



Expertise Scientifique Collective

Phytopharmaceutiques

Biodiversité

Services Ecosystémiques



Présentation des résultats

Colloque de restitution

5 mai 2022, Paris



INRAE





➤ Introduction

➤ Cadre de l'ESCo

Principes généraux

- Etat des lieux des **connaissances scientifiques**
- Sur un sujet nécessitant une approche **pluridisciplinaire**
- A la demande d'un **acteur public**
- En interaction avec un **Comité consultatif d'acteurs**
- Pour éclairer une action **sans formuler de recommandation**

➤ Cadre de l'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



INRAE

➤ Principes de conduite des expertises scientifiques
collectives et des études à INRAE

L'expertise en éclairage des politiques publiques et du débat public

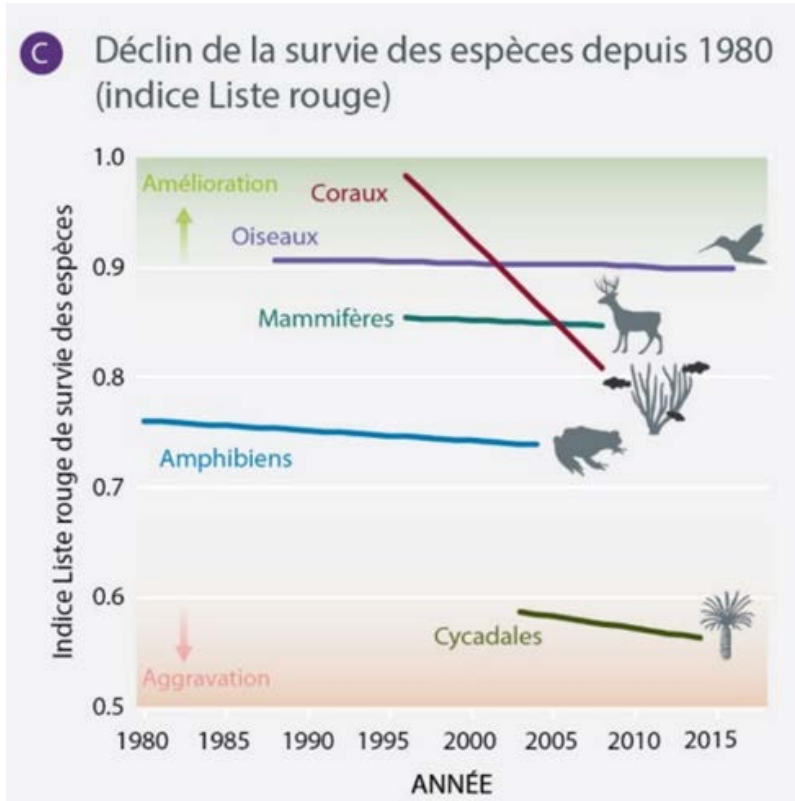
Direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE)
Version 2 - Novembre 2021

[https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DEPE Principes Conduite ES Co Etudes V2 20211110.pdf](https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DEPE%20Principes%20Conduite%20ES%20Co%20Etudes%20V2%2020211110.pdf)

INRAE Ifremer

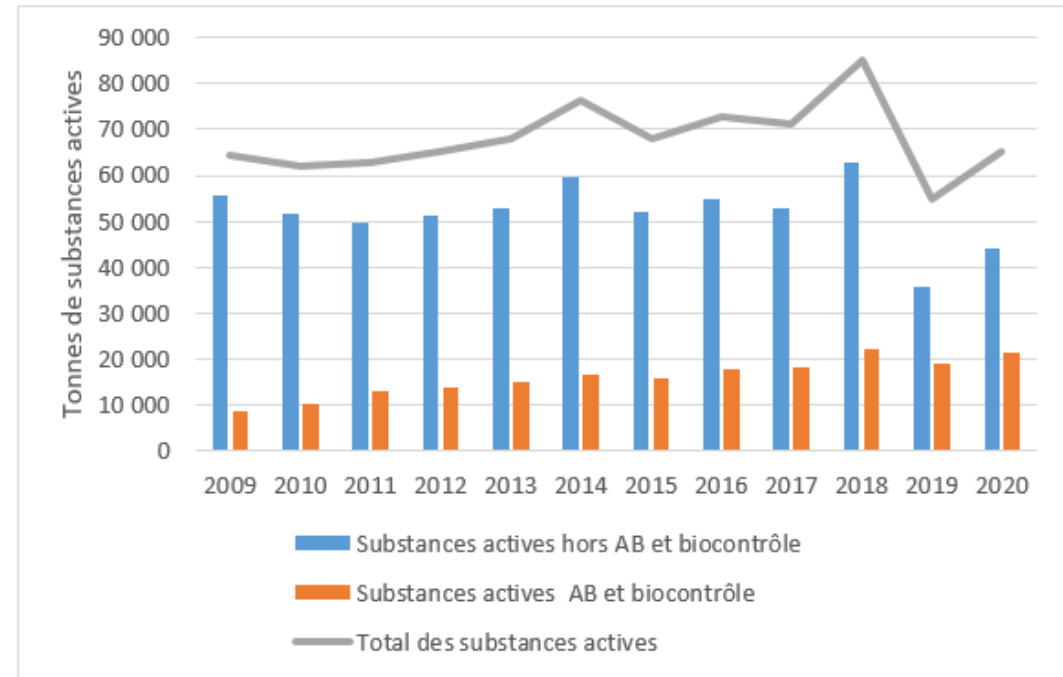
ESCo Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques
5 mai 2022 / Colloque de restitution

➤ Contexte



IPBES (2019) *Rapport de l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques*

Quantités annuelles totales de substances actives commercialisées en France de 2009 à 2020



Source : BNVD – Extraction des ventes au 16 juin 2021, traitements SDES 2021

➤ Contexte

ESCo Pesticides, agriculture et environnement

ESCo Agriculture et biodiversité

PPR Cultiver, protéger autrement

PPR Océan, climat

Pesticides et santé

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

ESCo Régulations naturelles des bioagresseurs



Plan Ecohyto
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

« Paquet Pesticides »
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Plan Ecohyto 2+
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

> Périmètre

⇒ Principales spécificités

- Biodiversité
 - Structurelle et fonctionnelle
 - Services écosystémiques
- Espaces
 - Continuum terre-mer
 - Outre mer
 - Zones agricoles et non agricoles (JEVI)
- Substances
 - Produits phytopharmaceutiques (hors médicaments vétérinaires, démoustication, etc.)
 - Y compris biocontrôle

⇒ Hors périmètre

- Santé humaine
- Systèmes agricoles et pratiques agronomiques pour la réduction des utilisations de PPP

➤ Mise en œuvre

- **Comité d'experts scientifiques**

- 46 experts dont 3 pilotes scientifiques

⇒ Trombinoscope sur le site du colloque <https://pesti-ecotox.colloque.inrae.fr/>

- 19 organismes de recherche

Laure Mamy (coord.)

Stéphane Pesce (coord.)

Wilfried Sanchez (coord.)

Marcel Amichot

Joan Artigas

Stéphanie Aviron

Carole Barthélémy

Rémy Beaudoin

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

Mickael Hedde

Alexandra Langlais

Fabrice Le Bellec

Christophe Leboulanger

Christelle Margoum

Fabrice Martin-Laurent

Rémi Mongruel

Soizic Morin

Christian Mougín

Dominique Munaron

Sylvie Nélieu

Céline Pelosi

Magali Rault

Sergi Sabater

Sabine Stachowski-Haberkorn

Elliott Sucre

Marielle Thomas

Julien Tournebize

➤ Mise en œuvre

- **Bibliographie**

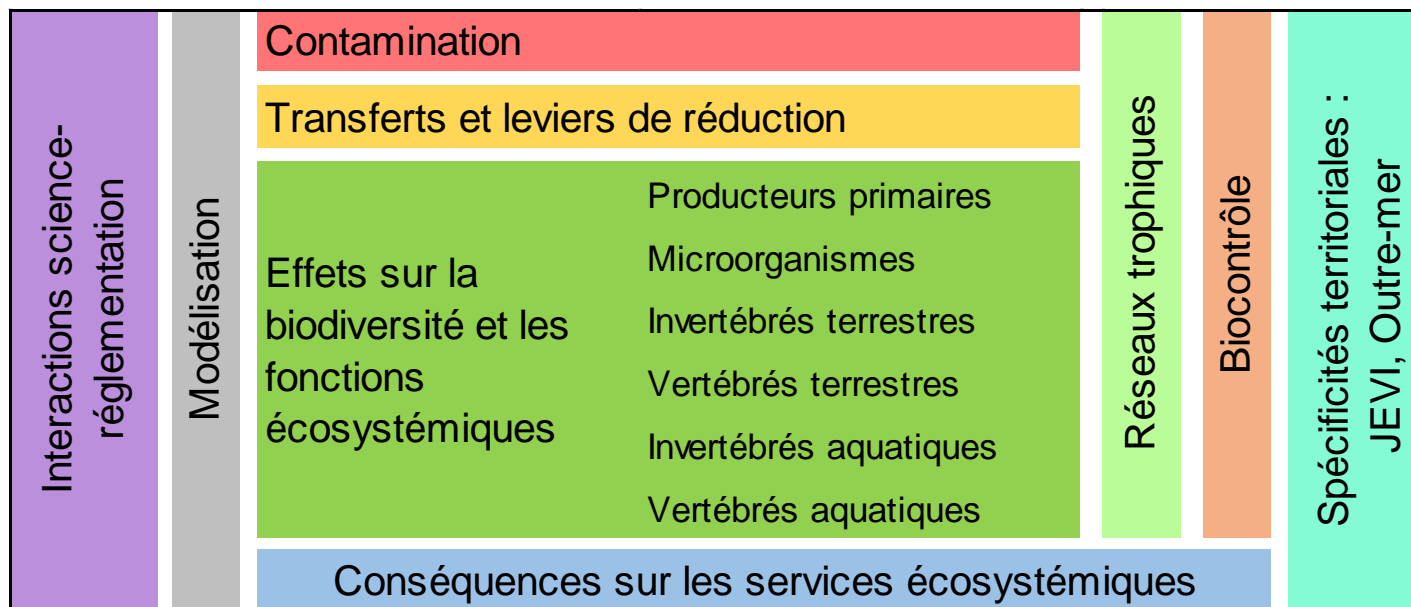
- 4 000 références citées
- Littérature internationale transposable aux contextes français métropolitain et d'outre-mer
- Domaines de recherche diversifiés

Domaines de recherche des 3 343 références classées dans les catégories WoS (15 premières catégories)

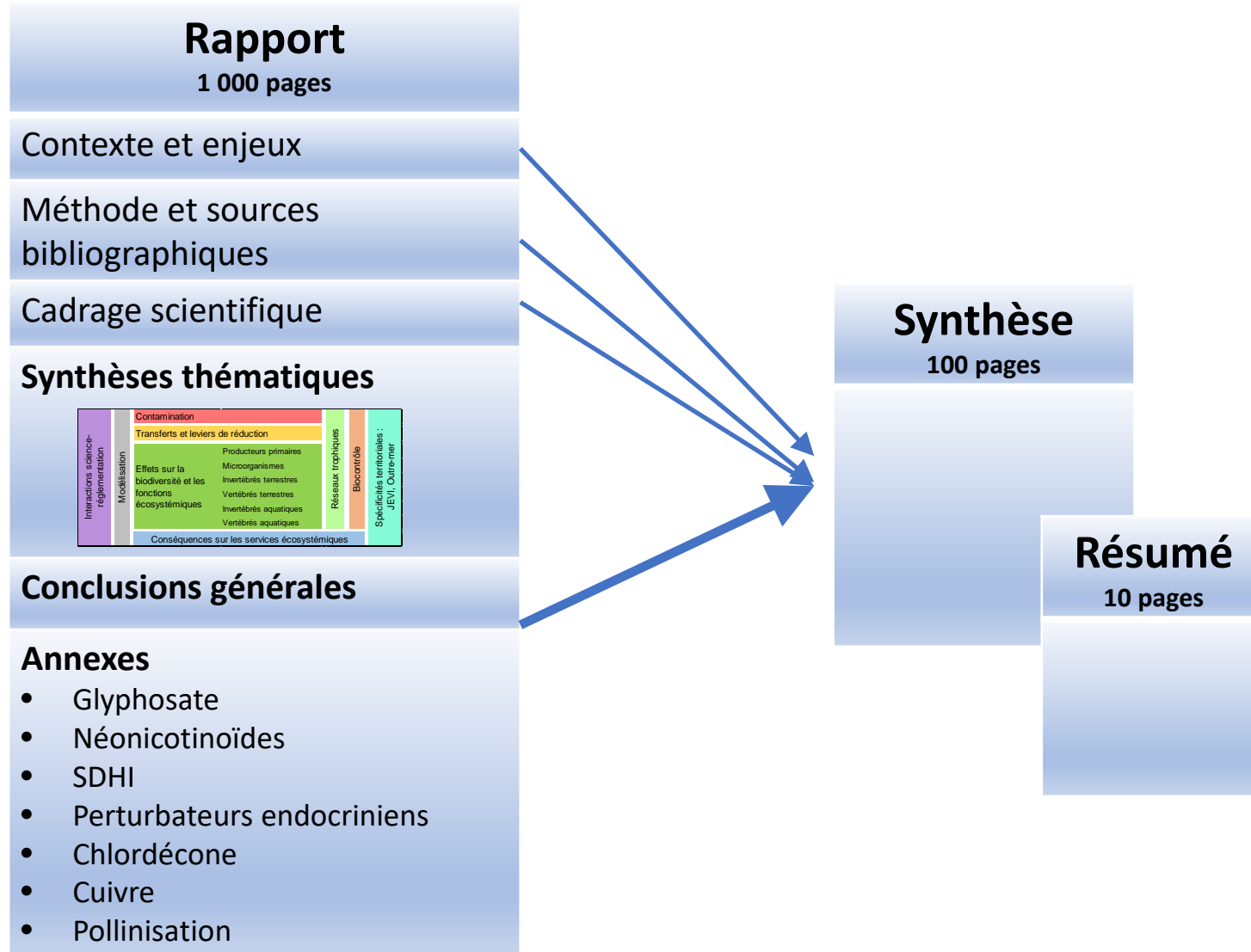


➤ Mise en œuvre

- Découpage des synthèses thématiques



> Livrables





➤ Etat des lieux de la contamination par les PPP

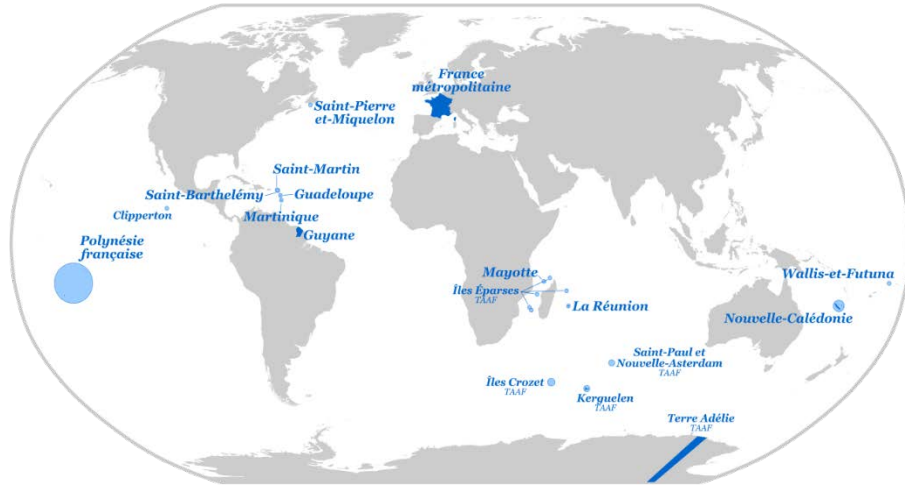
Tous les compartiments de l'environnement sont contaminés par des mélanges de PPP issus principalement de l'activité agricole

➤ Une cartographie de plus en plus précise



- Des mélanges de PPP
- Une contamination majoritairement agricole
- Des concentrations en baisse pour les PPP les plus préoccupants

➤ Et dans les territoires ultra-marins...



- Des contaminations multiples et diversifiées selon les territoires



- Une connaissance variable selon les pratiques de surveillance



Besoin de connaissance sur ces territoires

➤ Des zones d'ombre persistent



- Besoin de connaissance sur les molécules récentes
- Prise en compte des produits de transformation, des adjuvants et co-formulants
- Contamination de l'air et du sol par les PPP mais aussi du biote

➔ Vers des études intégratives synchrones



➤ Des améliorations à venir

Des développements méthodologiques récents à une évolution de la surveillance



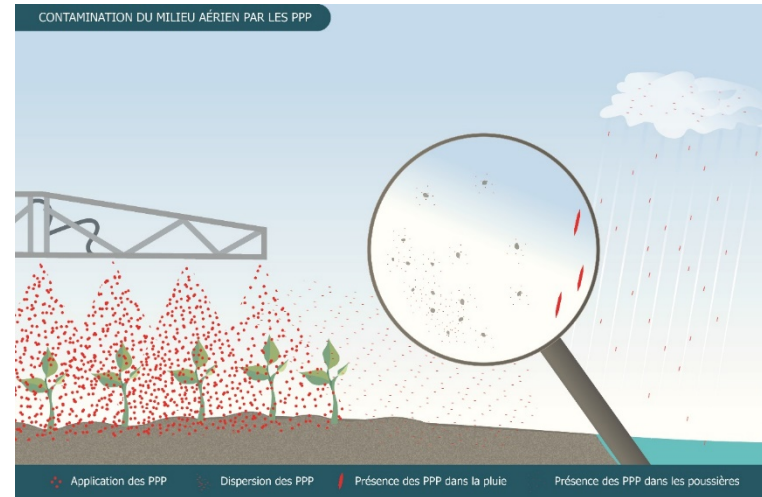
➤ Innovations pour améliorer la caractérisation de l'imprégnation de l'environnement par les PPP

➤ Une diversité des milieux et des matrices à considérer dans l'ESCo

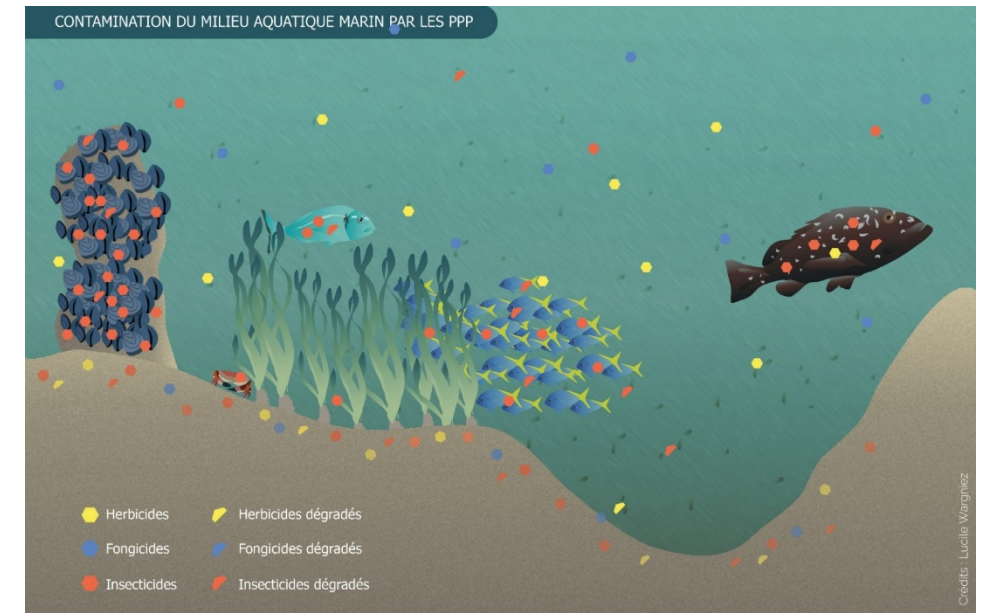
MILIEU TERRESTRE



MILIEU ATMOSPHERIQUE



MILIEU AQUATIQUE



➤ Une diversité des milieux et des matrices à considérer dans l'ESCo

MILIEU TERRESTRE

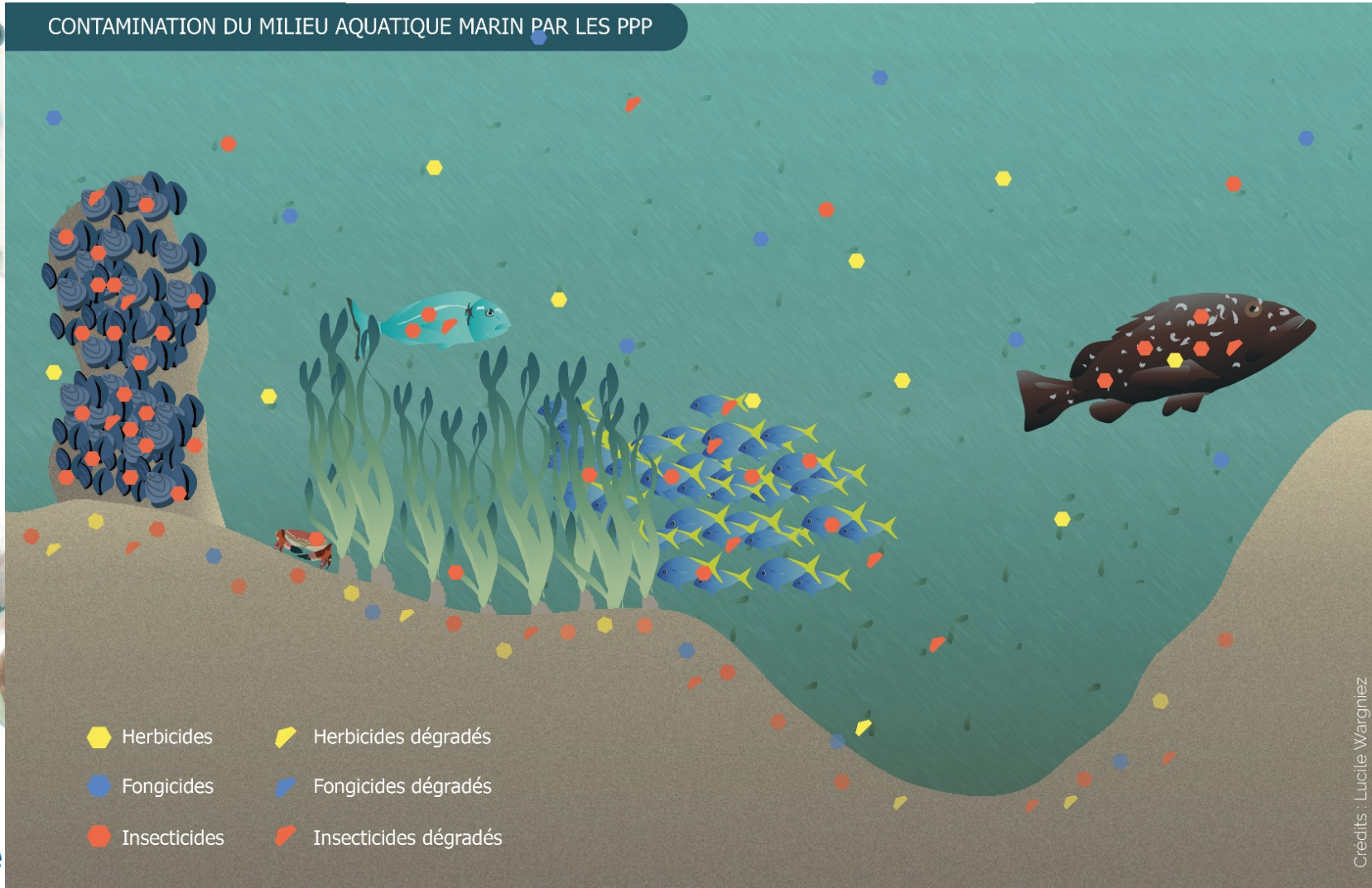
CONTAMINATION DU MILIEU TERRESTRE PAR LES PPP



- Herbicides
- Fongicides
- Insecticides
- Herbicides dégradés
- Fongicides dégradés
- Insecticides dégradés

MATRICES DANS LE MILIEU AQUATIQUE

CONTAMINATION DU MILIEU AQUATIQUE MARIN PAR LES PPP



- Herbicides
- Fongicides
- Insecticides
- Herbicides dégradés
- Fongicides dégradés
- Insecticides dégradés

Crédits : Lucile Wargniez

➤ La mesure de la contamination, un processus en plusieurs étapes



**Diversité des
matrices et des
PPP**

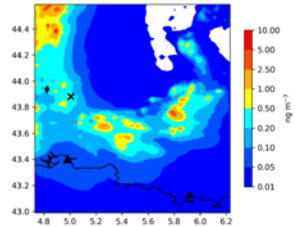
➤ La mesure de la contamination, un processus en plusieurs étapes



Diversité des matrices et des PPP

Stratégies et outils d'échantillonnage

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



Modélisation - Terrain



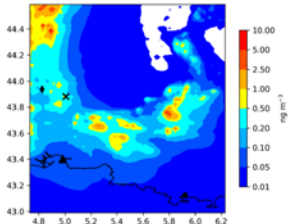
➤ La mesure de la contamination, un processus en plusieurs étapes



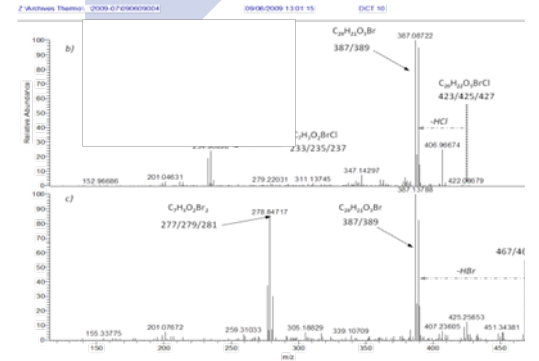
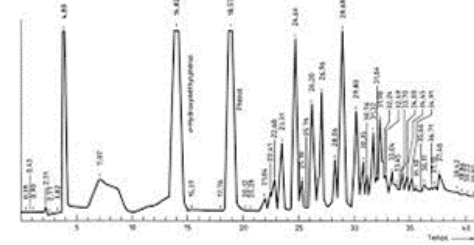
Au laboratoire



