innovations agronomiques

n°108 / Décembre 2025



Numéro spécial

Ce numéro spécial traite de :

- l'agriculture urbaine
- l'agriculture 5.0 : Opportunités et défis des grands modèles de langage
- la recherche collaborative pour l'appui aux transitions agroécologiques de territoires d'élevage : retours d'expérience d'une approche
- l'analyse des successions culturales 2015 – 2022 en France : état des lieux du niveau de diversification en agriculture conventionnelle et biologique
- la perception des agriculteurs sur les alternatives aux pesticides

/// Crédit photo : Charday Penn / iStock

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

INRAE

Innovations Agronomiques
Agriculture / Alimentation / Environnement

Innovations Agronomiques

Volume 108 – Décembre 2025

Numéro spécial

Ce numéro spécial traite de :

- l'agriculture urbaine ;
- l'agriculture 5.0 : Opportunités et défis des grands modèles de langage ;
- la recherche collaborative pour l'appui aux transitions agroécologiques de territoires d'élevage : retours d'expérience - l'analyse des successions culturales 2015 ;
- 2022 en France : état des lieux du niveau de diversification en agriculture conventionnelle et biologique ;
- la perception des agriculteurs sur les alternatives aux pesticides.

Directeur de la publication : Philippe Mauguin, Président directeur Général INRAE

Rédaction en chef : Christian Huyghe, Chargé de mission à la Direction Scientifique Agriculture INRAE, et Isabelle Litrico, Directrice Scientifique Agriculture INRAE

Coordination éditoriale : Aurélie Gauguery, Responsable des Carrefours de l'Innovation INRAE

Comité scientifique : Claire Rogel-Gaillard, Sophie Thoyer et Christian Lannou, Directrices et directeur scientifiques Agriculture adjoints ; Sophie Nicklaus, Directrice scientifique Alimentation et bioéconomie adjointe ; Alban Thomas et Pierre Renault, Directeurs scientifiques Environnement adjoints, INRAE ; Nathalie Munier-Jolain, Directrice générale déléguée à la science et à l'innovation adjointe, INRAE ; Isabelle Pion, Chargée de mission agroécologie et transition des systèmes agricoles, Direction de l'Appui aux Politiques Publiques, INRAE ; Marianne Sellam, Directrice scientifique et technique, ACTA, Luc Mounier, Enseignant-chercheur, VetAgro Sup ; Nicolas Brault, Directeur adjoint de l'unité de recherche Interact, Institut Polytechnique UniLaSalle ; Alessia Lefébure, Directrice, Sciences Po Aix.

Coordination scientifique du numéro : Christian Huyghe

Initiée en 2007, la revue de transfert *Innovations agronomiques* a pour ambition de diffuser les savoirs et de favoriser les échanges entre les acteurs de la recherche et les professionnels de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement, et de faciliter leur appropriation par les acteurs de la chaîne de valeur agri-alimentaire (professionnels du secteur, chercheurs, conseillers, R&D, agriculteurs, enseignants et apprenants, décideurs publics, société civile, etc.). Elle complète la démarche générale de transfert des Carrefours de l'Innovation INRAE (https://ciag.hub.inrae.fr/) qui réunissent ces acteurs impliqués dans les travaux au cœur des défis mondiaux et sociétaux de notre siècle : production et performance économique, santé, changement climatique, raréfaction des ressources non renouvelables, préservation de la biodiversité, des ressources naturelles et de l'environnement, qualité de vie et des emplois…

La revue est une propriété d'INRAE, intégralement financée sur des fonds publics.

Revue en accès libre diamant, publiée par INRAE. Les articles sont relus et validés par des experts scientifiques et opérationnels.

Site de la revue : https://ciag.hub.inrae.fr/revue-innovations-agronomiques

Contact : innovations-agronomiques@inrae.fr

Adresse : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement – 147 rue de l'Université – 75338 Paris Cedex 07

ISSN : 1958-5853 (édition électronique)

ISBN (PDF) : 978-2-7380-1489-4

ISBN (ePub) : 978-2-7380-1490-0

DOI : https://doi.org/10.17180/innovagro-2025-vol108

Pour citer ce numéro : Collectif. Innovations agronomiques. Numéro spécial, 2025, 108. https://doi.org/10.17180/innovagro-2025-vol108

Licence : CC BY 4.0

CC BY 4.0 Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

INRAE

Sommaire

Charlotte LIBORIO-CORNET & Hugo DE VERGES, 2025 - ***Biodiversity and Urban agriculture: Insights and future directions***
Innovations Agronomiques 108, 1-19
https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art01

Jean-Pierre CHANET, 2025 - ***Agriculture 5.0 : Opportunités et défis des grands modèles de langage***
Innovations Agronomiques 108, 20-33
https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art02

Marine PICHOT, Claudine THENAIL, Denis FOLLET, Armelle LAINE PENEL, Faustine RUGGIERI & Valérie VIAUD, 2025 - ***Recherche collaborative pour l'appui aux transitions agroécologiques de territoires d'élevage : retours d'expérience d'une approche de pilotage du projet pour l'impact***
Innovations Agronomiques 108, 34-49
https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art03

Marie-Sophie DEDIEU, Christian BOCKSTALLER, Pierre CANTELAUBE, Baptiste GIRAULT, Philippe MARTIN, Thomas POMEON &Natacha SAUTEREAU, 2025 - ***Analyse des successions culturales 2015 – 2022 en France : état des lieux du niveau de diversification en agriculture conventionnelle et biologique***
Innovations Agronomiques 108, 50-61
https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art04

Thomas DAMESTOY, Nicolas BRAULT, Ronan MARREC, Régis WARTELLE, Marie BERNARD & Anne-Maïmiti DULAURENT, 2025 - ***Perception des agriculteurs sur les alternatives aux pesticides : entre intentions et réalité***
Innovations Agronomiques 108, 62-81
https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art05

Biodiversity and Urban agriculture: Insights and future directions

Charlotte LIBORIO-CORNET[1], Hugo DE VERGES[2]

[1] ASTREDHOR, Marseille

[2] ASTREDHOR, Paris

Correspondance : charlotte.liborio-cornet@astredhor.fr

DOI : https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art01

Résumé

L'agriculture urbaine fait l'objet d'une attention croissante en tant qu'élément permettant de favoriser la biodiversité en ville, mais ses impacts précis restent encore mal compris. A travers une synthèse de la littérature scientifique portant sur : (i) l'étude des taxons dans les sites d'agriculture urbaine, (ii) la méthodologie d'échantillonnage des taxons et (iii) les facteurs locaux et paysagers impactant la biodiversité des taxons, cet article vise à comprendre l'impact potentiel de l'agriculture urbaine sur la biodiversité en se concentrant sur 3 taxons clés : les oiseaux, la flore et les arthropodes. Une analyse de la biodiversité de chaque taxon évalué en relation avec les facteurs locaux et paysagers révèle un intérêt croissant pour le rôle de l'agriculture urbaine dans la promotion de la biodiversité. Les résultats indiquent que des parcelles plus grandes, une plus grande diversité végétale et l'hétérogénéité de l'habitat favorisent généralement la biodiversité de tous les taxons. Des biais importants existent cependant dans la littérature, avec une prédominance d'études en Amérique du Nord et en Europe se concentrant sur des formes d'agriculture urbaine non professionnelles, en particulier les jardins communautaires, tandis que les fermes urbaines professionnelles restent peu étudiées. L'étude identifie les facteurs paysagers et locaux comme des influences essentielles sur les résultats en matière de biodiversité, suggérant que le milieu environnant, les pratiques de jardinage et les caractéristiques des parcelles affectent de manière significative la diversité et l'abondance des espèces. Malgré les implications positives de l'agriculture urbaine pour la biodiversité, l'article souligne la nécessité de disposer de méthodologies standardisées et d'une représentation plus large des taxons et des types d'agriculture urbaine dans les recherches futures.

