

Protéger les cultures par la diversité végétale

Anais Tibi, Vincent Martinet, Aude Vialatte, coord.



Protéger les cultures par la diversité végétale



Anaïs Tibi, Vincent Martinet, Aude Vialatte, coord.



Éditions Quæ

L'édition de cet ouvrage a bénéficié du soutien financier de la Direction de l'expertise scientifique collective, de la prospective et des études (DEPE) de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE).

Le rapport d'expertise scientifique collective (ESCo), dont est issu cet ouvrage, a été sollicité conjointement par les ministères en charge, respectivement, de l'Agriculture, de l'Écologie et de la Recherche. Il a été élaboré par un comité d'experts scientifiques sans condition d'approbation préalable, que ce soit par les commanditaires ou par INRAE. Le présent ouvrage 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).

Les auteurs du rapport dont est issu cet ouvrage sont l'ensemble des membres du collectif de travail constitué pour réaliser l'ESCo, listés en fin d'ouvrage. Sauf précision, les figures et tableaux ont été produits par les auteurs. Les sites web cités dans cet ouvrage ont été consultés en juin-juillet 2023.

Pour citer cet ouvrage :

Tibi A., Martinet V., Vialatte A. (coord.), 2023. *Protéger les cultures par la diversité végétale*, Versailles, Éditions Quæ, 132 p.

© Éditions Quæ, 2023

ISBN papier : 978-2-7592-3732-6

ISBN pdf : 978-2-7592-3733-3

ISBN ePub : 978-2-7592-3734-0

ISSN : 2115-1229

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

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex

www.quae.com

www.quae-open.com

Sommaire

Introduction	5
Objectif et périmètre de l'Expertise scientifique collective	7
La démarche de l'Expertise scientifique collective	8
PARTIE 1. ÉLÉMENTS DE DÉFINITIONS	13
1. Bioagresseur, protection des cultures et régulation naturelle	14
Bioagresseur : des dégâts aux pertes économiques	14
La régulation naturelle dans les stratégies de protection des cultures	19
2. La diversification végétale des espaces agricoles	24
Augmenter la diversité intra-spécifique de la culture : mélanges variétaux, utilisation de variétés hétérogènes (paysannes, traditionnelles)	25
Augmenter la diversité interspécifique du couvert cultivé : associations de cultures, installation de plantes de services dans la parcelle, agroforesterie	27
Augmenter la diversité temporelle de la végétation cultivée : rotations diversifiées	32
La diversité de la végétation semi-naturelle du paysage : haies, prairies permanentes, bosquets, etc.	35
Gérer le niveau de diversité du paysage	40
PARTIE 2. ENSEIGNEMENTS DE L'EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE	43
3. Les effets agroécologiques de la diversification végétale	46
Diversifier la végétation des parcelles et des paysages agricoles est un levier pour protéger les cultures	46
La diversification végétale est favorable à la biodiversité associée et aux services écosystémiques rendus aux agriculteurs et à la société	60
Les systèmes diversifiés présentent des niveaux de rendement souvent supérieurs aux systèmes peu diversifiés	68
4. Déployer la diversification végétale pour protéger les cultures	72
Introduction	72
La diversification végétale a des effets contrastés sur la rentabilité économique de l'exploitation à court terme	76
Pour favoriser la diversification végétale, des verrous sont à lever au sein des filières agricoles et dans les territoires	80
Les politiques publiques sont un déterminant clef du déploiement de la diversification végétale	86

PARTIE 3. PERSPECTIVES ET BESOINS DE RECHERCHES	97
5. Perspectives : diversification végétale et enjeux environnementaux	98
Quelle place peut avoir la diversification végétale dans la transition vers une agriculture sans pesticides ?	98
La diversification végétale des systèmes agricoles face au défi du changement climatique	99
Jusqu'à quel point diversifier ? Quelques préconisations issues de la littérature scientifique	100
6. Besoins de recherche et de travaux complémentaires	103
Améliorer la compréhension des mécanismes de régulation naturelle des bioagresseurs	103
Améliorer la compréhension des organisations socio-économiques	104
S'appuyer sur des dispositifs de recherche sur le long terme et mobiliser des outils numériques...	105
... pour concevoir des politiques publiques favorables à la diversification	106
Conclusion	107
Annexe. Le tournant de la Politique agricole commune ouvrant la voie à la diversification végétale	115
Le verdissement de la réforme de 2014 : un constat d'échec ?	116
Les promesses de la réforme de la PAC post 2020	119
Sélection bibliographique	122
Composition du collectif de travail	129
Crédits iconographiques	132

Introduction

DANS LE CONTEXTE D'APRÈS-GUERRE, l'avènement des engrais et des pesticides de synthèse a conduit les agriculteurs à spécialiser leurs exploitations autour des cultures les plus rentables, en s'affranchissant des contraintes environnementales (présence d'ennemis des cultures, disponibilité des éléments nutritifs dans les sols, variabilité climatique, etc.). Si cette transformation de l'agriculture a permis une hausse des niveaux de production, elle a induit une perte progressive de diversité végétale, tant cultivée (s'accompagnant d'un raccourcissement des rotations et d'une uniformisation des parcelles), que semi-naturelle (suppression des haies au profit de l'agrandissement des parcelles). Les impacts environnementaux et sanitaires de ce modèle dominant, ainsi que son interrelation avec les changements globaux majeurs (changement climatique, érosion de la biodiversité, changements d'utilisation des sols), sont désormais bien établis par la communauté scientifique¹. Face à ces enjeux, la France comme l'Europe voient se développer une demande sociétale forte pour une agriculture permettant de satisfaire les besoins alimentaires de façon plus respectueuse de l'environnement et de la santé humaine, et moins dépendante des intrants de synthèse.

