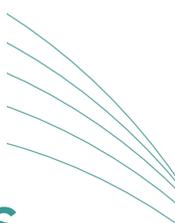


Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques

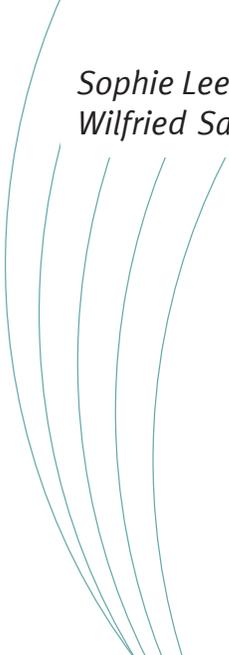
S. Leenhardt, L. Mamy, S. Pesce, W. Sanchez, coord.



Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques



*Sophie Leenhardt, Laure Mamy, Stéphane Pesce,
Wilfried Sanchez, coord.*



Éditions Quæ



L'édition de cet ouvrage a bénéficié du soutien financier de l'Agence française de la biodiversité (AFB), devenue l'Office français de la biodiversité (OFB) en tant que gestionnaire des fonds du plan national d'action Écophyto II (convention AFB/2019-327).

Cet ouvrage est la synthèse d'un rapport d'expertise scientifique collective (ESCo) sollicité conjointement par les ministères en charge respectivement de l'Écologie, de l'Agriculture et de la Recherche. Il a été élaboré par un collectif d'experts scientifiques sans condition d'approbation préalable, que ce soit par les commanditaires, par INRAE ou par l'Ifremer. La présente synthèse, tirée du rapport, n'engage que la responsabilité de ses auteurs.

Les documents relatifs à cette expertise sont disponibles sur les sites web d'INRAE (www.inrae.fr) et de l'Ifremer (www.ifremer.fr).

Ce document est la synthèse du rapport d'expertise dont les auteurs sont le comité d'experts, les contributeurs ponctuels sollicités par les experts et les contributeurs de la DEPE, comme cités dans la référence ci-dessous :

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 Betouille, Eve Bureau-Point, Sandrine Charles, Arnaud Chaumot, Bruno Chauvel, Michael Coeurdassier, Marie-France Corio-Costet, Marie-Agnès Coutellec, Olivier Crouzet, Isabelle Doussan, Jean-Paul Douzals, 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 Mougou, Dominique Munaron, Sylvie Nélieu, Céline Pelosi, Magali Rault, Nicolas Ris, Sergi Sabater, Sabine Stachowski-Haberkorn, Elliott Sucre, Marielle Thomas, Julien Tournebize, Anne-Laure Achard, Morgane Le Gall, Sophie Le Perche, Estelle Delebarre, Floriane Larras, Sophie Leenhardt (coord.) (2022). Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Rapport d'ESCo, INRAE-Ifremer (France), 1 408 pages. <https://dx.doi.org/10.17180/ogp2-cd65>

Pour citer cet ouvrage :

Leenhardt S., Mamy L., Pesce S., Sanchez W., 2023. *Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques*, Versailles, Éditions Quæ, 184 p.

Cet ouvrage est diffusé sous licence CC-by-NC-ND 4.0.

Illustration de couverture : © Lucile Wagniez 2022/lucilew.com

© Éditions Quæ, 2023

ISBN papier : 978-2-7592-3656-5

ISBN pdf : 978-2-7592-3657-2

ISBN ePub : 978-2-7592-3658-9

ISSN : 2115-1229

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex

www.quae.com

www.quae-open.com

Table des matières

Avant-propos	5
Introduction	6
Contexte	9
Demande d'expertise	10
Principes de l'ESCO	12
Composition du collectif d'experts	12
Sources mobilisées	13
Cadre d'analyse	15
1. Préambule sur la fragmentation des connaissances	19
Caractère parcellaire et hétérogène	19
Complémentarité des approches et des objets d'étude	23
2. Contamination de l'environnement par les PPP et exposition des organismes	27
Contamination avérée des milieux par une grande diversité de PPP	27
Dynamiques de transfert et devenir des substances	36
Influence du contexte sur la dynamique d'exposition	39
Leviers pour limiter la contamination et l'exposition	41
Innovations et perspectives pour caractériser la contamination et l'exposition	54
3. Effets sur la biodiversité	59
De l'exposition aux effets, sources de variabilité de la sensibilité aux PPP	60
Mise en évidence des différents types d'effets	63
Effets sur l'état de la biodiversité et ses évolutions	67
Conséquences sur les fonctions écosystémiques	76
Innovations et perspectives pour l'évaluation des effets	85
4. Conséquences sur les services écosystémiques	97
Liens conceptuels entre fonctions et services	98
Principaux services écosystémiques impactés	100
Innovations et perspectives sur les services écosystémiques	103

