

# Vers une agriculture européenne sans pesticides

## Trois scénarios à l'horizon 2050

O. Mora, J.-A. Berne, J.-L. Drouet,  
C. Le Mouël, C. Meunier, coord.

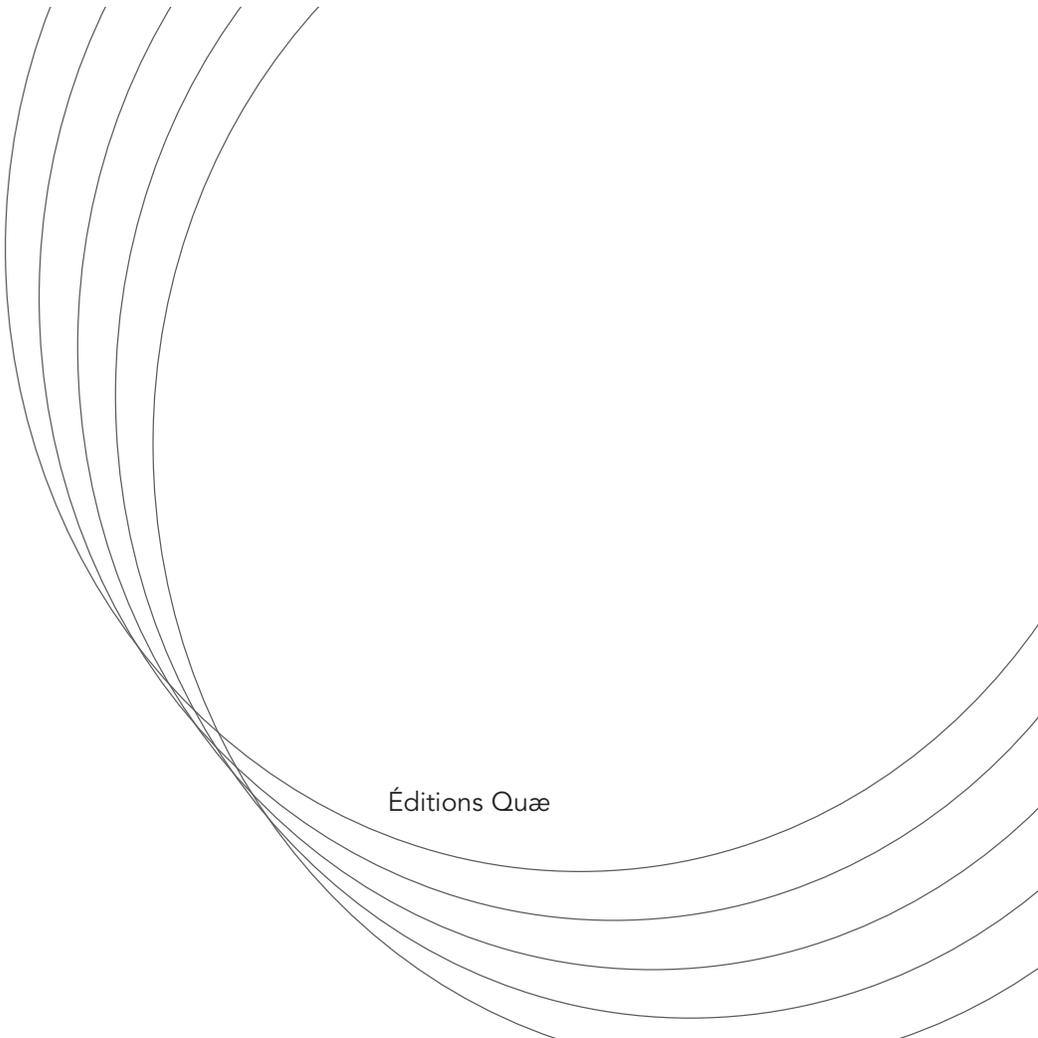




# Vers une agriculture européenne sans pesticides

Trois scénarios à l'horizon 2050

Olivier Mora, Jeanne-Alix Berne, Jean-Louis Drouet,  
Chantal Le Mouël, Claire Meunier, coord.



Éditions Quæ

**Dans la même thématique aux éditions Quæ**

*Pesticides en viticulture. Usages, impacts et transition agroécologique*

Francis Macary, coord., Stéphane Le Foll, préface, coll. « Savoir faire », 2023, 232 p.

*Zéro pesticide. Un nouveau paradigme de recherche pour une agriculture durable*

Florence Jacquet, Marie-Hélène Jeuffroy, Julia Jouan, Edith Le Cadre, Thibaut Malausa, Xavier Reboud, Christian Huyghe, coord., coll. « Synthèses », 2022, 244 p.

*Pesticides. Des impacts aux changements de pratiques*

Edwige Charbonnier, Aïcha Ronceux, Anne-Sophie Carpentier, Hélène Soubelet, Enrique Barriuso, coord., coll. « Savoir faire », 2015, 400 p.

*Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux*

Expertise scientifique collective Inra, coll. « Matière à débattre et à décider », 2011, 136 p.

**Pour citer cet ouvrage**

Mora O., Berne J.-A., Drouet J.-L., Le Mouël C., Meunier C. (coord.), 2025. *Vers une agriculture européenne sans pesticides. Trois scénarios à l'horizon 2050*, Versailles, éditions Quæ, 342 p., DOI : 10.35690/978-2-7592-3779-1

Sauf indications contraires, les figures sont des auteurs.

Toutes les références numériques et liens hypertextes mentionnés dans cet ouvrage ont été vérifiés et étaient actifs à la date du 17 janvier 2025.