Cette demande pour des modes de production alternatifs aux systèmes dits « conventionnels » trouve un certain écho dans un ensemble de politiques publiques européennes (Pacte vert pour l'Europe, Politique agricole commune) et nationales (plan Écophyto, loi d'Avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt). Ces politiques fixent des objectifs de réduction de l'usage des pesticides, et promeuvent plus globalement une transition vers des modes de production agricole plus diversifiés, remplaçant la biodiversité et les processus écologiques au cœur des facteurs de production. Cependant, malgré la prise en compte croissante des enjeux environnementaux dans les politiques publiques (encadré 1), force est de constater que la transition vers des systèmes de culture plus économes en pesticides est loin d'être suffisamment avancée pour atteindre les cibles fixées (Guyomard *et al.*, 2020). De plus, si la diversification végétale est considérée dans les arènes politique et scientifique comme un levier majeur de cette transition, on manque encore de recul critique et de vision d'ensemble quant à son efficacité « au champ », notamment pour protéger les cultures. Enfin, la diversification végétale recouvre une très large gamme de situations et de pratiques ; si certaines sont déjà bien connues et déployées par une partie des agriculteurs (par exemple l'utilisation de mélanges variétaux), d'autres sont plus confidentielles (par exemple l'agroforesterie en milieu tempéré) et bon nombre d'entre elles sont perçues par certains acteurs – à tort ou à raison – comme peu efficaces ou trop contraignantes.

1. Par exemple, les Expertises scientifiques collectives INRAE-Ifrermer sur les impacts écotoxicologiques des pesticides (Leenhardt *et al.*, 2022) et Inra sur les synergies entre agriculture et biodiversité (Le Roux *et al.*, 2008), ainsi que les travaux de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES).

Encadré 1. Politiques publiques européennes et françaises relatives à l'usage des pesticides et à l'évolution des modes de production agricole

À l'échelle européenne, la Directive 2009/128/CE dite « SUD » (*Sustainable Use of Pesticides Directive*), entrée en révision à l'été 2022, impose à chaque État membre d'élaborer un cadre général d'action visant à limiter l'utilisation des pesticides au sein de l'UE, tout en incitant les agriculteurs à recourir « à la lutte intégrée contre les ennemis des cultures et à des méthodes ou techniques de substitution ». Plus récemment, le Pacte vert pour l'Europe (*European Green Deal*) lancé en décembre 2019 fixe des cibles quantitatives à l'horizon 2030 par le biais de ses déclinaisons stratégiques pour l'agriculture (stratégie « de la ferme à la fourchette ») et la biodiversité (stratégie européenne pour la biodiversité) : ces cibles incluent la réduction de 50 % de l'usage des pesticides*, l'augmentation jusqu'à 25 % de la part des surfaces agricoles cultivées en agriculture biologique, et jusqu'à 10 % de celle occupée par des éléments à « haute diversité biologique » (bandes tampons, terres en jachère, haies, arbres non productifs, etc.), servant notamment de refuge aux ennemis naturels des bioagresseurs des cultures. La principale politique européenne qui doit être mobilisée à cette fin est la Politique agricole commune (PAC), au travers de ses trois instruments environnementaux (la conditionnalité, les écorégimes et les mesures agro-environnementales et climatiques). Si la PAC ne se donne pas d'objectif explicite en termes de réduction des pesticides, la re-diversification des systèmes agricoles apparaît clairement comme un enjeu depuis sa réforme de 2014 (l'une des trois mesures du verdissement), et se trouve renforcée dans la future programmation.

En France, les objectifs de réduction de l'usage des pesticides sont portés par le Plan Écophyto, né du Grenelle de l'Environnement organisé en 2007, et qui constitue la déclinaison française de la Directive SUD. Son objectif initial, à savoir la réduction de moitié des usages de pesticides entre 2008 et 2018 (« Écophyto 2018 »), n'ayant pas été atteint, les pouvoirs publics ont révisé ce Plan (« Écophyto 2 » puis « 2+ ») et reporté son échéance à 2025. En complément, la loi d'Avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt (LAAF, adoptée en 2014, incarne le Projet Agroécologique pour la France (lancé en 2012). Outre l'introduction dans la loi de la notion de systèmes de production « agroécologiques » (sans en préciser, toutefois, les caractéristiques), elle fixe comme objectif que 50 % des exploitations agricoles françaises soient engagées dans des pratiques agroécologiques en 2025. Parallèlement aux politiques agricoles, la Stratégie nationale pour la biodiversité (qui traduit l'engagement de la France au titre de la Convention sur la diversité biologique) prévoit dans sa programmation 2022-2030 de favoriser la transition agroécologique des modes de production agricole et systèmes alimentaires, et de faciliter la mise en place d'infrastructures agroécologiques (dans une logique d'intégration des trames écologiques dans l'aménagement du territoire).