Mots clés : Agriculture Urbaine, Biodiversité, Oiseaux, Flore, Arthropodes

Abstract

Urban agriculture has gained increasing attention as a potential driver of biodiversity in urban landscapes, yet its precise impacts remain inadequately understood. Through a literature review looking at: (i) study of taxa in urban agriculture sites, (ii) taxa sampling methodology and (iii) local and landscape factors, this article aims to understand the potential impact of urban agriculture on biodiversity focusing on three key taxa: birds, flora, and arthropods. A comprehensive analysis of biodiversity measurements of each taxon assessed in relationship with local and landscape factors reveals a growing interest in urban agriculture's role in fostering biodiversity. The findings indicate that larger plots, greater plant diversity, and habitat heterogeneity generally promote biodiversity across taxa. Significant biases exist in the literature, with a predominance of studies in North America and Europe focusing on non-professional urban agricultural forms, particularly community gardens, while professional urban farms remain under-researched. The review identifies landscape and local factors as pivotal influences on biodiversity outcomes, suggesting that the surrounding environment, gardening practices, and plot caracteristics significantly affect species diversity and abundance. Despite the positive implications of urban agriculture for biodiversity, the article underscores the need for

standardised methodologies and a broader representation of taxa and urban agricultural types in future research.

Keywords: Urban Agriculture, Biodiversity, Birds, Flora, Arthropods

1. Introduction

Extinctions of species have historically constituted an inherent aspect of the natural world. Nevertheless, the increased influence exerted by human activities on ecosystems has precipitated a notable escalation in extinction rates, thereby adversely impacting ecosystem functionality and human well-being (Johnson *et al*., 2017 ; IPBES, 2019). The contemporary biodiversity crisis is evidenced by a worldwide downturn in species populations and ecosystem quality, particularly pronounced in densely urbanised regions (Simkin *et al*., 2022). The expansion of urban areas directly contributes to habitat destruction and a reduction in species diversity. Projections for future urban development foresee an average 52% decline in species abundance (Li *et al*., 2022). While urbanisation tends to diminish biodiversity, it can also present opportunities for mitigation (Aronson *et al*., 2017). Municipal administrations worldwide are introducing greenery in parks, streets, gardens, and rooftops to counterbalance the adverse effects of urban sprawl. Those initiatives are beneficial for biodiversity as Threlfall *et al*. (2017) observed that undergrowth vegetation and native flora enhance species diversity within urban green spaces. Street afforestation, public gardens, urban parks, urban agriculture can all foster connectivity across urban landscapes and serve as valuable corridors for species (Castelli *et al*., 2021). The latter have seen a notable surge in interest in recent years. This burgeoning interest has catalysed the inception of various urban agricultural initiatives and corresponding research endeavours. Despite the acknowledged multifaceted benefits of urban agriculture in fostering biodiversity within urban landscapes (Clucas *et al*., 2018 ; Fauzia *et al*., 2024), the precise impacts of urban agriculture on biodiversity remain inadequately understood.

Urban agriculture is defined by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (Belevi & Baumgartner, 2003) as “the growing of plants and the raising of animals within and around cities” and we consider it here in the diversity of its forms, from community gardens to professional urban farms or social farms, excluding indoor urban agriculture. In view of the diversity of urban agriculture sites and urban ecosystems, a framework of analysis and precise indicators must be determined in order to study the impact of urban agriculture on biodiversity. Within the realm of ecology, three primary indicators—abundance, richness, and diversity—are employed to gauge the influence of biological or environmental factors on organisms. Abundance signifies the total number of individuals within a specific area, whereas species richness denotes the count of distinct species present in the same area. Diversity encapsulates the ecosystem's variety by integrating the richness, abundance of each species, and their distribution within that ecosystem (Delang et Li, 2012). Based on previous empirical work on urban biodiversity and its link to urban agroecosystems (Sorace, 2001 ; Liere et Egerer, 2020 ; Chatelain, 2023), birds, flora and arthropods were chosen to represent biodiversity within the urban agricultural context. Those taxa have been thoroughly studied in cities and seem to best represent urban biodiversity species population inhabiting urban agricultural sites (McKinney, 2008). A specific focus was made on bees given the large number of articles related to their presence in gardens and urban farms, which have been summarised in a systematic review by Rahimi *et al*. (2022). The current article aims to furnish a comprehensive overview of the current scientific understanding regarding urban agriculture and biodiversity at large, with a specific focus on the impacts of urban agriculture on the abundance, richness, and diversity of three key taxa: birds, flora, and arthropods.

The primary objective of this study is to scrutinise existing scientific literature to i) elucidate the existing knowledge on how urban agriculture shapes biodiversity in a general context, ii) pinpoint the principal factors influencing biodiversity within urban agricultural settings, and iii) delineate the effects of urban agriculture on the biodiversity of birds, flora and arthropods.

2. Materials and methods

2.1. Search criteria

We conducted a comprehensive analysis of the scientific literature regarding the impacts of urban agriculture on biodiversity, specifically focusing on four areas of focus: general biodiversity, birds, flora, and arthropods, with particular attention to bees due to the significant increase in research interest in this group. Notably, soil biodiversity was less considered in our analysis because it has been thoroughly investigated in previous research (Joimel *et al*., 2019; Chatelain *et al*., 2023 ; Coulibaly *et al*., 2023). As most studies on biodiversity and urban agriculture have been conducted in North American or European countries (Clucas *et al*., 2018 ; Coulibaly *et al*., 2023 ; Royer *et al*., 2023), the scope of this study was limited to Western countries. Our literature search was conducted in September 2024 using the Ovid, ResearchGate, Google Scholar, and Science Direct databases. Articles were limited to those published after 2000. We did not follow a standardised systematic review process but rather an informal simple search in science databases. The search terms included "urban agriculture" along with keywords related to our four areas of focus: "biodiversity," "birds," "flora" (or "flora diversity") and "plants" (or "plant diversity"), "arthropods" (or "arthropod diversity") and "bees". The search identified over 1,000 articles that were subsequently examined to see if they addressed the study of biodiversity within urban agriculture areas, with the goal of gathering between 5 and 10 articles per area of focus. For each area, we selected the most relevant studies from Western countries based on their titles and abstracts, ensuring that they assessed at least one of the primary indicators (abundance, richness, and diversity) and were conducted in urban agricultural settings. In instances where there were limited articles specifically addressing urban agriculture, we broadened our selection to include studies on other types of urban green spaces. We assessed relevance of the articles drawing on previous reviews and our expertise in these topics and favoured systematic and literature reviews. Given the variability in the relevance of articles across different topics, we ultimately included the following number of studies: five on general biodiversity, five on birds, three on flora, seven on arthropods, and seven on bees.

2.2. Data collection

For each article, we extracted and summarised the following data: 1) Title of the study, 2) Type of publication (e.g., Case Studies Analysis, Literature Review, Systematic Review), 3) Authors, year of publication, and journal, 4) Geographical location, 5) Species/taxa studied, and 6) Key findings, including i) methodology, ii) results, and iii) discussion. Following this initial search, we focused our analysis on specific aspects within the research articles: literature review, study design, main results, discussions, and identified knowledge gaps. All this information was compiled into a table (see Appendix A), facilitating the comparison of relevant research articles across different taxa based on abundance, richness, and diversity in relation to influencing factors.

The literature search was limited to studies from Western countries addressing one of the taxa studied and urban agriculture or other types of urban green spaces, and the characteristics of the resulting bibliography are illustrated in Figure 1. Among the 26 studies assessed (one of them studying two taxa), 6 were published between 2000 and 2010, 10 between 2010 and 2019, and 10 since 2020. This trend indicates a growing interest in the subject over the past few years, consistent with findings from various authors (Clucas *et al*., 2018 ; Evans *et al*., 2022 ; Coulibaly *et al*., 2023). Just 3 systematic reviews were identified, with 2 focusing on general biodiversity and 1 on bees. Meanwhile, there were 6 literature reviews, which covered all the areas of focus except flora. The remaining articles consisted of 17 case studies analysis (one of them studying two taxa), half of which were conducted in North America and half in Europe. These analyses examined a range of urban agricultural settings, with community gardens being the most frequently studied form. Notably, only two articles specifically addressed professional urban farms (Sorace, 2001 ; Delgado *et al*., 2017).