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



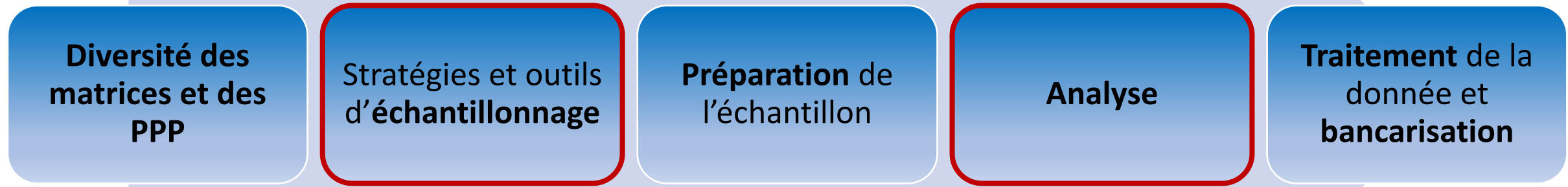
Modélisation - Terrain



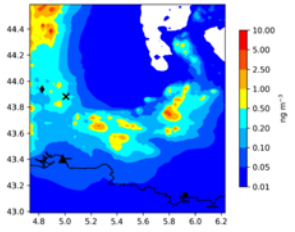
➤ La mesure de la contamination, un processus en plusieurs étapes



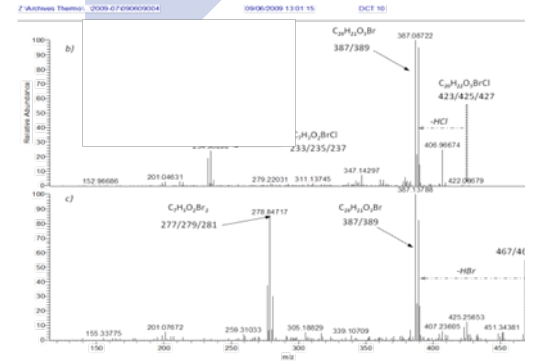
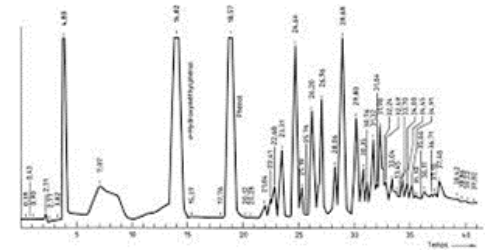
Au laboratoire



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



Modélisation - Terrain



➤ Innovations pour l'échantillonnage

Les échantillonneurs intégratifs passifs (EIP) pour l'eau et l'air



➤ Innovations pour l'échantillonnage

Les échantillonneurs intégratifs passifs (EIP) pour l'eau et l'air



- Augmentation des fréquences de quantification des PPP
- Facilité de mise en œuvre
- Intégration des variations de concentrations



➤ Innovations pour l'échantillonnage

Les échantillonneurs intégratifs passifs (EIP) pour l'eau et l'air



- Augmentation des fréquences de quantification des PPP
- Facilité de mise en œuvre
- Intégration des variations de concentrations



- Pas d'EIP universel
- Pas d'accès à la concentration instantanée
- Nécessité de calibration pour tout couple PPP/EIP
- Influence des facteurs environnementaux

➤ Innovations pour l'analyse de cocktails de PPP

La spectrométrie de masse haute résolution

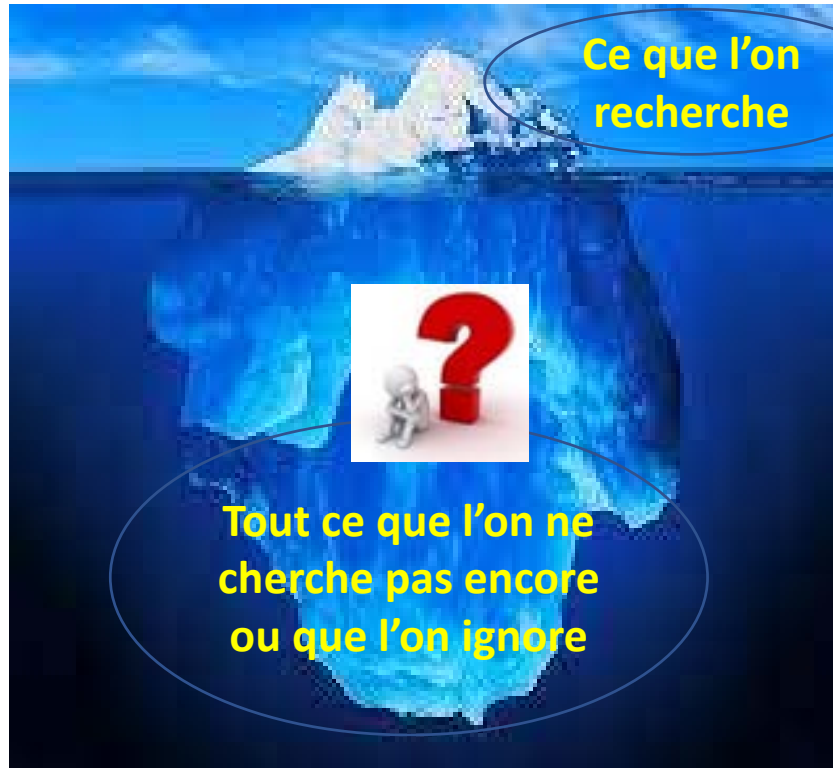
Une multitude de PPP dans l'environnement



➤ Innovations pour l'analyse de cocktails de PPP

La spectrométrie de masse haute résolution

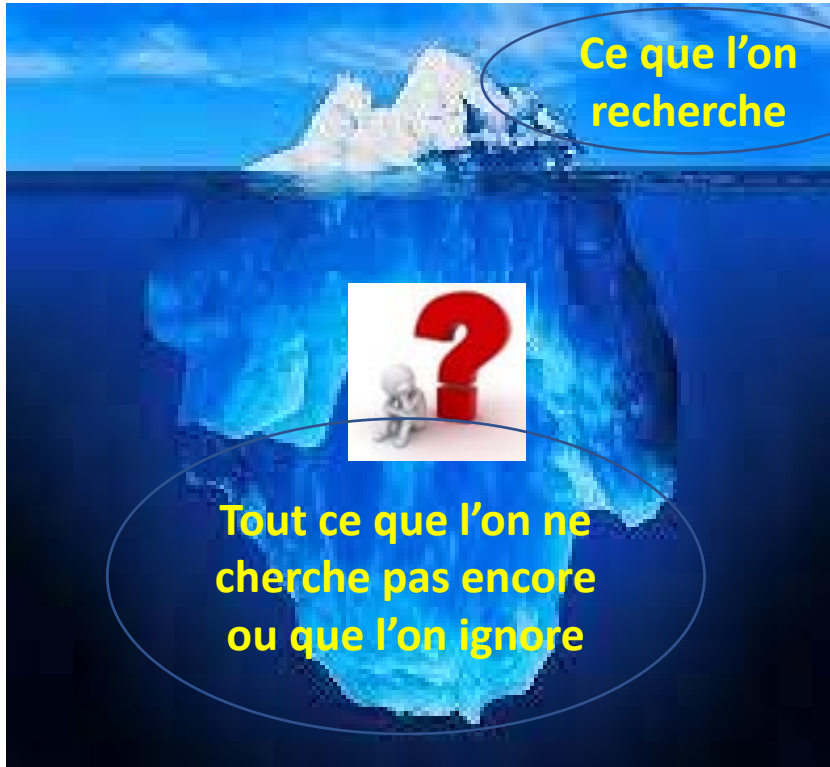
Une multitude de PPP dans l'environnement



➤ Innovations pour l'analyse de cocktails de PPP

La spectrométrie de masse haute résolution

Une multitude de PPP dans l'environnement

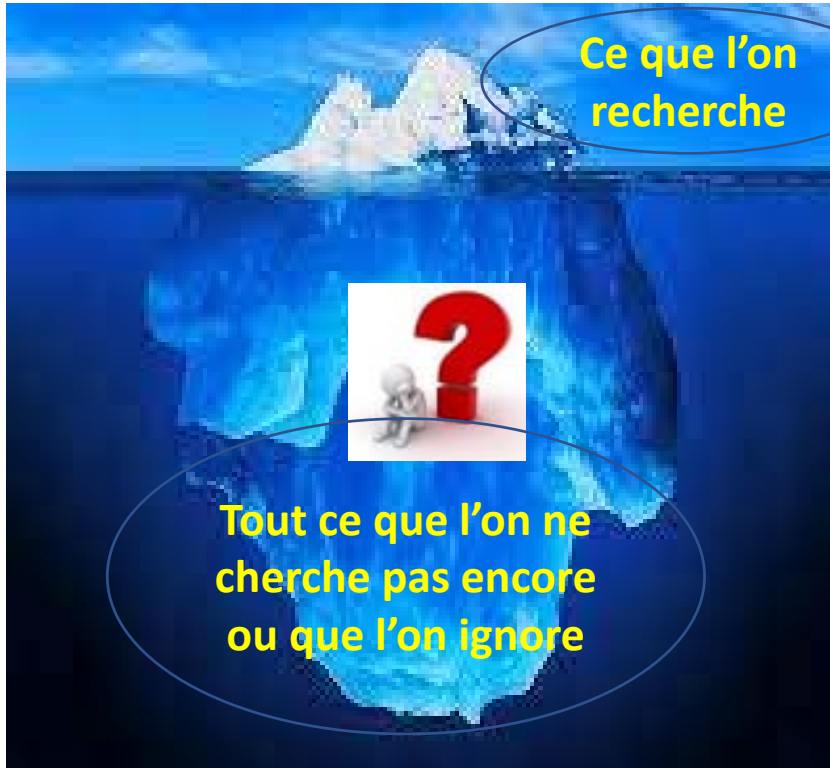


- Pour les PPP organiques, prédominance des couplages chromatographie/spectrométrie de masse
- Sensibilité accrue
- Analyses ciblées multirésidus
- Vers une analyse sans a priori
 - ex. recherche de produits de transformation
 - analyse rétrospective

➤ Innovations pour l'analyse de cocktails de PPP

La spectrométrie de masse haute résolution

Une multitude de PPP dans l'environnement



- Pour les PPP organiques, prédominance des couplages chromatographie/spectrométrie de masse
- Sensibilité accrue
- Analyses ciblées multirésidus
- Vers une analyse sans a priori
 - ex. recherche de produits de transformation
 - analyse rétrospective



- Toujours besoin de méthodes spécifiques
 - glyphosate, PPP très polaires, énantiomères...
- Nécessité d'étalons pour identifier et quantifier
- Bancarisation des données
- Des exigences croissantes
 - équipements de laboratoire, expertise...



➤ 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

➤ Définition de la Biodiversité

Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE, 2017)
d'après la Convention sur la Diversité Biologique (ONU, 1992)

« La biodiversité désigne la variabilité des organismes vivants de toute origine et comprend la diversité au sein des espèces, entre espèces ainsi que celle des écosystèmes »

➤ Définition de la Biodiversité

Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE, 2017)
d'après la Convention sur la Diversité Biologique (ONU, 1992)

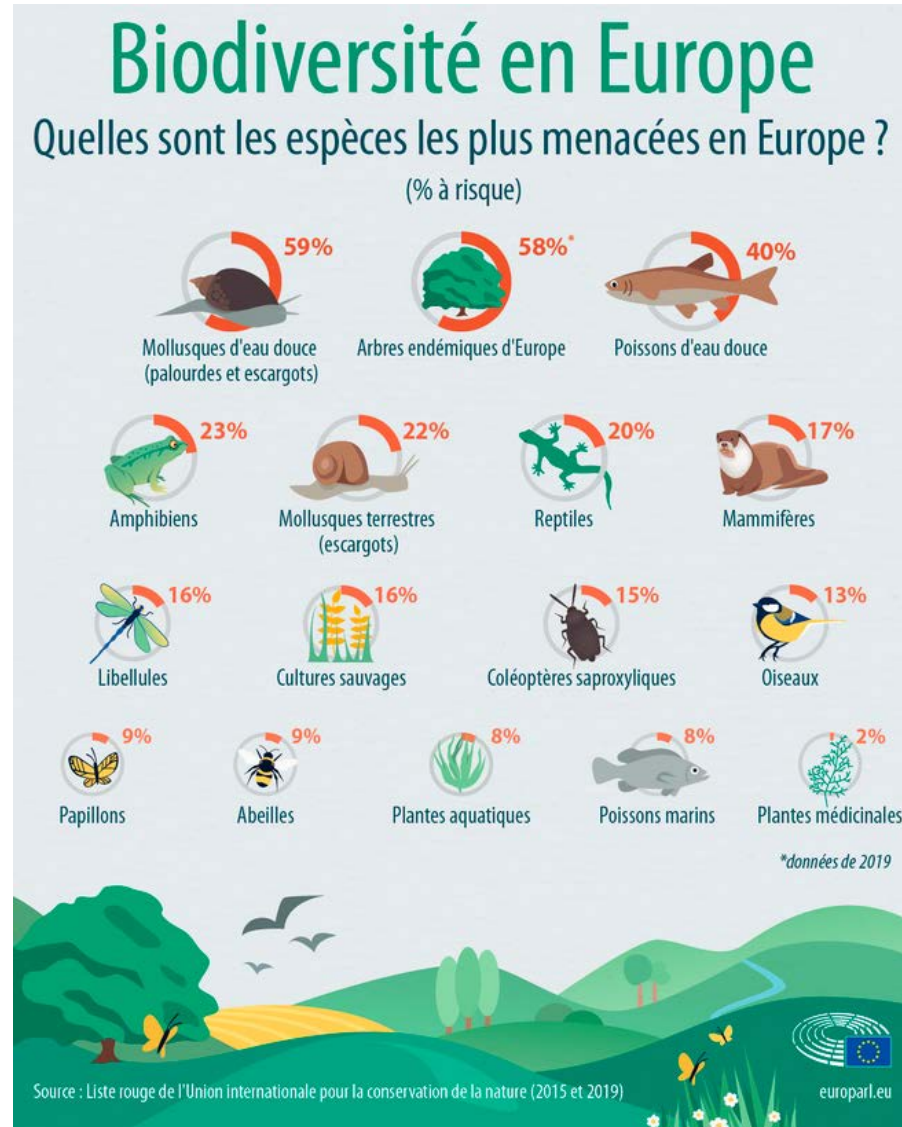
« La biodiversité désigne la variabilité des organismes vivants de toute origine et comprend la diversité au sein des espèces, entre espèces ainsi que celle des écosystèmes »

Chiffres clés: 86 % des espèces existant sur la planète et 91 % des espèces dans les océans n'ont pas encore fait l'objet d'une description



Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2019)

➤ Une biodiversité menacée

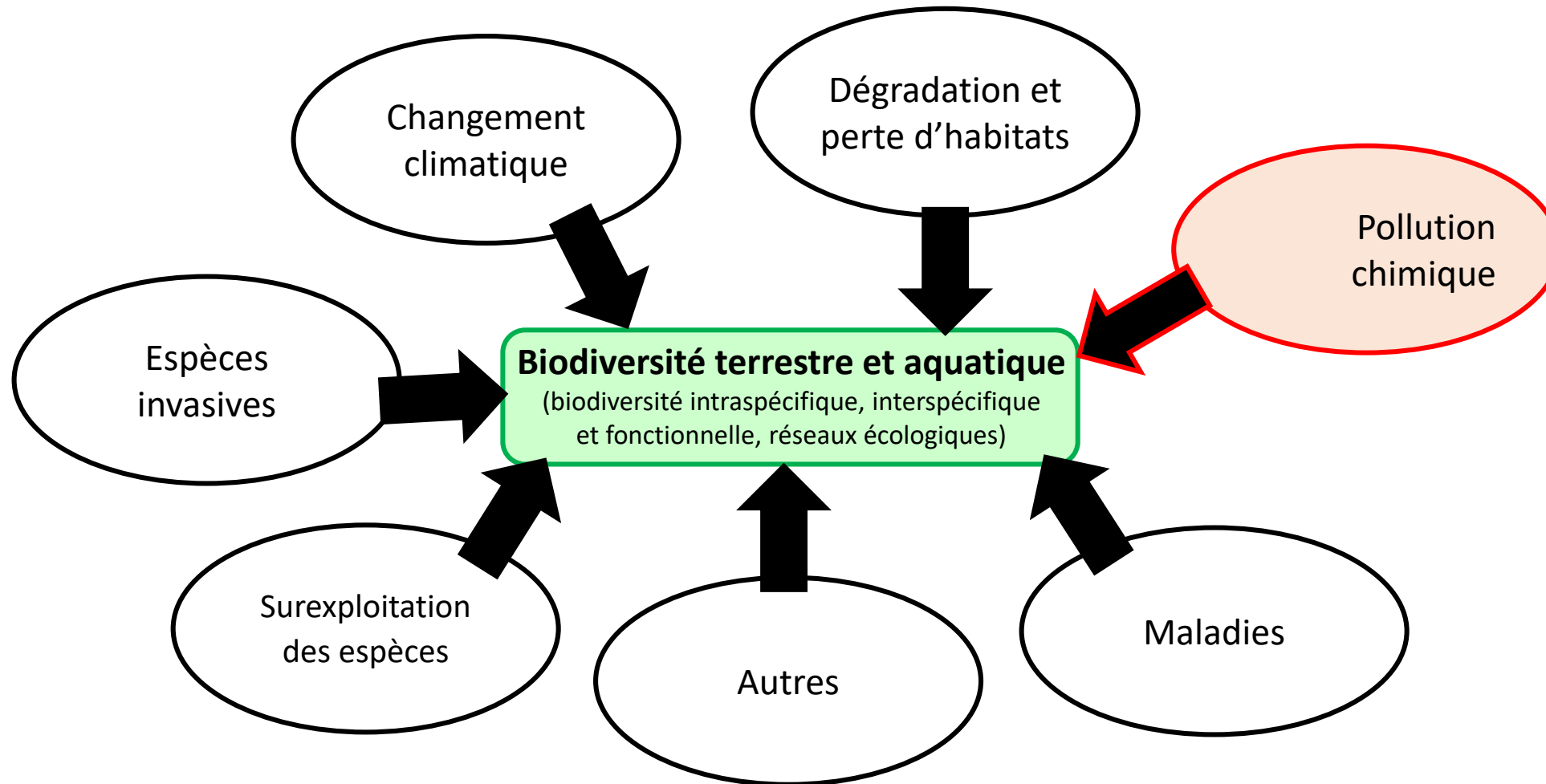


Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)

- >1600 espèces menacées en Europe sur 15000 recensées
- 36 espèces qui ont complètement disparu en Europe depuis 2015 (poissons, mollusques, fleurs, etc.)

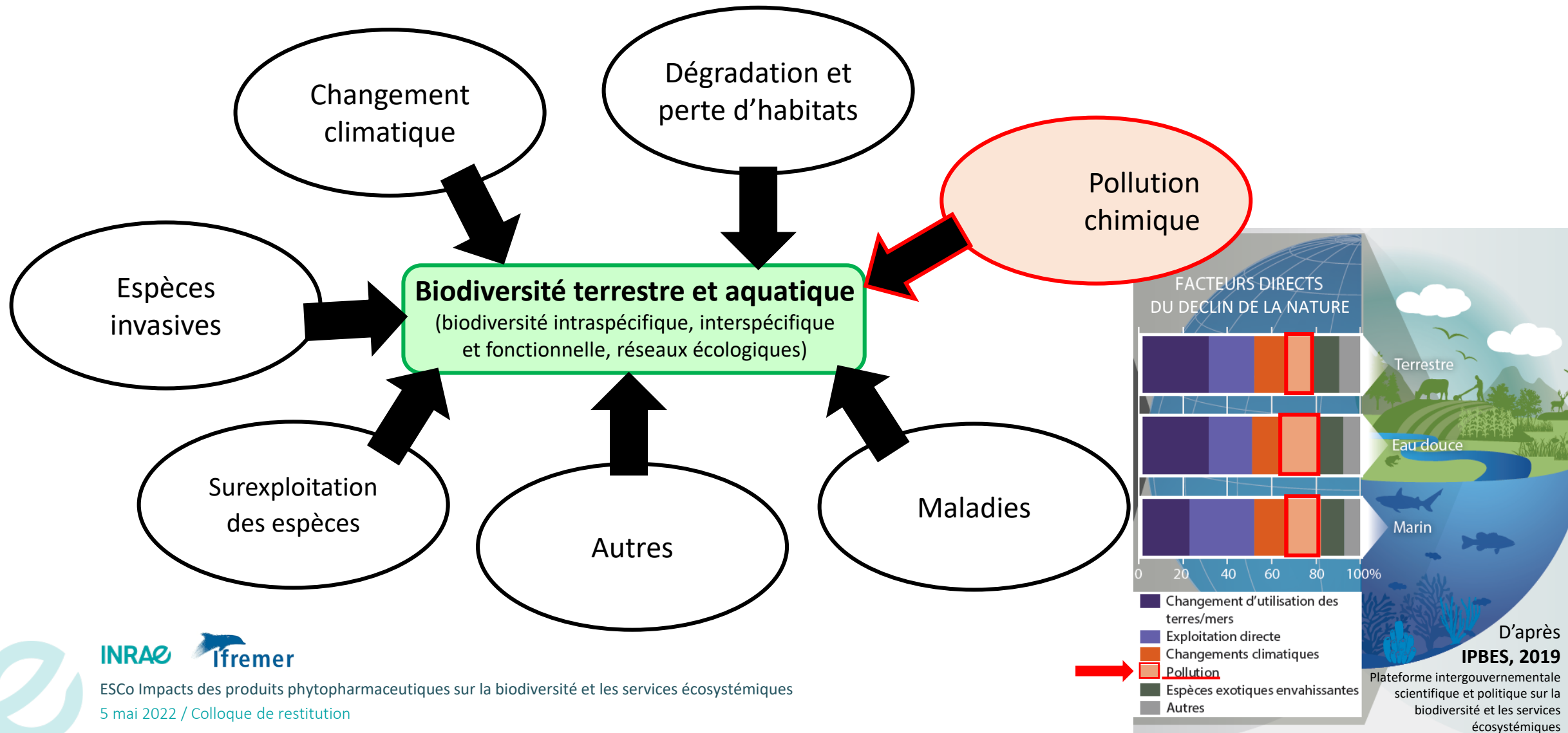
➤ Le déclin de la biodiversité est multi-causal...

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



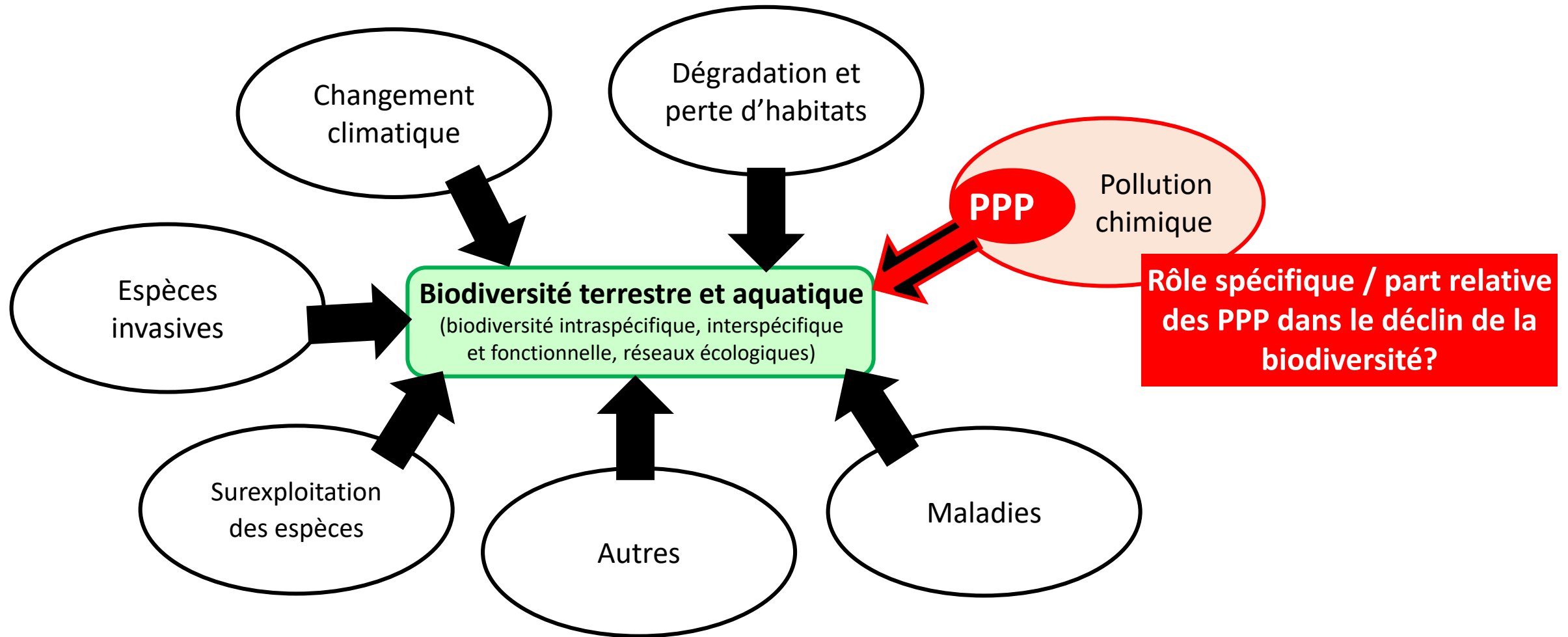
➤ Le déclin de la biodiversité est multi-causal...

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



➤ 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

Une analyse de la littérature concernant l'ensemble des milieux le long du continuum terre mer



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

Une analyse de la littérature concernant 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)**

Analyses faites à larges échelles spatiales et/ou temporelles
(PPP de synthèse et le cuivre)

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



Crédits: Lucile Wagniez

➤ 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.

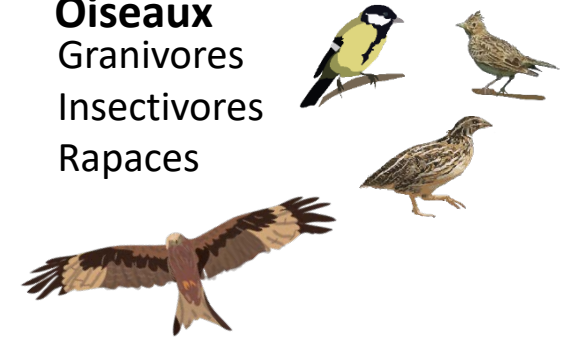


Oiseaux

Granivores

Insectivores

Rapaces



➤ 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.)

