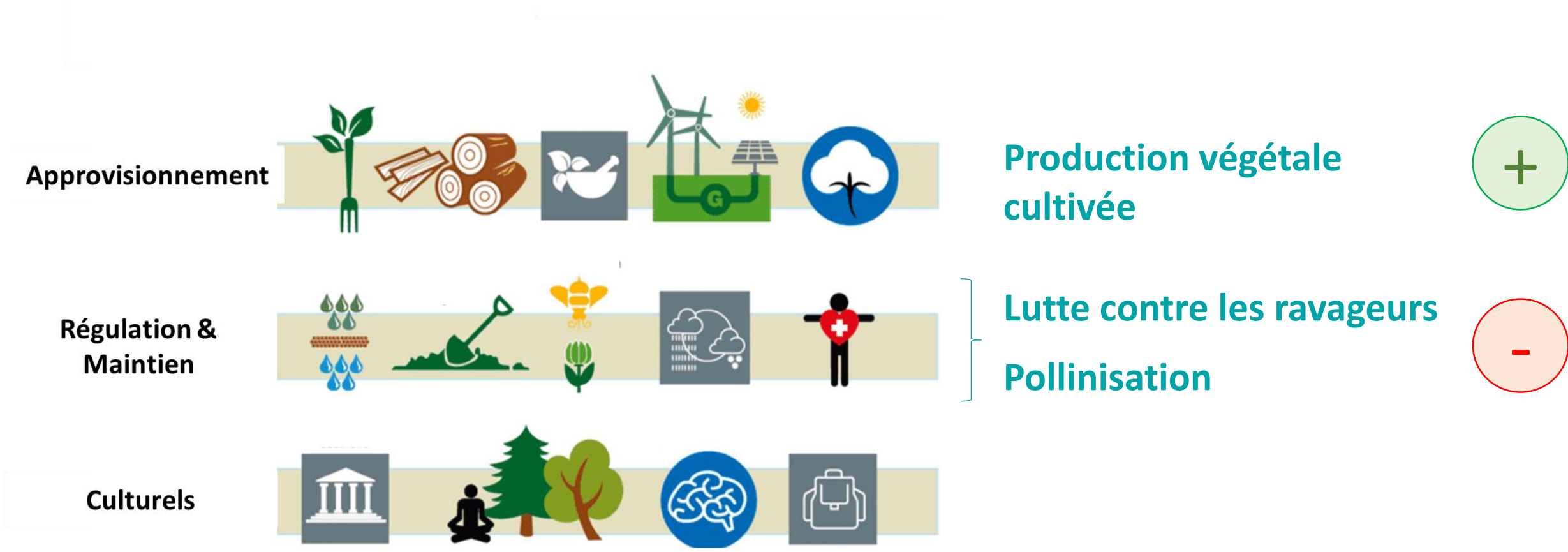
Quelques éléments de concept

- **Services écosystémiques** : Avantages socio-économiques retirés par l'homme de son utilisation durable des fonctions écologiques des écosystèmes (EFESE, 2016)