Les versions numériques de cet ouvrage sont diffusées sous licence CC-by-NC-ND 4.0.



Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex

[www.quae.com](http://www.quae.com) / [www.quae-open.com](http://www.quae-open.com)

© Éditions Quæ, 2025

ISBN papier : 978-2-7592-3778-4

ISBN PDF : 978-2-7592-3779-1

ISBN epub : 978-2-7592-3780-7

ISSN : 2115-1229

# Sommaire

<b>Préface</b>	5
<b>Prospective : un collectif de travail</b>	13
<b>Remerciements</b>	14
<b>Introduction</b>	15
<b>1. L'enjeu du retrait des pesticides chimiques des systèmes agricoles et alimentaires</b>	21
1. Les impacts négatifs des pesticides chimiques sur l'environnement et la santé humaine	21
2. Les bioagresseurs et la protection des cultures	27
3. Les évolutions passées des stratégies de protection des cultures	32
<b>2. Les leviers possibles de protection des cultures pour des systèmes de culture sans pesticides chimiques</b>	44
1. Six modes d'action pour une protection des cultures sans pesticides chimiques	44
2. Les signaux faibles pour la protection des cultures et les effets potentiels du changement climatique à long terme	75
3. Trois hypothèses de rupture pour une protection des cultures et des systèmes de culture sans pesticides chimiques en 2050	93
<b>3. Les changements nécessaires dans les autres dimensions du système alimentaire en 2050</b>	125
1. Quelles structures des exploitations agricoles en Europe pour mettre en œuvre des systèmes sans pesticides chimiques en 2050 ?	125
2. Les agroéquipements et les technologies numériques pour des systèmes agricoles sans pesticides chimiques en 2050	143
3. Des chaînes de valeur pour une agriculture sans pesticides chimiques en 2050	148
<b>4. Les scénarios et les trajectoires de transition pour une agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050</b>	161
1. Scénarios et trajectoires de transition	161

2. Les enjeux des trajectoires de transition vers un système alimentaire sans pesticides chimiques : politiques publiques, systèmes de connaissance et d'innovation agricoles et changements de régimes alimentaires	181
<b>5. Les impacts des scénarios d'agriculture sans pesticides chimiques en Europe et dans le monde</b>	<b>202</b>
1. La traduction des scénarios en valeurs quantitatives pour les variables et paramètres d'entrée du modèle	202
2. Les résultats de simulation	222
3. Les principaux enseignements	235
<b>6. Des trajectoires de transition dans quatre régions européennes</b>	<b>241</b>
1. Vue d'ensemble des régions et des filières étudiées	242
2. Une filière blé dur sans pesticides chimiques en 2050 en Toscane (Italie)	243
3. La filière maraîchère sans pesticides chimiques dans le sud sud-est de la Roumanie en 2050	249
4. La filière céréales et oléagineux dans le sud de la Finlande en 2050	255
5. La filière viti-vinicole dans le Bergerac Duras en 2050	261
<b>7. Les enseignements des scénarios</b>	<b>268</b>
1. Forces et faiblesses des trois scénarios d'agriculture européenne sans pesticides chimiques	268
2. Une analyse transversale des systèmes de culture dans les trois scénarios	272
3. Les enseignements des simulations des impacts des scénarios sur la production agricole et le commerce, les changements d'usage des terres et les émissions de gaz à effet de serre en Europe	280
4. Pour une stratégie robuste de transition vers une agriculture sans pesticides chimiques à l'horizon 2050	282
5. Les dix messages clés de l'étude prospective	284
<b>Annexe 1. La méthode de la prospective « Agriculture européenne sans pesticides en 2050 »</b>	<b>286</b>
<b>Annexe 2. Le modèle GlobAgri-AE2050</b>	<b>294</b>
<b>Annexe 3. Listes des experts contributeurs</b>	<b>300</b>
<b>Liste des auteurs</b>	<b>304</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>306</b>

# Préface

Au moment de la rédaction de cette préface, le monde agricole français et européen connaît un nouveau temps de tensions sociales, manifestant son inquiétude face aux changements à affronter. Et parmi les motifs clairement exprimés, la question des pesticides revient toujours et de façon lancinante. La publication du fruit d'une réflexion prospective orientée vers une agriculture sans pesticides peut donc apparaître comme profondément décalée vis-à-vis des attentes du monde agricole.

Et pourtant, il n'en est rien, bien au contraire. La prospective qui a été conduite de façon remarquable et avec des résultats très remarquables lors de sa publication au printemps 2023 est absolument indispensable pour préparer la protection des cultures de demain, tout en fournissant des éléments pour la conduite aujourd'hui.

Le thème de cette prospective est donc d'une acuité extrême et d'une pertinence totale, car il s'agit bien de préciser les conditions de la protection des cultures au milieu de ce siècle, protection des cultures qui doit assurer une performance productive pour fournir une alimentation saine et accessible à tous ; et environnementale, pour préserver, et même restaurer la biodiversité et tous les services qu'elle apporte à l'agriculture. Il faut de plus que la trajectoire de transition vers ces futurs possibles soit viable.