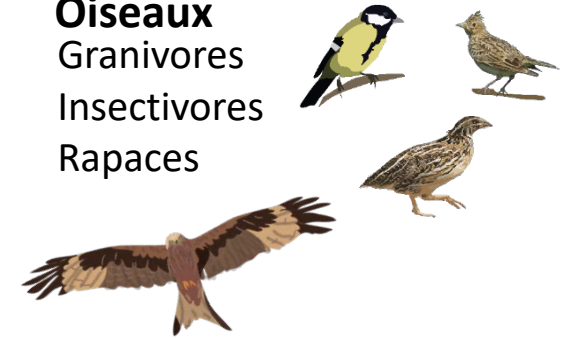


Macro-invertébrés aquatiques

Larves d'insectes, vers,
crustacés, etc.



Oiseaux
Granivores
Insectivores
Rapaces



Amphibiens



Chiroptères
(chauves-souris)



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

Invertébrés terrestres

En particulier:

Lépidoptères (papillons),
Hyménoptères (abeilles, bourdons, etc.)
Coléoptères (coccinelles, carabes, etc.)

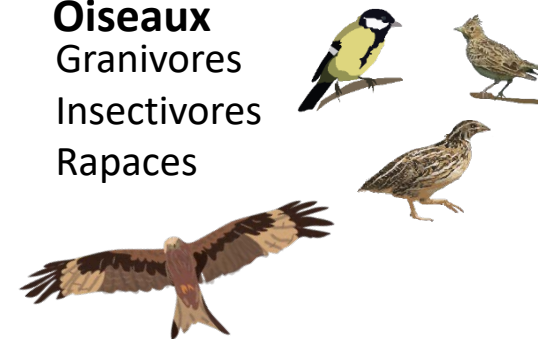


Macro-invertébrés aquatiques

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.)



Macro-invertébrés aquatiques

Larves d'insectes, vers,
crustacés, etc.



Oiseaux

Granivores
Insectivores
Rapaces



Amphibiens



Chiroptères (chauves-souris)



Focus

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.)



Cas des abeilles (et autres insectes pollinisateurs)

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.)



Cas des abeilles (et autres insectes pollinisateurs)

PPP de synthèse

insecticides

Effets Directs

létaux et sublétaux

(perte d'orientation, fragilisation
immunitaire, impacts sur le microbiote...)



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:

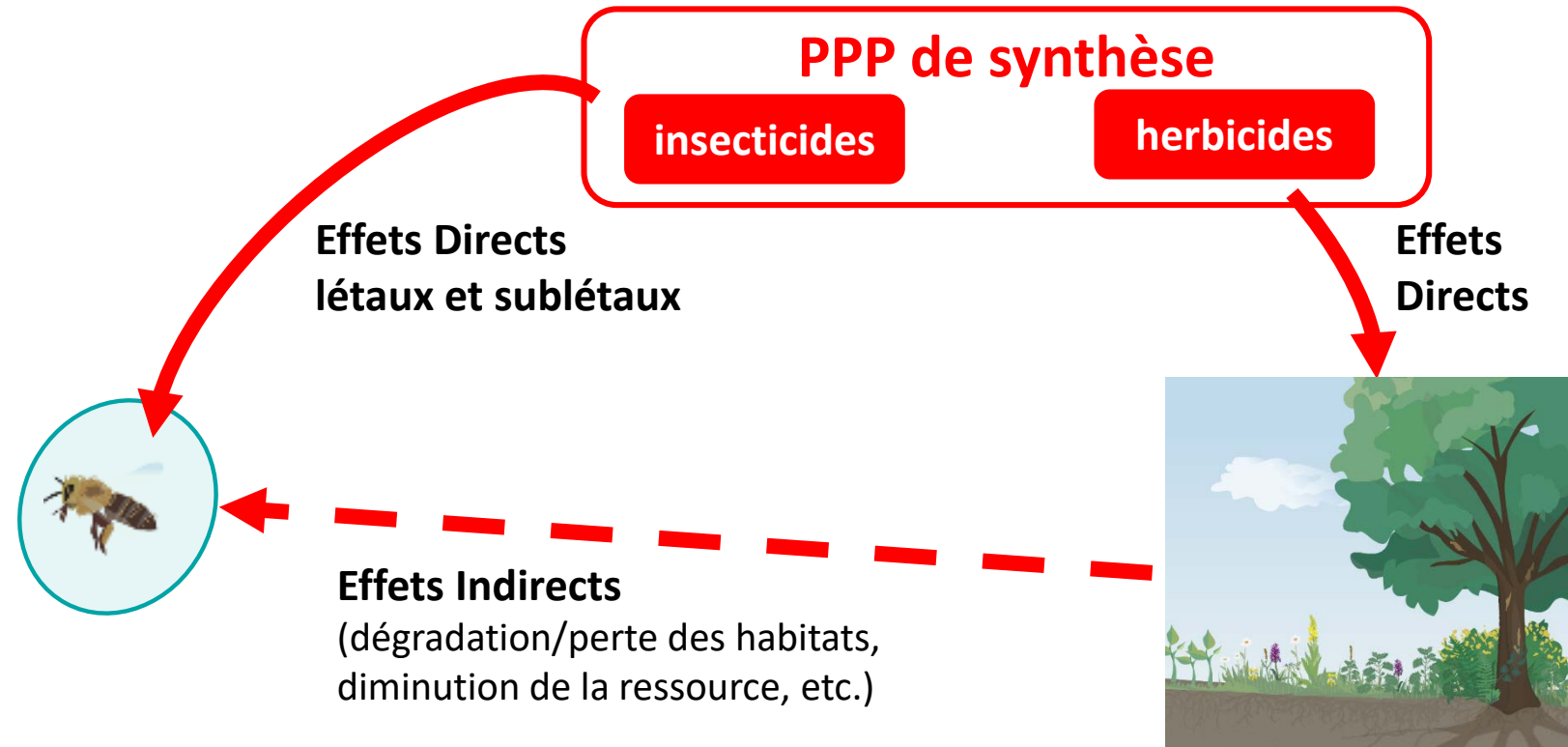
Lépidoptères (papillons),

Hyménoptères (abeilles, bourdons, etc.)

Coléoptères (coccinelles, carabes, etc.)



Cas des abeilles (et autres insectes pollinisateurs)



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^{ème} cause la plus importante du déclin des populations d'insectes (derrière la perte des habitats)

➤ 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^{ème} 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 pyréthriinoïdes**

➤ 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^{ème} 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

➤ 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^{ème} 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 pyréthriinoïdes**



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



➤ 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^{ème} 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



Impliquées aussi dans le déclin des

- macroinvertébrés aquatiques
- chauves-souris
- oiseaux

➤ 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^{ème} 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 pyréthriinoïdes**

Substances très étudiées au cours de la dernière décennie

Impliquées aussi dans le déclin des

- macroinvertébrés aquatiques
- chauves-souris
- oiseaux



➤ Effets des PPP chez les oiseaux



➤ Effets sur les oiseaux

Effets directs

Toxicité aiguë / chronique

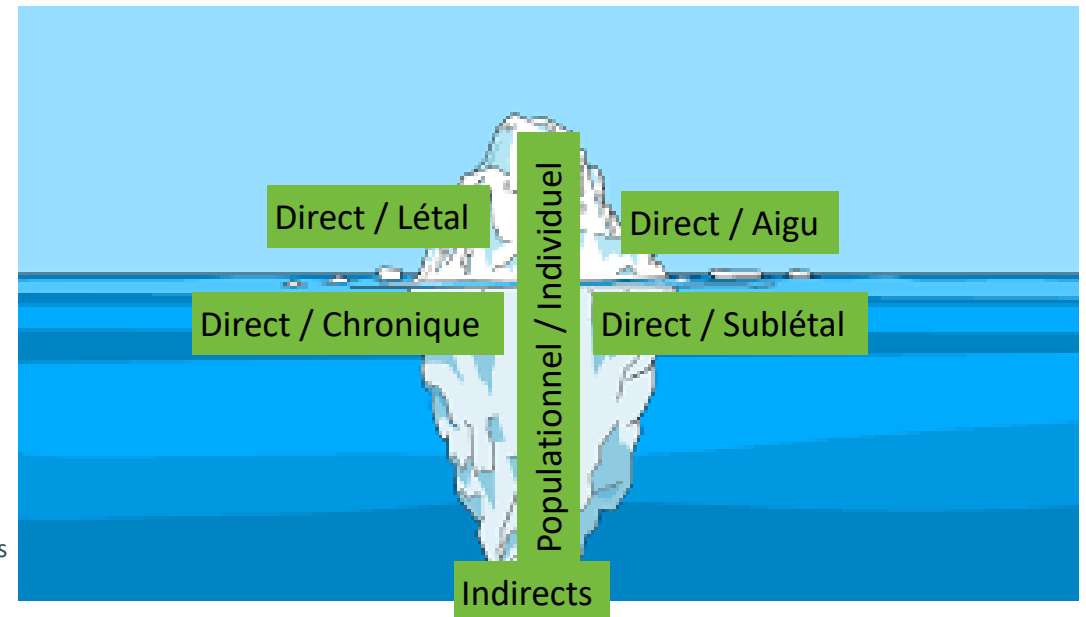
Effets létaux / sublétaux (prédation facilitée, maladie...)

Effets individuels / populationnels / communautés

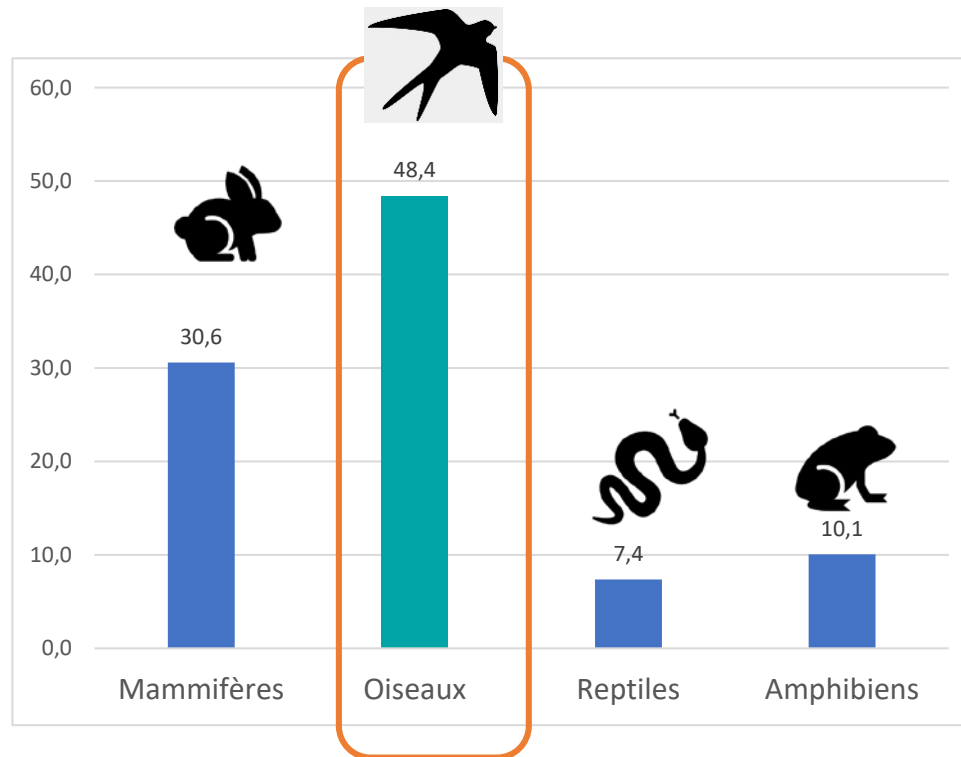
Effets indirects

Altération des ressources

Altération de l'habitat

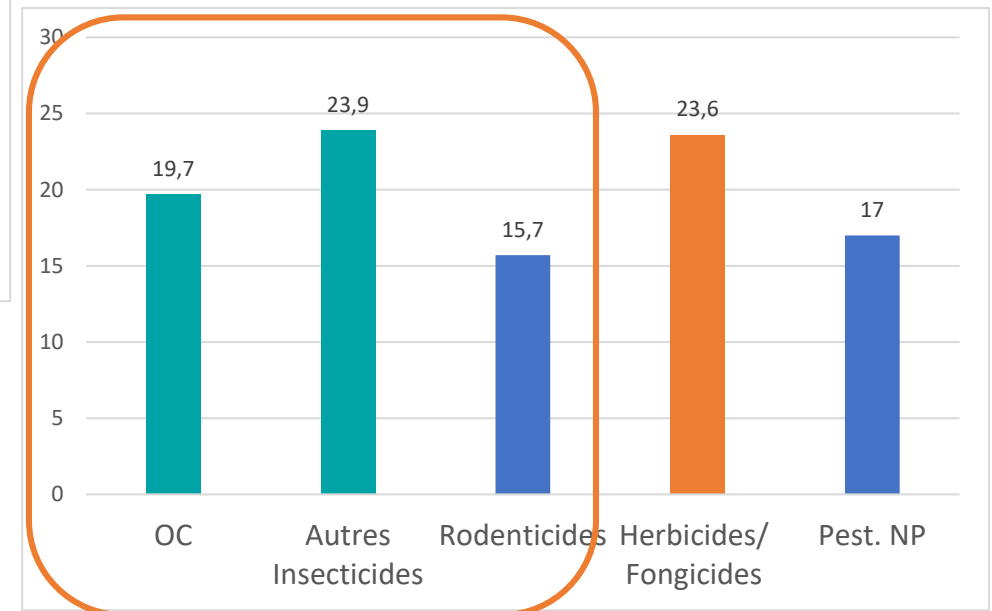


➤ Bases bibliographiques



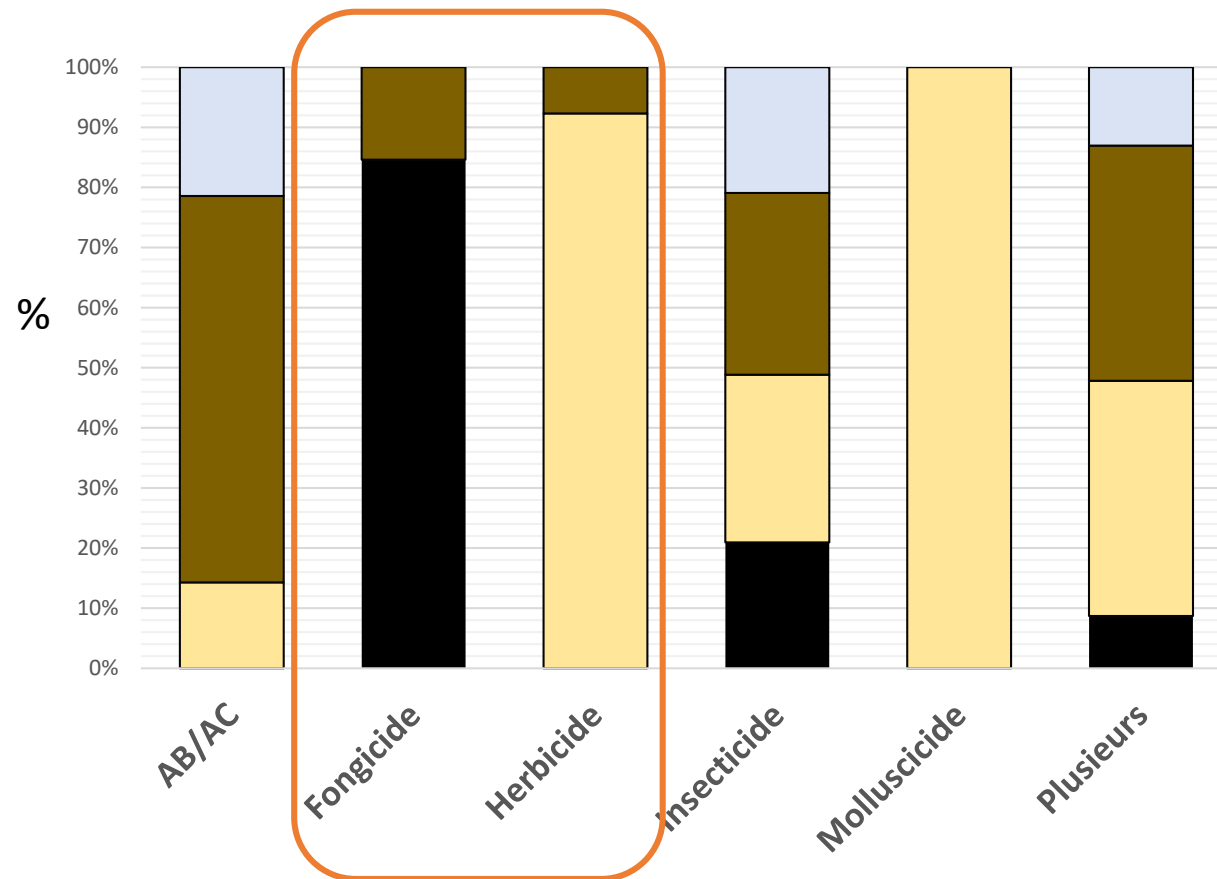
Part des références bibliographiques par groupe taxonomique
(% de 1154 articles de 2000 à 2021)

Méthodologie de recherche bibliographique (n=1154)



Part des références bibliographiques par type de pesticide
(% de 1154 articles de 2000 à 2021)

➤ Effets directs et indirects selon les familles de PPP



**Méthodologie de
recherche
bibliographique
(n=79)**

□ Non Précisé

■ Direct et Indirect

■ Indirect

■ Direct

➔ Herbicides

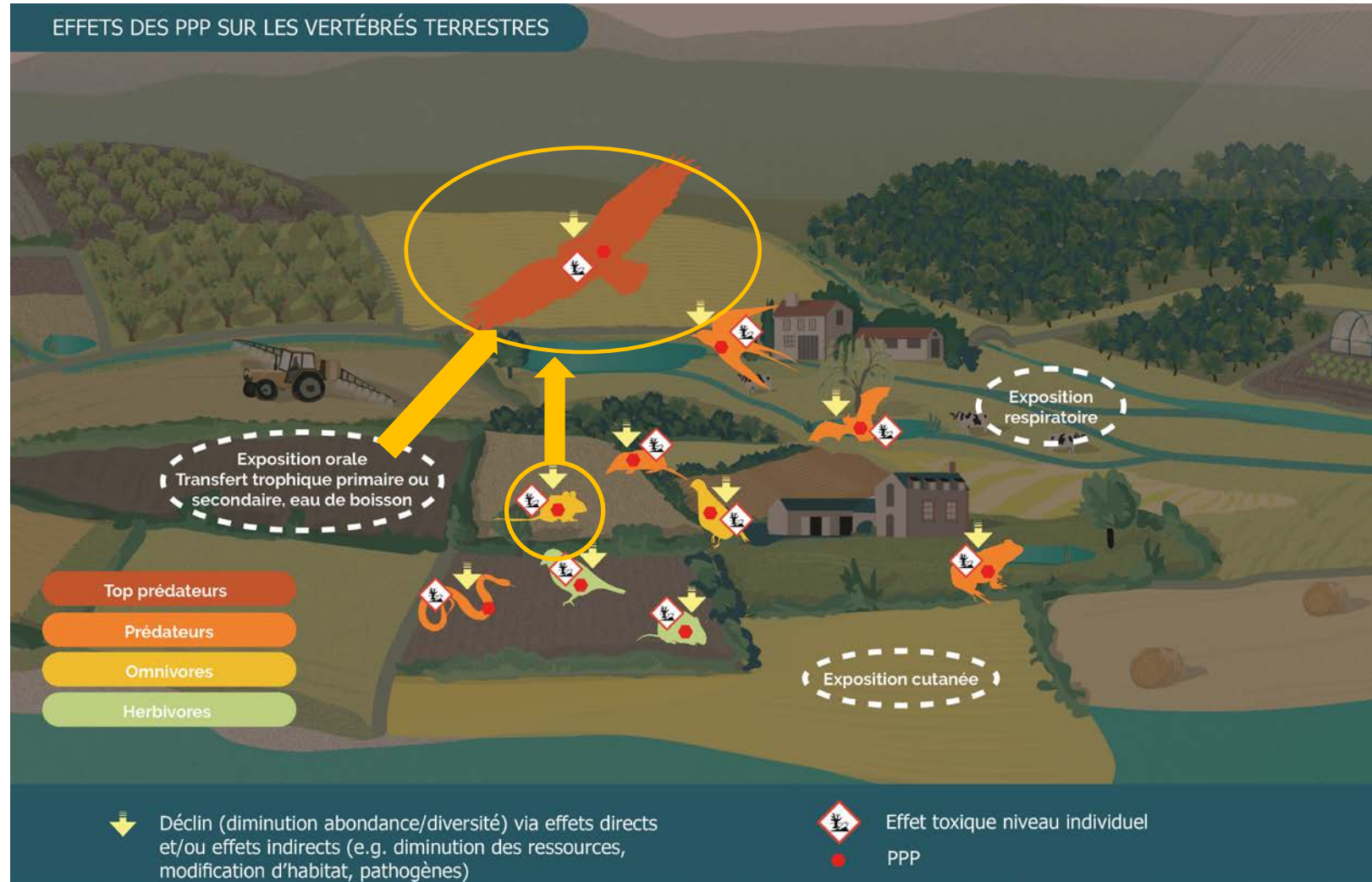
➔ Fongicides

➤ Des effets toxiques démontrés

Rapaces : exposition aux **rodenticides** (agricoles ou biocides) par le réseau trophique – démontrée dans le monde entier

- Mortalité -> déclin de population -> décisions réglementaires -> inversion tendance
- Contam. faible -> effets sublétaux ?

Cas du Milan Royal : diminution des populations de 20 à 40% en raison des empoisonnements illicites (usages détournés) avec des insecticides carbamates interdits mais toujours présents (ES, FR, IT, UK...)



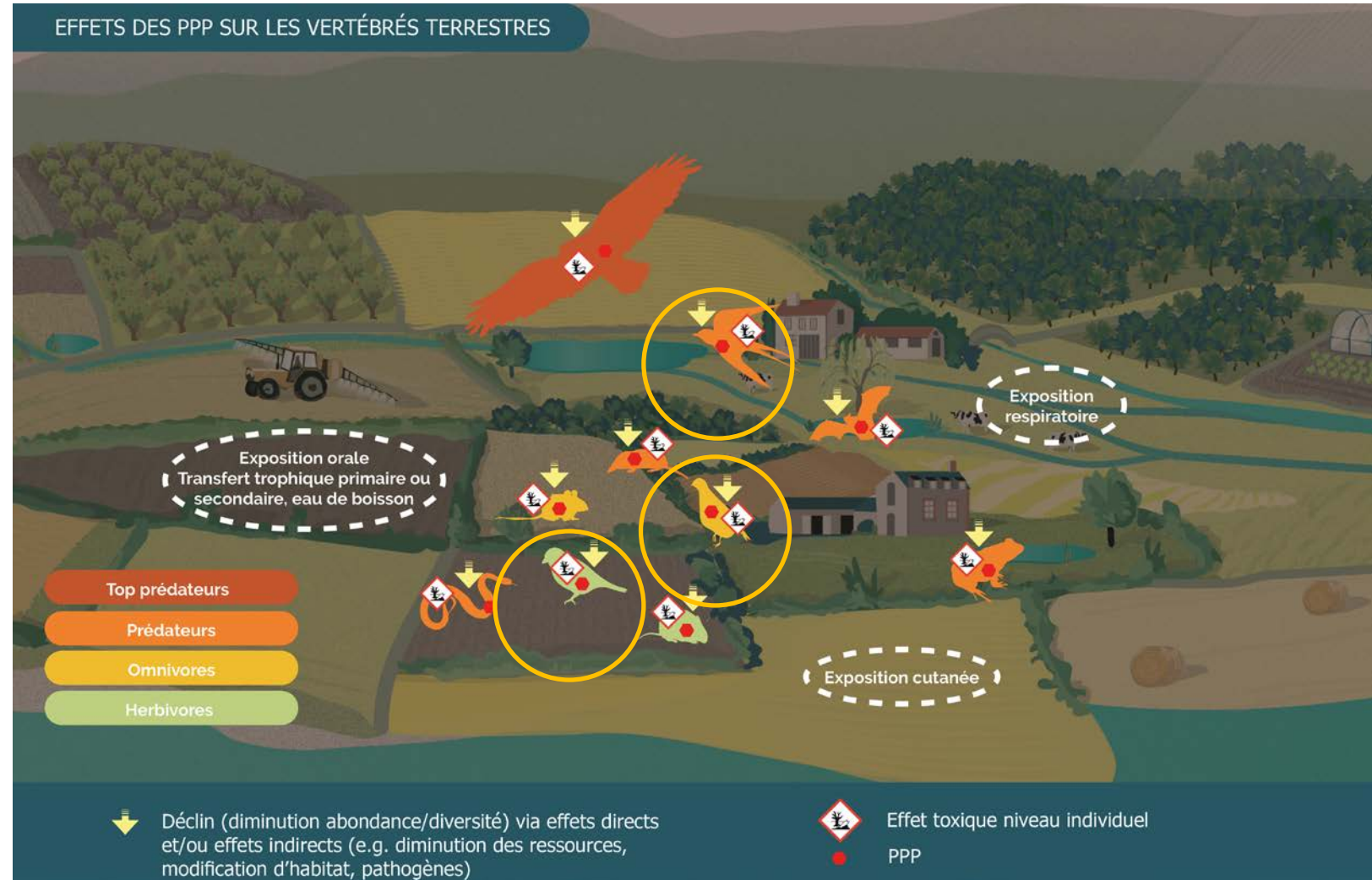
➤ Le cas des Néonicotinoïdes chez les oiseaux

Effets des NN :

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

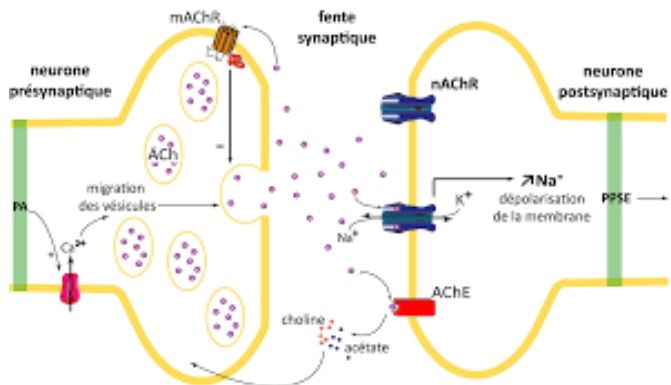
NB : des effets similaires sont constatés lors de toute utilisation large d'insecticides...y compris pyréthrinoïdes et Bt

Et sur d'autres taxons !