* Objectif que la Commission propose d'inclure dans le futur règlement européen sur l'utilisation durable des pesticides, le rendant ainsi juridiquement contraignant au niveau de l'UE.

Enfin, des politiques ciblant d'autres enjeux peuvent avoir un impact sur la diversification des cultures et des paysages. Citons, par exemple, la Directive 91/676/CEE « Nitrates » – imposant l'implantation de bandes enherbées le long des cours d'eau –, les Directives 92/43/CEE « Habitats » et 2009/147/CE « Oiseaux » – visant le maintien de la diversité biologique des milieux, notamment de la fraction (semi-) naturelle des paysages – ou encore la Stratégie nationale sur les protéines végétales – favorisant l'introduction de légumineuses dans les rotations.

Objectif et périmètre de l'Expertise scientifique collective

C'EST DANS CE CONTEXTE QUE LES MINISTÈRES en charge de l'Agriculture, de l'Environnement et de la Recherche ont sollicité INRAE fin 2019 pour réaliser parallèlement deux expertises scientifiques collectives (ESCo), une sur l'impact des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques (dont les résultats ont été rendus en mai 2022 - Leenhardt *et al.*, 2022), et une sur l'utilisation de la diversité des couverts végétaux pour réguler les bioagresseurs et protéger les cultures. Cette dernière, objet du présent ouvrage, répond au besoin d'évaluer l'efficacité de stratégies de protection des cultures fondées sur la diversification végétale des parcelles et des paysages agricoles à la lumière des résultats scientifiques publiés. Il s'agit également d'analyser les freins et les leviers du déploiement de telles stratégies en croisant des regards disciplinaires issus des sciences biologiques et des sciences économiques et sociales. Enfin, il est nécessaire d'apporter un éclairage sur le rôle de la diversité végétale dans la fourniture d'autres services écosystémiques, en synergie avec la régulation naturelle des bioagresseurs. Cette demande s'inscrit dans le cadre du plan Écophyto II+².

La recherche académique s'est investie de façon croissante dans l'analyse de modes de production économes en intrants depuis le milieu des années 2000. S'appuyant notamment sur le cadre conceptuel des services écosystémiques popularisé par le *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), un ensemble de travaux démontre la force des interactions entre pratiques agricoles, biodiversité et services rendus par cette dernière aux sociétés humaines (voir, par exemple, Le Roux *et al.*, 2008). L'étude « EFESE-écosystèmes agricoles » conduite par l'Inra a plus particulièrement mis en évidence le rôle clef de la nature et de l'organisation spatiale de la végétation dans la fourniture de tous les services qui sous-tendent la production agricole, parmi lesquels figure la régulation naturelle des bioagresseurs des cultures (Tibi et Therond, 2017). Plus récemment, l'analyse des intérêts de la diversification végétale des parcelles et des paysages agricoles fait l'objet d'un nombre croissant de travaux (tels que les projets européens rassemblés

2. La réalisation de l'ESCo a été soutenue financièrement par le plan Écophyto II+ (via l'Office Français de la Biodiversité qui assure le pilotage du financement du plan), dans le cadre de son Axe 2 sur la recherche et l'innovation.

sous l'égide du *Crop Diversification Cluster*). En parallèle, un certain nombre de travaux adoptent comme point d'entrée l'exploration des voies de sortie des pesticides. L'étude « Écophyto R&D » conduite par l'Inra (Butault *et al.*, 2010) a ainsi montré qu'une réduction de moitié de leur usage ne peut être atteinte sans une re-conception profonde et durable des systèmes de production. L'objectif de l'ESCO était de reprendre ces travaux et de les actualiser en examinant plus particulièrement la littérature située au carrefour entre diversification végétale des systèmes agricoles et protection des cultures.

La synthèse bibliographique réalisée dans le cadre de l'ESCO s'inscrit dans un paysage scientifique qui poursuit son expansion. Une alliance européenne pour la recherche « *Towards a Chemical Pesticide Free Agriculture* » a été mise en place en 2020 sous l'impulsion d'INRAE, regroupant aujourd'hui 34 organismes de recherche issus de 20 pays européens pour favoriser l'émergence de travaux et d'innovations transdisciplinaires. En France, le Programme Prioritaire de Recherche (PPR) « Cultiver et Protéger autrement », invitant la recherche à concevoir des systèmes de culture sans pesticides de synthèse, a été lancé en 2018. En tant que pilote de ce PPR, INRAE a d'ailleurs conduit en parallèle de cette ESCo un exercice de prospective proposant des scénarios de transition de l'Union européenne vers des formes d'agriculture sans pesticides chimiques à l'horizon 2050.