5. Points transversaux de préoccupation ou d'amélioration	107
Questions relatives au choix des substances	107
Phénomènes d'accumulation	111
Améliorations enregistrées	118
Améliorations apportées et difficultés persistantes sur le plan scientifique	120
6. Interactions entre science et réglementation	127
Niveau d'exigence et complexité de la réglementation sur les PPP	128
Connaissances scientifiques disponibles non prises en compte	129
Disjonction des évaluations avant et après mise sur le marché	137
Pistes d'amélioration les plus documentées	139
Conclusion	147
La contamination de l'environnement par les PPP est avérée dans tous les milieux	147
L'état des lieux reste très incomplet dans les outre-mer	148
Les PPP contribuent à la fragilisation de la biodiversité	149
Les PPP diminuent la capacité à fournir des services écosystémiques	150
Les impacts dépendent fortement des modalités et du contexte d'utilisation	151
Des leviers permettent d'atténuer en partie les impacts	151
Dans les JEV1, une reconception des modes de gestion	153
L'encadrement réglementaire des PPP comporte des objectifs ambitieux qui ne sont pas complètement atteints	153
La mobilisation des connaissances à des fins réglementaires nécessite d'être organisée	153
Mieux prendre en compte la complexité des expositions et des effets	155
Articuler l'étude des systèmes agricoles à celle des écosystèmes	156
Sigles et abréviations	157
Glossaire	159
Sélection bibliographique	165
Collectif de travail	179

Avant-propos

Dans le cadre du plan Écophyto II+, différents travaux d'expertise sont conduits de manière complémentaire. L'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) a présenté en juin 2021 les résultats d'une expertise collective dont il avait été saisi sur les effets des produits phytopharmaceutiques sur la santé humaine intitulée *Pesticides et santé – Nouvelles données*. La présente expertise scientifique collective (ESCo) est quant à elle centrée sur les impacts de ces produits sur la biodiversité et les services écosystémiques. Une autre ESCo restituée le 20 octobre 2022 a porté sur l'utilisation de la diversité végétale des espaces agricoles pour réguler les bioagresseurs des cultures.

Sollicitée en mars 2020 par les ministères en charge de l'Environnement, de l'Agriculture et de la Recherche, l'expertise présentée dans cet ouvrage a été confiée à INRAE et à l'Ifremer. Elle actualise et complète les travaux antérieurs qui avaient été restitués en 2005 sur *Pesticides, agriculture et environnement*, et en 2008 sur *Agriculture et biodiversité*.

Les résultats sont publiés sur les sites internet d'INRAE et de l'Ifremer sous trois formats. Le rapport complet de 1 408 pages comporte un rappel des éléments de contexte de l'expertise, la description de la méthode mise en œuvre et l'ensemble de la bibliographie qui intègre près de 4 500 références, les éléments de cadrage scientifique spécifiques à cette ESCo, l'ensemble des analyses produites par ses experts, ainsi que les conclusions générales qui en découlent. La synthèse, qui fait également l'objet de cet ouvrage, rassemble les principaux constats établis dans le rapport d'ESCo, sans mobiliser l'intégralité du corpus bibliographique utilisé. Les références ne sont citées dans ce document que lorsque les données ou exemples mentionnés sont directement issus d'une publication. Le résumé en 14 pages présente les principaux enseignements tirés de ces travaux.

Introduction

Chaque année, entre 55 000 et 70 000 tonnes de substances phytopharmaceutiques, incluant celles utilisables en agriculture biologique et celles de biocontrôle, sont vendues sur les territoires français de l'Hexagone et d'outre-mer¹. Ces substances sont principalement destinées à la protection des cultures et, pour une part estimée entre 2 et 5 % des quantités totales, à l'entretien des jardins, espaces végétalisés et infrastructures (JEVI). Elles entrent dans la composition de produits commerciaux intégrant des co-formulants éventuellement associés à des adjuvants. Après utilisation, elles peuvent subir différents processus de dégradation biotique et abiotique conduisant à l'apparition de produits de transformation. La protection des cultures repose largement sur des molécules organiques de synthèse et des substances minérales, mais elle peut aussi recourir à des produits de biocontrôle, c'est-à-dire des substances naturelles issues de végétaux, d'animaux ou de minéraux, des microorganismes, des macroorganismes et des médiateurs chimiques (ex. : phéromones, kairomones) contribuant à la régulation des populations d'organismes ciblés. C'est l'ensemble de ces substances et organismes utilisés pour la protection des cultures et l'entretien des JEVI, ainsi que leurs co-formulants et adjuvants, qui sont considérés ici sous le terme de « produits phytopharmaceutiques » (PPP). Les produits de transformation des PPP sont également pris en compte. Bien que, dans le langage courant, le terme « pesticides » soit plus largement utilisé, cette terminologie de PPP a été retenue pour désigner plus précisément le périmètre traité dans le cadre de l'ESCo, en cohérence avec le vocabulaire retenu dans les textes réglementaires pour distinguer, parmi les pesticides, l'ensemble des biocides utilisés pour divers usages, et les PPP utilisés pour la protection des cultures ou l'entretien des JEVI, comme illustré par la figure 1. C'est donc l'usage qui caractérise avant tout un PPP par rapport à d'autres catégories réglementaires.