➤ Le cas des Néonicotinoïdes chez les oiseaux

Les effets directs létaux via la consommation de semences traitées / enrobées

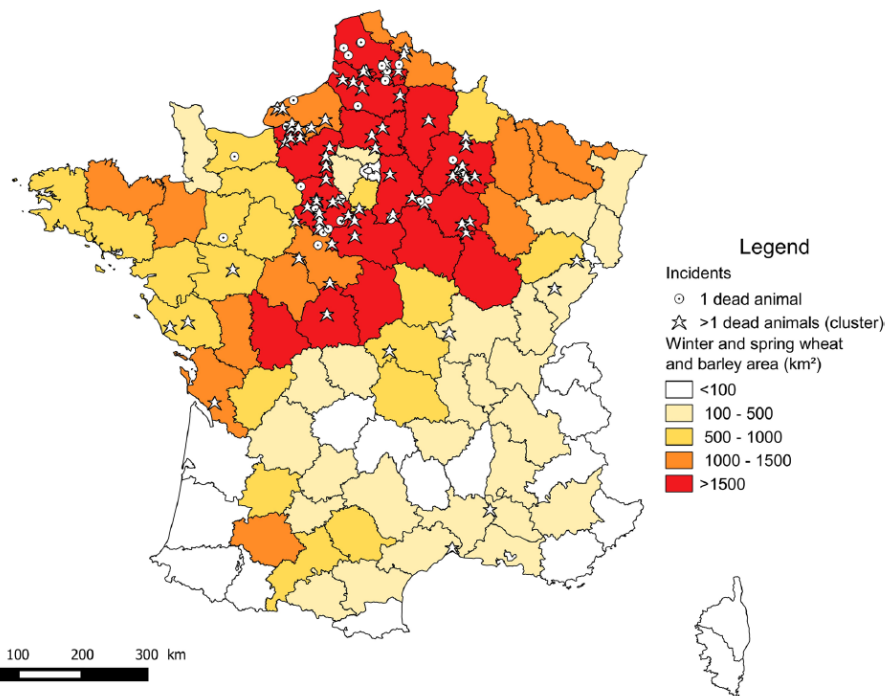


Une sensibilité différente entre insectes et vertébrés...

ACh provoque une stimulation puis une inhibition de la transmission de l'influx nerveux (invertébrés, vertébrés)
Récepteurs plus nombreux chez les insectes - Conformation différente



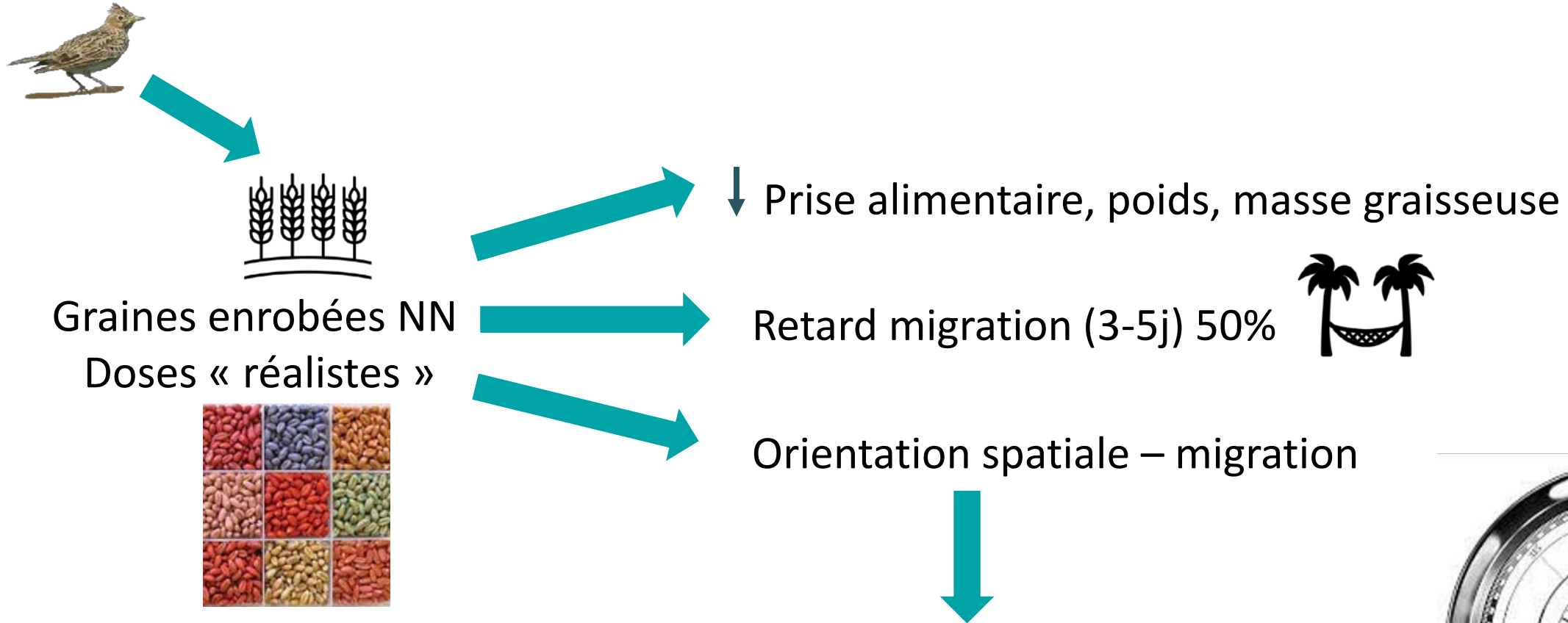
Cas récurrents de mortalité d'oiseaux granivores (Perdrix, pigeons, passereaux) – preuve de l'ingestion+résidus hépatiques
Signes neurologiques compatibles



Constatation d'effets toxiques aigus directs sur les oiseaux

➤ Le cas des Néonicotinoïdes chez les oiseaux

Les effets directs sublétaux via la consommation de semences traitées / enrobées

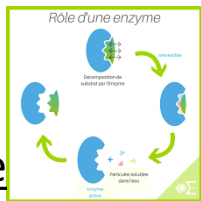


Effets toxiques sub-aigus
Impact (potentiel) sur la population



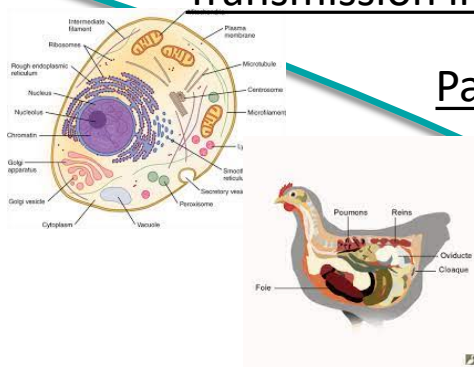
➤ Le cas des Néonicotinoïdes chez les oiseaux

Expo avérée directe et par réseau trophique



Interaction nicotinique

Transmission influx nerveux



Parésie

Expo avérée par réseau trophique

Altération comportement, capacités migratoires

Reproduction (effet PE)

Mortalité individuelle

Effets populationnels

« Adverse Outcome Pathway »



Communautés / écosystème?

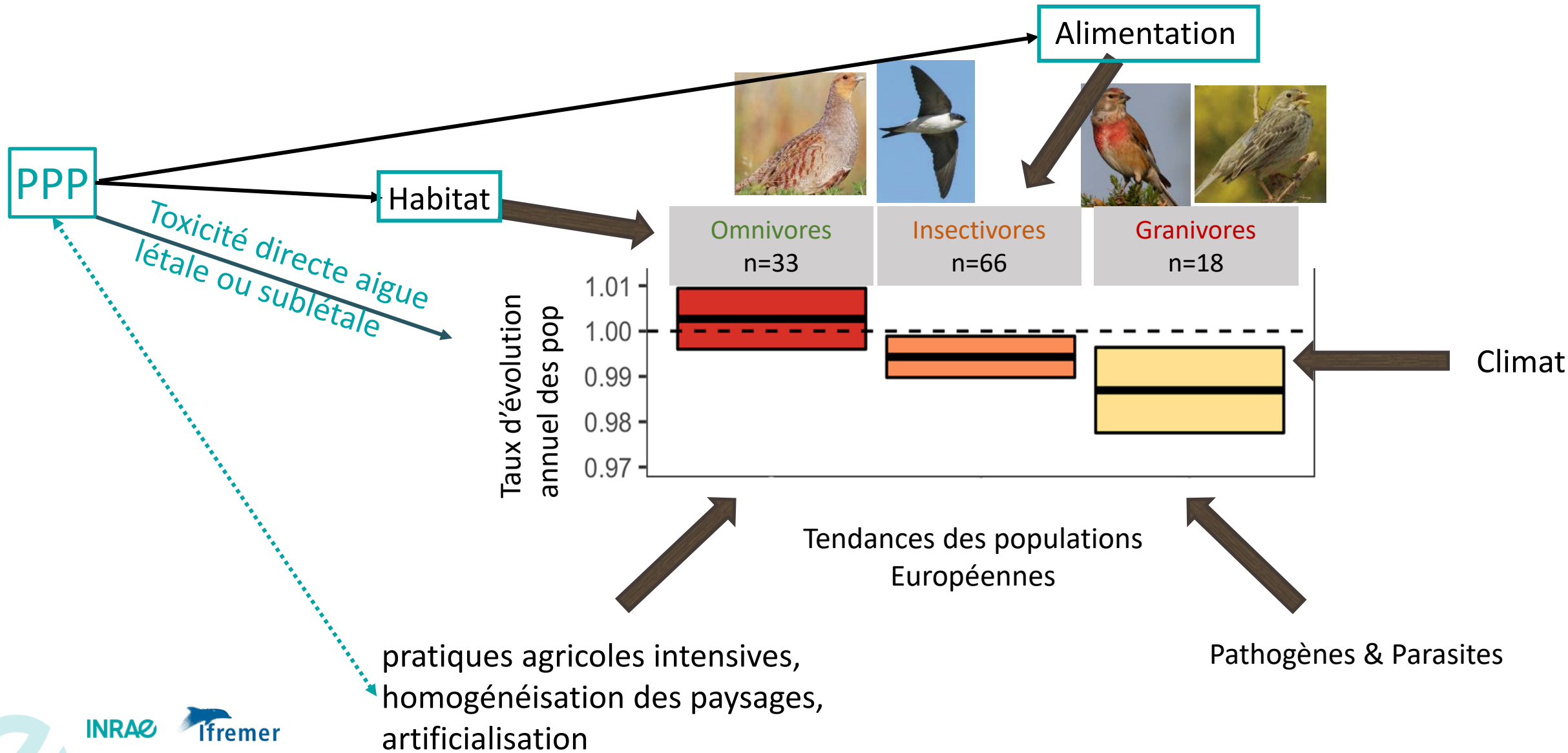


Effet indirect : altération des ressources alimentaires

Effet « cocktail »
Variabilité spatiale
Variabilité temporelle
Facteurs de stress



➤ En résumé...

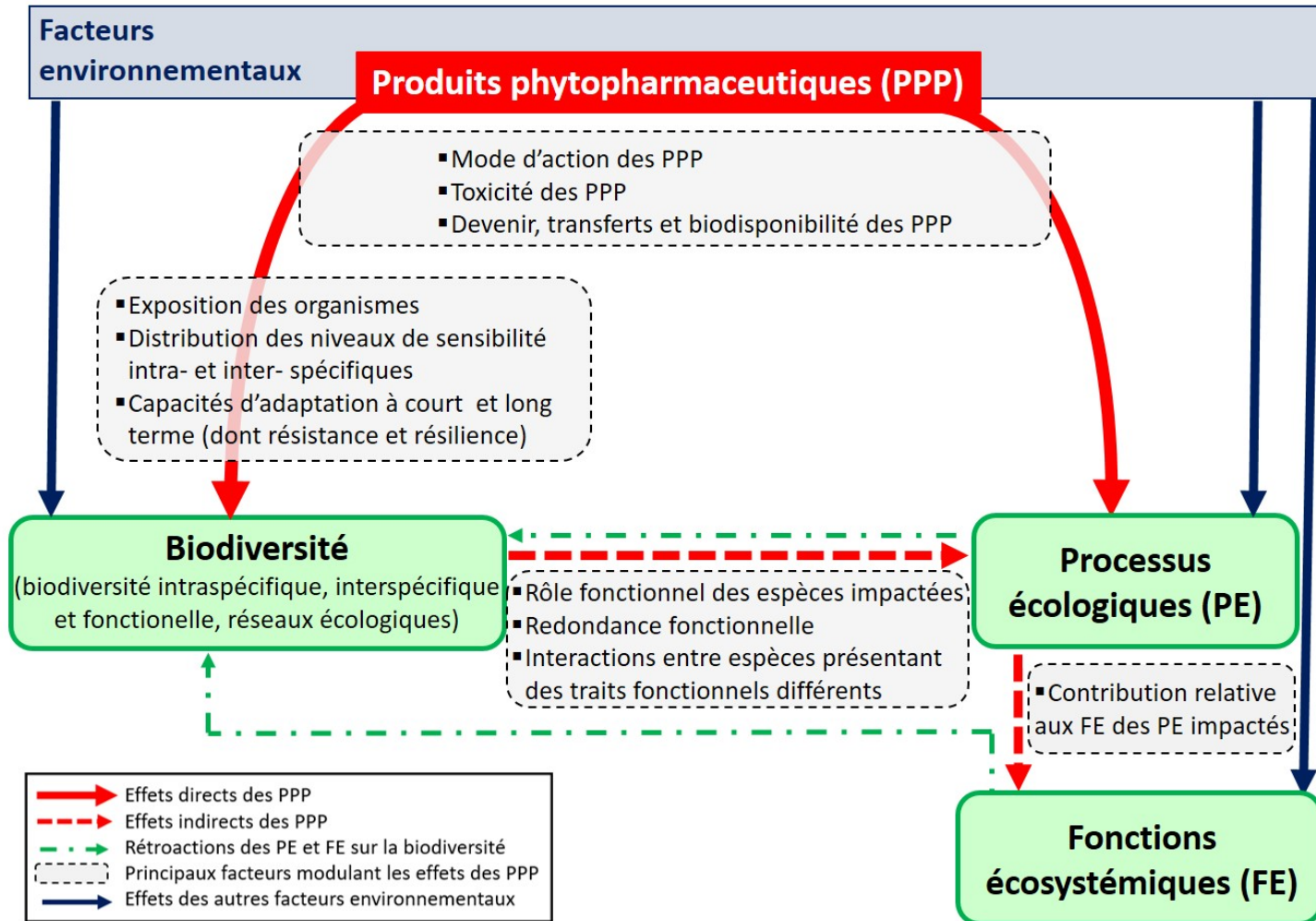




➤ Etat des lieux des effets des PPP sur les fonctions écosystémiques

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

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

➤ 12 catégories de FE identifiées comme potentiellement vulnérables aux PPP

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

Des connaissances récentes qui confirment cela pour au moins 8 d'entre elles



Illustration à partir de 4 exemples

➤ 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 et cuivre)



végétation
terrestre et aquatique



Dégradation/perte d'habitats et de zones refuges

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



➤ 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 et cuivre)



végétation
terrestre et aquatique



Dégradation/perte d'habitats et de zones refuges

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

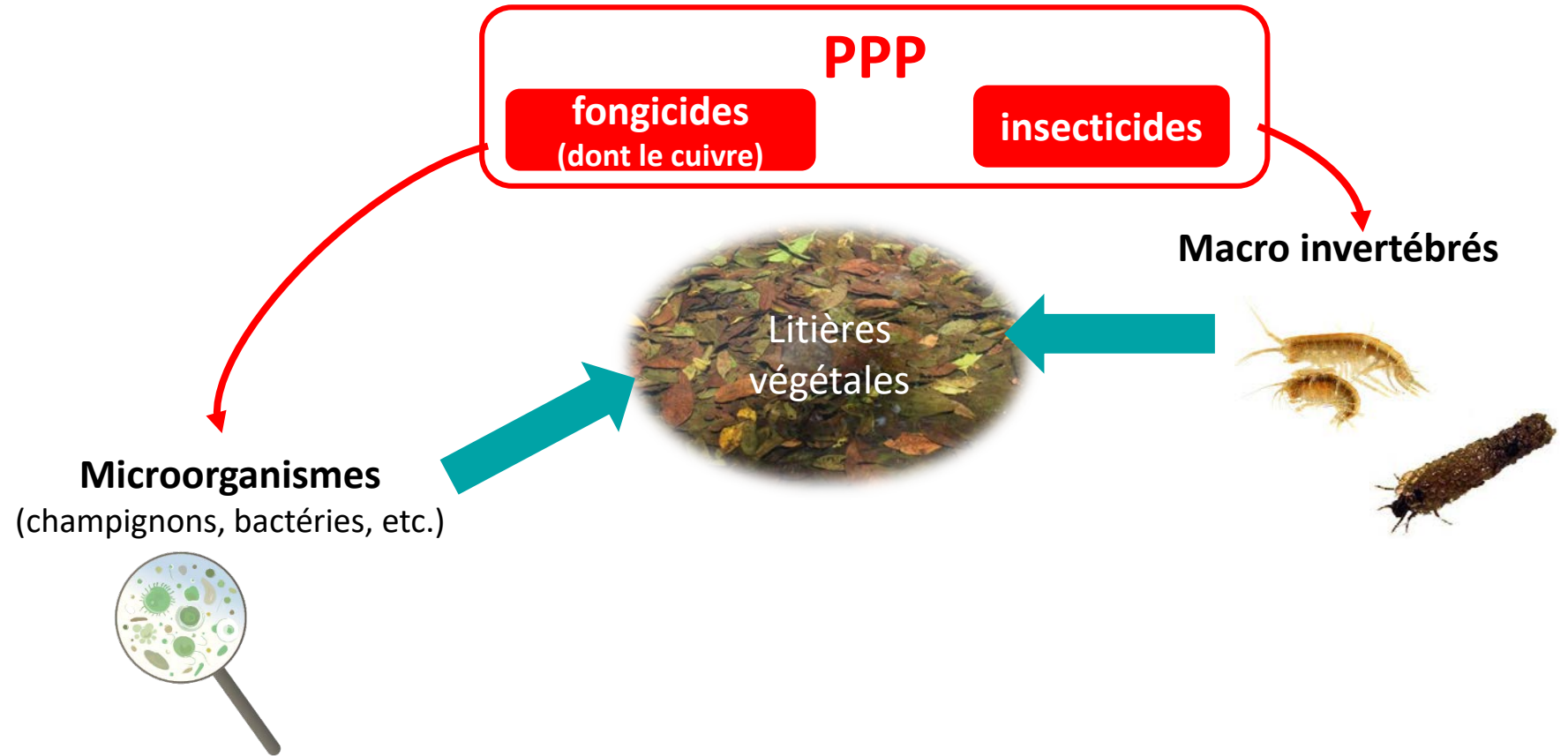


Facteur aggravant les effets des pertes d'habitats liées à l'utilisation des sols
(urbanisation, simplification des paysages agricoles, etc.)

1^{ère} cause du déclin des insectes

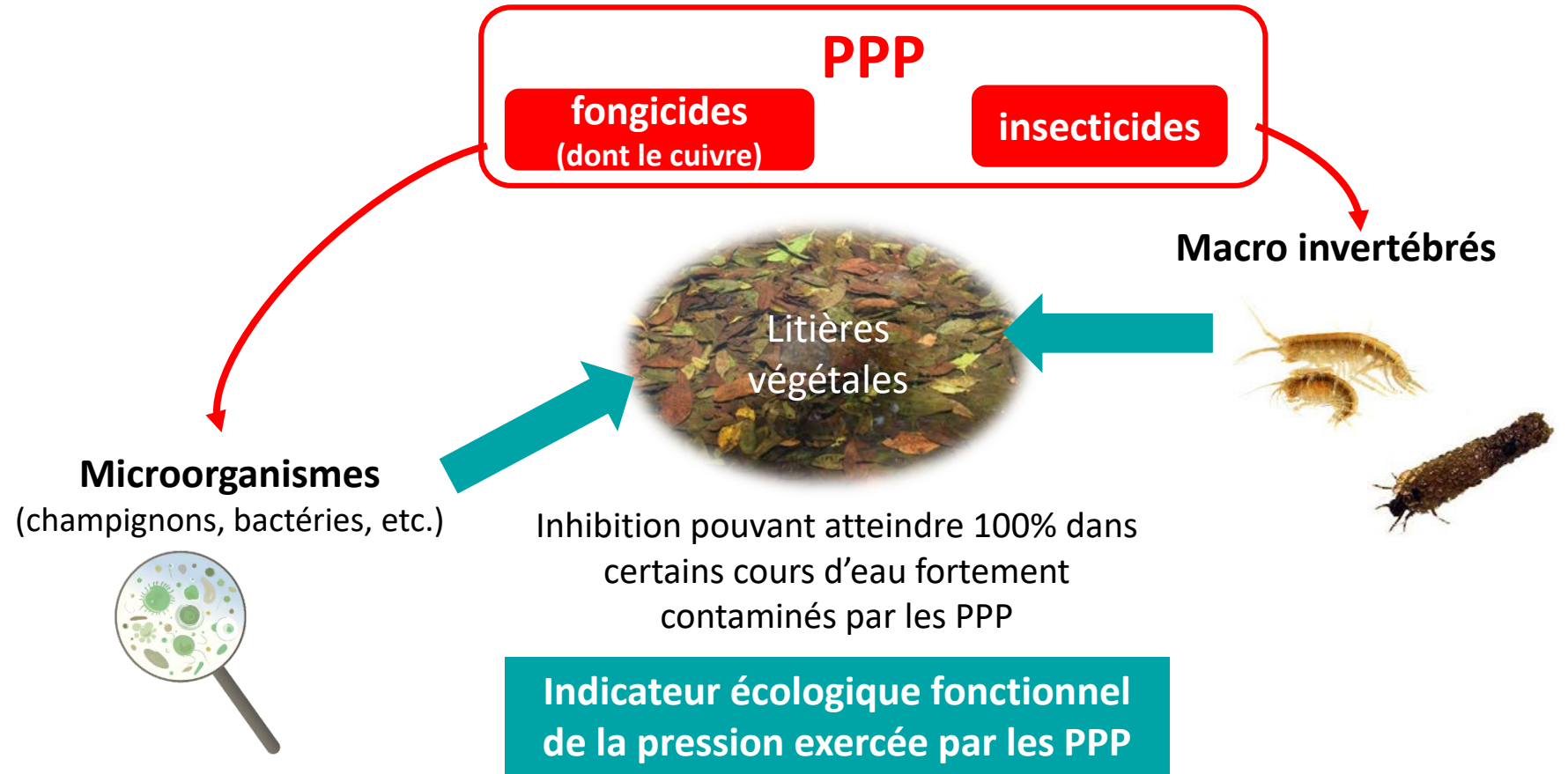
➤ Les PPP affectent la régulation des cycles de nutriments

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
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



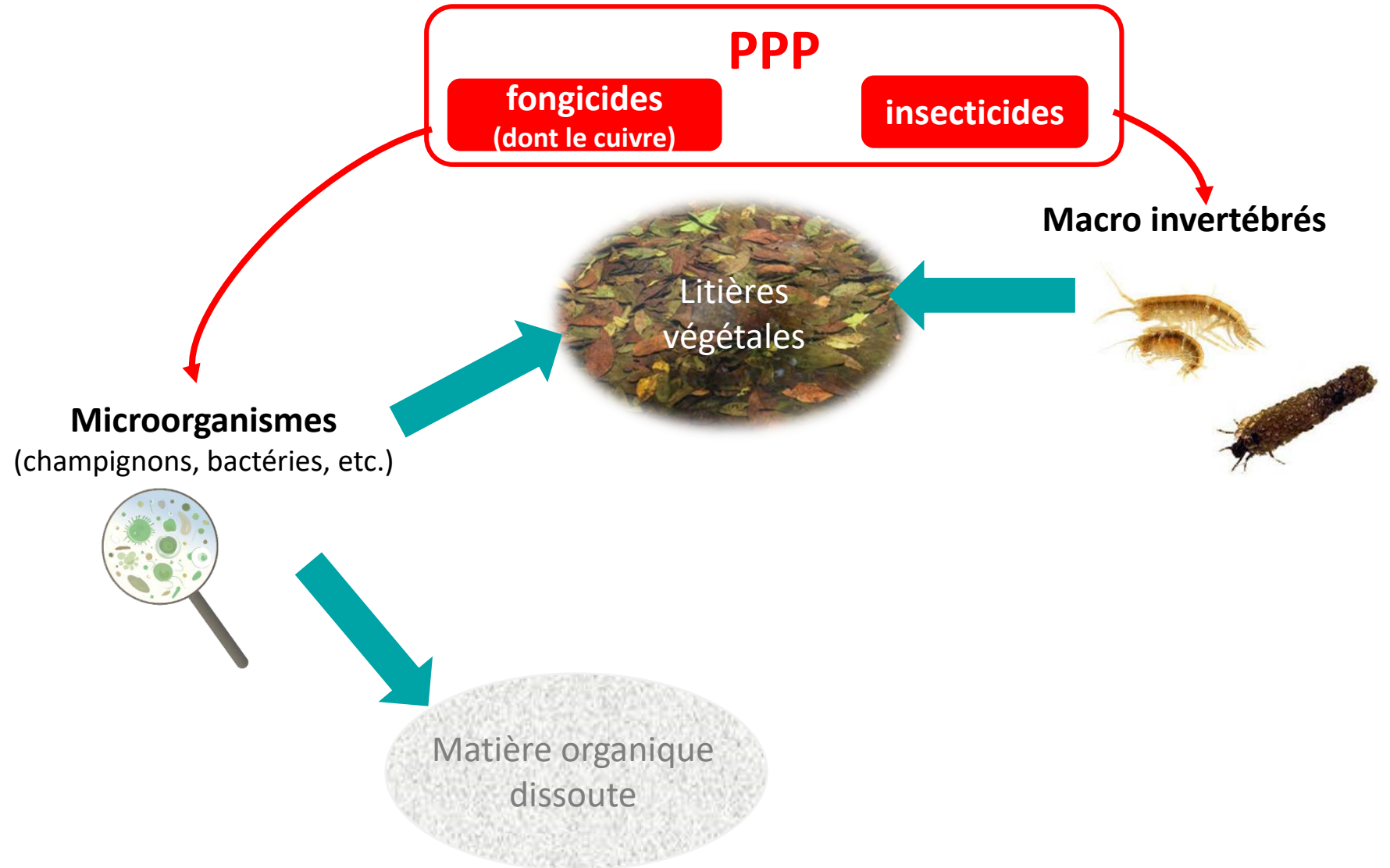
➤ Les PPP affectent la régulation des cycles de nutriments

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
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