Le champ de l'ESCO couvre toutes les échelles spatiales et temporelles à laquelle il est possible de déployer et/ou gérer la diversité végétale. Ainsi, à l'échelle de la parcelle, il s'agit de considérer le choix et le mode d'implantation des espèces et des variétés par l'agriculteur (mélanges variétaux ou d'espèces, bandes enherbées, plantes de service, etc.), ainsi que la dynamique temporelle de ces couverts végétaux (rotations). À l'échelle supra-parcellaire (exploitation, paysage), les effets de la composition et de la configuration de l'ensemble de la végétation sont considérés, qu'il s'agisse de la portion cultivée (assolement, taille et forme des parcelles) ou semi-naturelle (nature et connectivité des infrastructures agroécologiques situées en pourtour des parcelles – telles que les haies ou les lisières – ou formant des îlots dans le paysage – bois, prairies permanentes, etc.).

Le périmètre de l'ESCO inclut tous les types de productions végétales présentes en France, qu'il s'agisse des grandes cultures (quelle que soit leur destination : alimentation humaine ou animale, usage industriel), des cultures pérennes (arboriculture, vigne) ou du maraîchage. Si la demande adressée à INRAE concerne en premier lieu une meilleure compréhension du potentiel qu'offre la diversification végétale pour la protection des systèmes de culture déployés en France métropolitaine, les systèmes ultramarins présentent des spécificités (notamment biogéographiques, agronomiques, socio-économiques) justifiant une analyse spécifique dans l'ESCO, présentée dans l'encadré 2.3.

La démarche de l'Expertise scientifique collective

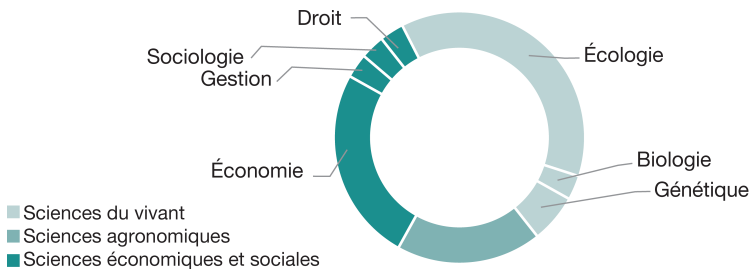
L'ACTIVITÉ D'EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE (ESCO) est développée depuis 2002 à INRAE (anciennement Inra). Elle se définit comme une activité d'analyse et d'assemblage de connaissances produites dans des champs très divers du savoir, et pertinentes

pour éclairer l'action publique. Elle vise à mettre en évidence les acquis scientifiques, les points d'incertitudes, les lacunes et les questions faisant l'objet de controverses scientifiques. L'activité institutionnelle d'ESCO fait l'objet d'une charte nationale signée en 2011. L'ESCO ne fournit pas d'avis, ni de recommandations. Elle ne donne pas non plus de réponses pratiques aux questions qui se posent aux gestionnaires. Elle réalise un état des connaissances scientifiques le plus complet possible à travers une approche pluridisciplinaire associant sciences du vivant et sciences économiques et sociales. Elle identifie également les problématiques peu renseignées et pour lesquelles les besoins de recherche semblent prioritaires.

La coordination des opérations d'ESCO est assurée par la Direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE) d'INRAE, dans le respect d'une charte de l'Expertise Scientifique Institutionnelle. Les principes établis par la DEPE pour garantir la robustesse des conclusions du travail sont décrits dans un guide public³. Ils reposent notamment sur la compétence et la pluralité des experts (sélectionnés sur la base de leurs publications scientifiques et provenant de divers instituts de recherche publics), l'impartialité du comité d'experts (qui repose sur l'examen des déclarations d'intérêt des experts par le comité de déontologie d'INRAE), la transparence concernant la méthodologie suivie et la traçabilité des actions et moyens mis en œuvre au cours de l'opération.

Un comité d'une trentaine d'experts et de contributeurs scientifiques aux compétences disciplinaires complémentaires (figure I.1) a été mobilisé par INRAE pour réaliser la présente ESCo. La liste des membres de ce comité d'experts figure à la fin du présent document. Appuyé par deux professionnels de l'information scientifique et technique, les experts ont rassemblé les connaissances scientifiques publiées à ce jour sur les différentes questions adressées à INRAE et en ont extrait les éléments pertinents pour éclairer la décision publique. Deux chargés de mission ont également été recrutés durant l'ESCO pour réaliser des analyses complémentaires à celles produites par les experts.

Figure I.1. Compétences disciplinaires présentes au sein du comité d'experts



3. <https://www.inrae.fr/actualites/quels-principes-inrae-conduit-il-expertise-ou-etude-scientifique-collective>

Deux professionnels de l'information scientifique et technique ont appuyé le comité d'experts et les chargés de mission dans l'identification des références scientifiques et techniques nécessaires (encadré 2), et ont réalisé une analyse bibliométrique du corpus final qui étaye le rapport scientifique.