Table 1: Bibliography analysis

Studies for each taxa / Characteristics	Type of article			Year of publication			Concerning case studies analysis							
							Geographical location		Areas assessed					
	Case studies analysis	*Literature review*	*Systematic review*	*2000 to 2010*	*2010 to 2019*	*Since 2020*	*North America*	*Europe*	*Allotment gardens*	*Community gardens*	*Private gardens*	*Different sites through an urban gradient*	*Diverse, including non-professional urban agriculture*	*Diverse, including professional urban agriculture*
General biodiversity (5 studies)														
Clucas *et al.*, 2018			X		X									
Coulibaly *et al.*, 2023		X				X								
Evans *et al.*, 2022			X			X								
Fauzia *et al.*, 2024		X				X								
Royer *et al.*, 2023		X				X								
Birds (5 studies)														
Callaghan *et al.*, 2019	X				X		X					X		
Mayorga *et al.*, 2020	X					X	X			X				
Pierret, 2018	X				X			X			X			
Rodewald, 2016		X			X									
Sorace, 2001	X			X				X						X
Flora (3 studies)														
Joimel *et al.*, 2019	X				X			X	X					
Philpott *et al.*, 2023	X					X	X			X				
Seitz *et al.*, 2021	X					X		X		X				
Arthropods (7 studies)														
Burkman et Gardiner, 2014		X			X									
Chatelain *et al.*, 2023	X					X		X				X		
Delgado *et al.*, 2017	X				X		X							X
Egerer *et al.*, 2017a	X				X		X			X				
Egerer *et al.*, 2017b	X				X		X			X				
Liere et Egerer, 2020		X			X									
Philpott *et al.*, 2023	X					X	X			X				
Arthropods / Focus on bees (7 studies)														
Ahrnée *et al.*, 2009	X			X				X	X					
Andersson *et al.*, 2007	X			X				X					X	
Fetridge *et al.*, 2008	X			X			X				X			
Matteson, 2009	X			X			X			X				
Rahimi *et al.*, 2022			X			X								
Tommasi *et al.*, 2004	X			X			X					X		
Theodorou *et al.*, 2016	X				X			X				X		
TOTAL	18	6	3	6	11	10	10	8	2	7	2	4	1	2

3. Results

3.1. Methods of taxa sampling

In addition to the results of the assessed articles, which will be discussed in the following chapters, we also analysed the methodologies used for taxa sampling in studies conducted on-site. Most of the studies employed either visual identification or trapping methods; however, the specific techniques

varied depending on the species or taxa being assessed. An overview of these methods is illustrated in Figure 2, which demonstrates that visual observations were preferred for sampling birds, flora, and flying arthropods, while trapping methods were more suitable for all types of arthropods, with the specific trap type varying according to the arthropod group being studied. In all cases, the methodologies required multiple assessments across different seasons and times of day to ensure comprehensive data collection.

Table 2: Methods of taxa sampling

Taxa/Sampling method	Visual observation			Traps				Participative approach
	Points count/observation	*Transect count*	*Quadrat*	*Sticky traps*	*Pitfall traps*	*Pan traps*	*Hand netting*	*Collaborative observatories*
Birds	(Sorace, 2001) (Mayorga *et al.*, 2020)	(Sorace, 2001)						(Pierret, 2018) (Callaghan *et al.*, 2019)
Flora			(Joimel *et al.*, 2019) (Seitz *et al.*, 2021) (Philpott *et al.*, 2023)					
Arthropods / ladybeetles	(Egerer *et al.*, 2017a) (Egerer *et al.*, 2017b) (Philpott *et al.*, 2023)			(Egerer *et al.*, 2017a) (Egerer *et al.*, 2017b) (Philpott *et al.*, 2023)				
Arthropods / ants					(Egerer *et al.*, 2017b) (Philpott *et al.*, 2023)			
Arthropods / beetles					(Delgado *et al.*, 2017)			
Arthropods / spiders					(Egerer *et al.*, 2017b) (Philpott *et al.*, 2023)			
Arthropods / Focus on bees	(Ahrné *et al.*, 2009) (Theodorou *et al.*, 2016)					(Fetridge *et al.*, 2008) (Ahrné *et al.*, 2009) (Matteson, 2009) (Egerer *et al.*, 2017b) (Philpott *et al.*, 2023)	(Fetridge *et al.*, 2008) (Ahrné *et al.*, 2009) (Matteson, 2009) (Egerer *et al.*, 2017b) (Philpott *et al.*, 2023)	
TOTAL	**7**	**1**	**3**	**3**	**3**	**5**	**5**	**2**

3.2. Main findings

The articles focusing on general biodiversity all aimed to understand the relationship between urban agriculture and biodiversity in scientific publications through literature or systematic reviews, using a broader scope than that used in this article. In fact, the different authors analysed more than hundreds of articles each with a robust research protocol and with no geographical limitations. Thus, the analysis of their results provided a comprehensive overview of the scientific knowledge on the impact of urban agriculture on biodiversity.

Despite the relative increase of studies on urban agriculture and biodiversity after 2013 (Evans *et al.*, 2022 ; Coulibaly *et al.*, 2023), currently only a few studies have been published, and most of them shared common characteristics. Firstly, the articles that examine the issue globally showed that studies have been conducted mostly in North American (Clucas *et al.*, 2018 ; Coulibaly *et al.*, 2023) or European cities (Royer *et al.*, 2023). Secondly, certain taxa have been favoured, studies focusing

mostly on bird, plant and invertebrate diversity (Clucas *et al*., 2018) and less on mammals, reptiles or amphibians (*ibid*), leaving gaps in the general biodiversity scope. Finally, there is also a lack of representation in the forms of urban agriculture assessed. Majority of the studies analysed biodiversity on non-professional forms of urban agriculture (Clucas *et al*., 2018 ; Royer *et al*., 2023), community gardens being the most studied form (Royer *et al*., 2023) while almost nothing is known about professional urban farms (Clucas *et al*., 2018 ; Royer *et al*., 2023), urban livestock farming (Royer *et al*., 2023) or soilless forms (Coulibaly *et al*., 2023 ; Royer *et al*., 2023). It is also important to note that most studies were comparing urban agriculture to urban areas and agricultural areas, but only one study has compared different forms of urban agriculture with each other (Clucas *et al*., 2018). This lack of representation on several contextual and methodological aspects hinders drawing general conclusions. Additionally, an analysis of the studies' content revealed an important variation in results (Clucas *et al*., 2018 ; Coulibaly *et al*., 2023). To explain this variety of results, most studies highlighted that other factors than the type of urban agriculture were playing an important role, such as the location and design of the plot, the types of farming practices or human activities and the surroundings of the plot (Clucas *et al*., 2018 ; Coulibaly *et al*., 2023 ; Royer *et al*., 2023).

The analysis of the studies focusing on the different taxa gave a better understanding of these specific factors influencing biodiversity in urban agricultural plots that have already been studied in the literature. They can be divided into two main categories: landscape factors and local factors.

Landscape factors are characteristics of the surroundings of the urban agricultural plot, and include:

- **surrounding landscapes: i.e. presence of green or urbanised areas in the surrounding environment ;**
- **land use in the urban gradient: some studies compared the benefits for biodiversity in urban agriculture areas compared to natural, agricultural, urban green, green roofs or urban areas ;**
- **ecoregion is another landscape factor which has been used only in one study assessing bird diversity (Mayorga *et al*., 2020)**

Local factors represent the internal features of the plot and include:

- **imperviousness of the plot ;**
- **plot characteristics: size, agricultural practices/garden management and human activities ;**
- **habitat characteristics: habitat heterogeneity, plant diversity, presence of native plants. Soil characteristics and microclimate are other factors which have been used only in one study assessing plant and collembolan diversity (Joimel *et al*., 2019) ;**
- **ecosystem relations (predation and competition factors) is another factor which has been used only in one study assessing bird diversity (Sorace, 2001).**

All these factors did not impact the different taxa in the same way and sometimes the responses also differed within the same taxon, illustrating the complex interaction between biodiversity and urban agricultural sites. However, the combination of the contents of the studies allowed us to draw some general conclusions. The cross-referencing results are illustrated in Figure 3. The colour of each box in the table illustrates the impact of the factor on abundance, diversity or richness of the taxa assessed : green (+) means a positive impact; orange (-) a negative one; grey (=) indicates that no impact have been assessed; and purple ($) show a complex impact meaning that not all studies agree or that the precise effects differ according to species. The number behind each symbol indicates the number of studies which found the result.