Les PPP sont conçus pour être utilisés directement dans l'environnement, sur des surfaces pouvant varier, pour une application, de quelques dizaines de mètres carrés à plusieurs centaines d'hectares, et couvrant potentiellement en France hexagonale environ 20 millions d'hectares pour les traitements agricoles², et entre 3 et 4 millions d'hectares pour les JEVI (Ballet, 2021)³. Ils sont utilisés pour produire des effets attendus sur les organismes générant des nuisances aux végétaux cultivés et à leurs auxiliaires, mais ils peuvent aussi

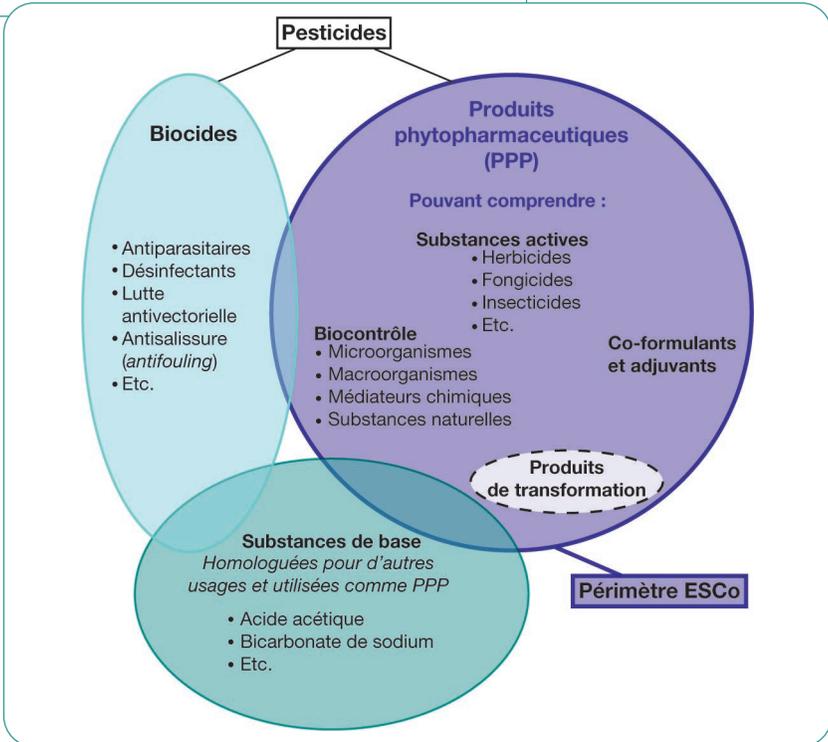
1. Source : Notes de suivi Écophyto : <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-quest-ce-que-cest>. Outre-mer comprend ici uniquement les territoires entrant dans le champ de la redevance pour pollution diffuse : Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion.

2. Source : Agreste Statistique agricole annuelle 2020 : surface agricole utile (SAU) 28 Mha ; surface toujours en herbe (STH) 8 Mha. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/SAANR_1/detail/ (consulté le 9/01/2023).

3. Enquête Teruti : sols artificialisés perméables stabilisés (voies ferrées, pistes forestières, chemins non agricoles, décharges) et autres sols artificialisés perméables (pelouses, jardins, parcs, bords de routes), soit environ deux tiers des 5 Mha de sols artificialisés.

être responsables d'effets non intentionnels. Ceux-ci sont liés à des effets directs sur la physiologie des organismes non ciblés mais exposés aux PPP, selon le devenir dans l'environnement de ces produits, ainsi qu'aux conséquences indirectes qui en résultent. La pression exercée sur les organismes directement impactés a en effet des répercussions sur les dynamiques écologiques dans lesquelles ils sont impliqués. Cette utilisation à grande échelle, dans des espaces intégrés aux écosystèmes, de molécules destinées à éliminer volontairement certains organismes considérés comme nuisibles pose naturellement la question des conséquences de leurs applications sur la biodiversité.

Figure 1. Périmètre des substances considérées.



La biodiversité taxonomique et fonctionnelle actuelle est le fruit de l'évolution. C'est un patrimoine précieux qu'il convient de préserver avant tout pour elle-même, ce qui n'interdit pas d'utiliser les ressources qu'elle offre, mais de manière durable et dans une logique de bien commun, comme promu par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). Elle est indispensable à la vie, et constitue un facteur de résilience dans le contexte des changements globaux induits par les activités humaines.

Elle peut notamment contribuer à réguler et limiter les déséquilibres et certains des effets résultant de ces changements globaux. En contrepartie, ces mêmes changements globaux, par le déplacement des aires de distribution des espèces, par l'augmentation de l'amplitude et de la fréquence des événements extrêmes, et par la modification des conditions physico-chimiques qui règnent dans les différents milieux, fragilisent la biodiversité. Lorsque le rythme des changements dépasse la capacité d'adaptation du vivant, des espèces disparaissent ou déclinent, parfois au profit d'autres espèces qui peuvent prendre un caractère envahissant. Les habitats et les écosystèmes en sont alors plus ou moins profondément modifiés, ainsi que les processus écologiques associés.

Les évolutions de la biodiversité sous l'influence de pressions aujourd'hui clairement identifiées sont notables depuis de nombreuses décennies. Selon l'UICN, 22,7 % des 15 060 espèces européennes qui ont fait l'objet d'une évaluation sont menacées d'extinction⁴. Ces évolutions présentent toutefois une variabilité et des tendances parfois contrastées suivant les périodes, les zones géographiques, les espèces et les habitats considérés, qui rendent leur caractérisation complexe. Ces évolutions contrastées témoignent de processus diversifiés de résilience, d'adaptation et de fragilisation qui coexistent. Il est toutefois aujourd'hui clairement établi que l'érosion de la biodiversité est la tendance globalement dominante, et qu'elle compromet la capacité d'adaptation des écosystèmes aux changements globaux.