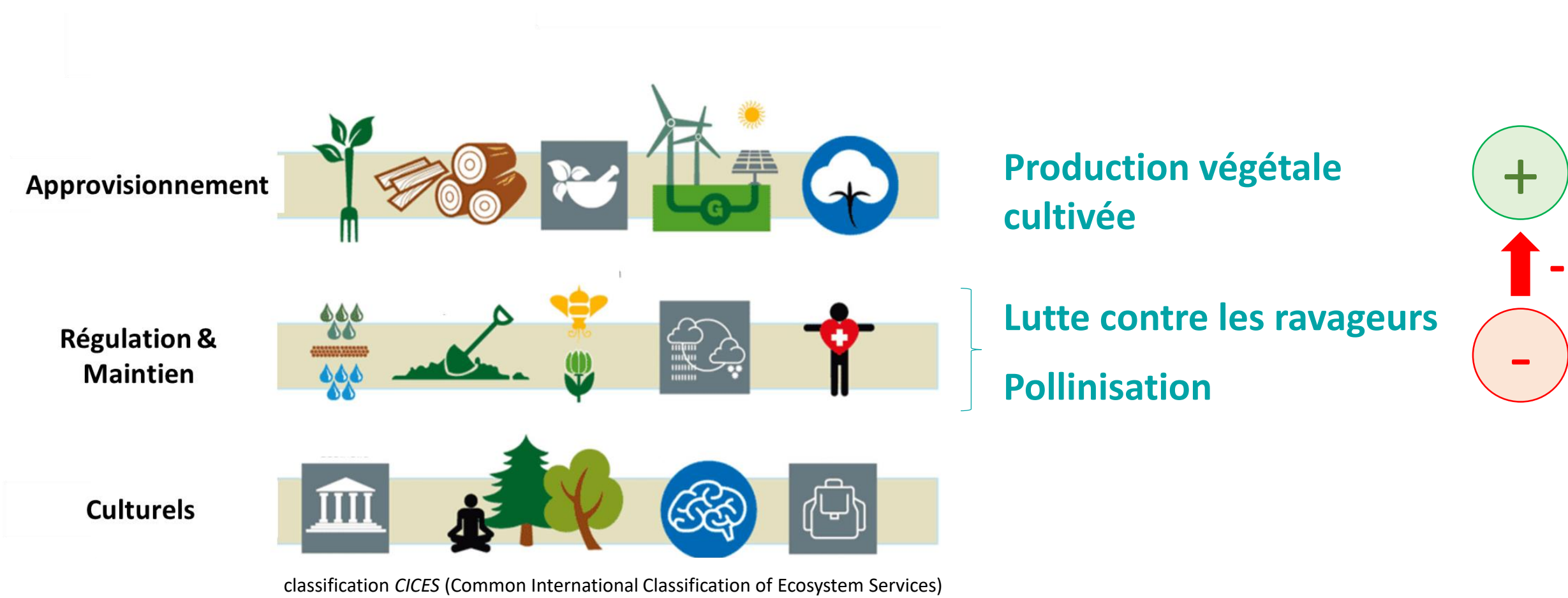
Adapté d'après EFESE (2016)

# ➤ Les services écosystémiques



classification *CICES* (Common International Classification of Ecosystem Services)

# ➤ Les services écosystémiques





## ➤ Modélisation des effets des PPP sur la biodiversité

# ➤ Modélisation des effets des PPP sur la biodiversité

## Contexte

- Multiplicité des PPP, des