These results showed that certain taxa and factors have been more assessed than others in the articles surveyed. Birds and bees appeared to be most studied, and mostly local factors were assessed such as the size of the plot (9 articles), the plant diversity (16 articles) and the presence of native plants (6 articles). The imperviousness of the plot (5 articles), the habitat heterogeneity (7 articles) as well as the surrounding landscapes (9 articles) were also quite studied. Among these factors, the size of the plot, the habitat heterogeneity and the plant diversity showed homogeneous results, which therefore allowed us to assume that a larger plot with a diversity of habitats and plants seems beneficial or in the worst case have no effect on most of the taxa assessed (Callaghan *et al*., 2019; Liere *et al*., 2020 ; Mayorga *et al*., 2020 ; Seitz *et al*., 2021 ; Rahimi *et al*., 2022 ; Coulibaly *et al*., 2023 ; Philpott *et al*., 2023 ; Royer *et al*., 2023). Plant diversity appeared as the most studied factor as well as the most beneficial for biodiversity, with a high number of studies highlighting the positive impact on biodiversity and no studies showing a negative impact (Rodewald, 2016 ; Callaghan *et al*., 2019; Mayorga *et al*., 2020 ; Seitz *et al*., 2021 ; Rahimi *et al*., 2022 ; Coulibaly *et al*., 2023 ; Philpott *et al*., 2023). However, it was difficult to draw conclusions concerning the plot's imperviousness, some studies showing a negative effect for flora, arthropods and bees (Liere et Egerer, 2020 ; Sietz *et al*., 2021 ; Chatelain *et al*., 2023), while others were inconclusive concerning birds (Mayorga *et al*., 2020) and arthropods (Chatelain *et al*., 2023 ; Philpott *et al*., 2023). The same finding went for the presence of native plants which appeared beneficial for birds and flora (Rodewald, 2016 ; Mayorga *et al*., 2020 ; Seitz *et al*., 2021) but stayed unclear about the impacts on arthropods (Liere et Egerer, 2020 ; Rahimi *et al*., 2022 ; Philpott *et al*., 2023).

Other factors have been less assessed, but the few studies carried out showed uniform results. Thus, less intensive agricultural practices in the plot seemed beneficial for bird and bee biodiversity (Sorace, 2001 ; Pierret, 2018 ; Liere et Egerer, 2020 ; Rahimi *et al*., 2022), as well as less human disturbance for bird and flora biodiversity (Sorace, 2001 ; Joimel *et al*., 2019). The impact of the surrounding landscapes stayed unclear and comparison between urban agriculture and other areas have not been comprehensively studied. Finally, it is also important to note that across all the studies, few negative impacts of the various factors on biodiversity were found, so it can be argued that urban agriculture is more likely to benefit biodiversity than threaten it. Nevertheless, it is crucial to approach these overarching findings with caution, given that the studies primarily indicated significant variations in both the number of studies conducted and their outcomes across different taxonomic groups, as illustrated in Figure 3. Indeed, whereas the biodiversity of birds in cities has been assessed thoroughly, studies conducted in urban agricultural areas were still scarce. In contrast, bee biodiversity has been studied a lot with homogeneous results (Rahimi *et al*., 2022), while studies conducted on arthropods showed diverse results. Finally, the impact of urban agriculture on flora has almost not been assessed

Table 3: Cross-referencing results overview

								ARTHROPODS														
TAXA		**Birds**			**Flora**			**General**			**Ladybeetles**			**Ants**			**Spiders**			**Bees**		
Factors category	**Factors**	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*
LANDSCAPE FACTORS																						
Ecoregion		$1	$1																			
Surrounding landscapes	Green areas (including other UA area	$1		-1				=1	=1			=2	=2		+1 =1	=1		=1	=1	+2	+2	=1

	s)																						
	Urbanised areas			$1			=1		$1	-1		=2	=2		=1	=1							
Urban agriculture VS other land uses	Natural																						
	Agricultural	+1	+1	+1																			
	Urban green areas	+1	+1	+1			+1																
	Green roofs (including UA)																			+1	+1		
	Urban																			+1 =1			
LOCAL FACTORS																							
Imperviousness	Imperviousness	$1		$1			-1	-1 =1	$1	-1 =1								$2		-1			
Plot characteristics	Larger plots	+1	+1	+1				+3	+1			=1	=1	+1	=1	=1	+1	=1	+1	+2	+2 =2	+1 =1	
	Less intensive agricultural practices	+1	+2																	+1	+1		
	Less human disturbance	+1	+1				+1																
Habitat characteristics	Habitat heterogeneity	+2	+2	+1			$1												+1	+1	+1		
	Plant diversity	+4	+1	+1			+1	+5	+2	+1		+1 =1	=1	+1	=1	=1	+1	+1	+1	+3	+4 =1	+2 =1	
	Presence of native plants	+1	+2				+1	$1			$1	=1	=1	$1	=1	=1		=1	-1	+1 $1	$1	$1	
	Soil caracteri						$1																

	stics																					
	Local climate						$1															
Ecosystem relations	Predation factor		=1																			
	Competition factor		=1																			

Legend colours & marks: green (+)>positive impact; orange (-)>negative impact; grey (=)>neutral impact; purple ($)>complex impact / Numbers refer to the number of articles which give this result

Legend "other area types": Natural (outside the city), Agricultural (outside the city), Urban green areas (urban parks, private gardens, cemeteries etc), Green roofs (planted roofs), Urban (urbanised areas)

NB: UA means Urban Agriculture

Table 4: Impact of indicators on bird biodiversity

TAXA		**BIRDS**		
Factors category	**Factors**	Diversity	Abundance	Richness
LANDSCAPE FACTORS				
Ecoregion		$ (Mayorga *et al*., 2020)	$ (Mayorga *et al*., 2020)	
Surrounding landscapes	Green areas (including other UA areas)	$ (Rodewald, 2016)		− (Sorace, 2001)
	Urbanised areas			$ (Mayorga *et al*., 2020)
Urban agriculture VS other land uses	Agricultural	+ (Sorace, 2001)	+ pest bird species (Sorace, 2001)	+ (Sorace, 2001)
	Urban green areas	+ (Sorace, 2001)	+ decreasing bird species (Sorace, 2001)	+ (Sorace, 2001)
LOCAL FACTORS				
Imperviousness	Imperviousness	$ (Mayorga *et al*., 2020)		$ (Mayorga *et al*., 2020)
Plot characteristics	Larger plots	+ (Rodewald, 2016)	+ (Mayorga *et al*., 2020)	+ (Mayorga *et al*., 2020)
	Less intensive agricultural practices	+ (Sorace, 2001)	+2 (Sorace, 2001) (Pierret, 2018) + decreasing bird species (Sorace, 2001)	
	Less human disturbance	+ (Sorace, 2001)	+ decreasing bird species (Sorace, 2001)	
Habitat characteristics	Habitat heterogeneity	+2 (Rodewald, 2016) (Callaghan *et al*., 2019)	+2 (Callaghan *et al*., 2019) (Mayorga *et al*., 2020)	+ (Mayorga *et al*., 2020)
	Plant diversity	+4 (Rodewald, 2016) (Sorace, 2001) (Pierret, 2018) (Callaghan *et al*., 2019)	+ (Mayorga *et al*., 2020)	+ (Callaghan *et al*., 2019)
	Presence of native plants	+ (Rodewald, 2016)	+2 (Rodewald, 2016) (Mayorga *et al*., 2020)	
Ecosystem relations	Predation factor		= decreasing bird species (Sorace, 2001)	
	Competition factor		= decreasing bird species (Sorace, 2001)	

Legend colours & marks: green (+)>positive impact; orange (-)>negative impact; grey (=)>neutral impact; purple ($)>complex impact

3.3. Results for birds

Among the five studies assessing bird biodiversity, which results are illustrated in Figure 4, three articles focused on urban agriculture (mainly community gardens and urban-agricultural parks), while the other two surveyed private gardens or urban green areas in general.

Even if it was recognised that landscape factors have an impact on bird biodiversity, there was no clear evidence on the direction of those effects. In fact, bird trait composition was influenced by the ecoregion as well as the urban cover around gardens which tended to lower the abundance of insectivores, ground-nesters, and forest-associated birds and promote the abundance of urban-associated birds and birds with higher nesting heights (Mayorga *et al*., 2020). In comparison to other areas, Sorace found that urban agricultural parks favour bird diversity and richness more than agricultural or urban green areas (Sorace, 2001).