L'utilisation des PPP contribue à cette dynamique avec un rôle paradoxal. En effet, elle a pour objet de protéger les cultures contre les espèces considérées comme nuisibles, mais elle contribue de ce fait même à augmenter la vulnérabilité de la production du fait de l'abandon des stratégies préventives et/ou de l'apparition stimulée d'espèces nuisibles résistantes aux PPP appliqués, et/ou de l'altération des régulations naturelles favorables aux cultures.

Par ailleurs, les contaminations par les PPP s'ajoutent à celles dues à d'autres substances chimiques ainsi qu'à d'autres types de pressions, incluant par exemple les destructions permanentes d'habitats écologiques du fait de l'augmentation de l'urbanisation et de l'intensification des cultures agricoles et sylvicoles. Les pressions qui s'exercent sur la biodiversité sont ainsi multiples et très variables suivant les contextes, y compris en ce qui concerne les PPP. Les impacts spécifiques d'une substance pour un usage sur l'ensemble de la biodiversité sont donc très difficilement mesurables d'un point de vue quantitatif. C'est toutefois une question qui se pose sur un plan réglementaire pour la mise sur le marché des produits, qui ne peuvent être commercialisés que s'ils « n'ont aucun effet nocif sur la santé humaine ou animale ni aucun effet inacceptable sur l'environnement » (Commission européenne, 2009b). Au regard de cette exigence inscrite dans la réglementation, de nombreuses alertes ont été lancées, conduisant le cas échéant à des initiatives spécifiques de natures diverses telles que le Plan national chlordécone (depuis 2009), le Plan de sortie du glyphosate (2019), la Stratégie nationale sur les perturbateurs endocriniens (depuis 2014), la saisine de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) sur les SDHI (fongicides

4. <https://www.iucnredlist.org/regions/europe> (consulté le 9/01/2023).

inhibiteurs de la succinate déshydrogénase ; 2019), la Stratégie nationale de déploiement du biocontrôle (2020), ou encore l'interdiction puis la réautorisation dérogatoire des insecticides néonicotinoïdes (2021 et 2022). L'évaluation réglementaire du risque des PPP pour la biodiversité fait ainsi l'objet de critiques antagonistes. D'un côté, elle est dénoncée par certaines parties prenantes comme contraignant trop fortement l'autorisation et l'utilisation des PPP et, d'un autre côté, elle est critiquée par d'autres car insuffisamment protectrice de la santé humaine et de l'environnement.

Contexte

Face au constat des impacts des PPP sur l'environnement (Aubertot *et al.*, 2005b), le premier plan Écophyto a été instauré en 2008, en lien avec l'adoption par l'Union européenne en 2009 du Paquet pesticides, qui désigne un ensemble de directives et règlements encadrant l'utilisation des PPP. Ce cadre de politiques publiques relatives aux PPP comporte différentes composantes : des objectifs et des plans d'actions quant à la réduction des utilisations de PPP, des règles d'évaluation et de mise sur le marché des produits, et des dispositifs de surveillance de la contamination de l'environnement et des effets non intentionnels qui en résultent.

Depuis 2008, les versions successives du plan Écophyto ont réaffirmé l'objectif de réduction drastique des utilisations de PPP et des risques associés. Cependant, les moyens mobilisés et les actions déployées à cette fin n'ont pas permis d'atteindre les objectifs fixés, comme souligné en 2019 par la Cour des comptes française⁵.

En ce qui concerne l'évaluation des produits avant leur mise sur le marché, le Paquet pesticides et le plan Écophyto ont donné lieu à l'élaboration d'indicateurs de risques, incluant le suivi spécifique des ventes de substances considérées comme les plus préoccupantes. Une campagne de réévaluation de ces substances a été engagée, dans la perspective d'en réduire les domaines d'autorisation et d'envisager leur substitution par des substances moins dangereuses. Une activité scientifique importante a été déployée à l'EFSA (European Food Safety Authority, Autorité européenne de sécurité des aliments) au niveau européen, comme à l'Anses au niveau national, pour améliorer le cadrage méthodologique de la démarche d'évaluation des risques. Une révision du cadre plus général de cette évaluation est en outre entrée en vigueur au niveau communautaire en 2021 suite à l'initiative citoyenne de 2017 sur le glyphosate, avec des évolutions sur la transparence (accessibilité des études et des données mobilisées par le pétitionnaire, règles de confidentialité), la possibilité de financer, au besoin, des études complémentaires ou permettant de confronter les éléments fournis par le pétitionnaire, une ouverture de la gouvernance de l'EFSA aux États membres, parlementaires et représentants de la société civile, et la mise en place d'un plan concerté pour la communication sur les risques. Ces

5. Cour des comptes, 2019. Le bilan des plans Écophyto. Référé n° 22109-2659. <https://www.ccomptes.fr/system/files/2020-01/20200204-refere-S2019-2659-bilan-plans-ecophyto.pdf> (consulté le 9/01/2023).

évolutions ont conduit au non-renouvellement ou au retrait de l'approbation de certaines substances ou usages, tandis que de nouvelles molécules ont été mises sur le marché, notamment dans le domaine du biocontrôle.

En matière de surveillance environnementale, la prise en compte des PPP dans les dispositifs de suivi a été progressivement renforcée dans les différentes matrices et les différents milieux de l'environnement, en lien avec les réglementations dédiées à la protection des milieux et de la biodiversité⁶.