contextes agro-pédoclimatiques, des écosystèmes récepteurs et des espèces
- Impossible de réaliser des expériences (laboratoire, terrain) pour évaluer les impacts de toutes les substances dans tous les milieux et pour l'ensemble de la biodiversité

## ➤ **Modélisation**

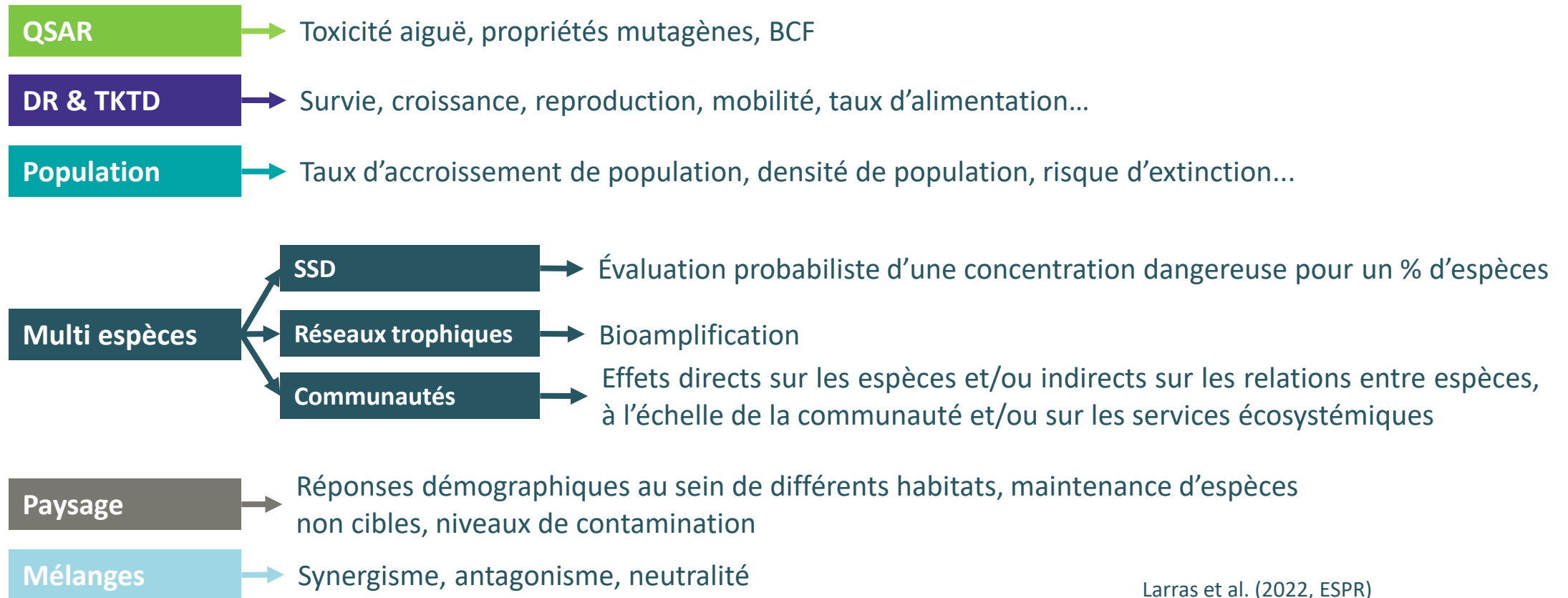
- Requête au niveau réglementaire, notamment au « Tier 2 »