Unlike landscape indicators, local indicators have been more studied and showed consistent results. First, results were unanimous on the fact that a larger plot with a diversity of habitats and plants benefits the diversity, abundance and richness of birds (Sorace, 2001 ; Rodewald, 2016 ; Pierret, 2018 ; Callaghan *et al*., 2019; Mayorga *et al*., 2020). Diversity and abundance were also enhanced with less intensive agricultural practices and human disturbance, as well as with the presence of native plants. However, the impact of the imperviousness of the urban agriculture site on diversity or richness showed different results considering the species assessed (Mayorga *et al*., 2020). Thus, the results highlighted the importance of diversity, both in the distribution of green or agricultural spaces in the city, and within the plots themselves (Callaghan *et al*., 2019; Mayorga *et al*., 2020).

3.4. Results for flora

Table 5: Impact of indicators on flora biodiversity

TAXA		FLORA		
Factors category	**Factors**	**Diversity**	**Abundance**	**Richness**
LANDSCAPE FACTORS				
Surrounding landscapes	Urbanised areas			= (Seitz et al., 2021)
Urban agriculture VS other land uses	Urban green areas			+ wild species (Seitz et al., 2021)
LOCAL FACTORS				
Imperviousness	Imperviousness			− wild plant (Seitz et al., 2021)
Plot characteristics	Larger plots	+ on green roofs (Coulibaly et al., 2023)		
Plot characteristics	Less human disturbance			+ (Joimel et al., 2019)
Plot characteristics	Habitat heterogeneity			§ (Joimel et al., 2019)
Habitat characteristics	Plant diversity	+ on green roofs (Coulibaly et al., 2023)		+ (Seitz et al., 2021)
Habitat characteristics	Presence of native plants			+ wild plant (Seitz et al., 2021)
Habitat characteristics	Soil caracteristics			§ (Joimel et al., 2019)
Habitat characteristics	Local climate			§ (Joimel et al., 2019)

Legend colours & marks: green (+)>positive impact; orange (-)>negative impact; grey (=)>neutral impact; purple ($)>complex impact

Of the three taxa studied, flora appeared to be the one for which the effects of urban agriculture have been studied the least, with only a few articles focusing on actual urban agricultural sites. The results of these studies are illustrated in Figure 5. Studies appeared to focus on managed biodiversity rather than non-managed (Clucas *et al*., 2018 ; Royer *et al*., 2023) and the articles assessed showed varied results

which, combined with the lack of data, made it difficult to draw firm conclusions. Firstly, urban agricultural sites seemed to host a diversity of cultivated and wild plant species, with which richness was positively related (Seitz *et al*., 2021). Urban gardens were also recognised as hosting endangered or extinct wild growing plants which make them important for nature conservation (Joimel *et al*., 2019; Seitz *et al*., 2021). However, the distribution of exotic spontaneous plants in comparison to native plants remained unclear, with contradictory results depending on the study (Joimel *et al*., 2019; Philpott *et al*., 2023), and plant richness seemed lower in community gardens than in domestic gardens (Seitz *et al*., 2023).

Even if Joimel *et al*. (2019) stated that plant diversity seemed to be impacted by local and landscape factors, there is almost no empirical data on landscapes factors. Seitz *et al*. (2021) argued that plant richness appeared independent of the interaction between local and landscape scale imperviousness (Seitz *et al*., 2021).

At the plot level, less human disturbance and a higher plant diversity appeared to favour flora richness (Joimel *et al*., 2019; Seitz *et al*., 2021). A study made on green roofs showed that a larger plot was also beneficial for flora diversity (Coulibaly *et al*., 2023). Concerning specifically wild plants, imperviousness seemed to hinder richness whereas the presence of native plants favoured it (Seitz *et al*., 2021). Habitat heterogeneity, soils characteristics and local climate have been identified as other factors likely to affect plant richness but there was no clear consensus on their precise impact on flora (Joimel *et al*., 2019).

3.5. Results for arthropods

Several studies assessed the effects of urban agriculture on arthropods, as illustrated in Figure 6, showing they were impacted by landscape and local factors (Egerer *et al*., 2017b; Liere et Egerer, 2020 ; Philpott *et al*., 2023). However, the impacts depended on the organism's life history traits and habits (*Egerer et al., 2017b; Liere et Egerer, 2020 ; Philpott et al., 2023)* and varied a lot depending on the arthropod groups.

First, larger plots and better plant diversity seemed to enhance arthropods diversity (Liere et Egerer, 2020 ; Coulibaly *et al*., 2023 ; Philpott *et al*., 2023) and predators and parasitoids abundance and richness (Burkman and Gardiner, 2014 ; Delgado de la Flor *et al*., 2017). However, studies showed contradictory results on the effects of the presence of native plants (Liere at al., 2020). The presence of green areas around the plot did not seem to impact diversity and abundance (Egerer *et al*., 2017b), while the proximity to urbanised areas negatively impacted the richness (Chatelain *et al*., 2023). The effects of imperviousness at the plot level differed a lot depending on the arthropod group: it was negative for the diversity and richness of canopy or bush layer arthropods, particularly the wingless groups, and had no effect on the diversity and richness of arthropods living on tree barks (*ibid*).

If we look specifically at the three most studied taxa apart from bees which are ladybeetles, ants and spiders, a bigger plot appeared beneficial for ant and spider diversity and non-native spider richness (Philpott *et al*., 2023). In the same way, a diversity of plants inside the plot was described as positive for ladybeetles abundance and richness (Egerer *et al*., 2017b; Philpott *et al*., 2023), ant diversity, spider diversity and richness, as well as non-native spider abundance, showing no effect on ant abundance and richness (Philpott *et al*., 2023). However, the size of the plot as well as the presence of native plants did not seem to impact ladybeetle and ant abundance as well as richness and spider abundance (*ibid*). The surrounding landscapes showed no impacts on abundance and richness, except for native ants (*ibid*), and the impacts of the plot's imperviousness have been studied only for spiders for which it seemed to depend on the family (Chatelain *et al*., 2023 ; Philpott *et al*., 2023).

In contrast to the taxa presented above, bee biodiversity in urban agricultural sites has been quite studied, in particular in a systematic review written by Rahimi *et al*. (2022). At the landscape scale, several studies indicated that the proximity of green areas seemed to enhance diversity and abundance

of bees (Hernandez *et al*., 2009; Rahimi *et al*., 2022 ; Philpott *et al*., 2023), showing no effect on richness (Philpott *et al*., 2023). Contradictory results were expressed concerning the comparison between urban agriculture and urban areas, one systematic review indicating that bee diversity was better in urban agricultural areas (Clucas *et al*., 2018) while another one argued the opposite (Rahimi *et al*., 2022). At the plot's level, results were quite similar as the ones for birds. Indeed, according to most studies a larger plot and a diversity of plants favoured the diversity, abundance and richness of bees (Tommasi *et al*., 2004 ; Andersson *et al*., 2007 ; Arhné *et al*., 2009; Liere et Egerer, 2020 ; Rahimi *et al*., 2022 ; Philpott *et al*., 2023). Less intensive agricultural practices as well as a diverse habitat also appeared beneficial for diversity and abundance (Tommasi *et al*., 2004 ; Liere et Egerer, 2020 ; Rahimi *et al*., 2022). However, studies on the effects of the presence of native plants did not give clear results (Philpott *et al*., 2023), even if one systematic review stated that it is beneficial for bee diversity (Rahimi *et al*., 2022).

To conclude, the studies argued that, at the landscape level, urbanisation had a negative impact on wingless arthropods but almost no effect on flying insects (Chatelain *et al*., 2023). At the plot level, other indicators describing the functional diversity and composition of plant traits (growth form, floral attraction etc.) could have been better metrics to assess the influence of plants on arthropods (Philpott *et al*., 2023).