Demande d'expertise

C'est dans ce contexte que l'Axe 2 sur la recherche et l'innovation du plan Écophyto II+, s'appuyant sur son Comité scientifique d'orientation « Recherche et innovation » (CSO R&I), a proposé en 2019 la réalisation d'une expertise portant sur « les effets sur la biodiversité et les alternatives aux produits phytopharmaceutiques »⁷, en complément de celle de l'Inserm portant sur les effets sur la santé humaine (Inserm, 2021). Sur cette base, les ministères chargés respectivement de l'Environnement, de l'Agriculture et de la Recherche ont commandé deux ESCo conduites parallèlement, une sur l'impact des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques, et une sur l'utilisation de la diversité des couverts végétaux pour réguler les bioagresseurs et protéger les cultures. En ce qui concerne les perspectives de réduction des utilisations de PPP, le programme prioritaire de recherche (PPR) *Cultiver et protéger autrement*⁸ a en outre été initié en 2019 ; son pilotage s'appuie en partie sur la prospective *Vers une agriculture européenne sans pesticides*⁹, coordonnée par INRAE. Cette expertise fait enfin écho au PPR *Océan & Climat*, coordonné depuis 2021 par l'Ifremer et le CNRS et dont l'un des défis porte sur le développement des connaissances sur la contamination du milieu marin, ses effets sur les organismes qui y vivent et les services écosystémiques associés, afin de proposer des solutions pour un océan propre, sain, sûr et résilient.

La présente ESCo portant sur les impacts des PPP sur la biodiversité et les services écosystémiques fait également suite à celle restituée en 2005 sur *Pesticides, agriculture et environnement*¹⁰, qui a montré que l'utilisation courante de ces substances conduisait à des dégradations de l'environnement et qu'il était donc nécessaire de la réduire. Par la suite, l'ESCo *Agriculture et biodiversité* de 2008 et l'étude Efese (Évaluation française des

6. DCE (Directive-cadre sur l'eau) ; DHFF (Directive concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages) ; DO (Directive concernant la conservation des oiseaux sauvages), DCSMM (Directive-cadre Stratégie pour le milieu marin).

7. <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-quest-ce-que-cest> (consulté le 9/01/2023).

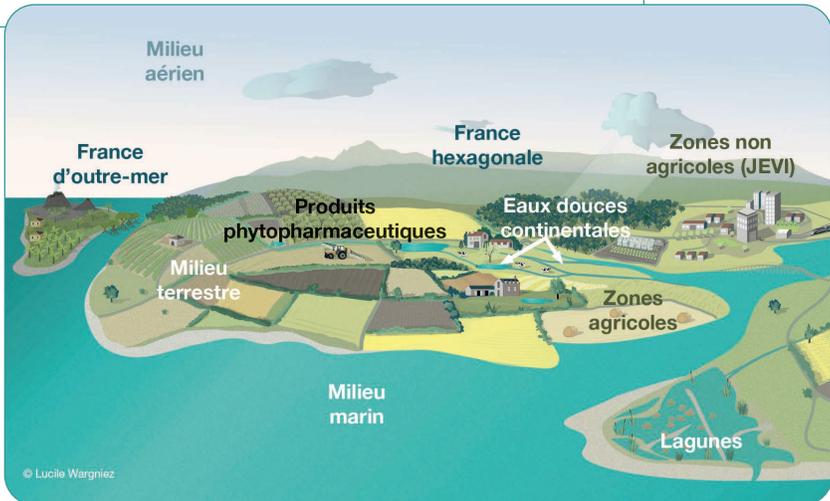
8. <https://www6.inrae.fr/cultiver-protoger-autrement/Le-Programme/Presentation> (consulté le 9/01/2023).

9. <https://www6.inrae.fr/cultiver-protoger-autrement/Les-Outils-de-pilotage/Prospective-2050> (consulté le 9/01/2023).

10. <https://www.inrae.fr/actualites/pesticides-agriculture-environnement-reduire-lutilisation-pesticides-limiter-impacts-environnementaux> (consulté le 9/01/2023).

écosystèmes et des services écosystémiques) de 2017, en particulier son volet *Évaluer les services rendus par les écosystèmes agricoles pour mieux les gérer*, ont montré la complexité des interrelations entre protection des plantes cultivées et biodiversité. En effet, la biodiversité fournit des ressources indispensables aux cultures, mais inclut également des espèces considérées comme nuisibles pour ces dernières. Inversement, les traitements de protection des plantes ciblés sur certaines espèces produisent des effets sur de nombreuses autres, avec des répercussions sur les fonctions et services écosystémiques, et ce bien au-delà de la zone de traitement du fait des différents modes de transferts des PPP et de leurs effets. Depuis l'ESCO de 2005, les outils de protection des cultures et d'entretien des JEV ont évolué, notamment avec l'interdiction de certaines substances ou usages, l'introduction de nouvelles familles de molécules et le recours croissant aux traitements de biocontrôle. Les données disponibles sur les utilisations de produits, les risques écotoxicologiques associés et l'état de l'environnement ont également évolué. En particulier, l'importance des répercussions directes et indirectes de l'utilisation des PPP sur le fonctionnement des écosystèmes est de plus en plus mise en évidence. À ce titre, et compte tenu de l'évolution du contexte évoqué plus haut, une approche abordant globalement la biodiversité et les services écosystémiques a été privilégiée, avec une attention portée aux continuités et aux interdépendances entre milieux, du lieu d'application des PPP jusqu'aux milieux marins. La mise en œuvre de l'expertise a donc été confiée conjointement à INRAE et l'Ifremer, compte tenu du fait qu'elle prend en considération l'ensemble du continuum environnemental terre-mer. Le périmètre ainsi couvert est représenté par la figure 2.