## **Une protection des cultures indispensable pour assurer une production de qualité et accessible à tous**

En l'absence de protection des cultures, les pertes de rendement et de qualité peuvent être fortes, variables entre lieux et entre années, et imprévisibles. La protection des cultures contre les adventices, les champignons et les insectes est donc absolument indispensable. Elle repose aujourd'hui, et ceci depuis quelques décennies seulement, sur un usage massif de produits phytopharmaceutiques, même si le suivi longitudinal de l'usage des produits de protection des cultures sur les quinze dernières années montre des transitions marquées, avec une disparition des produits cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques les plus dangereux (CMR<sub>1</sub>) et une réduction de 57 % des CMR<sub>2</sub><sup>1</sup>, une trajectoire de réduction des autres produits de synthèse, et une augmentation continue de l'utilisation des produits de biocontrôle de 187 % en 15 ans. Aujourd'hui, on mesure clairement les limites d'une stratégie employant de grandes quantités de produits de synthèse. Ils ont un impact sur la santé humaine, la

1. Le règlement européen CE n° 1272/2008 (*Classification, Labelling and Packaging*) propose deux catégories de dangers (1 et 2) définissant le niveau de preuve de l'effet cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction (CMR) observé.

qualité de l'eau et de l'air et ainsi que sur la biodiversité, et ceci conduit à des dynamiques de retrait potentiellement rapides, pouvant laisser les agriculteurs démunis si ce processus n'a pas été anticipé. Pour les substances actives massivement utilisées et relevant d'un même mode d'action, des phénomènes de résistance apparaissent. C'est le cas pour nombre d'herbicides ainsi que pour des insecticides. Ces substances deviennent alors inefficaces et le maintien de leur utilisation ne fait qu'accélérer la généralisation des populations résistantes, avec des effets collatéraux comme le retour de l'ergot du seigle dans les productions de céréales en 2024, ergot qui se développe sur les graminées adventices résistantes aux herbicides. Enfin, nous observons une quasi-absence de nouvelles options chimiques, faute de découverte de nouveaux modes d'action. Donc, il est impératif de chercher ailleurs, vers des systèmes de production où la pression des bioagresseurs est plus faible, vers de nouveaux modes de protection, vers des variétés résistantes ou encore vers des agroéquipements d'une nouvelle génération. L'exploration des futurs possibles est la fonction première d'une prospective. Dans le cas présent, ceci a été fait à l'échelle européenne, car la problématique posée est commune à l'ensemble des pays européens, qui partagent la même pharmacopée, les mêmes productions agricoles et les mêmes pressions parasitaires. Si on pointe parfois nos différences sous la forme des distorsions réglementaires, c'est oublier l'importance de ce que nous avons en commun. De ce point de vue, la prospective, en faisant le choix d'une visée européenne, s'inscrit une fois encore dans le sens de l'histoire.

## **Pourquoi cette prospective dans le cadre du programme prioritaire de recherche « Cultiver et protéger autrement » ?**

Ce travail de prospective a été conduit dans le cadre du programme prioritaire de recherche (PPR) « Cultiver et protéger autrement », programme national soutenant la recherche académique pour explorer des questions de recherche totalement originales en matière de protection des cultures. Ce programme a été élaboré, et validé par le ministère de la Recherche en 2020, autour d'un scénario totalement disruptif, et non prescriptif, celui de l'absence d'utilisation de produits phytopharmaceutiques de synthèse. Pourquoi un tel scénario disruptif ? Comme cela est expliqué dans l'ouvrage *Zéro pesticide. Un nouveau paradigme de recherche pour une agriculture durable*<sup>2</sup>, le fait de poser un tel paradigme a forcé la recherche académique à explorer des fronts de recherche nouveaux, au travers de dix projets sélectionnés par un jury international et prévus sur une durée de six ans. Ces fronts de science, comme l'écologie chimique ou le microbiote végétal, et leur intégration dans des systèmes sociotechniques révisés, pouvaient apparaître comme totalement inatteignables. Et pourtant, le bilan des avancées à mi-parcours montre bien que cette stratégie

2. Publié en 2022 aux éditions Quæ en langue française ; puis en langue anglaise en 2024 sous le titre *Towards pesticide-free agriculture. Research and innovations in a future crop protection paradigm*, également aux éditions Quæ.

s'avère réellement gagnante, offrant des options d'application à relativement court terme, et permettant aussi à la recherche française d'occuper les premières places européennes et mondiales dans les travaux sur la protection des cultures. Pour autant, ce scénario du zéro pesticide posé à la recherche n'est pas un scénario prescriptif. Il n'est pas dans l'objectif de ce programme de dire aux agriculteurs de se passer de toute molécule chimique demain. Les avancées permettront cependant d'élargir le champ des options, de contribuer à la démarche d'anticipation et d'éviter les impasses engendrées par des retraits, ainsi que d'identifier les conditions dans lesquelles une trajectoire ambitieuse peut être suivie.

Le travail de prospective a cherché à explorer toutes les options futures pour une protection durable des cultures, sans entrer dans le détail de différentes productions, mais en ayant une approche à l'échelle de toute la chaîne de valeur. C'est un choix particulièrement important. En effet, l'évolution des pratiques de protection des cultures et toutes ses incidences ne peuvent pas reposer sur les épaules des seuls agriculteurs. Il est inconcevable que l'on demande aux agriculteurs une évolution des pratiques de protection des cultures et des systèmes agricoles, tout en donnant simultanément une injonction paradoxale, en provenance des marchés, selon laquelle il faudrait produire les mêmes quantités de chaque matière première, et au même prix, voire à des prix toujours plus bas.

En conséquence, l'équipe qui a conduit ce travail de prospective a fait le choix d'une approche large. Ceci a permis d'identifier les conditions nécessaires pour permettre aux différents scénarios de pratiques et systèmes de protection des cultures de voir le jour. Ces conditions relèvent de trois grands champs.