Figure 6: Impact of indicators on arthropod biodiversity

TAXA		**ARTHROPODS**														
		General			**Ladybeetles**			**Ants**			**Spiders**			**Bees**		
Factors category	**Factors**	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*	*Diversity*	*Abundance*	*Richness*
LANDSCAPE FACTORS																
Surrounding landscapes	Green areas (including other UA areas)	= (Egerer et al, 2017b)	= (Egerer et al, 2017b)			= (Philpott et al., 2023) (Egerer et al., 2017b)	= (Philpott et al., 2023) (Egerer et al., 2017b)		- (Philpott et al., 2023) + Native ants (Philpott et al. 2023)	= (Philpott et al., 2023)		= (Philpott et al., 2023)	= (Philpott et al., 2023)	+2 (Hernandez et al., 2009) Non native bees (Philpott, 2023)	+2+SR (Rahimi et al. 2022) (Philpott et al., 2023)	= (Philpott et al., 2023)
	Urbanised areas		$ (Chatelain et al., 2023)	- (Chatelain et al., 2023)		= (Philpott et al., 2023) (Egerer et al., 2017b)	= (Philpott et al., 2023) (Egerer et al., 2017b)		= (Philpott et al., 2023)	= (Philpott et al., 2023)						
Urban agriculture VS other land uses	Green roofs (including UA)													+ (Rahimi et al., 2022)	+ (Rahimi et al., 2022)	
	Urban													+ (Clucas et al., 2018) - Rahi		

														mi et al., 2022)		
LOCAL FACTORS																
Imperviousness	Imperviousness	Canopy or bush layer artthropods, particularly winglessgroups = Tree bark arthropods (Chatelain et al., 2023)	$ (Chatelain et al., 2023	Canopy or bush layer artthropods, particularly winglessgroups = Tree bark arthropods (Chatelain et al., 2023)								$ (Chatelain et al., 2023) (Philpott et al., 2023)		(Liere et al., 2020)		
Plot characteristics	Larger plots	+2 (Philpott et al., 2023) + Natural enemies (predators and parasitoids) (Burkman and Gardiner, 2014) + on green roofs (Coulibaly et al., 2023)	+ Predators and parasitoids (Burkman and Gardiner, 2014)			= (Philpott et al., 2023	- Non native ladybeetles (Philpott, 2023)	+ (Philpott et al., 2023)	= (Philpott et al., 2023)	= (Philpott, 2023)	+ (Philpott, 2023)	= (Philpott, 2023)	+ Non native spiders (Philpott, 2023)	+ (Philpott, 2023) (Liere et al., 2020)	= (Royer et al., 2023) + (Rahimi et al., 2022) (Philpott et al., 2023)	= (Royer et al., 2023) + (Philpott et al., 2023)
	Less intensive agricultural practices													+ (Liere et al., 2020)	+ (Rahimi et al., 2022)	
Habitat characteristics	Habitat heterogeneity												+ (Otoshi et al., 2015)	+ Bumblebee (Tammasi et al., 2004)	+ (Rahimi et al., 2022)	
	Plant diversity	+4 (Philpott et al.,	+2 Predators and	+ Predators and		+ (Eger er et al.,	+ (Philpott et al.,	+ (Philpott et	= (Philpott et al.,	= (Philpott et	+ (Philpott et	+ Non native spiders	+ (Philpott et	+ (Liere et al., 2020)	+ (Rahimi et al.,	= (Philpott et

		2023) (Liere et al., 2020) Pollinators other than bees (Liere et al., 2020) Predators and parasitoids (Burkman and Gardiner, 2014) on green roofs (Coulibaly et al., 2023)	parasitoids (Burkman and Gardiner, 2014) (Delgado de la Flor et al., 2017)	parasitoids (Delgado de la Flor et al., 2017)		2017b) = (Philpott et al., 2023	2023)	al., 2023)	2023)	al., 2023)	al., 2023)	(Philpott et al., 2023)	al., 2023)	Bumblebee (Tommasi et al., 2004) (	2022) Bumblebee (Tommasi et al., 2004) (Andersson et al., 2007) (Ahrné et al., 2009) - (Philpott et al., 2023)	al., 2023) + (Liere et al., 2020) (Ahrné et al., 2009)
	Presence of native plants	$ (Liere et al., 2020°			$ (Philpott et al., 2023)	= (Philpott et al., 2023)	= (Philpott et al., 2023)	$ (Philpott et al., 2023)	= (Philpott et al., 2023)	= (Philpott et al., 2023)		= (Philpott et al., 2023)	- Native spiders (Philpott et al., 2023)	+ (Rahimi et al., 2022) $ (Philpott, 2023)	$ (Philpott et al., 2023)	$ (Philpott et al., 2023)

Legend colours & marks: green (+)>positive impact; orange (-)>negative impact; grey (=)>neutral impact; purple ($)>complex impact

4. Discussion

The studies assessed and their content analysis suggest that community and allotment gardens in urban areas are rich in biodiversity. Overall, urban agriculture appears capable of supporting a diverse range of animal and plant species (Joimel *et al*., 2019; Royer *et al*., 2023 ; Fauzia *et al*., 2024). However, empirical data demonstrating these beneficial effects on the diversity, abundance, and richness of flora and fauna taxa remain scarce in the scientific literature (Clucas *et al*., 2018). The absence of a common definition for urban agriculture, along with the variability of sites and taxa studied, complicates the comparison of findings across different studies (*ibid*). Additionally, comparing various forms of urban agriculture is challenging, as biodiversity is influenced by spatial, functional, and organisational factors that can vary significantly even within the same type of urban agriculture (Royer *et al*., 2023). Acknowledging this methodological variability, our study aligns with the recommendations of Clucas *et al*. (2018) to develop standardised methodologies. More research is essential to deepen our understanding of the impacts of urban agriculture on biodiversity, with the establishment of common indicators and definitions for different forms of urban agriculture being crucial for producing comparable results in future studies. The use of participatory science via collaborative observatories represents a compelling avenue of inquiry. While this approach notably augments both the volume of generated data and the range of investigated subjects, it also introduces substantial biases and constrains longitudinal data monitoring (Pierret, 2018).

The methodology employed in this review carries several biases. First, the limited number of selected articles makes it difficult to generalise their findings. This small number of selected studies can be explained by the decision to remain general at the taxon level, rather than going into detail about specific genera or species, and it corroborates the results of studies showing that the impact of urban agriculture on biodiversity remains understudied (Clucas *et al*., 2018, Royer *et al*., 2023). Second, we did not include grey literature, and all selected articles were from Western countries and published in English, resulting in both scientific and geographical biases. Additionally, restricting our search to specific keywords may have further hindered our ability to uncover additional relevant resources. Lastly, cross-referencing results from various studies, which are not always directly comparable, necessitates simplification of the findings, potentially compromising their precision and robustness.

Despite these challenges, a general conclusion emerges from our analysis of scientific literature: most articles indicate that larger plots, greater plant diversity, and, to a lesser extent, improved habitat heterogeneity positively influence the biodiversity of the taxa assessed. The predominance of positive impacts over negative ones, likely influenced by the methodological factors discussed, supports the notion that urban agriculture tends to benefit biodiversity rather than decrease it.

This analysis also highlights the importance of considering various local and landscape factors linked to the physical and technical characteristics of the assessed areas. Several studies have underlined that local factor, particularly those related to spatial dynamics and activities, are intertwined with the historical and social contexts of the plots (Clucas *et al*., 2018 ; Joimel *et al*., 2019; Seitz *et al*., 2021). The history of a plot, along with the sociological profiles of gardeners, influences garden management, human disturbance, and habitat characteristics, which are significantly shaped by crop choices (Clucas *et al*., 2018 ; Consalès, 2004 ; Loram *et al*., 2008 ; Seitz *et al*., 2021). However, the ways in which these historical and social factors affect biodiversity in urban agricultural contexts warrant further investigation to enhance our understanding of these interactions (Liere & Egerer, 2020).

Finally, our analysis reveals that the impacts of urban agriculture on biodiversity have received limited attention from the scientific community (Royer *et al*., 2023). This may stem from the hypothesis that the study of urban agriculture and biodiversity remains a grey area for researchers. An examination of the literature indicates that biodiversity in agricultural systems is often seen as distinct from general biodiversity. While “wild” or “hosted” diversity is explored within the realm of ecology, agrobiodiversity typically falls under the domains of social sciences and agronomy (Royer *et al*., 2023). This trend may be even more pronounced in urban agriculture, given its predominantly urban and social perspective, which may overshadow its significance for biodiversity. Consequently, urban agriculture is primarily addressed by social sciences, with limited engagement from the natural sciences (Clucas *et al*., 2018), relegating the subject of biodiversity in urban agriculture back into a scientific grey area.