Figure 2. Périmètre considéré dans le continuum terre-mer.



JEVI : jardins, espaces végétalisés et infrastructures.

Principes de l'ESCo

L'ESCo a pour objet d'établir un état des lieux et une analyse critique des connaissances scientifiques disponibles au niveau mondial sur des sujets aux dimensions multiples. Cette analyse est réalisée par un collège d'experts scientifiques appartenant à des organismes publics de recherche ou d'enseignement supérieur. Outre une synthèse sur les contaminations et leurs effets, une analyse des méthodes, de leur diversité et de leurs domaines de validité, et de la dynamique d'innovation dans ce domaine, est également établie. En mettant à jour l'étendue des connaissances acquises, les domaines d'incertitudes et de controverses, ainsi que les questions face auxquelles les connaissances restent insuffisantes, ces travaux ont vocation à nourrir les réflexions de différentes catégories d'acteurs sur la prise en compte des impacts des PPP sur la biodiversité et les services écosystémiques, dans une perspective d'action publique. Ils contribuent ainsi à la mise en œuvre de politiques publiques remplies par les instituts de recherche.

Le processus de l'ESCo repose sur les *Principes de conduite des expertises scientifiques collectives et des études à INRAE*¹¹. Les experts sont sélectionnés sur la base de leurs publications dans des revues scientifiques à comité de lecture, en veillant à ce que les liens d'intérêt (ex. : financements, affinités intellectuelles, liens de collaboration), inévitables dans la recherche finalisée, s'équilibrent au sein du collectif, et en excluant les cas de conflit d'intérêts. La transparence est assurée par la description dans le rapport d'ESCo des sources mobilisées et de la méthode employée. L'ESCo est conduite en interaction avec un comité consultatif d'acteurs qui rassemble les principales parties prenantes de la question des impacts des PPP sur la biodiversité et les services écosystémiques.

Composition du collectif d'experts

Le collectif d'experts a été recruté à partir d'une première interrogation des bases de données bibliographiques, et de manière à couvrir la diversité des thématiques de l'ESCo. Il a été animé par trois pilotes scientifiques : Laure Mamy et Stéphane Pesce, d'INRAE, et Wilfried Sanchez, de l'Ifremer. Les 46 chercheurs (incluant les pilotes) impliqués dans l'ESCo sont issus de 19 organismes de recherche.

Au démarrage de l'ESCo, ces 46 experts étaient globalement auteurs de 1 875 publications référencées dans la base de données bibliographiques *Web of Science*TM (WoS), dans des domaines de recherche variés, comme le montre la figure 3 établie à partir des catégories suivant lesquelles le WoS classe les revues scientifiques. La majorité des experts a publié dans les domaines des sciences de l'environnement et de l'écotoxicologie. La biologie des organismes, la chimie et l'agronomie sont également représentées. Les publications dans les domaines des sciences humaines et sociales sont moins couramment

11. https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DEPE_Principes_Conduite_ESCo_Etudes_V2_20211110.pdf (consulté le 9/01/2023).

portant sur *Pesticides, agriculture et environnement*. Le périmètre géographique concernant l'état des lieux de la contamination porte uniquement sur la France hexagonale et d'outre-mer. Concernant les effets sur la biodiversité, les fonctions et services écosystémiques, l'ensemble des connaissances issues de travaux internationaux portant sur des situations (ex. : types de climat, de PPP, d'organismes) transposables au contexte français a été pris en compte. La recherche bibliographique a été complétée au besoin par des articles antérieurs à cette période qui constituent des références fondamentales pour la compréhension des connaissances actuelles, ou lorsque la thématique traitée n'était pas suffisamment couverte par les publications des vingt dernières années. Elle a également été actualisée au cours de l'expertise (année 2021 et début 2022), sur la base de la compétence des experts et de la veille bibliographique assurée sur le WoS par les documentalistes. Des compléments ont été apportés hors du domaine académique, avec notamment la prise en compte de rapports produits par les institutions exploitant des sources de données relatives au suivi des ventes de PPP ou à la surveillance environnementale. En ce qui concerne les JEVI, très peu de travaux académiques portent spécifiquement sur ces espaces et usages. Pour ce volet, ont donc été principalement mobilisées des études non publiées dans des revues scientifiques à comité de lecture, réalisées suivant les cas sous l'égide des gestionnaires de ces espaces, des collectivités territoriales ou des pouvoirs publics.

Le corpus cité comprend au total 4 460 références, dont 14 % de revues de littérature et méta-analyses. Soixante-dix pour cent de ces références ont été publiés au cours des dix dernières années. Cette bibliographie recouvre une grande diversité de domaines de recherche, comme l'indiquent par exemple les 15 premiers domaines de recherche dans lesquels sont classées les 3 343 références du corpus bibliographique de l'ESCO qui sont publiées dans des revues classées par le WoS (figure 4).