1. Il s'agit d'abord de celui des innovations nécessaires dans les leviers de protection, et donc des connaissances à produire, si elles ne sont pas déjà disponibles. Ainsi, cette prospective donne une véritable feuille de route à la recherche et entre en résonance profonde avec les projets de recherche du PPR, et bien au-delà avec la programmation de la recherche en France et en Europe.
2. Il s'agit ensuite de la mobilisation de la chaîne de valeur et de l'évolution des comportements des acteurs et des consommateurs. La prospective explore ainsi comment les évolutions de consommation et la possible réduction des pertes et gaspillages (qui sont encore malheureusement aujourd'hui au-dessus de 30 % de la biomasse récoltée) offrent des marges de manœuvre pour repenser la protection des cultures.
3. Enfin, ce sont les politiques publiques qui sont mobilisées, comme de grands leviers de transformation, et notamment la cohérence entre les politiques agricoles, les politiques environnementales et les politiques de consommation, ainsi qu'entre les échelles européennes, nationales et régionales.

## **Quelques points remarquables du déroulement de cette prospective et de ses résultats**

Alors que vous allez bientôt découvrir dans les pages qui suivent toute la richesse des enseignements de ce travail conduit sur plus de deux ans, je ne vais pas en faire un résumé. Je préfère livrer ici une analyse de quelques points remarquables.

Il existe tout d'abord une grande diversité des experts mobilisés qui assure une richesse et une complémentarité des regards. En effet, le principal risque d'une prospective est de se faire piéger par les effets de fixation, qui limitent les libertés que l'on se donne pour concevoir. La diversité des disciplines convoquées a été forte, de même que les horizons de métiers des experts. Plus encore, la diversité européenne a été une vraie ressource. Dans le même temps où se mettait en place cette prospective, une alliance européenne de recherche se mettait en place sous le titre « Vers une agriculture sans pesticides ». Elle regroupe aujourd'hui 38 organismes de recherche, académique ou appliquée, issus de 21 pays européens. Cette diversité de regards européens permet de prendre en compte la pluralité des situations géographiques, économiques et culturelles. Au long du projet, elle a constitué une source d'options nouvelles, mais aussi un défi de chaque instant pour les pilotes de ce travail. Que tous ces experts soient ici remerciés pour leur temps, leur contribution intellectuelle, leur créativité et leur adhésion à cet exercice qui n'a rien de simple !

Au fil des pages, vous allez découvrir une prospective qui a une structure originale, très différente de la structure d'une majorité de prospectives. En effet, il n'y a aucun scénario qui fasse l'hypothèse d'un statu quo, traduisant la continuation de la trajectoire existante. Cette hypothèse n'aurait pas de sens, car elle supposerait l'arrêt des processus réglementaires, ce qui est toujours possible, et l'arrêt des processus biologiques d'émergence de résistances et d'arrivée de nouveaux bioagresseurs, ce qui est là tout à fait impossible. L'autre possibilité pour une hypothèse de statu quo aurait été de poursuivre les processus réglementaires de retrait et de laisser faire les processus biologiques de résistance, conduisant à un scénario d'absence totale d'options de protection des cultures. Or, comme il est dit plus haut, la protection des cultures est obligatoire. En cohérence avec cela, l'ensemble des trois scénarios répondent à une même trajectoire qui consiste à passer d'une protection des cultures massivement réalisée par une lutte curative à une protection des cultures préférentiellement basée sur la prévention et la généralisation de la prophylaxie, la lutte curative reposant sur le biocontrôle ou les agroéquipements étant également mobilisée. Ainsi, en mettant la prophylaxie comme principe premier, les trois scénarios présentés posent un principe de changement paradigmatique fort.

Il est donc proposé trois scénarios globaux, qui ont une forte cohérence interne et sont obtenus par la combinaison d'options, dans chacun des compartiments de la chaîne de valeur. Ceci donne des constructions faciles à comprendre, et offre aussi la possibilité de combinaisons supplémentaires. Ainsi, en matière de leviers de protection des cultures, il est possible de combiner, au moins partiellement, les trois options puisqu'elles sont complémentaires, en visant principalement la maîtrise des adventices au travers des options mécaniques et numériques, la mobilisation de l'immunité végétale par le levier génétique, la maîtrise des maladies fongiques par la connaissance et l'utilisation du microbiote ou encore la régulation des insectes grâce aux paysages olfactifs. Les scénarios deviennent alors une source d'inspiration et une ressource de

leviers qu'il est possible de décliner plus précisément pour les différentes filières de production et les différents contextes économiques ou locaux.

Ces différents scénarios ont fait l'objet d'un chiffrage dans les dimensions productives et environnementales. Ceci a permis de quantifier les incidences de ces scénarios dans le champ des émissions de gaz à effet de serre, en les comparant à la situation actuelle. De même, une estimation des incidences sur les échanges de biomasse agricole et alimentaire a été réalisée et permet de démontrer que des scénarios cohérents correspondant à des évolutions profondes des modes de production et de consommation ne dégradent pas la souveraineté alimentaire et peuvent même conduire à l'améliorer. Ce n'était pas une contrainte imposée lors des étapes de conception, mais c'est tout de même une bonne nouvelle d'y parvenir !

Le travail de prospective est allé plus loin dans une démarche originale de mise en situation, en illustrant les différents scénarios dans quatre territoires européens : un territoire viticole en France, la production de blé dur en Toscane (Italie), la production légumière en Roumanie et de blé tendre en Finlande. Ce travail décliné au travers d'ateliers avec les acteurs de terrain s'est avéré très fertile. Il illustre deux dimensions majeures, et essentielles. D'une part, les mises en situation montrent sans ambages qu'il faut une mobilisation simultanée des différentes dimensions techniques, organisationnelles et de politiques publiques. Elles mettent aussi en évidence l'importance d'imaginer une trajectoire longue dans le temps. Ceci alimente la réflexion selon laquelle une visée à long terme d'une réduction forte de l'usage des pesticides peut apporter, tout au long de la trajectoire de transition, des outils, pratiques et méthodes permettant aux agriculteurs et aux autres acteurs de la chaîne de valeur de mobiliser de nouveaux modes de protection des cultures, sans jamais mettre en péril la viabilité économique.