5. Conclusion

In conclusion, despite the adverse effects of urbanisation on biodiversity, urban agricultural sites appear to positively impact various taxonomic groups. However, the precise effects of urban agriculture on these groups remain unclear, with certain taxa receiving more attention than others. Several recommendations can be made to enhance the effectiveness of urban agriculture as a promoter of biodiversity. Specifically, larger plots and a diverse composition of vegetation should be prioritised to create a variety of ecological habitats. In addition, we would recommend that hedges, fruit trees and an increase in scattered grass cover, woody plants and floral resources are established to increase microhabitat heterogeneity and support biodiversity in gardens. Overall, promoting and raising awareness of agroecological practices in urban agricultural projects, as well as the synergies between crops and functional biodiversity, seems to be an avenue for improving biodiversity. Due to the diversity and variability of factors influencing biodiversity, we also encourage the implementation of biodiversity studies at plot level. These studies provide a better understanding of the on-site biodiversity, as well as

that which is lacking, and will define the specific amenities needed to foster it. Although this topic was not covered in this article, soil biodiversity also plays an important role, and implementing management practices that improve soil quality and heterogeneity would also help enhance general biodiversity (Joimel *et al*., 2019). Creating a network of diverse urban agricultural areas and green spaces throughout the city, which allow ecological corridors to pass through, is also a solution for promoting biodiversity in urban agricultural sites and cities in general, as it maintains high habitat heterogeneity. The surrounding landscape and the different types of urban green spaces within the city can provide a better understanding of biodiversity needs in terms of food, habitat and reproductive requirements enabling optimal layout and management of the site.

Overall, more research is needed to better understand the impact of urban agriculture on biodiversity. To address the current lack of representation, future studies should consider a broader diversity of species and taxa (Clucas *et al*., 2018), clarify and evaluate the distinctions between native and exotic biodiversity (*ibid*) and include a wider range of urban agriculture forms (*ibid*; Royer *et al*., 2023). To ensure a better understanding of the results, it is also important for studies to include systematic comparisons between different urban agricultural settings, as well as comparisons with urban or rural environments (Clucas *et al*., 2018 ; Liere et Egerer, 2020 ; Royer *et al*., 2023). Long-term studies would also be beneficial in assessing the transition from agricultural or urban sites to urban agriculture on biodiversity (Clucas *et al*., 2018 ; Coulibaly *et al*., 2023 ; Royer *et al*., 2023).Most importantly, a standardised approach should be developed to incorporate more precise criteria including location, internal organisation, functional and spatial dynamics, and human disturbance (Clucas *et al*., 2018 ; Royer *et al*., 2023). These criteria should be defined and shared collectively and include various levels of detail in order to be adapted for different taxa and qualify more precisely the differences in reactions between species and genders. The development of criteria in collaboration with field actors through action or applied research is also an avenue for future studies. By addressing these areas, we can enhance our understanding of urban agriculture's role in fostering biodiversity and inform better practices for its implementation.

Ethics

The authors declare that the experiments were carried out in compliance with the applicable national regulations.

Declaration on the availability of data and models

The data supporting the results presented in this article are available on request from the author of the article.

Declaration on Generative Artificial Intelligence and Artificial Intelligence Assisted Technologies in the Drafting Process

The authors used artificial intelligence in the translation process from English to French

Authors' contributions

Charlotte Liborio-Cornet Contributed equally to this work with Hugo de Vergès.

Roles: Conceptualisation, Data Curation, Formal Analysis, Methodology, Project Administration, Supervision, Validation, Visualisation, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing

Hugo de Vergès : Contributed equally to this work with Charlotte Liborio-Cornet

Roles: Conceptualisation, Formal Analysis, Funding Acquisition, Methodology, Project Administration, Supervision, Validation, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing

Declaration of interest

The authors declare that they do not work for, advise, own shares in, or receive funds from any organisation that could benefit from this article, and declare no affiliation other than those listed at the beginning of the article.

Acknowledgements

The authors would like to thank Dr. Verónica Arcas Pilz from ICTA-UAB (Barcelona, Spain), Dr Marta Sylla from the Institute of Spatial Management (Wroclaw, Poland), Dr Agnès Fargue-Lelièvre from AgroParisTech (Paris, France) and Guillaume Morel-Chevillet from ASTREDHOR (Marseille, France) for reviewing the article.

Declaration of financial support

This article was produced as part of the European research project FOODCITYBOOST (Grant Agreement No. 101132315), funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Research Executive Agency. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

References:

Ahrné K., Bengtsson J. and Elmqvist T. (2009). Bumble bees (Bombus spp) along a gradient of increasing urbanization. *PloS One,* 4 (5), e5574. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005574

Andersson E., Barthel S. and Ahrné K. (2007). Measuring Social–Ecological Dynamics Behind the Generation of Ecosystem Services. *Ecological Applications*, 17 (5), 1267–1278. https://doi.org/10.1890/06-1116.1

Aronson M.F., Lepczyk C.A., Evans K.L. *et al*. (2017). Biodiversity in the city: Key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15 (4), 189–196. https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.1480

Belevi H. and Baumgartner B. (2003). A systematic overview of urban agriculture in developing countries from an environmental point of view. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 3 (2), 193-211. https://doi.org/10.1504/ijetm.2003.003382

Burkman C.E. and Gardiner M.M. (2014). Urban greenspace composition and landscape context influence natural enemy community composition and function. *Biological Control*, 75, 58–67. https://daneshyari.com/article/preview/4503903.pdf

Callaghan C.T., Bino G., Major R.E. *et al*. (2019). Heterogeneous urban green areas are bird diversity hotspots: insights using continental-scale citizen science data. *Landscape Ecology*, 34 (6), 1231–1246. https://doi.org/10.1007/s10980-019-00851-6

Chatelain M., Rüdisser J. and Traugott M. (2023). Urban-driven decrease in arthropod richness and diversity associated with group-specific changes in arthropod abundance. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11. https://doi.org/10.3389/fevo.2023.980387

Castelli K.R., Silva A.M. and Dunning J.B. (2021). Improving the biodiversity in urban green spaces: A nature based approach. *Ecological Engineering*, 173, 106398. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857421002536

Clucas B., Parker I.D. and Feldpausch-Parker A.M. (2018). A systematic review of the relationship between urban agriculture and biodiversity. *Urban Ecosystems*, 21 (4), 635–643. https://doi.org/10.1007/s11252-018-0748-8

Coulibaly S.F.M., Aubry C., Provent F. *et al*. (2023). The role of green roofs as urban habitats for biodiversity modulated by their design: a review. *Environmental Research Letters*, 18 (7), 073003. https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd801

Delang C.O., Li W.M. (2012). Species richness and diversity. In Delang C.O., Li W.M. (eds). *Ecological Succession on Fallowed Shifting Cultivation Fields*. Springer, 2012, 39–66. https://www.researchgate.net/publication/278639960_Species_Richness_and_Diversity

Delgado de la Flor Y.A., Burkman C.E., Eldredge T. *et al*. (2017). Patch and landscape-scale variables influence the taxonomic and functional composition of beetles in urban greenspaces. *Ecosphere*, 8 (11), 02007. https://doi.org/10.1002/ecs2.2007

Egerer M., Arel C., Otoshi M. *et al*. (2017). Urban arthropods respond variably to changes in landscape context and spatial scale. *Journal of Urban Ecology*, 3 (1). https://doi.org/10.1093/jue/jux001

Egerer M., Bichier P. and Philpott S.M. (2017). Landscape and Local Habitat Correlates of Lady Beetle Abundance and Species Richness in Urban Agriculture. *Annals of the Entomological Society of America*, 110 (1), 97–103. https://doi.org/10.1093/aesa/saw063

Evans D.L., Falagan N., Hardman C.A. *et al*. (2022). Ecosystem service delivery by urban agriculture and green infrastructure – a systematic review. *Ecosystem Services*, 54, 101405. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101405

Fauzia A., Frimawaty E. and Arifin H.S. (2024). Urban agriculture as ecosystem services provider: A review. *Holistic: Journal of Tropical Agriculture Sciences*, 2 (1). https://doi.org/10.61511/hjtas.v2i1.2024.785