# ➤ Modélisation des effets des PPP sur la biodiversité

Modèles d'effets écotoxicologiques

## ➤ 6 grandes catégories de modèles



Larras et al. (2022, ESPR)

QSAR : Relations structure-activité quantitatives

DR : Dose-Réponse

TKTD : Toxicocinétique, Toxicodynamique

SSD : Distribution de sensibilité des espèces

# ➤ Modélisation des effets des PPP sur la biodiversité

Modèles d'effets écotoxicologiques : Bilan



- Développés pour de nombreuses espèces : producteurs primaires, microorganismes, vertébrés et invertébrés terrestres et aquatiques
- Et pour tous les milieux : sol, eaux douces, milieu marin, air
- Sensibilité des espèces, vulnérabilité, bioaccumulation...
- Evaluation des produits de transformation
- Décryptage des mécanismes
- ...



- Effets chroniques sublétaux, transgénérationnels
- Stress multiples
- Intégration de processus écologiques dans les modèles de communautés et de réseaux trophiques
- Modèles couplant écotoxicologie et écologie ; exposition et effet
- Analyse de sensibilité et d'incertitudes
- Performance

Larras et al. (2022, ESPR)

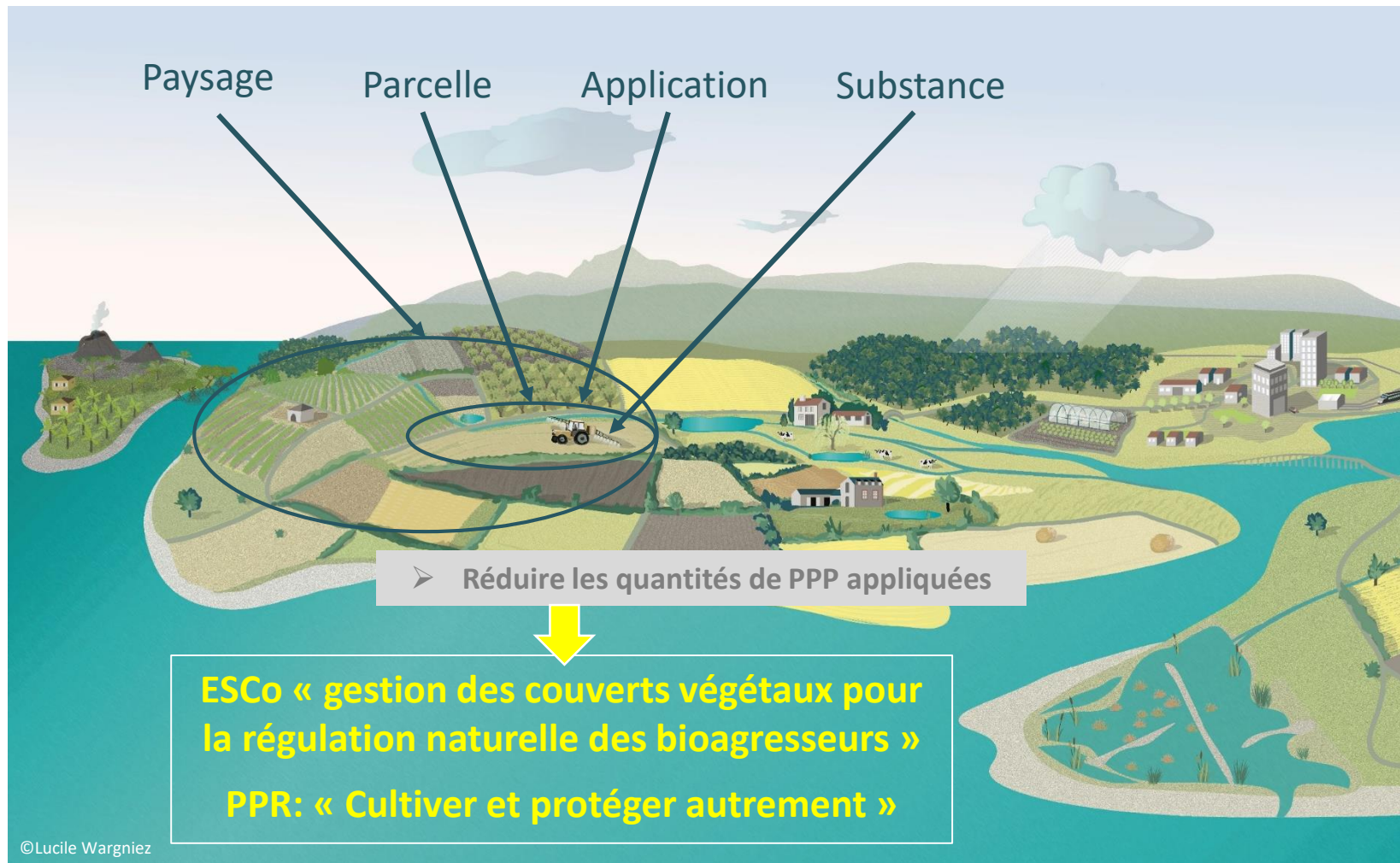


## ➤ Leviers d'action

Un besoin de combiner différents leviers à plusieurs niveaux

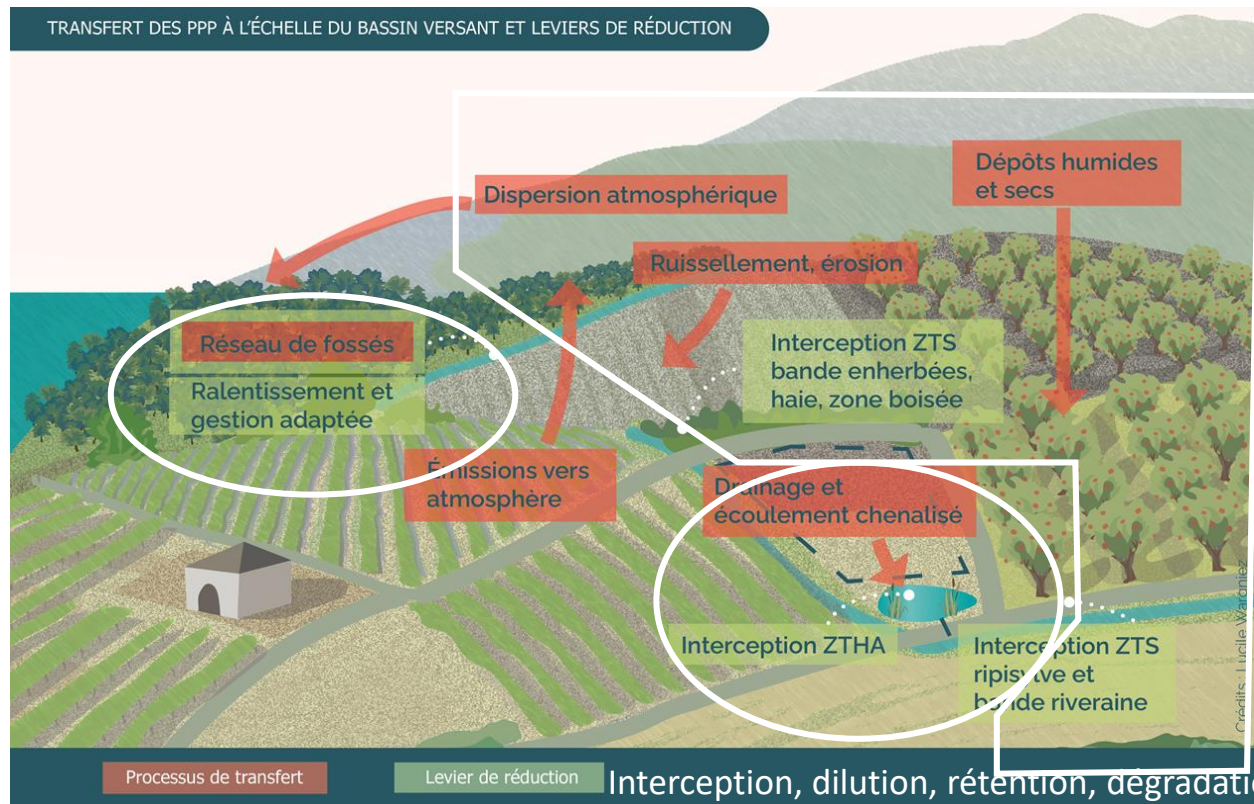


## ➤ Leviers d'action



# ➤ Leviers paysagers pour atténuer les transferts de PPP

TRANSFERT DES PPP À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT ET LEVIERS DE RÉDUCTION



ZTS : Zone Tampon Sèche  
ZTHA : Zone Tampon Humide Artificielle

L'approche paysagère est indispensable pour :

- ➔ Diagnostiquer les voies de transfert dominantes et identifier les leviers paysagers pertinents pour les atténuer
- ➔ Optimiser l'occupation du sol ainsi que la localisation et le dimensionnement des zones tampons