Figure 4. Domaines de recherche des 3 343 références classées dans les catégories du *Web of Science*TM (WoS) (15 premières catégories).

1 700 Sciences de l'environnement	357 Entomologie	165 Agriculture, pluridisciplinarité	165 Conservation de la biodiversité	152 Environnement, ingénierie
512 Toxicologie	227 Agronomie	147 Sciences pluridisciplinaires	116 Sciences des végétaux	102 Science du sol
540 Écologie	172 Biologie marine et d'eau douce	126 Biotechnologie et microbiologie appliquée	87 Ressources en eau	72 Microbiologie

Cadre d'analyse

I Approche globale de la biodiversité

La biodiversité est considérée ici au sens de la « diversité biologique » selon la définition établie en 1992 dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique (CDB ; Nations unies, 1992) comme étant la « variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ». La biodiversité est également considérée du point de vue de la dynamique des populations et de celle des flux, interactions, processus écologiques et fonctions écosystémiques.

Aborder la biodiversité dans son ensemble pose la question de la délimitation des domaines de connaissance. En effet, les milieux de vie sont constitués de composantes biotiques (organismes) et abiotiques (ex. : minéraux, gaz), organisées à différentes échelles (ex. : individu, population, écosystème), qui interagissent avec des dynamiques temporelles variables, remplissant des fonctions qui résultent de l'activité biologique et permettent qu'elle se perpétue. Les clés d'analyse d'un tel ensemble peuvent être déclinées par milieux, types d'organismes, types d'écosystèmes, types d'interactions, etc., chacune de ces typologies présentant ses intérêts et ses limites, notamment en termes de cloisonnement disciplinaire.

À cette complexité s'ajoute celle des PPP qui peuvent également être caractérisés par une grande diversité d'attributs : famille chimique (ex. : organochlorés), mode d'action (ex. : inhibiteurs de la photosynthèse), organismes ciblés (ex. : insecticides), usage (ex. : production fruitière, céréaliculture), classement toxicologique (cancérogène, mutagène, toxique pour la reproduction, ou CMR, de niveau 1 ou 2), catégorie réglementaire (ex. : substances de base, préoccupantes, à faible risque, candidates à la substitution), statut réglementaire (autorisé ou interdit), etc.

Avec la préoccupation d'aborder la question des impacts sur la biodiversité en s'approchant au mieux des situations telles qu'elles se produisent dans la réalité, c'est l'ensemble de la pression exercée par les applications de PPP et leurs conséquences qui a été considéré comme objet de l'analyse. Les substances n'ont donc pas été ciblées *a priori* de manière spécifique par la recherche bibliographique. Toutefois, pour répondre aux attentes relatives à certaines substances ou thématiques qui ont fait l'objet d'initiatives politiques particulières au cours de la dernière décennie (chlordécone, cuivre, glyphosate, néonicotinoïdes, perturbateurs endocriniens, pollinisation, SDHI), des annexes permettent, dans le rapport d'ESCo, de rassembler l'ensemble des informations dédiées à ces sujets, issues des analyses réalisées par les experts.

I Référentiel sur les fonctions et services écosystémiques

Un référentiel commun a été élaboré pour regrouper les processus écologiques potentiellement impactés par les PPP en 12 catégories de fonctions écosystémiques (voir section « Conséquences sur les fonctions écosystémiques »), avec pour objectif initial de

pouvoir les relier aux services écosystémiques dont elles sont le support. Le référentiel retenu concernant les services écosystémiques est la dernière version de la classification CICES (*Common International Classification of Ecosystem Services*)¹². Ce cadre conceptuel a permis d'établir un vocabulaire commun à l'échelle de l'ESCo, facilitant la synthèse des résultats. Il a également permis de constater la difficulté à relier de manière globale l'ensemble des processus écotoxicologiques mis en évidence avec l'évaluation des services écosystémiques, d'autant que ces deux volets relèvent de champs disciplinaires scientifiques différents. Les dynamiques de réponse des écosystèmes aux pressions exercées par les PPP, qui varient suivant les pas de temps et les échelles spatiales, sont donc difficiles à consolider sous la forme d'impacts mesurés globalement sur l'ensemble des services écosystémiques.

I Analyse centrée sur les études en conditions environnementales réalistes

L'existence d'un cadre réglementaire pour la mise sur le marché des PPP donne lieu à la production de connaissances scientifiques sur leur écotoxicité, pour documenter l'évaluation des risques que leur utilisation peut impliquer pour l'environnement. Il s'agit d'un corpus abondant, essentiellement fondé sur des approches expérimentales normalisées, complétées par le recours à des modèles numériques, et qui constitue le socle des décisions prises dans le domaine réglementaire. La portée et les limites d'un tel cadre d'évaluation font elles-mêmes l'objet de publications scientifiques qui étudient les insuffisances de ces approches pour estimer les impacts à l'échelle de la biodiversité et des services écosystémiques.

Pour constituer le corpus analysé dans la présente ESCo, la priorité a été donnée aux études les plus intégratives possible, et les plus réalistes possible d'un point de vue écologique. Les résultats relatifs à des tests monospécifiques n'ont par exemple pas été systématiquement passés en revue, et ne sont mobilisés que dans la mesure où ils apportent des éléments d'explication sur des phénomènes observés ou suspectés en conditions environnementales réalistes.