Le comité d'experts était présidé par deux responsables scientifiques qui ont fixé les orientations scientifiques de l'ESCO, animé la production collective et pluridisciplinaire, et vérifié la robustesse et la cohérence scientifique des conclusions produites par les experts. La coordination générale de l'ESCO, la gestion logistique et financière du projet ainsi que l'organisation du colloque de restitution, ont été assurées par une équipe de la DEPE.

Trois livrables sont issus de l'ESCO. Les analyses produites par les experts sont d'abord rassemblées dans un rapport scientifique d'environ 1 000 pages, dans lequel figure la liste exhaustive des références étayant les conclusions (*cf. infra*). À destination d'un public non scientifique mais averti, la synthèse (restituée dans le présent ouvrage) rassemble les principaux constats établis dans le rapport d'ESCO, et constitue une clef de lecture de ce dernier. À noter que les 94 références citées dans ce document ne constituent qu'une fraction du corpus bibliographique étant l'ESCO (seules les sources des illustrations, exemples et données tirées directement d'une publication sont indiquées), le rapport scientifique reposant sur 2 078 références. Enfin, un résumé de 12 pages présente de façon la plus synthétique les grandes conclusions de l'ESCO, à destination d'un large public.

Un Comité de suivi animé par la DEPE s'est réuni à trois reprises pour assurer l'interface entre le collectif de travail et les ministères et veiller au bon déroulement des travaux. Il est composé de représentants des ministères de l'Agriculture, de l'Environnement et de la Recherche, de la Direction scientifique « agriculture » d'INRAE, de l'Office français de la biodiversité (OFB) et du Comité scientifique d'orientation recherche-innovation (CSO RI) du Plan Écophyto.

Un Comité consultatif d'acteurs animé par la DEPE, a également été réuni au démarrage et en fin d'ESCO pour informer les parties prenantes des orientations et des conclusions de l'exercice, et recueillir les préoccupations, intérêts et questionnements des acteurs au sujet de l'opération. En plus des membres du Comité de suivi, divers acteurs de la société susceptibles d'être concernés par les conclusions de l'exercice et d'en utiliser les résultats étaient conviés : acteurs des filières agricoles et alimentaires⁴, associations environnementales⁵, bureau d'études⁶ et acteurs du territoire⁷.

4. Association de coordination technique agricole (ACTA), réseau des Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural (CIVAM), Fédération nationale des coopératives d'utilisation de matériel agricole (FNCUMA), La Coopérative agricole, Fédération nationale du négoce agricole, Union des industriels de l'agroéquipement (Axema), Association nationale des Industries alimentaires (ANIA).

5. Ligue pour la protection des oiseaux (LPO), Office Pour les Insectes et leur Environnement (OPIE).

6. Solagro (entreprise associative de promotion des pratiques et techniques économes en ressources naturelles – domaines : énergie, agriculture, forêt), Flor'insectes (bureau d'études, conseil en aménagement des couverts végétaux pour favoriser la biodiversité).

7. Agences de l'eau, Office national des forêts (ONF).

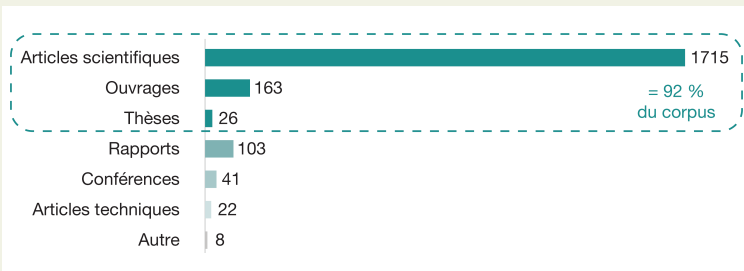
Encadré 2. Le corpus bibliographique de l'ESCO

Le rapport d'expertise est étayé par un corpus bibliographique d'environ 1 900 références, dont une partie (94) est citée dans cette synthèse. En interaction avec les experts, les documentalistes et la coordinatrice ont élaboré des requêtes propres à chaque thématique traitée dans l'ESCO, permettant d'interroger les bases de données bibliographiques (essentiellement le Web of Science, complété par Scopus pour les disciplines en sciences économiques et sociales)⁷.

Les milliers de références issues de ces interrogations ont été triées par les experts afin de ne retenir que celles permettant d'éclairer les questions de la saisine adressée à INRAE. Les experts ont également enrichi ce corpus avec des références non captées par interrogation systématique de ces bases (i), soit parce qu'elles n'y sont pas référencées (par exemple les références académiques issues de journaux non référencés dans ces bases et les documents non académiques utiles à l'ESCO, tels que les textes de loi, certains rapports, etc.), (ii) soit parce qu'il s'agit de références plus génériques, dont l'objet d'étude dépasse les questions précises de la saisine, mais qui permettent d'enrichir l'ESCO en apportant des éléments de cadrage ou de discussion.