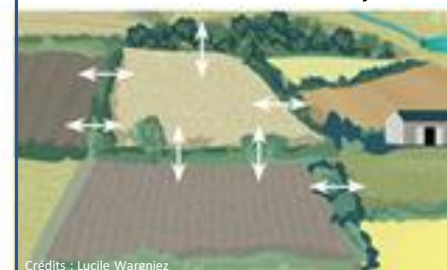
## Multifonctionnalité du paysage

Paysage simplifié :  
faible résilience des écosystèmes



Crédits : Lucile Wargniez

Paysage complexe :  
meilleure résilience des écosystèmes



Crédits : Lucile Wargniez

L'approche paysagère est indispensable pour :

- ➔ Diagnostiquer le niveau de résilience de l'agro-écosystème (accès aux habitats, refuges, ressources alimentaires...)
- ➔ Orienter les choix de gestion en conséquence (diversification et continuités paysagères)

# ➤ Biocontrôle

Contamination du milieu et impacts sur la biodiversité

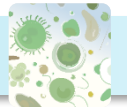
## ➤ Très peu de résultats dans la bibliographie

### Macroorganismes



- Persistance à long terme ?
- Effets directs : prédation, hybridation
- Effets indirects : compétition / ressources

### Microorganismes



- Persistance élevée des insecticides (Bt), faible des fongicides
- Modification de la biodiversité du sol
- Espèces non indigènes envahissantes

### Substances naturelles



- Faible persistance dans l'environnement
- Faible écotoxicité / PPP classiquement utilisés
- ⓘ Abamectine, pyréthrinés, spinosad

### Médiateurs chimiques



- ?



© Lucile Wagniez



## ➤ Interactions entre science et réglementation

# ➤ Réglementation

Principaux textes réglementaires en vigueur en Europe

**Règlement (UE) No 546/2011**

*Principes uniformes*

**Règlement (UE) No 547/2011**

*Etiquetage*

**Règlement (UE) No 283/2013**

*Exigences /  
Données substances actives*

**Règlement (UE) No 284/2013**

*Exigences /  
Données PPP*

**Règlement (UE) No 2019/1381**

*Transparence et pérennité de  
l'évaluation des risques*

« Paquet pesticides »