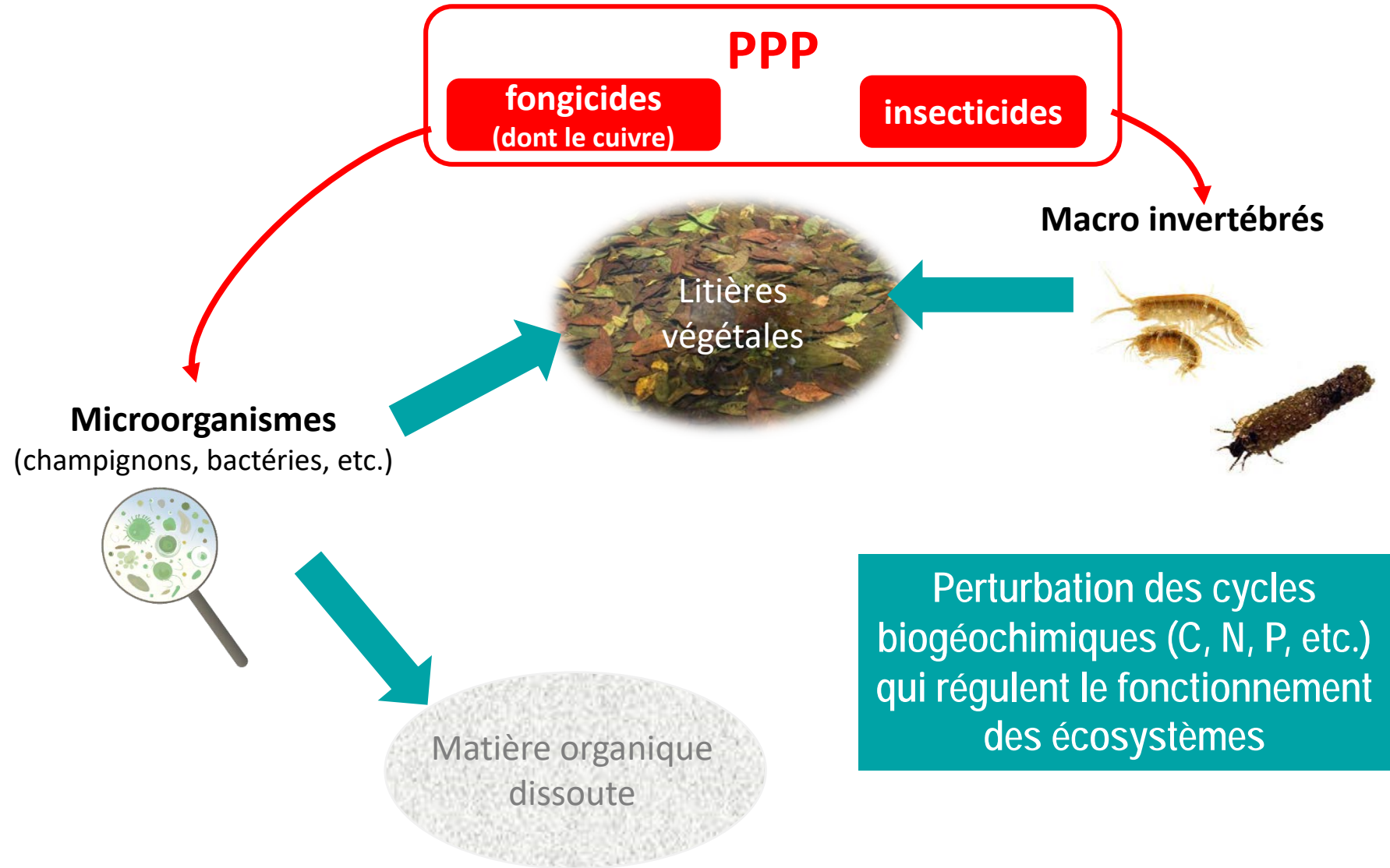
➤ Les PPP affectent la régulation des cycles de nutriments

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
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



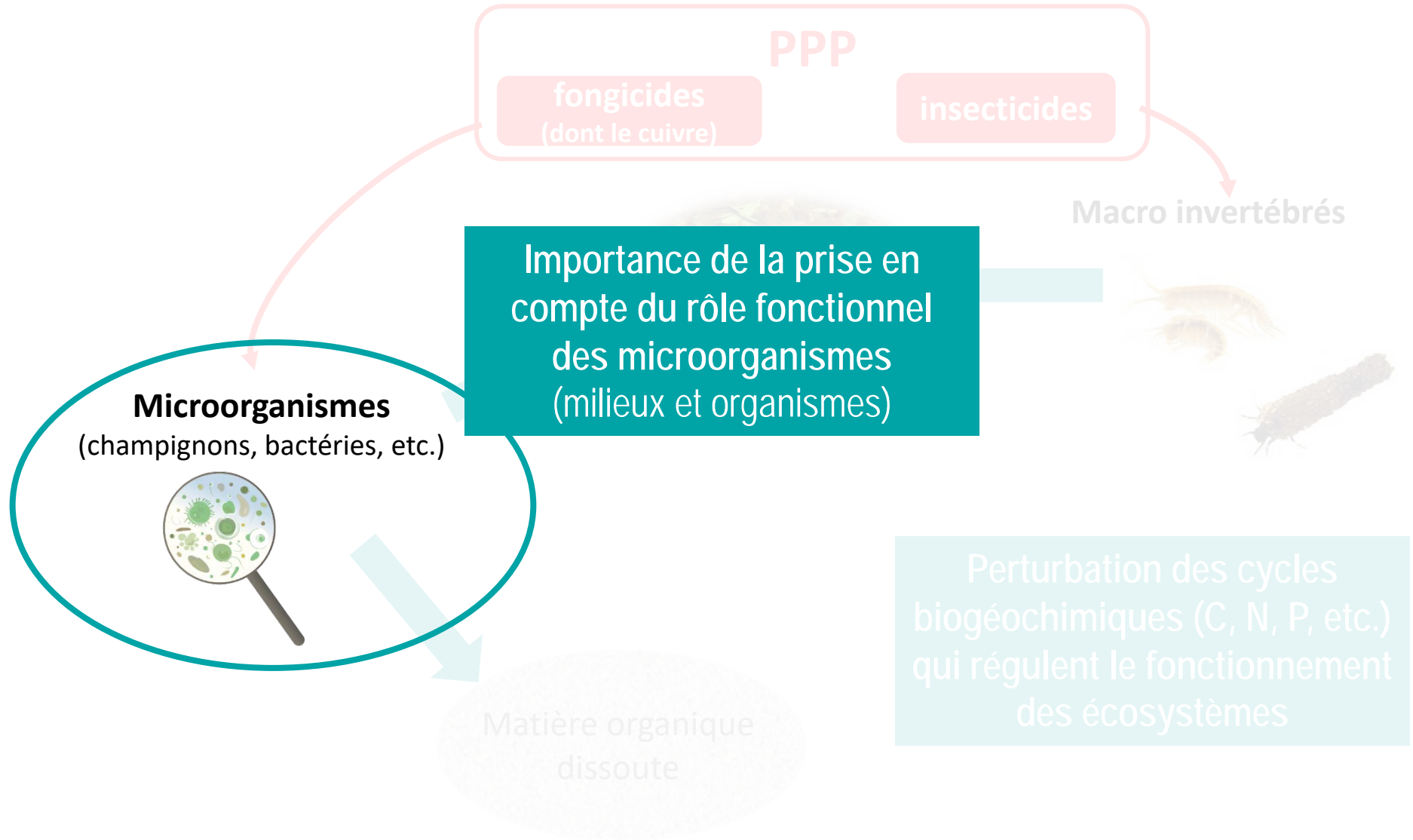
➤ Les PPP affectent la régulation des cycles de nutriments

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
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



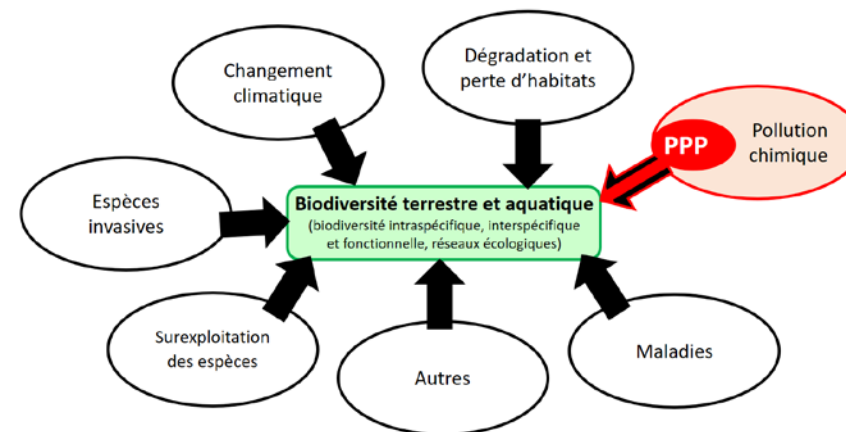
➤ Les PPP affectent la régulation des cycles de nutriments

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
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



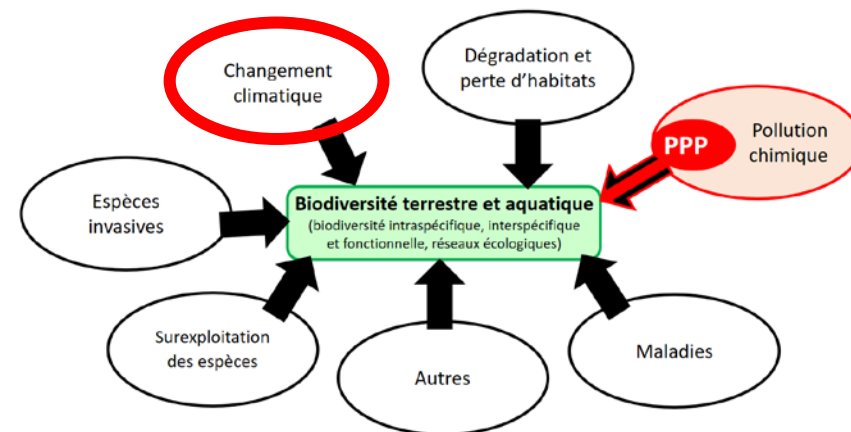
➤ Les PPP augmentent la vulnérabilité à d'autres pressions environnementales (et vice versa)

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



➤ 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

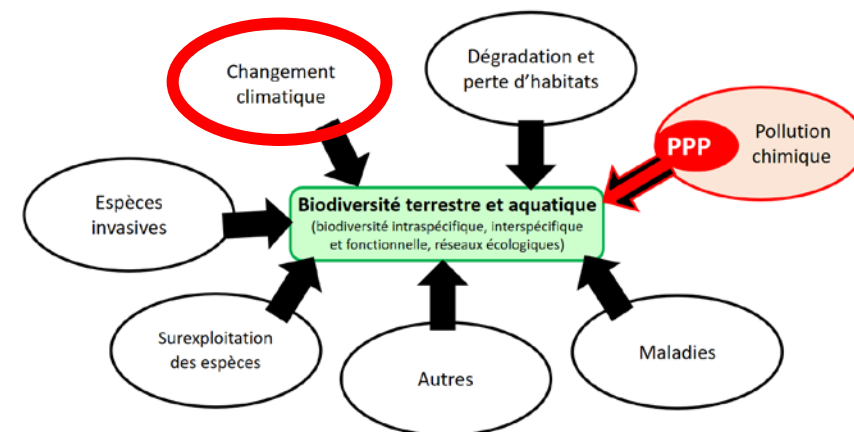


- **Vulnérabilité face aux conséquences du changement climatique***

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

➤ 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***

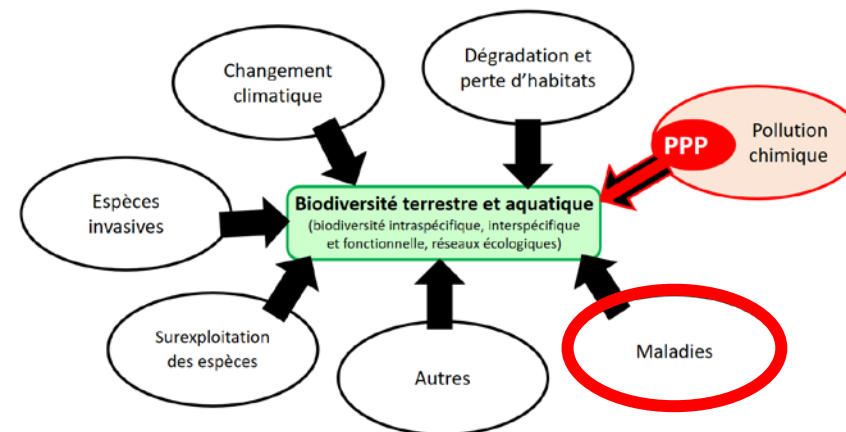
** augmentation des températures moyennes et de leurs fluctuations, intensité accrue des précipitations et des périodes de sécheresse, acidification des océans, etc.*

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

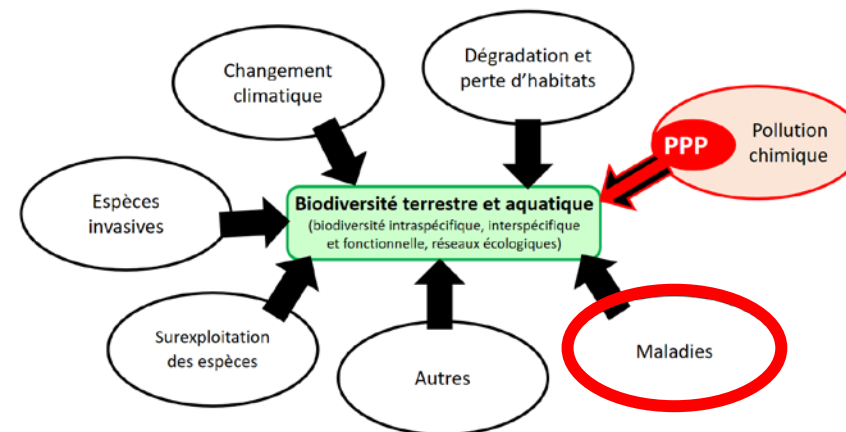


- Vulnérabilité face aux parasites et agents pathogènes



➤ 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**

Vulnérabilité des cultures face aux bioagresseurs (élimination de certains régulateurs naturels)

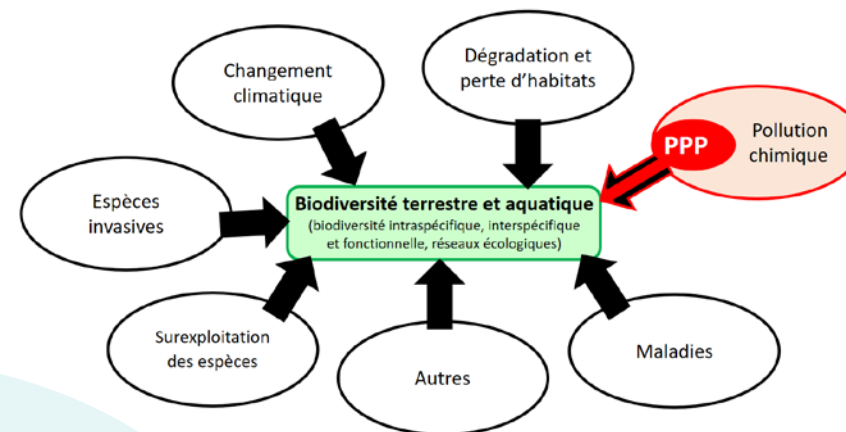
⇒ lien avec la question des services écosystémiques

➤ Les PPP impactent les interactions biotiques

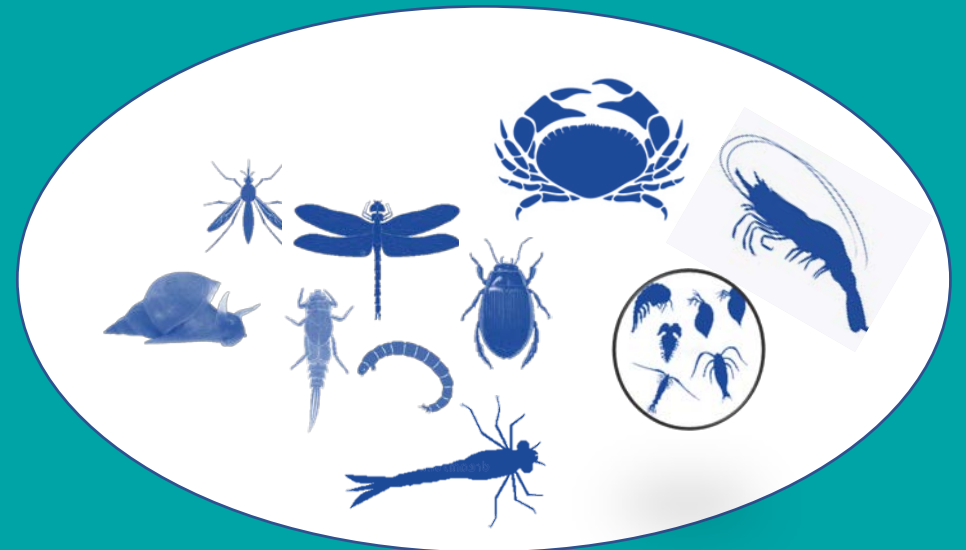
F1	Régulation des échanges gazeux
F2	Dissipation des contaminants dans les écosystèmes terrestres et aquatiques
F3	Résistance aux perturbations
F4	Rétention d'eau dans les sols et les sédiments
F5	Régulation des flux d'eau
F6	Albédo et réflexion
F7	Production et apport de matière organique dans les écosystèmes 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



Macro invertébrés aquatiques



➤ Focus sur la diversité et les interactions biotiques des communautés d'invertébrés aquatiques



Invertébrés aquatiques: Effets avérés des PPP sur la diversité taxonomique et fonctionnelle



- Approches « terrain » : effets très marqués sur la biodiversité taxonomique des macroinvertébrés au sein des **petits cours d'eau agricoles** européens
- Approches expérimentales (mésocosmes et laboratoire) : des **effets directs et indirects** à l'échelle des communautés
- Approches terrain et expérimentales : effet prépondérant des insecticides

- ⇒ Réduction de 50% de l'abondance, érosion de 40% de la richesse spécifique
- ⇒ Risque fort de dégradation des communautés sur 20% du territoire européen
- ⇒ Des effets chroniques avérés à des concentrations << seuils de toxicité acceptée (UE)
- ⇒ Insecticides responsables du mauvais état écologique de 30% des petits cours d'eau
- ⇒ Perturbation des **interactions biotiques** et du **cycle de la matière organique** à l'échelle écosystémique



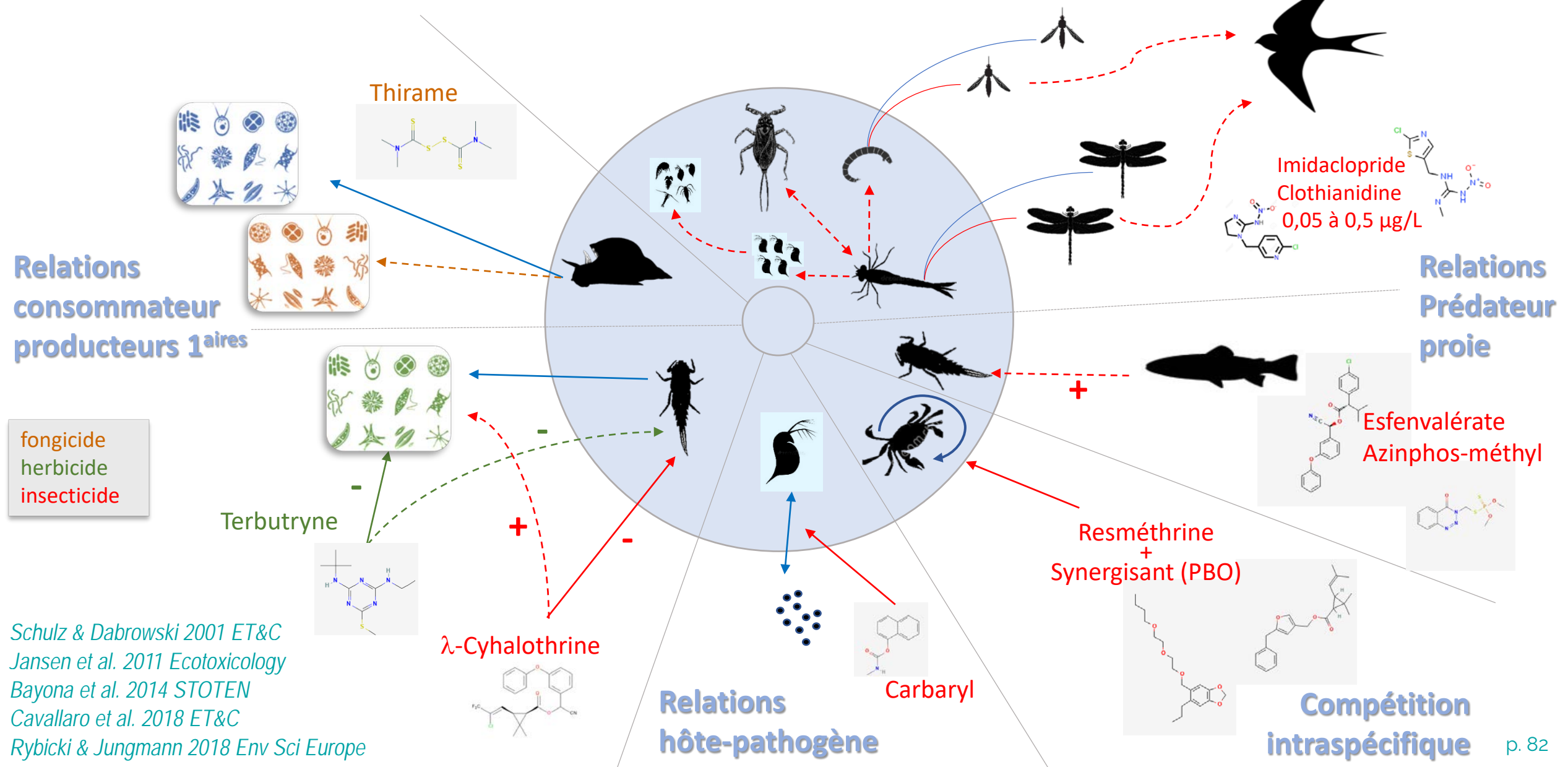
INRAE Ifremer

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

5 mai 2022 / Colloque de restitution

Schäfer et al. 2012 ES&T - Beketov et al. 2013 PNAS – Malaj et al. 2014 PNAS –
Orlinskiy et al. 2015 STOTEN - Kuzmanović et al. 2016 STOTEN

Invertébrés aquatiques: impacts des PPP sur les réseaux trophiques

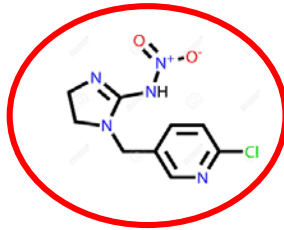


Schulz & Dabrowski 2001 ET&C
 Jansen et al. 2011 Ecotoxicology
 Bayona et al. 2014 STOTEN
 Cavallaro et al. 2018 ET&C
 Rybicki & Jungmann 2018 Env Sci Europe
 Schroeder-Spain & Smee 2019 Oecologia

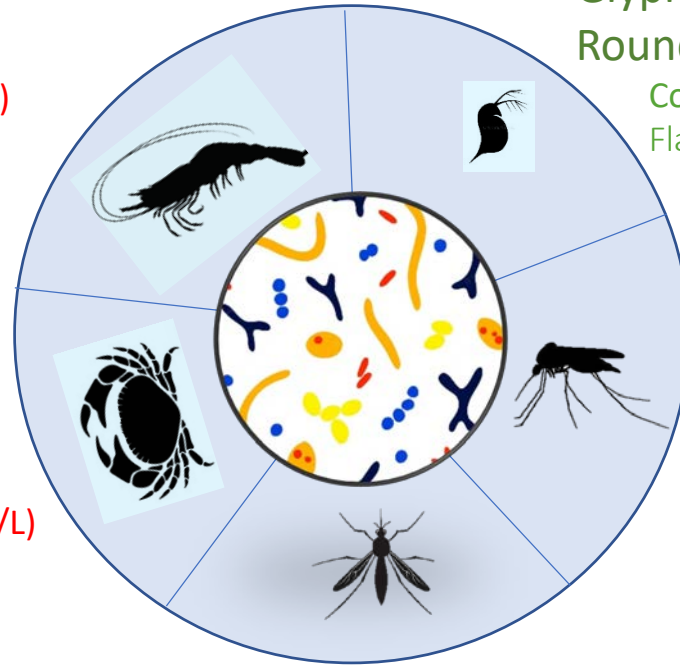
Invertébrés aquatiques: impacts des PPP sur les relations hôte-microbiote

Abondance, diversité:
pas d'effet détecté
Composition: dysbiose
Genres pathogènes ↗
Genres bénéfiques ↘

Imidacloprid (6-60 µg/L)



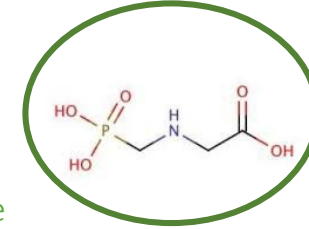
Imidacloprid (5-500 µg/L)



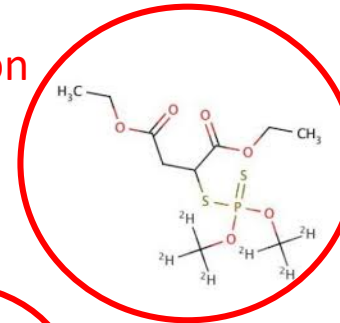
Glyphosate (1 mg/L)

Roundup (1 mg/L)

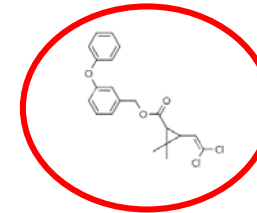
Composition : dysbiose
Flavobacteria ↗ Rhizobiaceae ↗



Malathion
(100 µg/L)



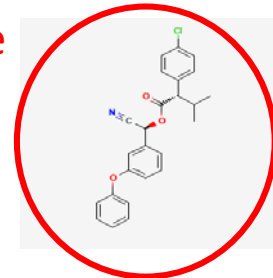
Diversité ↗
chez larves



Perméthrine
(60 µg/L)

Esfenvalérate
(70 ng/Kg sed.)