Le corpus final ainsi constitué est essentiellement composé d'articles scientifiques (83 % des références), – dont une large majorité publiés dans des revues à comité de lecture (78 % du corpus total) – auxquels s'ajoutent des ouvrages et thèses scientifiques, ainsi que des rapports (tels que des rapports d'expertise scientifique ou des rapports de la Commission européenne), des informations issues de conférences scientifiques, de la littérature technique (principalement des publications présentant des analyses de statistiques agricoles) et d'autres types de références dites « grises », complétant la littérature académique sur les aspects non renseignés par cette dernière.

Figure I.2. Nature des références citées dans le rapport de l'ESCO



* La dernière interrogation de ces bases a été réalisée fin 2021.

PARTIE 1

Éléments de définitions

CETTE PREMIÈRE PARTIE PRÉSENTE les objets et concepts étudiés dans l'ESCO : (i) la notion de bioagresseurs et les impacts de ces derniers sur les cultures, (ii) celle de la régulation naturelle des bioagresseurs, en rupture paradigmatique avec les stratégies de lutte chimique⁸, et enfin (iii), les différentes modalités de diversification de la végétation des espaces agricoles, qui se distinguent les unes des autres selon le type de végétation concernée (cultivée ou semi-naturelle), la dimension temporelle de la diversification (à l'échelle de la saison culturale ou pluriannuelle) et l'échelle spatiale de son déploiement (parcelle, exploitation agricole, paysage).

8. Employé ici pour désigner le recours à des pesticides.

1. Bioagresseur, protection des cultures et régulation naturelle

Bioagresseur : des dégâts aux pertes économiques

LES BIOAGRESSEURS SONT LES ORGANISMES VIVANTS dont les actions sur les plantes cultivées entraînent des dégâts physiologiques ou mécaniques. Ces dégâts peuvent se caractériser par une altération de la croissance et/ou de la vigueur de la plante, de sa morphologie ou de celle de ses organes (lésions, modification de couleur, déformations, nécroses, gales, etc.), ou encore de leur composition chimique (teneur en nutriments, présence de toxines, etc.). Les dégâts peuvent entraîner des pertes quantitatives ou qualitatives de récolte⁹, désignés dommages, et, en bout de chaîne, de pertes économiques.

Différentes catégories d'organismes sont susceptibles de causer des dégâts sur les plantes cultivées : arthropodes phytophages (insectes, acariens, etc.), plantes adventices (repousses de cultures et plantes spontanées) ou parasites, micro-organismes pathogènes (champignons, bactéries, virus, phytoplasmes, etc.) à l'origine des maladies des plantes, gastéropodes, nématodes, oiseaux, mammifères (rongeurs, taupes, etc.). Certains agents pathogènes sont transmis aux plantes *via* des organismes vecteurs (insectes, le plus souvent, mais aussi acariens, nématodes, mammifères, etc.). Bien qu'il ne cause pas toujours des dégâts sur les plantes, c'est généralement le vecteur qui est ciblé par les méthodes de protection des cultures, et que l'on assimile ainsi à un bioagresseur. Du fait des enjeux qui ont motivé cette ESCo, l'analyse porte essentiellement sur les catégories de bioagresseurs faisant l'objet d'une lutte chimique : plantes adventices et parasites, microorganismes pathogènes, et invertébrés de la micro-méso-macrofaune (arthropodes, nématodes, mollusques). Le tableau 1.1 récapitule les types de dégâts provoqués par ces divers bioagresseurs.

Les plantes adventices sont considérées à double titre dans l'ESCO. On les qualifie de bioagresseur lorsqu'elles sont à l'origine de pertes de rendement (du fait de la compétition qu'elles exercent sur les cultures) et/ou d'une dégradation de la qualité des produits de récolte (présence de graines indésirables au sein de la récolte). Les adventices font toutefois partie de la composante végétale des espaces agricoles, et contribuent à ce titre à la diversité végétale dont cette ESCo analyse le potentiel régulateur vis-à-vis des bioagresseurs.

9. À noter que les pertes peuvent se produire après la récolte, durant le stockage, même si l'attaque du bioagresseur a eu lieu au champ (par exemple, le développement du mildiou sur les pommes de terre, ou de certaines maladies des fruits).

Tableau 1.1. Nature des dégâts et des dommages potentiels provoqués par les différents types de bioagresseurs des cultures