L'ensemble de ce travail s'est déroulé en étroite collaboration avec les différents projets du PPR et avec les animations déployées par ses pilotes scientifiques, dans des colloques annuels pour le monde de la recherche ainsi que dans des rencontres chercheurs-professionnels à travers la France. Il s'est aussi articulé avec l'expertise scientifique collective « Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles » (RegulNat) sur la contribution des régulations naturelles à la protection des cultures. Ceci a conduit à des échanges continus et fertiles. Ainsi, le scénario 3 a pu se confronter et s'enrichir des travaux conduits dans le cadre du projet Phero-Sensor sur l'écologie chimique et des conclusions de RegulNat montrant l'intensité croissante des régulations naturelles avec l'augmentation de la diversité à l'échelle des couverts, des parcelles et de leur environnement proche, ainsi que des paysages. De même, le scénario 2 s'est nourri des avancées rapides sur la connaissance des microbiotes végétaux (Deep impact, Vitae et Sucseed<sup>3</sup>) et leurs possibles fonctions de régulation. Enfin, le scénario 1 a bénéficié des progrès en matière de

---

3. Pour plus d'informations sur les projets, voir : <https://www.cultiver-protéger-autrement.fr/les-projets>

génétique de l'immunité, mais aussi des avancées en matière de robotique et de numérique venant d'une part du programme et équipement prioritaire de recherche « Agroécologie et numérique » et d'autre part du Grand défi Robotique agricole. En cela, ce travail de prospective a illustré la contribution possible d'une prospective dans les grands programmes de recherche qui structurent aujourd'hui le paysage de la recherche académique française.

## Un encouragement à poursuivre

La mobilisation forte en France et en Europe sur ce projet et les résultats passionnants qui ont été produits et dont cet ouvrage est la traduction sont un encouragement à la poursuite et à l'approfondissement des réflexions. Les axes d'enrichissement ne manquent pas. Je n'en citerai que trois.

La première voie d'enrichissement pourrait être celle du chiffre économique. Elle est complexe à parcourir, car tributaire des marchés et donc des hypothèses relatives aux échanges et aux évolutions de production ailleurs dans le monde. Mais cette quantification économique devrait ou pourrait prendre en compte les coûts cachés engendrés par les pratiques agricoles et en particulier les intrants. Dans un rapport publié en 2023<sup>4</sup>, l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des Nations Unis (FAO) estime que les coûts cachés engendrés par l'agriculture, en particulier en matière de santé et d'environnement, représenteraient 2,4 fois le chiffre d'affaires de la production primaire. Il serait intéressant, bien sûr en acceptant des approximations fortes, de voir dans quelle mesure les scénarios proposés modifient ou non en profondeur ce ratio.

La seconde voie d'enrichissement serait la déclinaison de ces scénarios pour quelques filières en France. Cette déclinaison a été illustrée au travers de quatre études de cas dans des territoires et a permis de valider à la fois la pertinence de la démarche suivie et la cohérence interne des scénarios. Il serait donc possible de traduire ces scénarios pour une orientation productive donnée, en entrant davantage dans le détail des méthodes de protection des cultures disponibles et dans les indispensables évolutions du système sociotechnique pour que ces nouvelles protections des cultures puissent être développées.

Enfin, la grande inconnue à horizon 2050 est l'étendue des effets du changement climatique. Le travail de prospective qui est présenté dans cet ouvrage avait comme point focal la protection durable des cultures. Le choix a donc été fait de ne pas chercher à entrer dans le détail des effets du changement climatique, ce qui était légitime et pertinent pour parvenir à des scénarios contrastés et un résultat solide que les acteurs professionnels, les organismes de recherche et les décideurs publics puissent mobiliser.

---

4. FAO, 2023. *La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2023. Pour une transformation des systèmes agroalimentaires : connaître le coût véritable des aliments*, Rome, FAO, 166 p., DOI :10.4060/cc7724fr

Cette base étant posée, les effets du changement climatique peuvent être évalués en analysant comment la trajectoire climatique moyenne et les fortes variations interannuelles attendues vont ou non mettre en délicatesse les leviers évoqués dans chaque scénario. Il y a une seconde inconnue qui est celle liée aux organismes invasifs nouveaux qui pourront s'installer du fait de conditions climatiques qui leur seraient devenues favorables. Qu'il s'agisse d'adventices inconnues, de nouveaux pathogènes fongiques ou d'insectes jusqu'alors absents, comment les leviers mobilisés dans les trois scénarios, depuis les systèmes de culture, les technologies et agroéquipements ainsi que les structures d'exploitation jusqu'aux chaînes de valeur alimentaire, pourront être actionnés pour répondre très rapidement sans laisser les producteurs face à des situations non anticipées d'absence de protection des cultures ? S'il n'est pas possible d'y répondre dès à présent, le travail de prospective a accumulé un ensemble de ressources qui devraient permettre de traiter cette question.