**Règlement (CE)  
No 1107/2009**

*Mise sur le des marché PPP*



**Directive 2009/128 (CE)**

*Utilisation des PPP  
& Développement durable*

**Règlement (CE) No 1185/2009**

*Statistiques sur les PPP*

**Directive 2009/127 (CE)**

*Machines d'application des PPP*

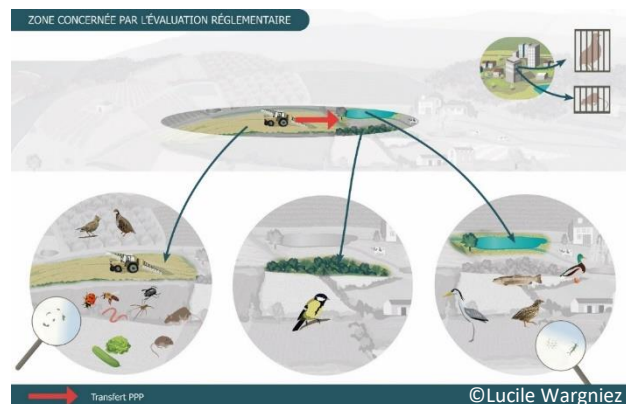
➤ **Aucun effet inacceptable des PPP sur l'environnement**

# ➤ Réglementation

Exigence et limites

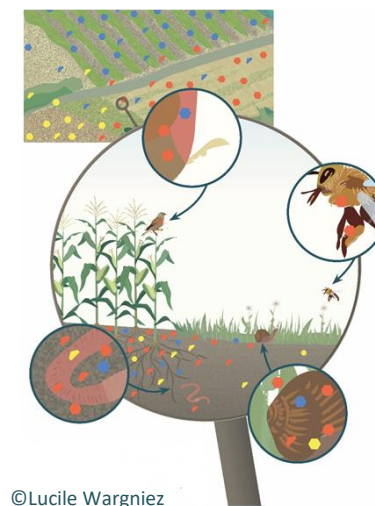


- Haut degré de protection
- Nombreux PPP interdits
- Une des réglementations les plus exigeantes au monde
- Surveillance : PPV unique en Europe



- Routine des procédures d'évaluation
- Pas de critères clairs / Effets des PPP sur la biodiversité
- SHS et savoirs non académiques non pris en compte
- Dérogations

➤ **La réglementation ne permet pas d'éviter complètement la contamination du milieu ni de protéger la biodiversité à hauteur des objectifs visés**





## ➤ Besoin de recherche et perspectives

Malgré des résultats forts, des besoins de recherche persistent

## ➤ Des besoins de connaissance

### Substances & produits

- Récents
- Produits de transformation
- Adjuvants
- Co-formulants

### Organismes



### Effets

- Directs et indirects
- Jeux d'indicateurs

### Milieus & territoires

- Contamination de l'air, du sol, du biote

« Comprendre les effets des PPP sur la biodiversité et les services écosystémiques appelle un changement de paradigme dans la recherche »

Ouverture scientifique – Pluridisciplinarité – Transfert – Lien avec la société

Etudes intégratives synchrones, développements méthodologiques et évolution de la surveillance



## ➤ Merci à l'ensemble des acteurs

- **Comité d'experts scientifiques**

Laure Mamy (coord.)  
Stéphane Pesce (coord.)  
Wilfried Sanchez (coord.)  
Marcel Amichot  
Joan Artigas  
Stéphanie Aviron  
Carole Barthélémy  
Rémy Beaudouin  
Carole Bedos  
Annette Bérard  
Philippe Berny  
Cédric Bertrand  
Colette Bertrand  
Stéphane Betoulle  
Eve Bureau-Point  
Sandrine Charles

Arnaud Chaumot  
Bruno Chauvel  
Michael Coeurdassier  
Marie-France Corio-Costet  
Marie-Agnès Coutellec  
Olivier Crouzet  
Isabelle Doussan  
Juliette Faburé  
Clémentine Fritsch  
Nicola Gallai  
Patrice Gonzalez  
Véronique Gouy  
Mickaël Hedde  
Alexandra Langlais  
Fabrice Le Bellec  
Christophe Leboulanger

Christelle Margoum  
Fabrice Martin-Laurent  
Rémi Mongruel  
Soizic Morin  
Christian Mouglin  
Dominique Munaron  
Sylvie Néliou  
Céline Pelosi  
Magali Rault  
Sergi Sabater  
Sabine Stachowski-Haberhorn  
Elliott Sucre  
Marielle Thomas  
Julien Tournebize

- **Documentalistes**

- Anne-Laure Achard, Morgane Le Gall, Sophie Le Perchec

<https://pesti-ecotox.colloque.inrae.fr>



## ➤ Place à la discussion !



INRAE  Ifremer

Présentation de l'ESCO « Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques »  
Webinaire FIRE – 13 décembre 2022