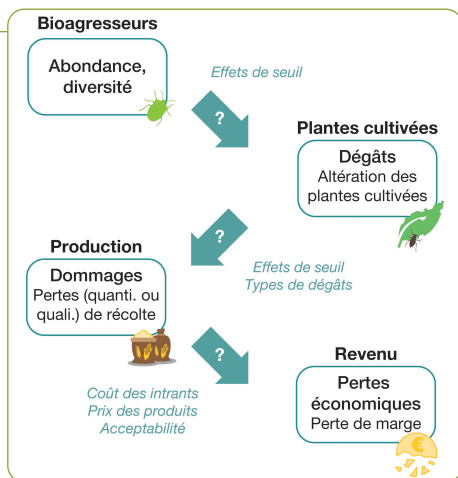
Type de bioagresseurs	Dégâts (symptômes observables)	Dommages potentiels (pertes de récolte)
Agents pathogènes et organismes ravageurs	<p>Altérations métaboliques ou mécaniques induisant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - une entrave à l'enracinement de la plante, à sa germination et au premier stade de la croissance ; - une interruption partielle ou totale de l'absorption et/ou de la translocation de l'eau et des nutriments (des racines ou des feuilles vers les organes de stockages, les fruits ou les graines) ; - un endommagement des parties vitales de la plante : organes de stockage, surfaces photosynthétiques, organes reproducteurs, structures de soutien. <p>→ Altération de la croissance/vigueur de la plante cultivée, de la morphologie (lésions, modification de couleur, déformation, nécroses, galles, etc.), de la composition chimique (teneurs en protéines, en sucres, présence de toxines, etc.) ou des organes.</p>	<p>Défaut de croissance de la plante cultivée et/ou détérioration des organes, les rendant plus difficiles à récolter.</p> <p>→ Perte de rendement.</p> <hr/> <p>Déclassement des produits de récolte du fait de critères organoleptiques ou sanitaires non respectés.</p> <p>→ Perte qualitative.</p>
Plantes adventices ¹	<p>Compétition avec les plantes cultivées pour les ressources (rayonnement, eau, nutriments).</p> <p>→ Altération de la croissance de la plante cultivée.</p>	<p>Défaut de croissance de la plante cultivée.</p> <p>→ Perte de rendement.</p> <hr/> <p>Contamination de la récolte liée à la présence de graines d'adventices récoltées en même temps que la plante cultivée.</p> <p>→ Perte qualitative.</p>
Plantes parasites ²	<p>Détournement partiel ou total de l'eau et/ou des nutriments absorbés par la plante cultivée.</p> <p>→ Altération de la croissance/vigueur de la plante cultivée.</p>	<p>Défaut de croissance de la plante cultivée.</p> <p>→ Perte de rendement.</p>

¹ Repousses de cultures et plantes spontanées.

² Plante qui vit et se développe au détriment d'une plante hôte (par exemple Orobanche du tournesol).

Établir l'ensemble de la chaîne de causalité entre présence (abondance) de bioagresseurs, occurrence des dégâts, niveau de dommages et niveau des pertes économiques associées n'est pas chose aisée (figure 1.1). La relation entre abondance des bioagresseurs et occurrence des dégâts n'est pas proportionnelle, notamment car il existe des effets de seuil pour certains bioagresseurs. De plus, le lien entre dégâts et dommages n'est généralement pas univoque. D'une part, tout dégât n'entraîne pas nécessairement des dommages (par exemple lorsque les dégâts ne concernent pas un organe récolté). D'autre part, le rendement et la qualité des récoltes sont des variables composites qui résultent d'un ensemble de facteurs en interaction, parmi lesquels la satisfaction des besoins nutritifs et hydriques de la culture, rendant difficile l'identification et la quantification des seules pertes dues aux bioagresseurs.

Figure 1.1. Conséquences en cascade de l'action des bioagresseurs sur les cultures



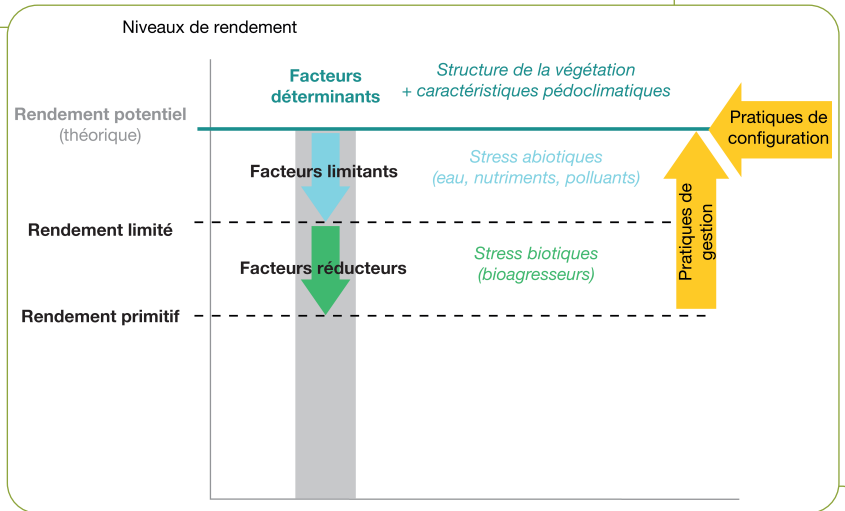
Les estimations de dommages causés par les bioagresseurs sont éparpillées et ne concernent que les pertes quantitatives. Elles proviennent essentiellement des instituts techniques, qui réalisent des mesures de rendement dans le cadre d'essais contrôlés visant à évaluer l'efficacité de pesticides vis-à-vis de certains types de bioagresseurs, ainsi que de quelques articles scientifiques, proposant des estimations le plus souvent obtenues par modélisation. Ces pertes sont estimées par rapport au rendement potentiel (ou atteignable), niveau maximal de rendement qui peut théoriquement être atteint lorsque les plantes ne subissent aucun stress biotique¹⁰ ni abiotique¹¹ (figure 1.2).