Pour conclure cette préface, je tenais à remercier tous ceux qui se sont mobilisés pour rendre possible cette prospective, pour la conduire et pour l'alimenter. Que soient ici remerciés l'équipe de la Direction de l'expertise scientifique collective, de la prospective et des études d'INRAE, les pilotes scientifiques du programme prioritaire de recherche « Cultiver et protéger autrement » et les coordinateurs des dix projets ainsi que les très nombreux experts nationaux et européens ! Ce travail n'aurait pu voir le jour sans votre investissement et sans ce « lâcher prise » indispensable à toute activité de création et de prospective.

Je vous souhaite à tous un très bon moment de lecture.

*Christian HUYGHE*  
*Directeur scientifique Agriculture, INRAE*



# Prospective : un collectif de travail

Les auteurs de cet ouvrage sont également les membres de l'équipe projet de la prospective : Olivier Mora (coordinateur de la prospective, INRAE DEPE), Jeanne-Alix Berne (INRAE DEPE), Jean-Louis Drouet (INRAE Ecosys/DEPE), Chantal Le Mouël (INRAE SMART/DEPE), Claire Meunier (INRAE DEPE), Agneta Forslund (INRAE Smart), Victor Kieffer (INRAE Smart) et Lise Paresys (INRAE DEPE).

Le comité d'experts européen de la prospective était composé de : Sari Autio (Tukes, Finlande), Paolo Barberi (école supérieure Sant'Anna de Pise, Italie), Pascal Bergeret (Ciheam, France), Oana Bujor-Nenita (UASVMB, Roumanie), Stefano Carlesi (école supérieure Sant'Anna de Pise, Italie), Henriette Christensen (PAN Europe, Belgique), Roxana Ciceoi (UASVMB, Roumanie), Jean-Philippe Deguine (Cirad, France), Jérôme Enjalbert (INRAE, France), Gina Fintineru (UASVMB, Roumanie), Laurent Huber (INRAE, France), Philippe Jeanneret (Agroscope, Suisse), Steffen Kolb (Zalf, Allemagne), Claire Lamine (INRAE, France), Guillaume Martin (INRAE, France), Antoine Messéan (INRAE, France), Aline Mosnier (Fable consortium, France), Savine Oustrain (Vivescia, France), Emmanuelle Porcher (MNHN, France), Yann Raineau (INRAE, France), Elin Rööf (SLU, Suède).

Les coordinateurs des cas d'étude régionaux étaient : Sari Autio (Tukes, Finlande), Ana Butcaru (UASVMB, Roumanie), Stefano Carlesi (école supérieure Sant'Anna de Pise, Italie), Hubert De Rochambeau (INRAE/VitiREV, France), Gina Fintineru (UASVMB, Roumanie), Marja Jalli (Luke, Finlande), Viorica Lagunovschi (UASVMB, Roumanie), Emilia Laitala (Tukes, Finlande), Cécile LeLabousse (IVBD, France), Giovanni Pecchioni (école supérieure Sant'Anna de Pise, Italie), Yann Raineau (INRAE, France).

# Remerciements

L'équipe projet remercie chaleureusement :

- les membres du comité de suivi de la prospective ;
- les scientifiques et parties prenantes impliqués dans les ateliers dédiés des groupes d'experts thématiques, de la transition, de l'analyse quantitative et des études de cas régionales ainsi que les experts interrogés individuellement lors des analyses rétrospectives des composantes et de l'analyse quantitative, dont la liste complète figure en annexe 3 ;
- les scientifiques engagés dans les projets financés par le programme prioritaire de recherche « Cultiver et protéger autrement » qui ont participé à l'identification des besoins de recherche et dont la liste complète figure en annexe 3 ;
- Marc-Antoine Caillaud, Kim Girard et Sandrine Gobet (INRAE, DEPE) pour la gestion administrative du projet ainsi que pour leur appui à l'organisation des ateliers, des réunions et de la conférence de restitution le 21 mars 2023.

# Introduction

Mora O., Meunier C., Le Mouël C., Drouet J.-L.

Du fait de leurs effets négatifs sur la biodiversité, sur le fonctionnement des écosystèmes, sur les ressources en eau et sur la santé humaine, l'utilisation de pesticides chimiques est un problème majeur pour la durabilité de l'agriculture et des systèmes alimentaires au niveau mondial (Tang *et al.*, 2021). La diminution rapide de la biomasse des insectes et des populations d'oiseaux dans les zones rurales en Europe est notamment associée à l'utilisation massive de pesticides (Rigal *et al.*, 2023 ; Leenhardt *et al.*, 2023 ; Sánchez-Bayo et Wyckhuys, 2019), tandis que des évaluations récentes attestent les liens entre l'exposition aux pesticides et les risques de maladies chez les humains (EEA, 2023 ; HBM4EU, 2022 ; Baldi *et al.*, 2021).

Or les pesticides sont une pierre angulaire des systèmes agricoles. Depuis la Seconde Guerre mondiale, l'utilisation de pesticides chimiques a contribué à une augmentation spectaculaire des rendements, à leur stabilisation dans le temps et à la standardisation de la qualité des produits. Si cette trajectoire de changement a généré des systèmes de culture très productifs, elle a aussi produit des paysages et des systèmes de culture simplifiés qui sont plus sensibles aux ravageurs (Ziesche *et al.*, 2023). En raison de la forte pression de sélection exercée par l'application régulière de pesticides chimiques, on assiste à l'émergence rapide de ravageurs résistants sous l'effet d'un processus évolutif (Ravigné *et al.*, 2021 ; Bakker *et al.*, 2020 ; Aubertot *et al.*, 2005a). En outre, l'utilisation de pesticides réduit les services écosystémiques tels que la pollinisation (Sponsler *et al.*, 2019), la lutte naturelle contre les ravageurs par les insectes (Bonato *et al.*, 2023) et les effets bénéfiques des micro-organismes du sol sur les plantes (Edlinger *et al.*, 2022). Simultanément, en raison de leurs impacts sur la santé et l'environnement, plus de la moitié des substances actives entrant dans la composition des pesticides ont été retirées du marché européen depuis 2000 (Marchand *et al.*, 2022 ; EC, 2018 ; Chauvel *et al.*, 2012). Les agriculteurs sont donc pris dans une « course aux armements » qui pourrait conduire à une impasse à moyen ou long terme : d'une part, ils doivent faire face à l'émergence de ravageurs résistants en utilisant de nouvelles familles de pesticides ; d'autre part, ils sont confrontés à une réduction progressive du nombre de pesticides chimiques disponibles sur le marché (Jacquet et Jouan, 2022a).