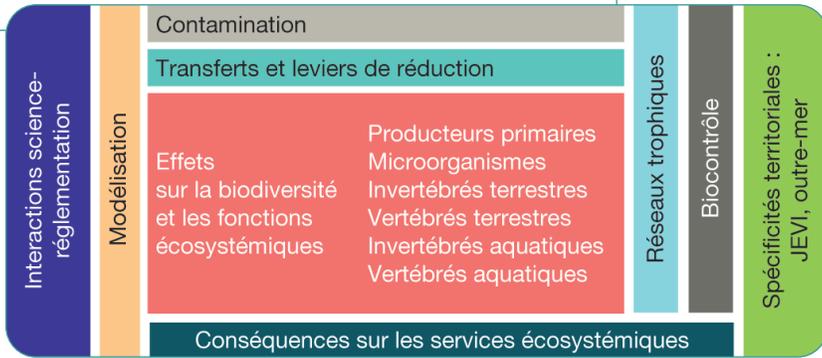
I Découpage thématique et transversalités

Le découpage thématique présenté dans la figure 5 a reposé en premier lieu sur les compétences des experts pour faciliter la constitution et l'analyse des corpus bibliographiques correspondants.

Dans le domaine de l'écotoxicologie, les connaissances ont été analysées de manière spécifique suivant le type d'organismes (producteurs primaires, c'est-à-dire macroorganismes et microorganismes réalisant la photosynthèse ; microorganismes ne réalisant pas la photosynthèse ; invertébrés ; vertébrés) et suivant le type de milieu, terrestre ou

12. <https://cices.eu/>

Figure 5. Découpage thématique de la conduite de l'ESCO.



aquatique, lorsque celui-ci est fortement différenciant (pour les invertébrés et les vertébrés). Un axe a été développé sur les dynamiques au sein des réseaux trophiques qui traversent ces découpages par types d'organismes et de milieux, et jouent un rôle non négligeable dans le transfert des substances et la propagation de leurs effets.

Les corpus portant respectivement sur la contamination, les dynamiques de transfert ou de transformation physico-chimique des substances et les outils de modélisation ont été analysés de manière transversale. Les particularités du biocontrôle ont conduit à aborder ce domaine avec une double approche : comme les autres substances s'agissant des substances naturelles, et de manière plus spécifique s'agissant d'organismes vivants ou de travaux adoptant le biocontrôle comme objet d'étude à part entière (études comparatives par exemple).

En ce qui concerne les JEVI, comme décrit précédemment, les connaissances ont été essentiellement rassemblées à partir de sources non académiques, et complétées par les quelques résultats scientifiques attribuables à ce type d'espace.

Les particularités relatives aux territoires d'outre-mer ont été recherchées dans chacun des corpus thématiques préalablement constitués.

Les services écosystémiques faisant l'objet d'un corpus spécifique, celui-ci a été analysé en tant que tel. Un travail de cadrage conceptuel a été conduit afin d'établir une relation entre les résultats issus du corpus sur les services écosystémiques et ceux issus de l'analyse des effets sur les fonctions écosystémiques examinés dans le domaine de l'écotoxicologie.

Enfin, le domaine des connaissances traitées dans cette ESCo présente la particularité d'être en partie produit dans des cadres normalisés par la réglementation (ex. : études basées sur les données issues de suivis imposés par les réglementations sur la surveillance et la protection de la biodiversité), ou à des fins de prise de décision dans des cadres réglementaires (ex. : avis scientifiques de l'EFSA ou de l'Anses). Ces interactions entre processus scientifiques et processus réglementaires de validation sous-tendent en

partie les dynamiques scientifiques observées dans le corpus de l'ESCo. Un groupe pluridisciplinaire, associant des chercheurs en droit, en sociologie, en ethnologie ainsi qu'en écotoxicologie, s'est consacré à la synthèse des travaux scientifiques qui analysent ces interactions entre science et réglementation, en particulier dans le domaine de l'évaluation des risques des PPP.

Traitement des pratiques agricoles

La présente ESCo ne porte pas sur les leviers existants pour limiter les utilisations de PPP. Des thématiques telles que les stratégies prophylactiques pour protéger la santé des cultures sans recourir aux PPP, ou la comparaison des impacts sur la biodiversité de différents types de systèmes agricoles utilisant ou pas des PPP, ne sont pas l'objet du présent état des lieux, afin d'éviter la redondance avec d'autres travaux réalisés parallèlement. De telles analyses ont en effet été conduites de manière complémentaire dans le cadre notamment de l'ESCo sur la régulation naturelle des bioagresseurs, et du programme prioritaire de recherche *Cultiver et protéger autrement*. La constitution du collectif d'experts et celle du corpus n'ont pas été orientées pour couvrir ces thématiques, en particulier dans le domaine de l'agronomie, qui n'est pas central dans l'approche mise en œuvre. Pour autant, certaines modalités d'utilisation des produits influent sur les dynamiques de dispersion des substances et sur l'exposition des organismes non ciblés. Les connaissances disponibles concernant l'influence sur les impacts des PPP de paramètres tels que le matériel d'application, les pratiques qui déterminent l'état du sol, ainsi que les aménagements réalisables à l'échelle de la parcelle comme du paysage, ont donc été intégrées dans le périmètre de l'étude.