pas d'effet détecté



Hong et al. 2020 STOTEN
Juma et al. 2020 Sci Rep
Suppa et al. 2020 Microbiome
Fu et al. 2022 J Haz Mat
Varg et al. 2022 Env Poll

Impact des PPP sur les interactions biotiques / invertébrés aquatiques:

Conclusions

- ⇒ La dégradation des interactions biotiques repose sur des effets indirects multiples, largement ignorés dans la réglementation : besoin d'un cadre conceptuel
- ⇒ Question fondamentale du rôle des interactions biotiques dans la toxicité des PPP à l'échelle des écosystèmes
- ⇒ Besoin d'indicateurs unifiés de biodiversité (phylogénétique, fonctionnelle)

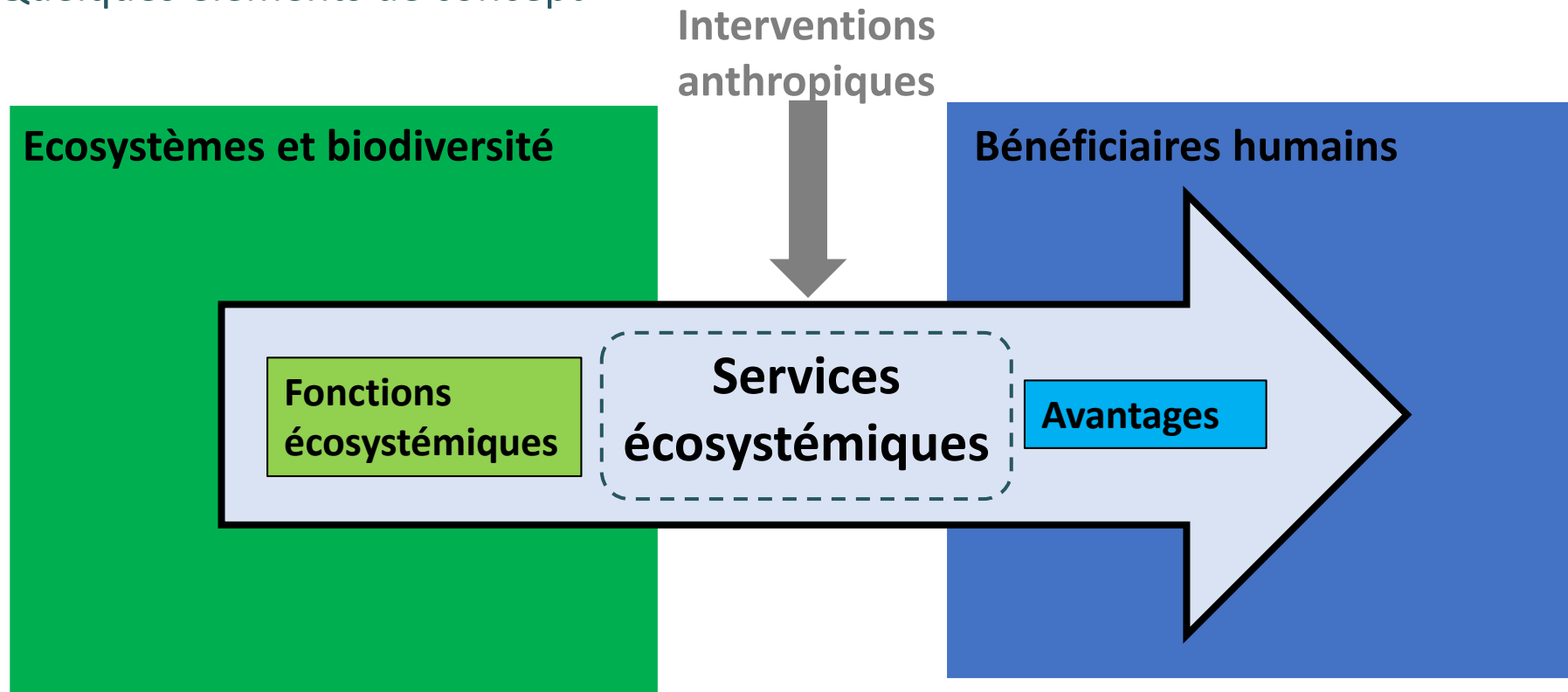


➤ Effets des PPP sur les services écosystémiques

Une approche novatrice et à consolider qui présente encore des limites

➤ Les services écosystémiques

Quelques éléments de concept



➤ Les services écosystémiques

Quelques éléments de concept



- Un concept utilisable dans un contexte d'évaluation des risques
- Des contraintes fortes du fait de l'absence d'indicateurs et d'outils

➤ Des tensions entre les services écosystémiques

**Production végétale
cultivée**



Lutte contre les ravageurs



Pollinisation



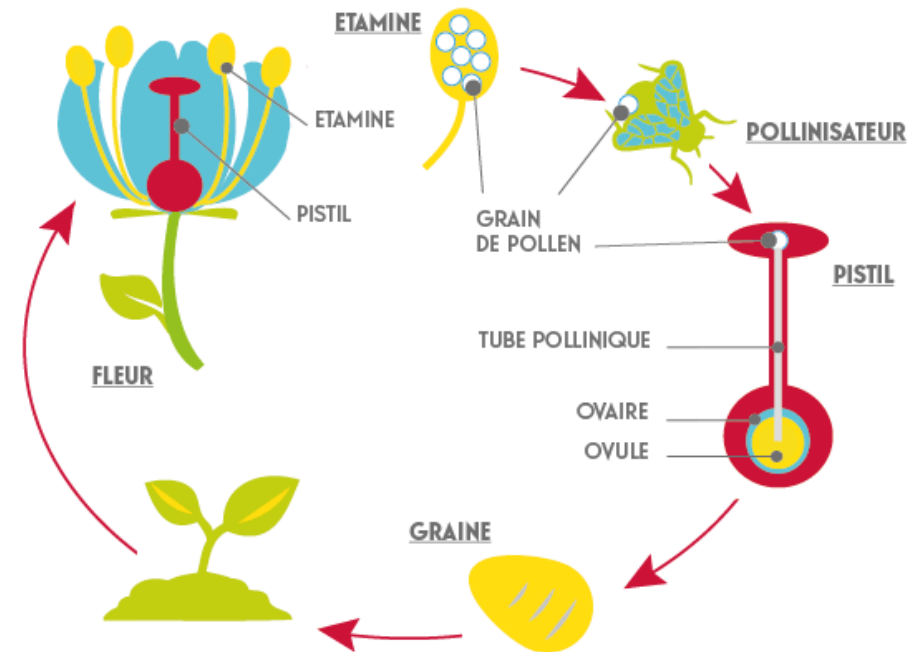
Des conséquences sur le bien-être humain



➤ Impacts des PPP sur les SE : le cas du service de pollinisation

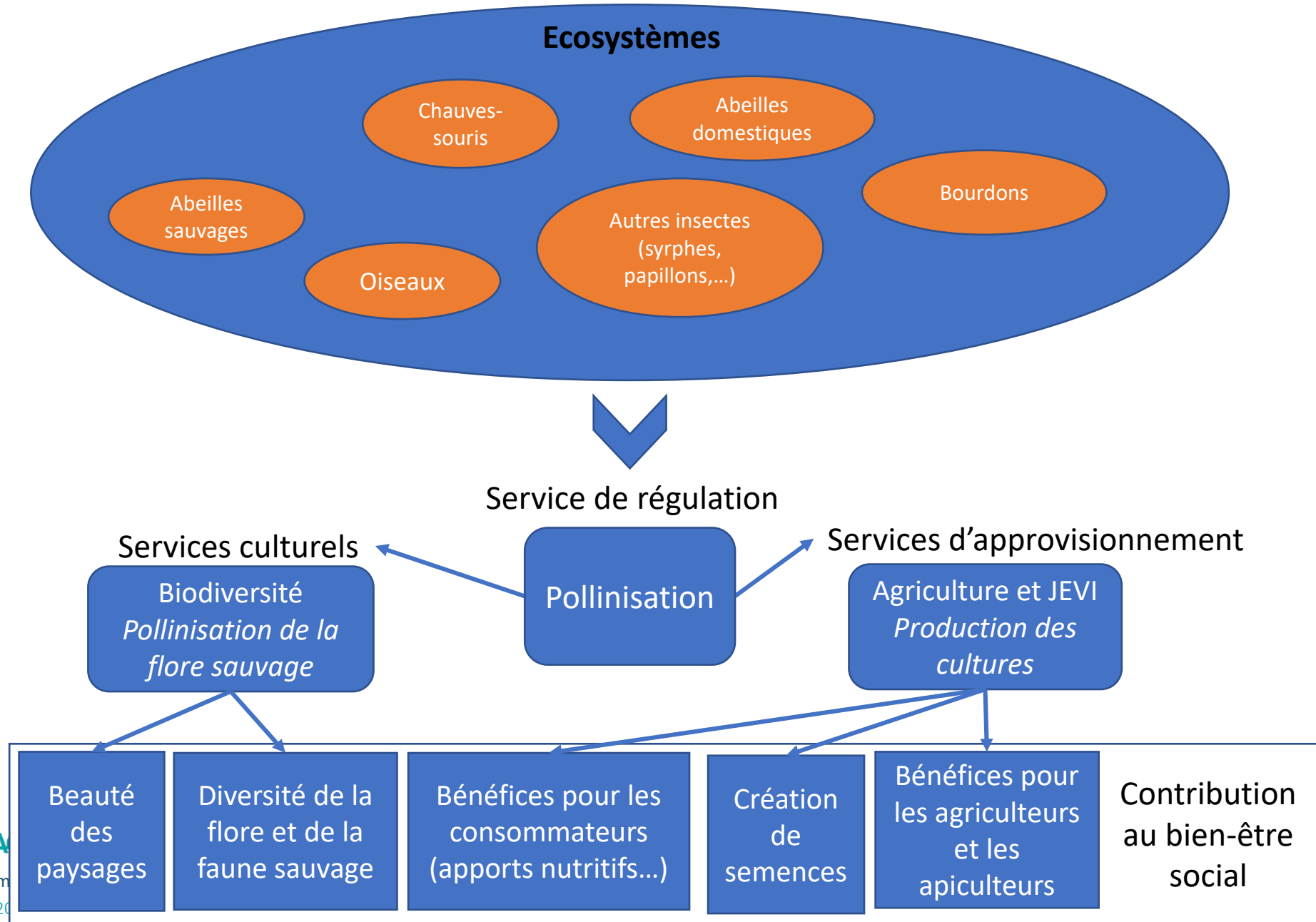
➤ Le service de pollinisation par les animaux

- Pollinisation par les animaux
 - Transfert du pollen du gamète mâle (dans l'étamine) vers le gamète femelle (dans le pistil)
- Cela concerne les plantes à fleurs
 - 90% des espèces végétales
 - 75% des espèces cultivées dans le monde
- Contribution à l'agriculture mondiale : 153 milliards d'euros par an



Source schéma : Office pour les insectes et leur environnement (<https://www.insectes.org/content/37-ils-pollinisent>)

➤ Service de pollinisation et sa contribution à la société



➤ PPP et pollinisateurs

- Deux intrants complémentaires

- PPP protègent les cultures et diminuent la variabilité des rendements.
- Pollinisation favorise la production.
- Toutes choses étant égales par ailleurs, le rendement des cultures est plus important lorsque les deux intrants sont associés.

- Dépendance des cultures vis-à-vis des pollinisateurs

- Toutes les cultures n'ont pas le même niveau de dépendance vis-à-vis des pollinisateurs.
- Suivant les cultures, la perte en rendement dû à un déficit de pollinisateurs est plus grande que celui dû à un manque de PPP.
 - Ex. concombre (Motzke et al.; 2015)



75% du rendement dépend des poll.



10-40% du rendement dépend des poll.



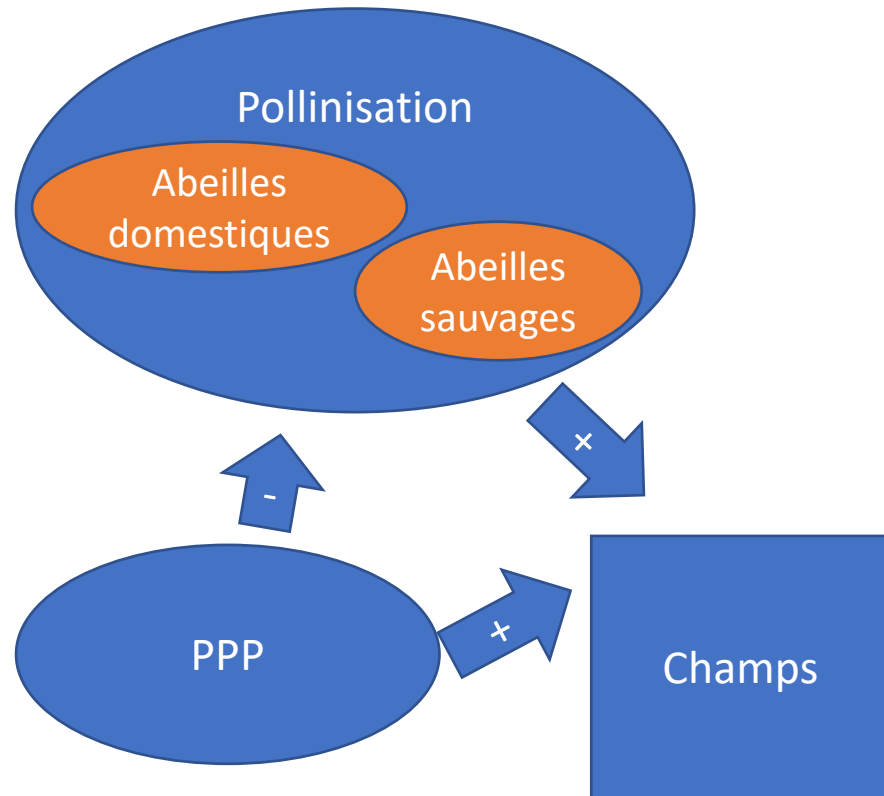
95% du rendement dépend des poll.



➤ Impact des PPP sur les pollinisateurs et sur les services qu'ils offrent

- Un effet négatif des PPP sur la diversité et l'abondance des insectes pollinisateurs
 - Diminue la disponibilité en fleurs et donc en nectars.
 - Effet toxique direct (sur l'abeille) et indirect (sur le fonctionnement d'une colonie).
- Est-ce que cela va impacter les services qu'ils offrent ?
 - Est-ce que cela va réduire la production agricole ?
 - Est-ce que les services culturels vont être dégradés ?

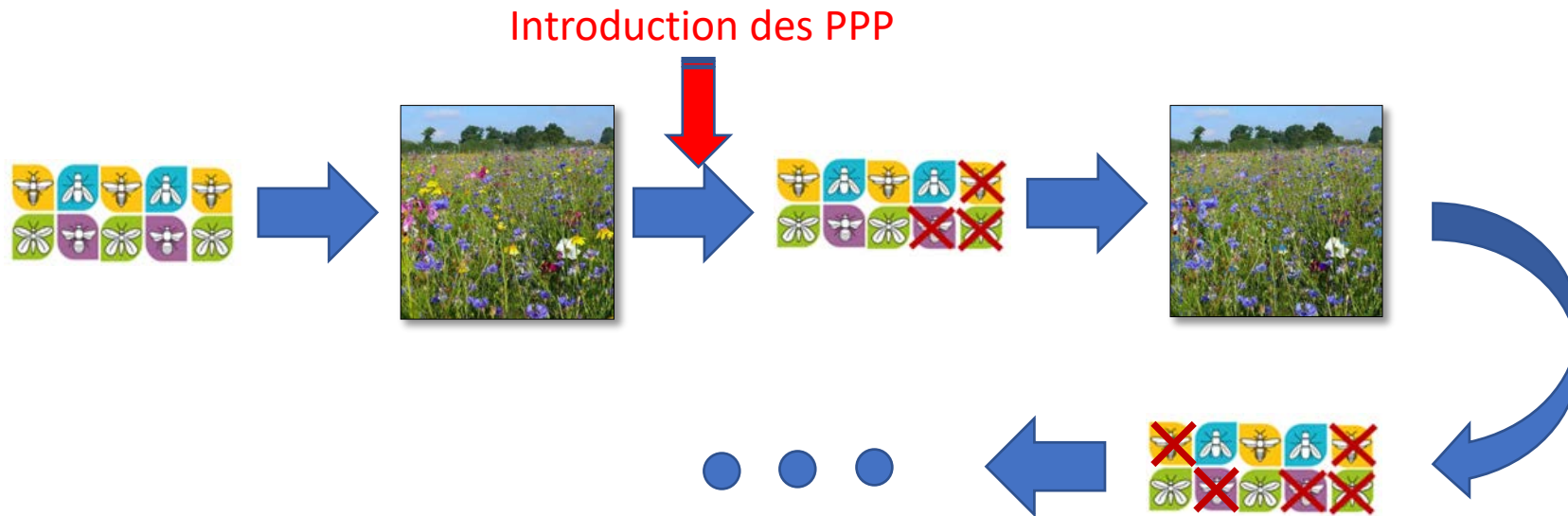
➤ Impact des PPP sur les services d'approvisionnements



- La production finale nécessitant la pollinisation par les animaux est peu impactée par les PPP
- Mais, pour une quantité de production identique, plus il y a de PPP et plus les abeilles sauvages meurent, étant remplacées par les abeilles domestiques
 - Des profits en baisse.
 - Disparition des abeilles sauvages.

➤ Impact des PPP sur les services culturels

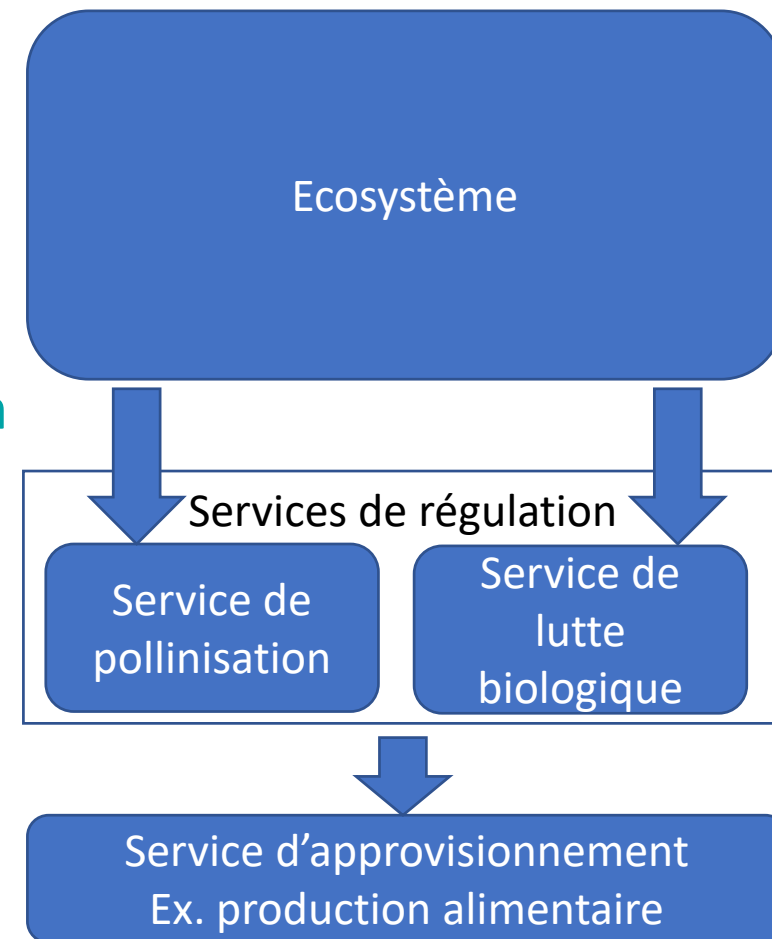
- Une baisse des insectes pollinisateurs provoque une diminution de la pollinisation des fleurs sauvages
 - Effets de rétroaction : moins de fleurs sauvages donc moins de nectars (nourriture) pour les pollinisateurs, moins de pollinisateurs.



- Par conséquent, les services culturels d'esthétique des paysages et de diversité de la flore et de la faune sauvages vont être dégradés

➤ Vision écosystémique de l'impact des PPP

- Les écosystèmes offrent des services écosystémiques qui sont complémentaires et interdépendants
- Une relation bénéfique en comparaison avec la combinaison PPP – Pollinisation
 - Ex. de la production de colza en Suisse
 - Combiner la lutte biologique avec la pollinisation permet d'augmenter de 23% la production par rapport à la combinaison PPP et pollinisateurs.



➤ Le service de pollinisation, un service bénéfique pour notre société, mais...

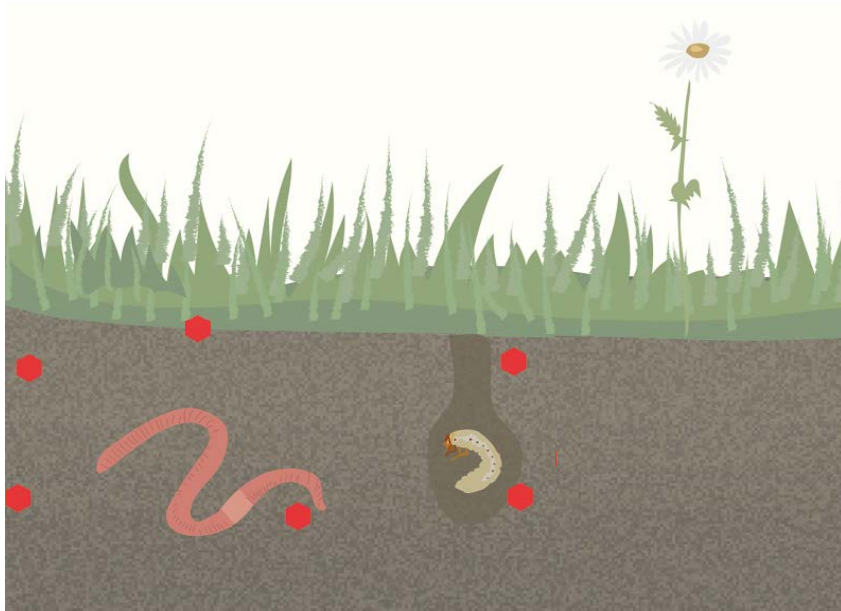
- Un service impacté négativement par les PPP
- Difficulté de prise en compte des temporalités pour analyser l'impact des PPP sur le service de pollinisation et sur le bien-être social
- Une solution naturelle : l'association entre service de pollinisation et service de lutte biologique peut aussi être intéressante



➤ Bilan sur les services écosystémiques

➤ Des connaissances encore disparates

Des connaissances limitées sur les effets des PPP sur les services écosystémiques associés aux sols



Besoin de connaissances sur les effets sur les autres services écosystémiques

Culturels



Régulation & Maintien



Approvisionnement



- « Vers une réduction de la pression par les produits phytopharmaceutiques pour préserver la biodiversité et les services écosystémiques »

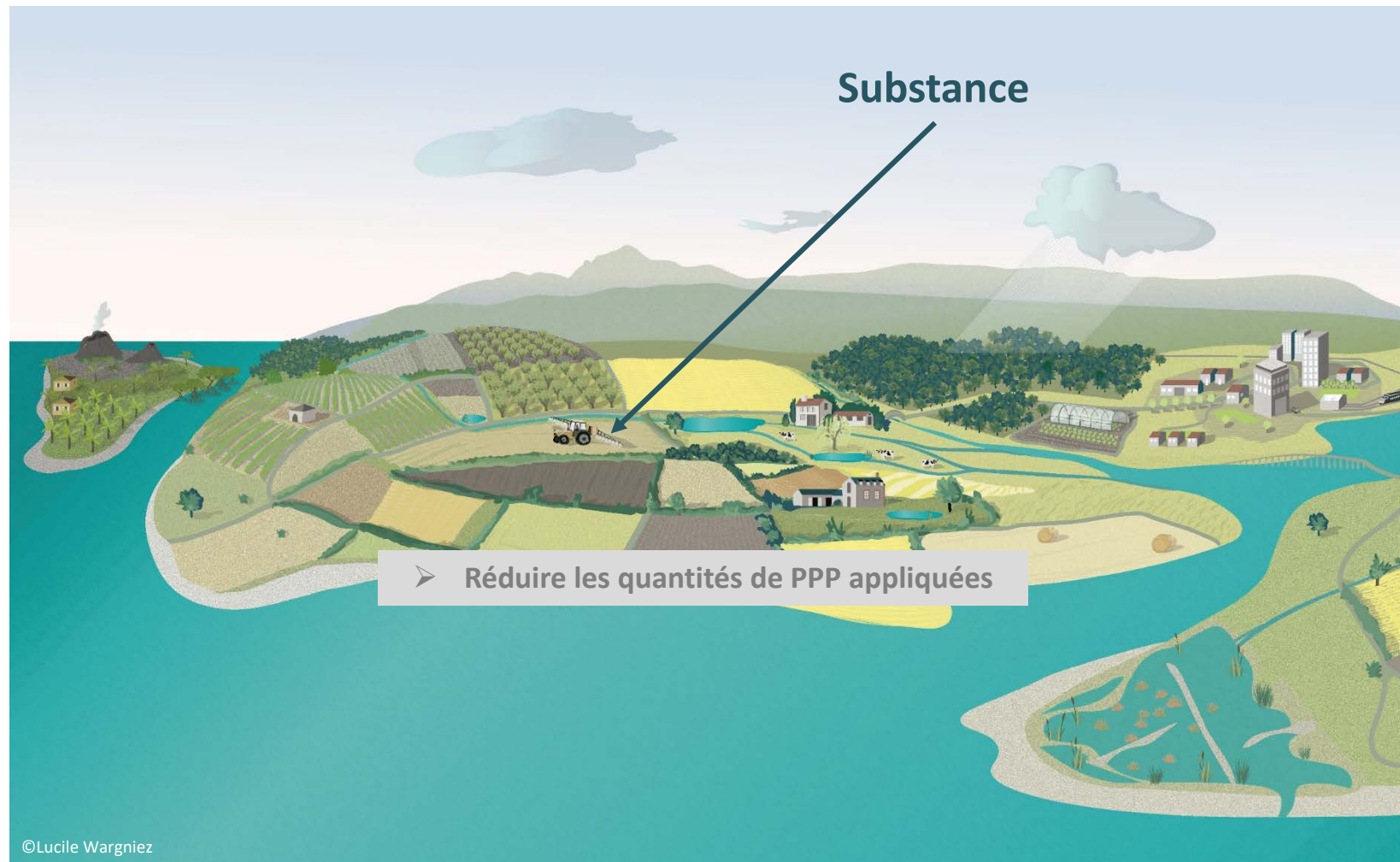


➤ Leviers d'action

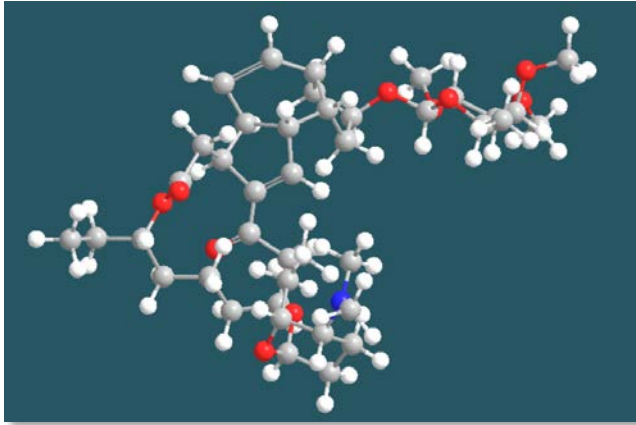
➤ Leviers d'action



➤ Leviers d'action

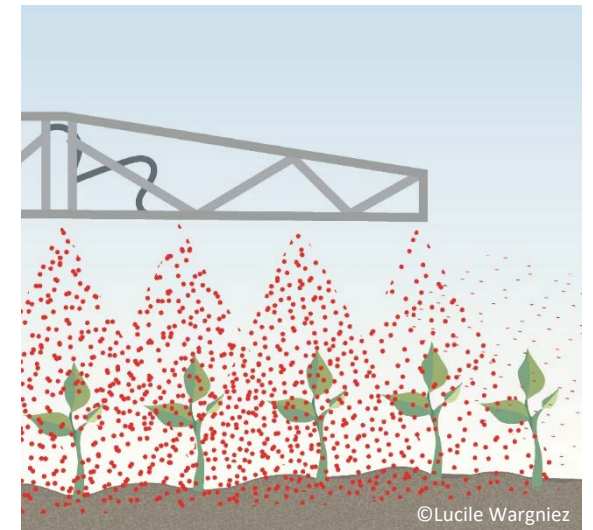


➤ Substances



- Interdiction des substances persistantes et bioaccumulables
- Mode d'action sélectif (ⓘ Effets directs non anticipés et effets indirects)
- Amélioration de l'efficacité des PPP (ⓘ Toxicité à faible dose)
- Biocontrôle