Dans le même temps, les impacts des pesticides chimiques sur la santé humaine et l'environnement, notamment la biodiversité, ainsi que sur la qualité de l'eau, de l'air et des sols (Leenhardt *et al.*, 2023), sont devenus une préoccupation majeure pour la société civile, l'opinion publique et les consommateurs. Depuis plusieurs décennies, des politiques nationales et européennes, portant sur la qualité de l'eau et

l'utilisation des pesticides, tentent de réduire l'usage de ces derniers. Toutefois, à ce jour, ces politiques publiques n'ont eu qu'un impact limité sur l'utilisation des pesticides : à l'échelle européenne, le volume de substances actives utilisé est resté stable, à environ 350 000 t/an au cours des vingt dernières années (FAOStat, 2020). Récemment, la stratégie européenne « De la ferme à la table » a fixé un objectif ambitieux de réduction de moitié de l'utilisation et des risques des pesticides chimiques d'ici à 2030 (EC, 2020a). Cet objectif est à l'origine d'un intense débat quant à sa faisabilité, certains considérant qu'il serait dommageable pour la production et la souveraineté alimentaire européennes, d'autres soulignant que l'évaluation de l'impact devrait tenir compte des modifications des pratiques agricoles, des régimes alimentaires et des importations d'aliments pour les animaux. C'est dans ce débat que s'inscrit cet ouvrage.

Est-il possible de défaire ce verrouillage sociotechnique qui s'est construit autour des pesticides (Vanloqueren et Baret, 2009 ; Cowan et Gunby, 1996) et de changer la trajectoire des systèmes agricoles et alimentaires ? Est-il possible, à moyen terme, de se passer de pesticides chimiques en agriculture, tout en assurant une protection des cultures efficace ?

Récemment, plusieurs modèles conceptuels normatifs (Pergner et Lippert, 2023 ; Jacquet *et al.*, 2022 ; Zimmermann *et al.*, 2021) et des systèmes expérimentaux (Colnenne-David *et al.*, 2023 ; Koch *et al.*, 2023 ; Saile *et al.*, 2023) d'agriculture sans pesticides ont été proposés dans la littérature scientifique. Les systèmes de culture sans pesticides sont conçus pour atteindre des objectifs environnementaux et des rendements plus élevés qu'en agriculture biologique (AB) du fait de l'utilisation d'engrais synthétiques (Colnenne-David *et al.*, 2023). Dans la littérature existante, certains systèmes sont basés sur des principes agroécologiques (Ewert *et al.*, 2023 ; Jacquet *et al.*, 2022), d'autres sur l'extensification des systèmes de culture (Möhring et Finger, 2022) ou sur un mélange de pratiques agroécologiques et de technologies d'agriculture de précision (Zimmermann *et al.*, 2021).

L'étude prospective présentée dans cet ouvrage étudie la possibilité d'une protection des cultures efficace et d'une agriculture sans pesticides chimiques en Europe en 2050, ainsi que les modalités d'une transition vers ce type de système, et évalue les impacts européens d'une telle transformation. Quelles pourraient être les formes spécifiques d'une agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050 ? À quelles conditions une telle transition serait-elle possible ? Quels en seraient les impacts à l'échelle européenne sur la production, l'utilisation des terres, la balance commerciale et les émissions de gaz à effet de serre (GES) ?

Deux grands principes ont guidé ce travail. Premièrement, l'idée que les impacts limités des politiques publiques européennes et nationales passées qui se sont focalisées sur la réduction de l'utilisation des pesticides justifie un changement de paradigme dans l'approche de la question (Hossard *et al.*, 2017 ; Buckwell *et al.*, 2020). Il s'agit désormais de basculer d'une approche incrémentale visant à réduire l'usage

des pesticides, qui est le paradigme actuel des politiques publiques en Europe, à une approche disruptive visant à construire des systèmes de culture sans pesticides chimiques. Ce changement de paradigme est un enjeu crucial pour la recherche, afin d'anticiper les systèmes agricoles de demain (Jacquet *et al.*, 2022). Deuxièmement, l'idée que les systèmes de culture sont étroitement imbriqués dans les systèmes alimentaires (et qu'ils en sont dépendants) justifie d'intégrer pleinement les systèmes alimentaires dans la réflexion prospective lorsqu'il s'agit d'envisager la construction d'une agriculture sans pesticides chimiques. En effet, les transformations des systèmes alimentaires orientent pour une large part les évolutions des systèmes agricoles.