10. Ensemble des interactions entre organismes vivants : prédation, coopération, compétition, parasitisme, etc.

11. Facteurs physico-chimiques de l'écosystème : caractéristiques du sol, facteurs climatiques, chimiques, topographiques.

Deux types d'estimations de pertes de rendement sont disponibles. La perte potentielle correspond à la perte que pourrait subir la culture en l'absence de toute protection contre un bioagresseur. Elle est en général estimée par une comparaison de parcelles traitées/ non traitées chimiquement vis-à-vis d'un (ou d'une catégorie de) bioagresseur(s) donné(e), toutes autres choses égales par ailleurs et, dans les deux cas, conduites dans des conditions optimisées en termes de fertilisation et de traitements contre les autres bioagresseurs. Les pertes potentielles de rendement sont donc par construction surestimées, et doivent être considérées comme des valeurs théoriques maximales, puisqu'elles sont obtenues dans une situation théorique de retrait des pesticides, toutes choses égales par ailleurs (sans mise en place de modes de gestion alternatifs).

Figure 1.2. Les facteurs qui déterminent, limitent et réduisent le rendement des cultures



Les pratiques de configuration définissent la structure de l'écosystème : choix des génotypes végétaux (espèces, variétés), des dates et de la densité de semis, des séquences de culture. Les pratiques de gestion visent à limiter les stress abiotiques (par exemple irrigation, fertilisation) et à réduire les stress biotiques (par exemple traitements pesticides).
Adapté de van Ittersum et Rabbinge (1997)

La perte réelle correspond quant à elle à la perte subie malgré la mise en place d'une stratégie de protection, souvent chimique puisque les estimations disponibles concernent des systèmes conventionnels, bâtis autour de l'usage d'intrants de synthèse. Comparées aux niveaux de pertes potentielles, les estimations de pertes réelles donnent une indication de l'efficacité des méthodes de lutte actuellement employées pour maîtriser les bioagresseurs. Ces estimations sont toutefois entachées d'incertitude, dans la mesure

où le rendement dépend également de l'état nutritif et hydrique de la culture, qui peut ne pas être optimal (contrairement aux essais décrits précédemment).

Le tableau 1.2 récapitule les estimations de pertes potentielles et réelles collectées dans le cadre de l'ESCO.

Enfin, le lien entre dommage et perte économique n'est pas non plus automatique : un dommage n'induit une perte économique qu'à partir du moment où il entraîne une perte de marge pour l'agriculteur. Or, ce niveau de perte dépend d'un ensemble de facteurs socio-économiques tels que les caractéristiques du système de culture, le coût des intrants, les débouchés des produits de récolte, ainsi que de leur prix (qui peut augmenter lorsque les dommages touchent une partie significative de la filière, compensant en partie le manque à gagner sur la quantité). Des facteurs psychologiques et économiques (notamment financiers ou assurantiels) influencent également le niveau de perte acceptable pour l'agriculteur.

Tableau 1.2. Ordres de grandeur des pertes moyennes annuelles associées aux bioagresseurs rapportés dans la littérature

Culture	Réf.	Pertes potentielles de rendement (en l'absence de toute protection contre un bioagresseur)	Pertes réelles de rendement (malgré la mise en place d'une stratégie de protection)
Blé	1	Adventices : 2,6 t/ha/an en moyenne sur 1993-2015	Non renseigné
	2	Maladies fongiques : 1,6 t/ha/an en moyenne sur 2002-2020	Non renseigné
	3	Tous bioagresseurs : 2 à 2,3 t/ha/an par rapport au rendement réel sur 1995-2012 (= 24,3 à 33 % du rendement réel)	Non renseigné
	4	Tous bioagresseurs : 44 % sur 2001-2003 <i>dont adventices</i> : 18 à 29 % selon les régions <i>dont maladies</i> : 12 à 20 % selon les régions	Tous bioagresseurs : 14 % sur 2001-2003 <i>dont adventices</i> : 3 % (soit environ 0,25 à 0,30 t/ha/an)
	5	Non renseigné	Tous bioagresseurs sauf adventices : 0,5 t/ha/an sur 2009-2019 (soit 5 à 10 % selon les départements) <i>dont septoriose</i> : 0,2 t/ha/an
	6	Non renseigné	Tous bioagresseurs sauf adventices : 24,9 % sur 2010-2014 <i>dont</i> : <i>septoriose</i> 5,5 % ; <i>rouille jaune</i> 5,8 % ; <i>jaunisse nanisante</i> 3,2 % ; <i>rouille brune</i> 2,5 % ; <i>oidium</i> 2,2 % ; <i>tan spot</i> 1,9 % ; <i>fusariose</i> 1,8 %
	7	Non renseigné	Maladies fongiques : 0,8 t/ha/an sur 2004-2008 <i>dont septoriose</i> : 0,66 t/ha/an (le reste = <i>rouilles</i> , <i>fusariose</i> , <i>oidium</i>)