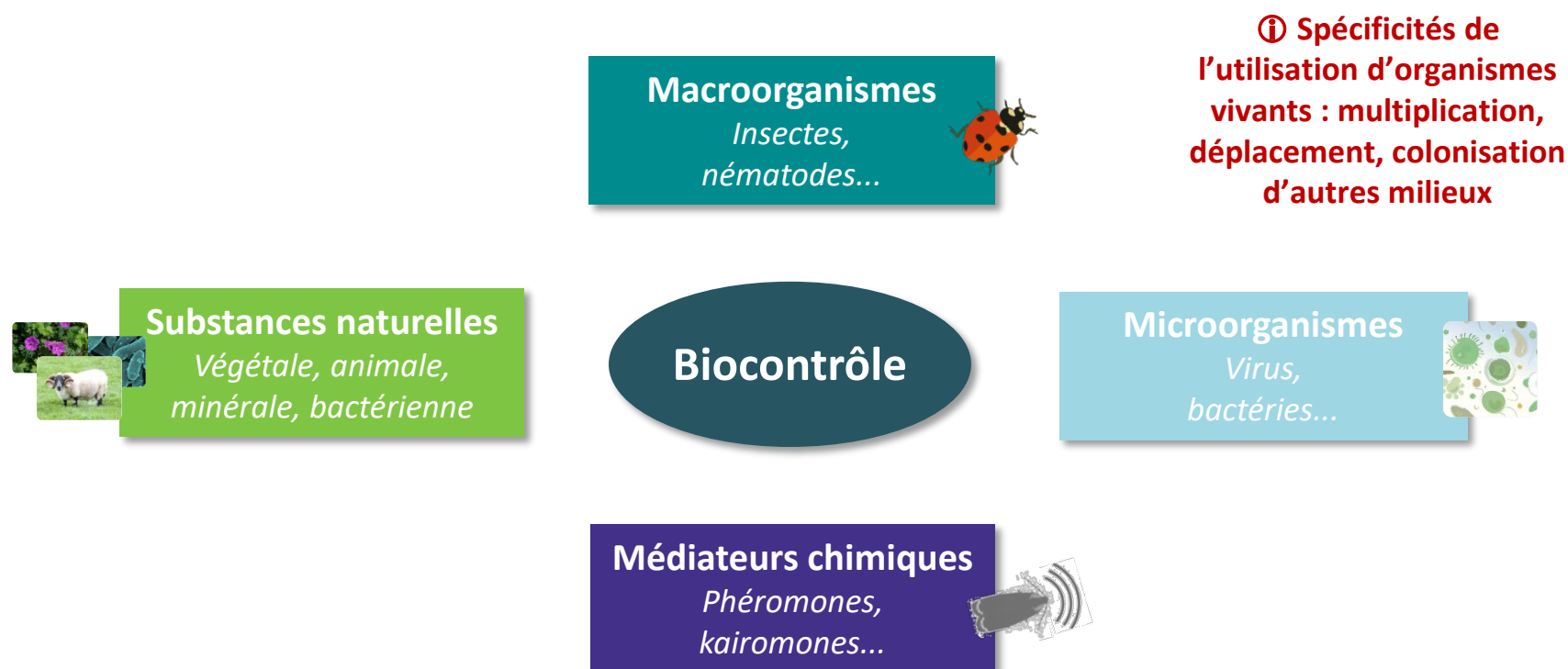
- Substitution de substances ➡ Déplacement des transferts et des effets
- **Alternative doit être pensée comme l'ensemble des méthodes à déployer pour aboutir à une maîtrise du risque PPP**



➤ Biocontrôle

Définition

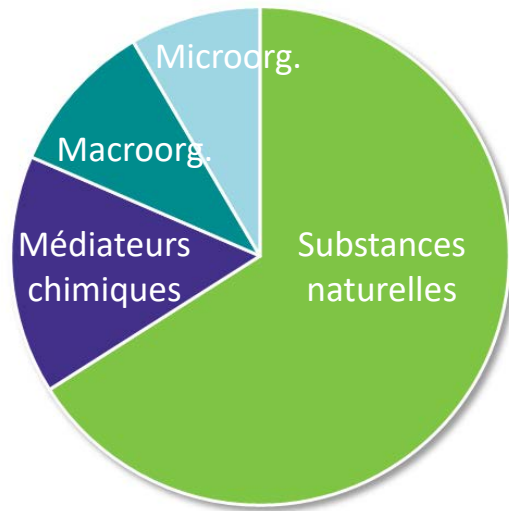
- Agents et produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures (Article L. 253-6 du code rural et de la pêche maritime)



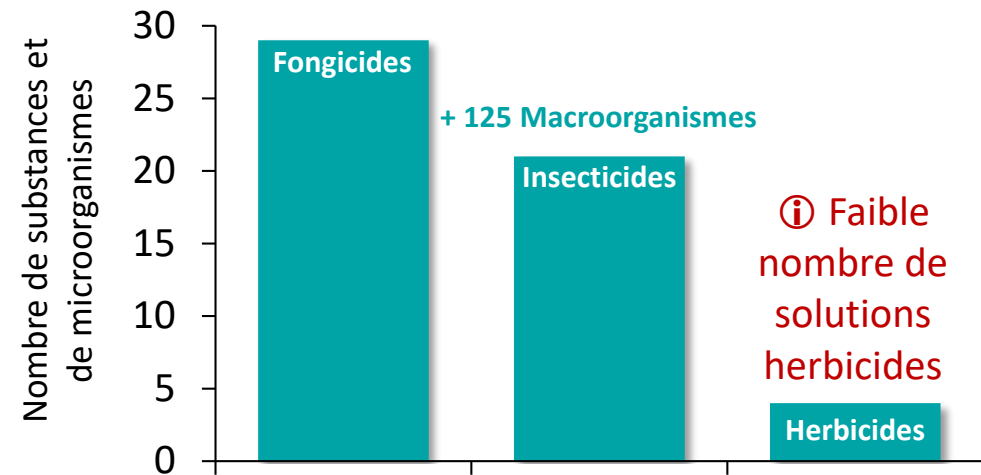
➤ Biocontrôle

Utilisation et usages

➤ Marché du biocontrôle en plein essor : 11% 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 différents par usage fongicide, insecticide ou herbicide (DGAL, 2021)

➤ **Manque de données propres au biocontrôle (surfaces traitées...)**

➤ Biocontrôle

Contamination du milieu et impacts sur la biodiversité

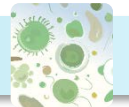
➤ Très peu de résultats dans la bibliographie

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



- ?



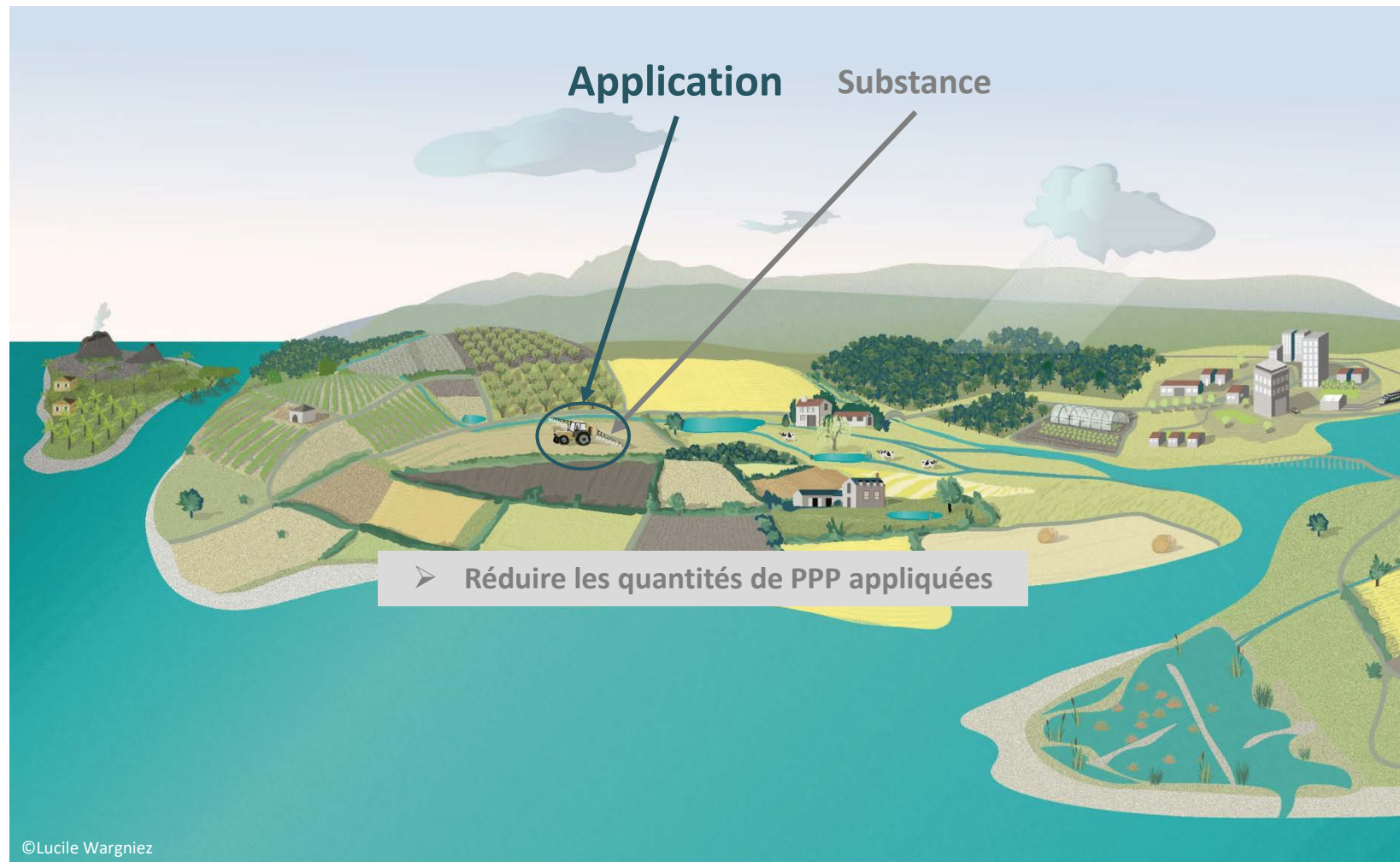
© Lucile Wagniez

➤ Biocontrôle

- Alternative prometteuse aux PPP classiquement utilisés, mais dépend du type de solution
- **Vers une régulation des cibles (\neq élimination) : Evaluation des impacts ?**
- Besoin de recherches / Devenir dans l'environnement et effets sur la biodiversité
- Besoin de suivis opérationnels / Utilisation

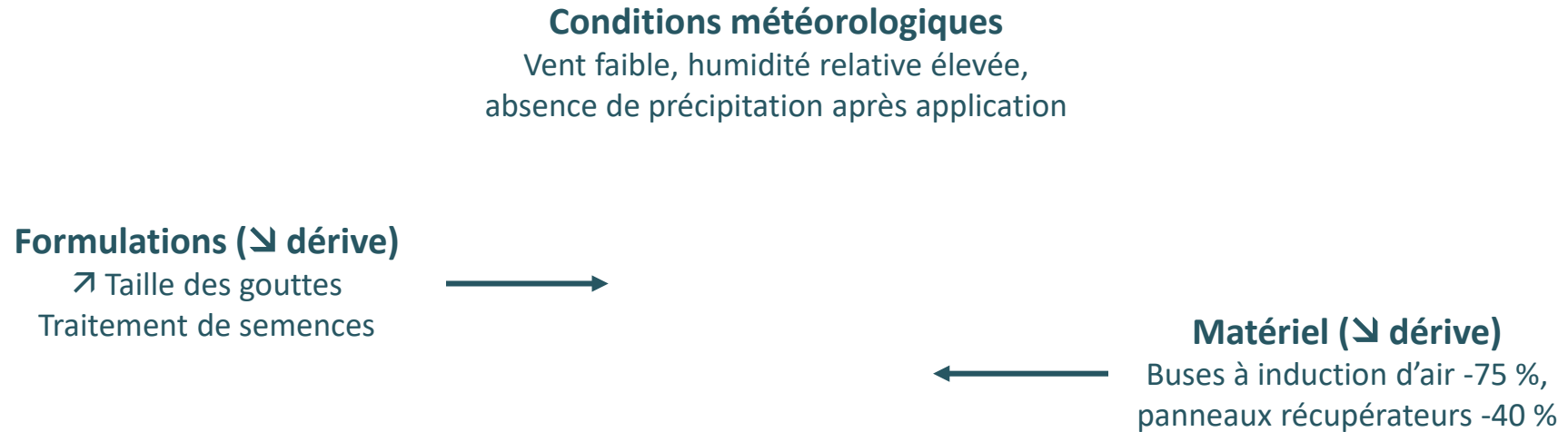


➤ Leviers d'action

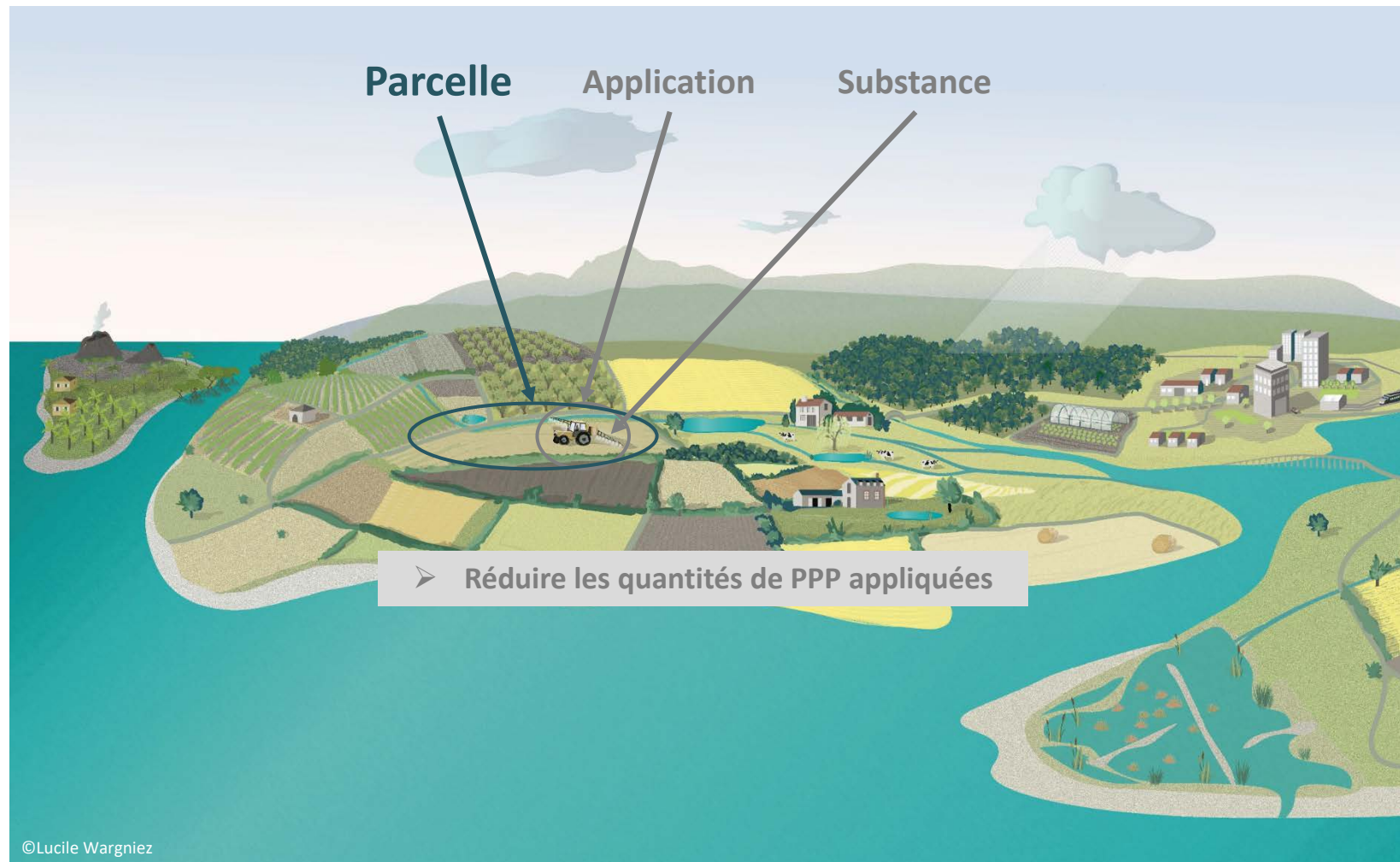


> Application

➤ Phase d'application des PPP déterminante / impacts sur l'environnement

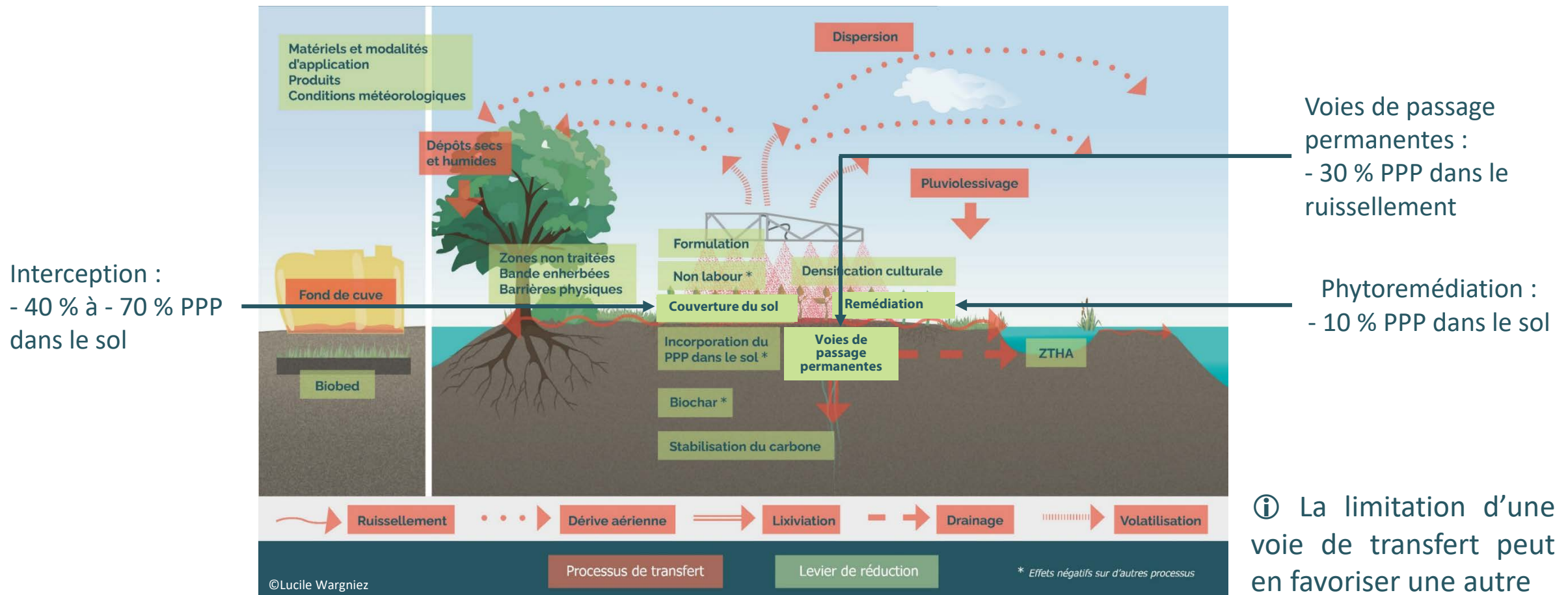


➤ Leviers d'action



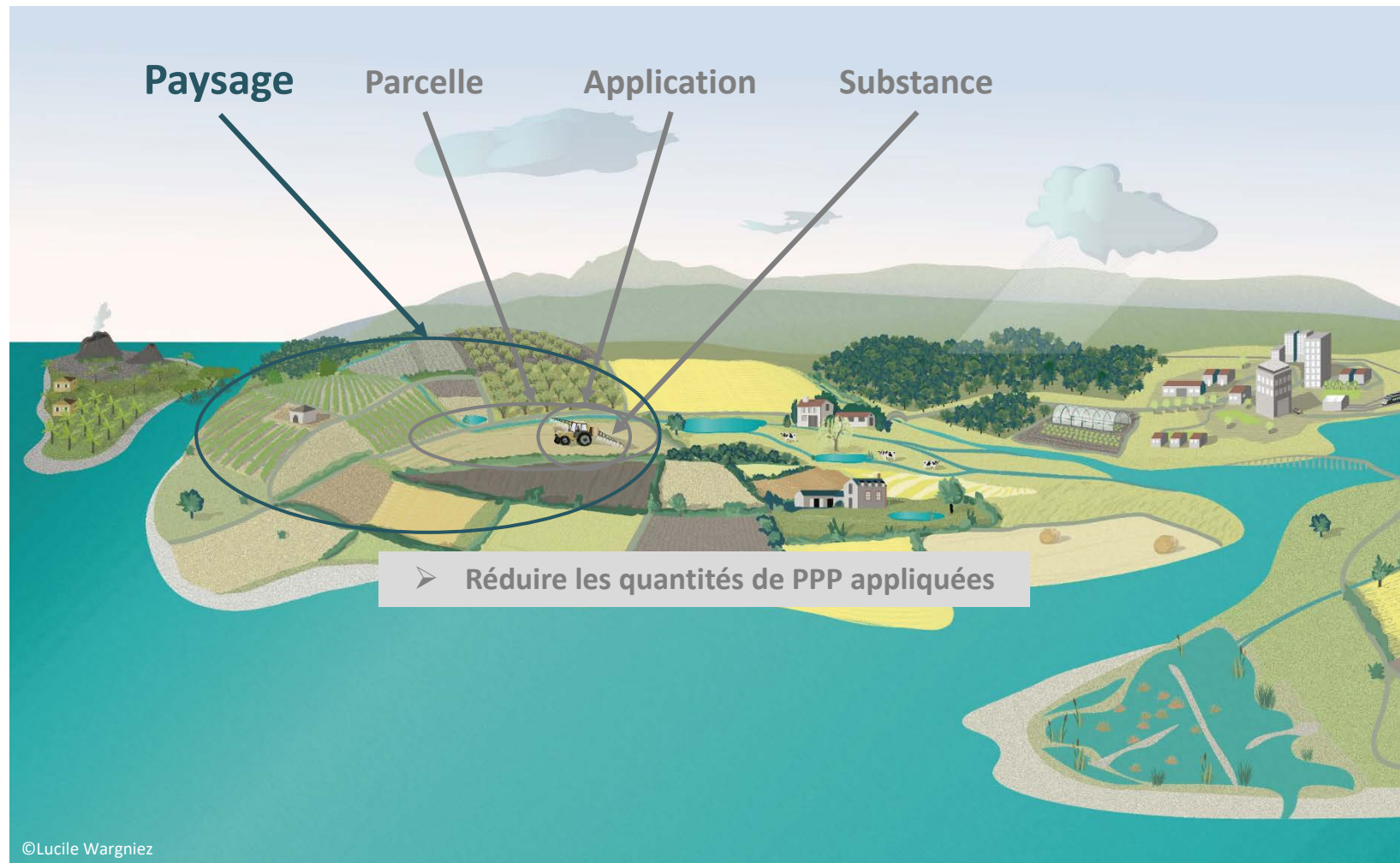
➤ Echelle de la parcelle

➤ La gestion du sol, premier compartiment récepteur des PPP, est un levier de contrôle primordial