Dans cette prospective, l'objectif à atteindre a été fixé dès le départ, il s'agit de parvenir à une agriculture sans pesticides chimiques en Europe en 2050. À ce titre, l'étude des futurs possibles répond à une approche normative, au sens où l'objectif que l'on cherche à atteindre à l'horizon 2050 est fixé à l'avance (à l'inverse d'une prospective exploratoire, où l'on aurait cherché à explorer le champ des futurs possibles de l'agriculture en général). Ainsi, tous les scénarios élaborés sont en rupture par rapport à la plupart des tendances en cours. Pour autant, l'objectif de cette prospective est d'identifier la diversité des scénarios et des trajectoires qui pourraient permettre d'atteindre cet objectif. Cette caractéristique différencie ce travail de prospective de la plupart des études prospectives tournées vers la transition qui sont fréquemment fondées sur un seul scénario. À l'inverse de la construction d'une prospective où un scénario prescriptif s'imposerait aux acteurs dans le cadre d'une transition, la prospective « Agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050 » vise à définir le champ des possibles conduisant à une agriculture sans pesticides chimiques en 2050 en Europe, et à évaluer les différents impacts de ces scénarios. Cette étude prospective a ainsi pour ambition de poser un débat sur les futurs possibles pour atteindre à long terme une agriculture sans pesticides en Europe et d'examiner les différentes options envisageables. Ainsi, dans cette prospective, l'objectif normatif de long terme se traduit dans une pluralité de futurs possibles en 2050.

La suppression des pesticides chimiques n'est pas une tâche facile pour l'agriculture, car les pesticides chimiques sont un élément clé de l'agriculture conventionnelle. Le retrait des pesticides chimiques de l'agriculture est un problème « embrouillé » (*wicked problem* en anglais ; Rittel et Webber, 1973), ce qui signifie qu'il n'existe pas de solution simple à ce problème du fait de sa nature complexe et des interdépendances. Réfléchir à une agriculture sans pesticides chimiques nécessite de repenser l'agriculture et de prendre en compte les multiples interactions dans lesquelles elle s'inscrit : interactions avec les entités et les ressources naturelles, imbrication dans la dynamique des écosystèmes, insertion de l'agriculture dans le système alimentaire, et interactions avec les politiques publiques, les acteurs territoriaux, le commerce et les consommateurs.

La méthode prospective présentée ici a été conçue, premièrement, pour intégrer la complexité du système agricole et alimentaire européen et imaginer les différents

enchevêtrements futurs qui pourraient donner naissance à une agriculture sans pesticides en Europe ; deuxièmement, pour évaluer les impacts de ces scénarios de manière quantitative ; et troisièmement, pour identifier les trajectoires de transition possibles qui pourraient conduire à de tels scénarios en 2050.

Différentes composantes ont été analysées afin d'imaginer des agricultures européennes sans pesticides en 2050 (figure I.1) : les systèmes de culture intégrant une protection des cultures sans pesticides chimiques ; les structures d'exploitation ; les systèmes de connaissance et d'innovation agricoles ; l'amont agricole en particulier les agroéquipements et technologies numériques ; les chaînes de valeur alimentaires ; la consommation et les régimes alimentaires ; les politiques publiques et le commerce international. Le changement climatique a également été pris en compte de manière générale, notamment au travers de son impact sur les interactions entre plantes cultivées et bioagresseurs.

La méthode employée pour cette prospective (annexe 1) est une approche originale combinant une méthode de construction de scénarios fondée sur une analyse morphologique<sup>5</sup>, une approche par modélisation basée sur la version AE2050 de l'outil GlobAgri (annexe 2), et une approche de construction de trajectoires de transition (dite de *backcasting*<sup>6</sup>) aux échelles européenne et régionale. La méthode est détaillée en annexe 1 de l'ouvrage. Au total, cent quarante-quatre experts européens, scientifiques et parties prenantes (organisations non gouvernementales, conseil agricole, coopératives, agriculteurs, associations professionnelles, entreprises agroalimentaires et d'agroéquipement, collectivités territoriales), ont été associés aux différentes phases du processus au sein de huit groupes d'experts (décrits dans l'annexe 3).

La construction des scénarios repose sur une analyse des dynamiques passées (dite analyse rétrospective) de chaque composante du système, dégagant les grandes tendances, les signaux faibles et les ruptures possibles au moyen de revues de la littérature, d'entretiens et de l'expertise de groupes d'experts (chapitres 1, 2 et 3). Sur la base de ces analyses, l'équipe projet a élaboré avec les groupes d'experts des micro-scénarios contrastés décrivant les changements possibles des composantes du système à l'horizon 2050 (collectées dans le tableau morphologique 4.1 présenté dans le chapitre 4, section 1) et les a combinées pour construire des scénarios européens. Ensuite, des simulations basées sur le modèle GlobAgri-AE2050 ont évalué les impacts de chaque scénario (chapitre 5). Enfin, les scénarios ont été soumis à une analyse rétroprojective pour élaborer des trajectoires ou chemins de transition permettant

5. L'analyse morphologique est « une méthode de structuration et d'investigation de l'ensemble des relations contenues dans des problèmes multidimensionnels et non quantifiables » (Ritchey, 2011). Appliquée dans le domaine de la prospective, l'analyse morphologique permet à l'aide d'une matrice (appelé tableau morphologique) de « considérer l'ensemble des évolutions possibles et de construire des scénarios » en explorant les combinaisons plausibles d'hypothèses d'évolution (Durance et Godet, 2010 ; voir aussi Amer *et al.*, 2013).

6. La démarche de *backcasting*, dite aussi rétroprojective, consiste à travailler à rebours à partir d'un futur souhaitable afin de déterminer les conditions possibles de réalisation de ce futur et notamment les actions et les politiques publiques nécessaires pour y parvenir (Robinson, 1982).