ⓘ La limitation d'une voie de transfert peut en favoriser une autre

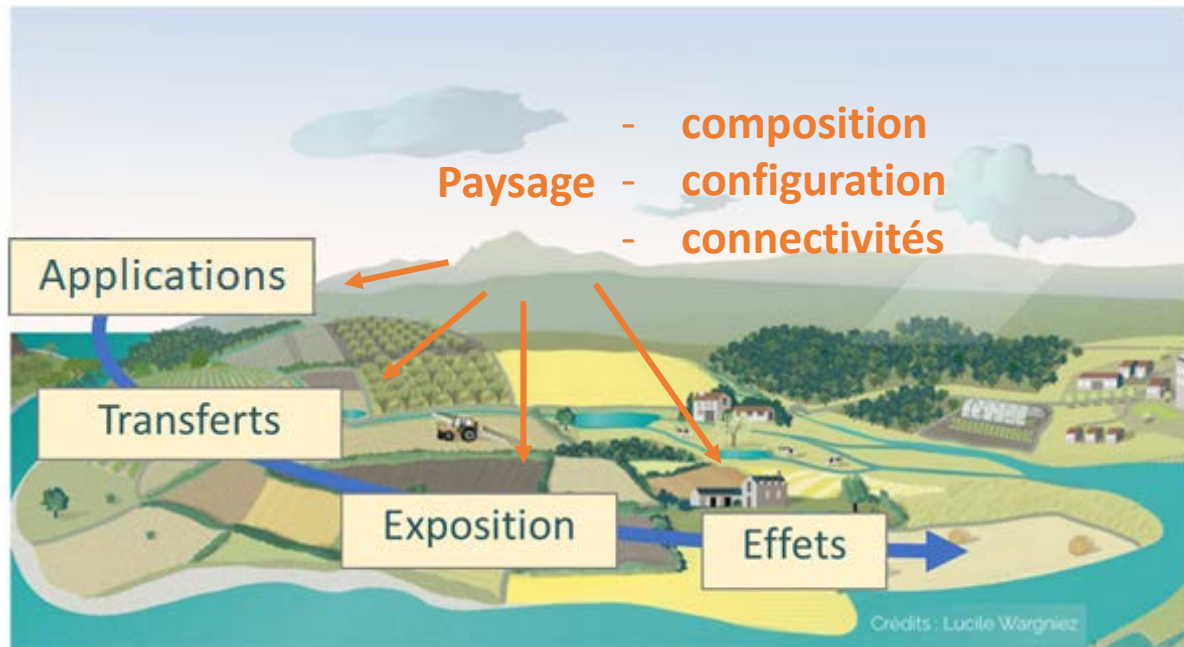
➤ Leviers d'action





➤ Leviers paysagers pour limiter les impacts liés aux PPP

➤ Paysage : des leviers complémentaires mobilisables



L'approche paysagère permet d'aborder :

- La chaîne pressions – transferts – expositions – effets
- Le continuum terrestre – aquatique
- Les caractéristiques des paysages comme leviers pour limiter les effets

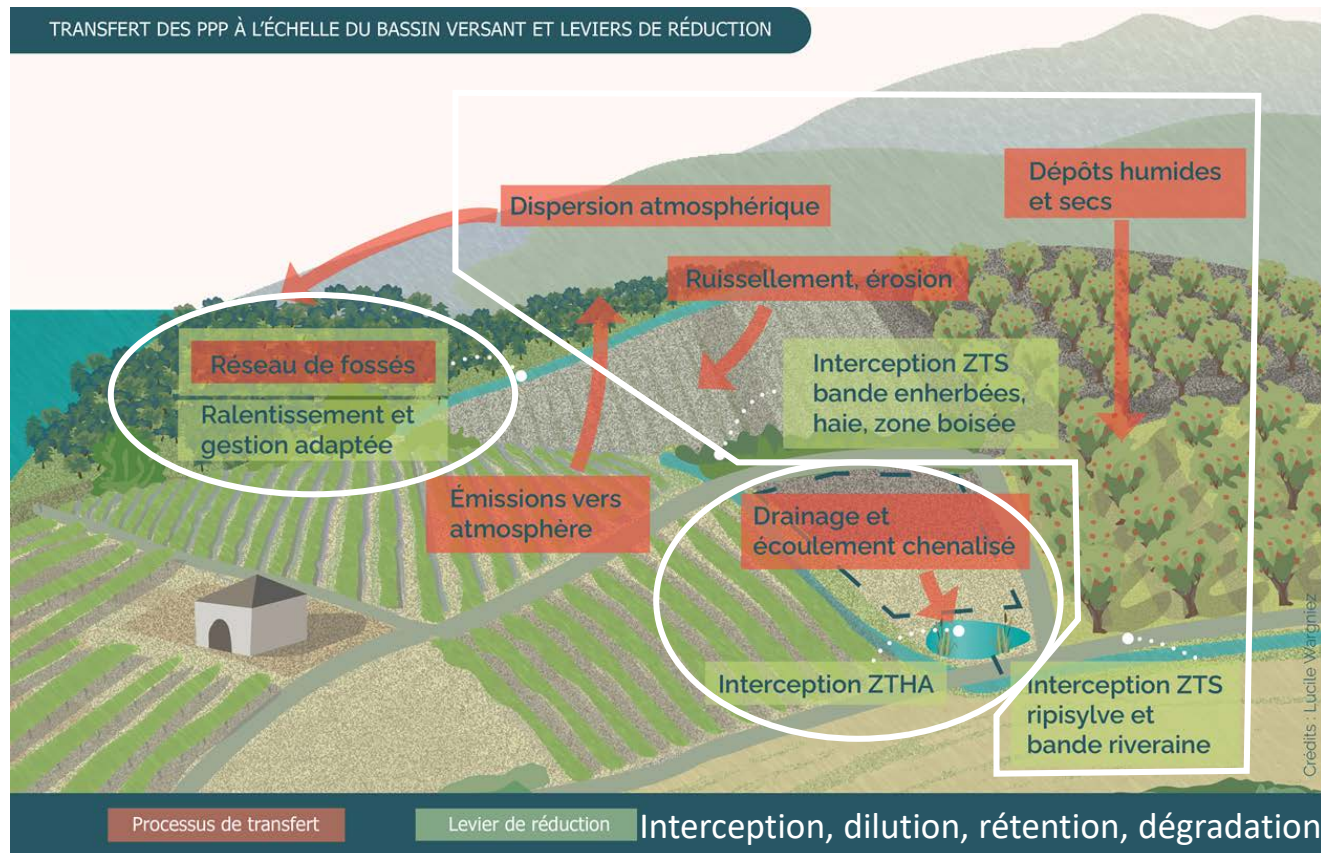
Composition : types de cultures, d'espaces naturels, d'éléments paysagers

Configuration : occupation du sol, mosaïque paysagère, localisation des traitements

Connectivités : continuités hydrologiques, atmosphériques et écologiques

➤ Leviers paysagers pour atténuer les transferts de PPP

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



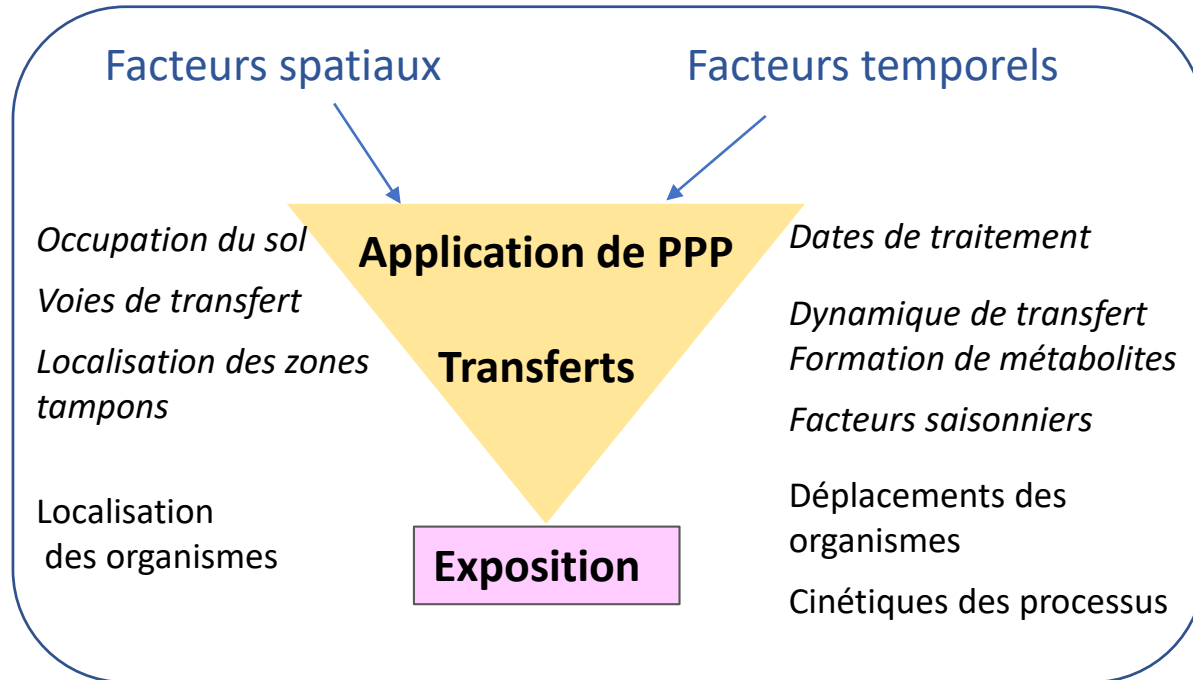
ZTS : Zone Tampon Sèche

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

➤ Leviers paysagers pour limiter l'exposition des organismes aux PPP



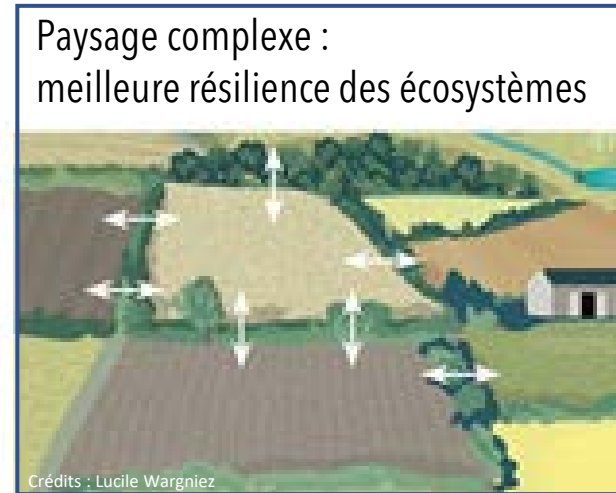
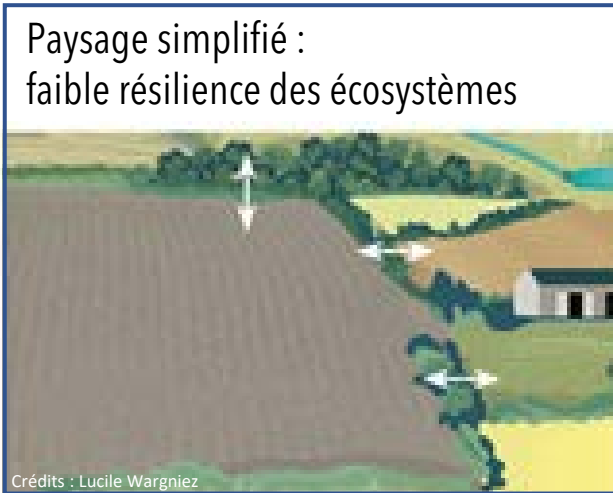
L'approche paysagère est indispensable pour :

- ➔ **Identifier et prévenir les situations critiques dans l'espace et dans le temps** vis-à-vis de l'exposition des organismes
- ➔ **Evaluer les cinétiques de relargage des PPP et les possibles phénomènes d'accumulation** dans les organismes

Localisation des traitements x Localisation des organismes

Périodes ou dates de traitement x Périodes de vulnérabilité des organismes

➤ Leviers paysagers pour atténuer les effets des PPP



L'approche paysagère est indispensable pour :

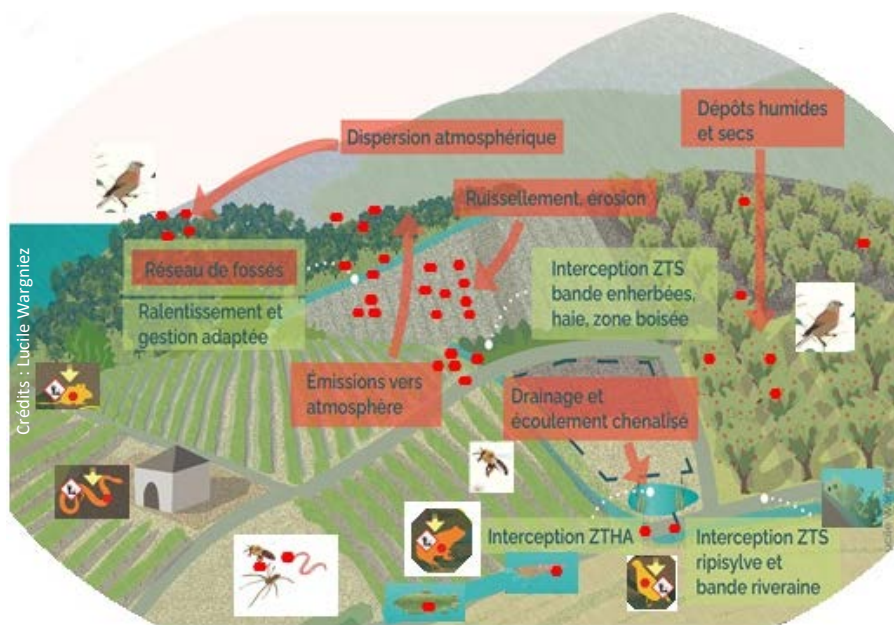
- ➔ Diagnostiquer le niveau de résilience de l'agro-écosystème (accès aux habitats, refuges, ressources alimentaires...)
- ➔ Orienter les choix de gestion en conséquence (diversification et continuités paysagères)

La richesse et la connectivité des éléments paysagers :

- favorisent l'accès aux **zones refuges et aux ressources**
- conditionnent la **capacité de récupération** des écosystèmes

➔ A usage équivalent, un **paysage complexe atténue davantage les effets des PPP sur les écosystèmes**

➤ Approches de modélisation des leviers au niveau du paysage



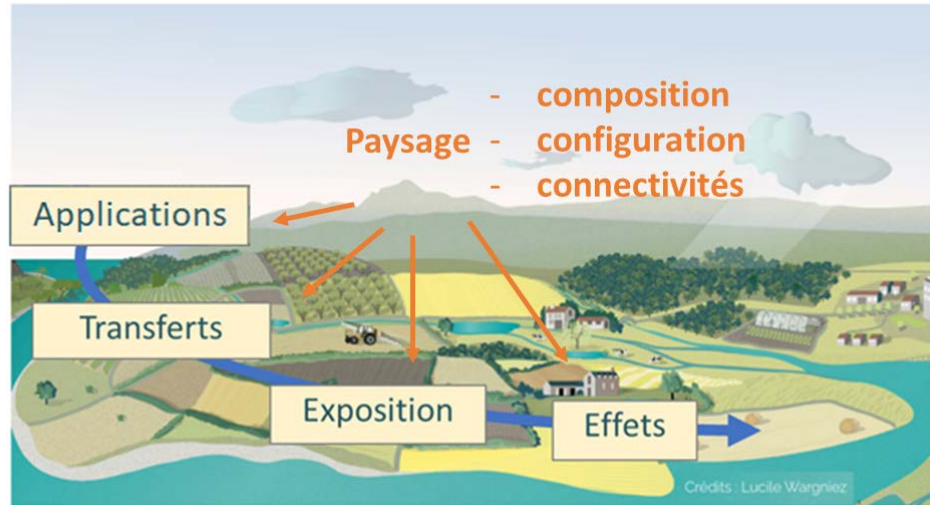
Acquis :

- ➔ Des modèles prennent aujourd'hui en compte de manière **explicite l'effet de l'organisation et de la connectivité des éléments paysagers** sur les transferts ou les effets des PPP dans les agrosystèmes
- ➔ Ils permettent de **tester l'influence de différents facteurs paysagers et de les hiérarchiser**

Limites :

- ➔ Manque de modélisations paysagères :
 - simulant les **effets combinés de plusieurs leviers**
 - intégrant **dynamiques des transferts et dynamiques des effets**
- ➔ **Approches complexes dans le domaine de la recherche et difficilement utilisables au niveau opérationnel**

➤ Le paysage : un niveau intégrateur encore insuffisamment investi



A renforcer pour élargir la portée et optimiser les leviers paysagers :

- ➔ **Les approches interdisciplinaires** abordant l'ensemble de la chaîne pressions – transferts – expositions – effets et les différents compartiments (sol, air, eau, biote)
- ➔ **La compréhension et la modélisation du rôle multifonctionnel des éléments paysagers** pour optimiser leurs localisations et caractéristiques
- ➔ **L'acquisition de données à l'échelle paysagère dans des contextes différenciés de situations agro-paysagères** pour mieux cerner les facteurs de variabilité et pour paramétrer les modèles

➤ Leviers d'action

- **Aucun des leviers d'action, pris indépendamment, ne garantit un risque zéro de transferts des PPP**
- **Combinaison de leviers (aménagements, remédiation...)**



- Dynamique des transferts des PPP
- Etudes de terrain
- Efficacité des leviers
- Dimensionnement, positionnement
- Modèles



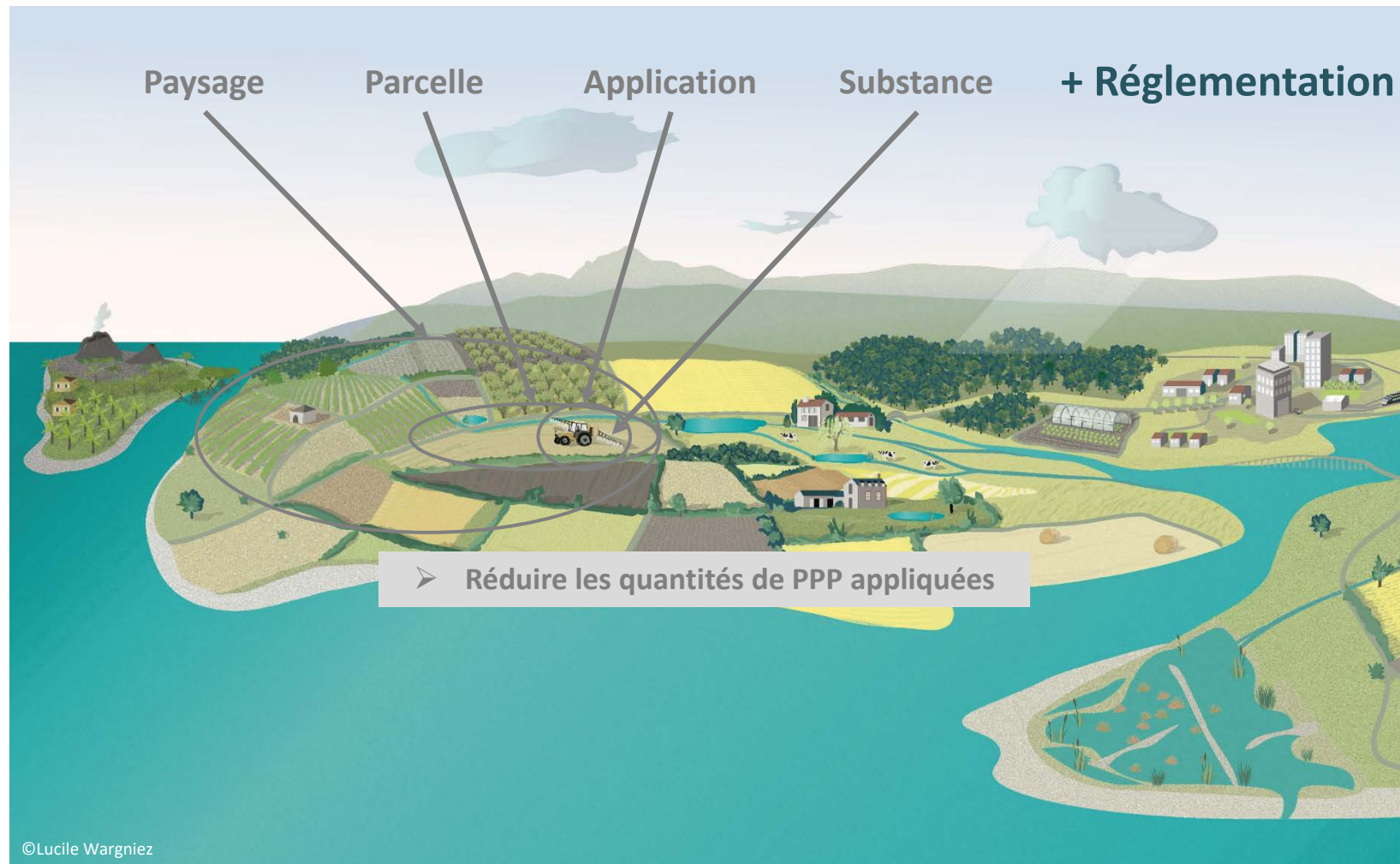
- Formulations
- Produits de biocontrôle
- Produits de transformation des PPP
- Echelle du paysage
- Efficacité de la combinaison des leviers d'action





➤ Interactions entre science et réglementation

➤ Leviers d'action



➤ 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

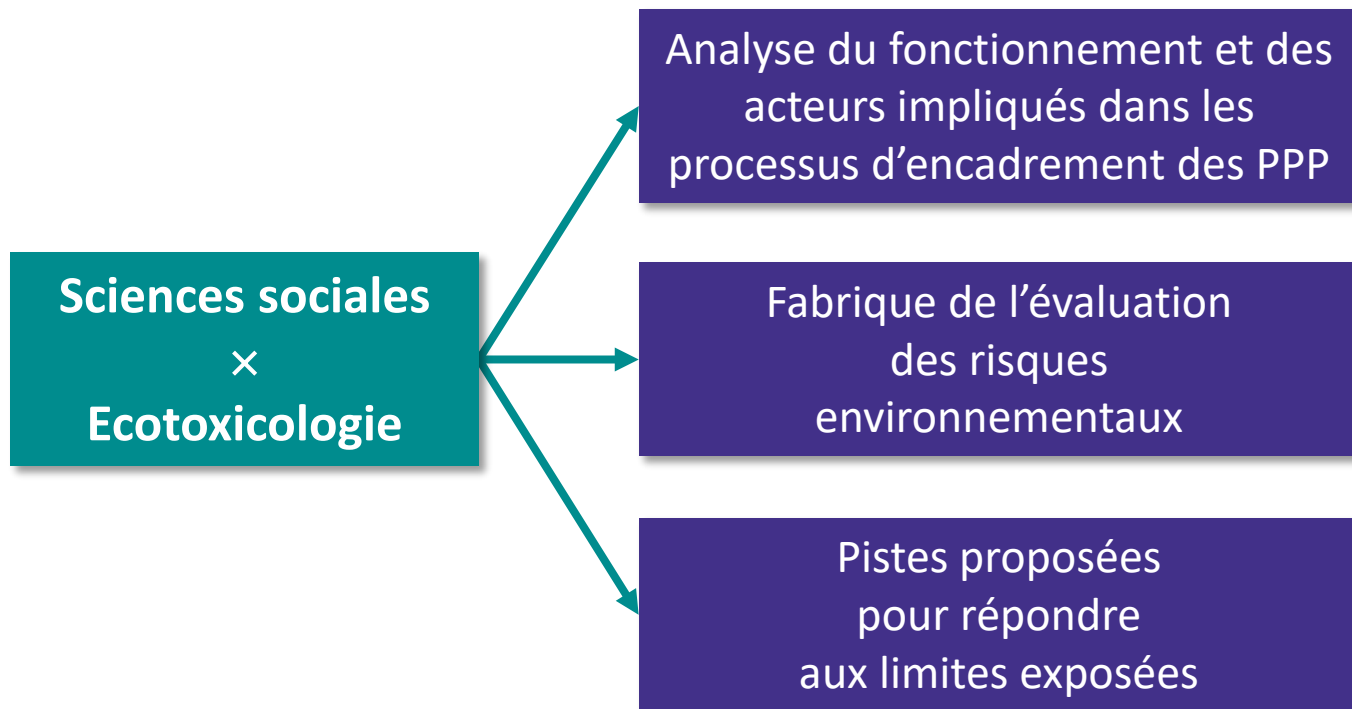
Directive 2009/127 (CE)

Machines d'application des PPP

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

➤ Réglementation

Cadrage scientifique

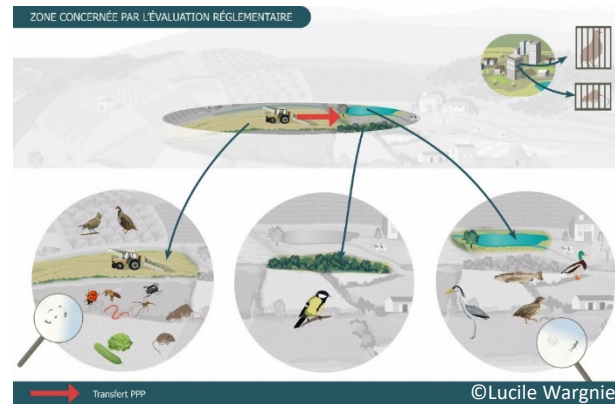


➤ Réglementation

Exigence et limites

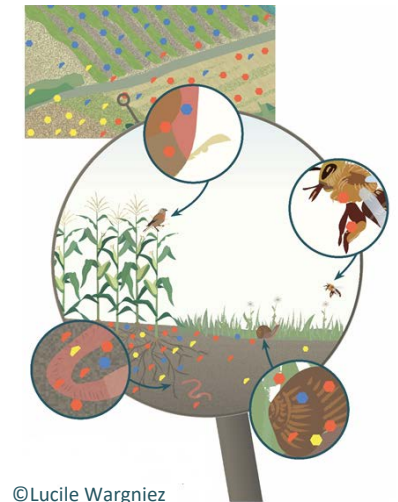


- Haut degré de protection
- Nombreux PPP interdits
- Une des réglementations les plus exigeantes au monde / Données
- Surveillance : PPV unique en Europe



- 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**



➤ Réglementation

Voies d'amélioration proposées dans la bibliographie



Réglementaires

Etudes par des laboratoires indépendants

Données publiées (épidémiologie...) et SHS
NB : Impossible pour nouvelle substance

Autres acteurs et savoirs (associations, syndicats...)

Post-AMM : Accélérer les réponses aux nouveaux risques identifiés, limiter les dérogations



Méthodologiques

Expérimental : effets sur d'autres espèces, effets multistress, effets indirects...

Modélisation : écologie, risques pour la biodiversité

Surveillance (PPV) : élargissement des milieux et organismes suivis

Approche systémique de l'évaluation incluant biodiversité et services écosystémiques (EFSA)

➤ **Besoin de réflexions interdisciplinaires pour spécifier les actions sociales, les politiques publiques et leur régulation par rapport au vivant afin de mieux protéger la biodiversité**





➤ Besoin de recherche et perspectives

Malgré des résultats forts, des besoins de recherche persistent

➤ Des besoins de connaissance

Substances & produits

Organismes



Effets

Milieux & territoires

➤ « 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