Fetridge E., Ascher J. and Langellotto G. (2009). The bee fauna of residential gardens in a suburb of New York City (Hymenoptera: Apoidea). *Annals of the Entomological Society of America*, 101 (6), 1067–1077. https://doi.org/10.1603/0013-8746-101.6.1067

IPBES (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES. https://doi.org/10.5281/zenodo.6417333

Johnson C.N., Balmford A., Brook B.W. *et al*. (2017). Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science*, 356 (6335), 270–275. https://www.science.org/doi/10.1126/science.aam9317

Joimel S., Schwartz C., Maurel N. *et al*. (2019). Contrasting homogenization patterns of plant and collembolan communities in urban vegetable gardens. *Urban Ecosystems*, 22 (3), 553–566. https://doi.org/10.1007/s11252-019-00843-z

Li G., Fang C., Li Y. *et al*. (2022). Global impacts of future urban expansion on terrestrial vertebrate diversity. *Nature Communications*, 13 (1), 1628. https://www.nature.com/articles/s41467-022-29324-2

Liere H. and Egerer M. (2020). Ecology of insects and other arthropods in urban agroecosystems. In Barbosa P. (eds) *Urban ecology: its nature and challenges*. CABI Books, 2020, 193–213. https://doi.org/10.1079/9781789242607.0193

Matteson K.C., Ascher J.S. and Langellotto G.A. (2008). Bee Richness and Abundance in New York City Urban Gardens. *Annals of the Entomological Society of America*, 101 (1), 140–150. https://doi.org/10.1603/0013-8746(2008)101[140:BRAAIN]2.0.CO;2

Mayorga I., Bichier P. and Philpott S.M. (2020). Local and landscape drivers of bird abundance, species richness, and trait composition in urban agroecosystems. *Urban Ecosystems*, 23 (3), 495–505. https://doi.org/10.1007/s11252-020-00934-2

McKinney M.L. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11 (2), 161–176. https://doi.org/10.1007/s11252-007-0045-4

Philpott S.M., Lucatero A., Andrade S. *et al*. (2023). Promoting Beneficial Arthropods in Urban Agroecosystems: Focus on Flowers, Maybe Not Native Plants. *Insects*, 14 (7), 576. https://doi.org/10.3390/insects14070576

Pierret P., 2018. Devine qui vient dîner …: graines des villes et graines des champs, ou l'impact de l'agriculture péri-urbaine sur les oiseaux des jardins, thesis, specialisation in Ecology, French National Museum of Natural History, 205p. https://theses.hal.science/tel-01887575v1/document

Rahimi E., Barghjelveh S. and Dong P. (2022). A review of diversity of bees, the attractiveness of host plants and the effects of landscape variables on bees in urban gardens. *Agriculture & Food Security*, 11 (1), 6. https://doi.org/10.1186/s40066-021-00353-2

Rodewald A.D. (2016). Urban Agriculture as Habitat for Birds. in Brown S., McIvor K. and Hodges Snyder E. (eds) *Sowing Seeds in the City*. Springer, 2016, 229–233. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7453-6_16

Royer H., Yengue J.L. and Bech N. (2023). Urban agriculture and its biodiversity: What is it and what lives in it?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 346, 108342. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108342

Seitz B., Buchholz S., Kowarik I. *et al*. (2022). Land sharing between cultivated and wild plants: urban gardens as hotspots for plant diversity in cities. *Urban Ecosystems*, 25 (3), 927–939. https://doi.org/10.1007/s11252-021-01198-0

Simkin R.D., Seto K.C., McDonald R.I. *et al*. (2022). Biodiversity impacts and conservation implications of urban land expansion projected to 2050. *Proceedings of the National Academy of* Sciences, 119 (12). https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2117297119

Sorace A. (2001). Value to Wildlife of Urban-Agricultural Parks: A Case Study from Rome Urban Area. *Environmental Management*, 28 (4), 547–560. https://doi.org/10.1007/s002670010243

Theodorou P., Radzevičiūtė R., Settele J. *et al*. (2016). Pollination services enhanced with urbanization despite increasing pollinator parasitism. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 283, p. 20160561. Available at: https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0561

Threlfall C.G., Mata L., Mackie J.A. *et al*. (2017). Increasing biodiversity in urban green spaces through simple vegetation interventions. *Journal of Applied Ecology*, 54 (6), 1874–1883. https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.12876

Tommasi D., Miro A., Higo H.A. *et al*. (2004). Bee diversity and abundance in an urban setting. *The Canadian Entomologist*, 136 (6), 851–869. https://doi.org/10.4039/n04-010

To cite this article : Charlotte Liborio-Cornet, Hugo de Verges. Biodiversity and Urban agriculture: Insights and future directions. Innovations Agronomiques, 2025, 108, pp.1-19. 10.17180/ciag-2025-vol108-art01

CC BY 4.0 Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.

Agriculture 5.0 : Opportunités et défis des grands modèles de langage

Jean-Pierre CHANET[1]

[1] UR TSCF, INRAE, Université Clermont Auvergne, 63172 Aubière

Correspondance : jean-pierre.chanet@inrae.fr

DOI : https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art02

Résumé

Cet article examine le potentiel des grands modèles de langage (LLM) pour transformer le secteur agricole en améliorant la gestion des cultures, la précision des recommandations et l'adaptation au changement climatique. Les LLM permettent d'analyser et de synthétiser des données hétérogènes en temps réel, ouvrant de nouvelles perspectives pour l'agriculture et l'assistance aux agriculteurs. Cependant, leur intégration soulève des défis majeurs, notamment en matière d'exactitude des données, de confidentialité, d'impact énergétique et d'équité d'accès. Cet article met en lumière les opportunités et les limites des LLM et leur emploi dans le secteur agricole. Il envisage les perspectives, soulignant leur rôle potentiel dans la transition vers une agriculture plus durable, inclusive et résiliente.

Mots-clés : Agriculture, Intelligence Artificielle, LLM, Modèles génératifs, Chatbot

Abstract: Agriculture 5.0: Opportunities and challenges of large language models

This article examines the potential of large language models (LLM) to transform the agricultural sector by improving crop management, the accuracy of recommendations and adaptation to climate change. LLM make it possible to analyse and synthesise heterogeneous data in real time, opening up new perspectives for agriculture and assistance to farmers. However, their integration raises major challenges, particularly in terms of data accuracy, confidentiality, energy impact and equity of access. This article highlights the opportunities and limitations of LLM and their use in the agricultural sector. It looks ahead, highlighting their potential role in the transition to more sustainable, inclusive and resilient agriculture.

Keywords: Agriculture, Artificial Intelligence, LLM, Generative models, Chatbot

1. Introduction

L'application des grands modèles de langage (Large Language Model - LLM) à l'agriculture marque un tournant dans le domaine de l'agriculture numérique, améliorant les capacités du secteur à relever des défis complexes tels que l'alimentation mondiale, la résilience climatique et les pratiques agricoles durables, comme l'agroécologie.

La CNIL définit l'Intelligence Artificielle (IA) comme « *un procédé logique et automatisé reposant généralement sur un algorithme et en mesure de réaliser des tâches bien définies* » (CNIL 2025). Cela regroupe « *les approches d'apprentissage automatique ; les approches fondées sur la logique et les connaissances ; et les approches statistiques, l'estimation bayésienne, et les méthodes de recherche et d'optimisation* ». La loi européenne sur l'intelligence artificielle (Metsola et Michel 2024) définit (chapitre I, article 3) un système à base d'IA comme un « *système basé sur une machine qui est conçu pour fonctionner avec différents niveaux d'autonomie et qui peut faire preuve d'adaptabilité après son déploiement, et qui, pour des objectifs explicites ou implicites, déduit, à partir des données qu'il reçoit, comment générer des résultats tels que des prédictions, du contenu, des recommandations ou des décisions qui peuvent influencer des environnements physiques ou virtuels* ». L'usage de l'IA en agriculture remonte aux premières tentatives d'automatisation des processus et d'analyse des

données : ces travaux portaient sur les systèmes experts et leur capacité à prendre des décisions sur la base de règles inférées (McKinion et Lemmon 1985), mais également sur l'analyse des images, notamment en télédétection (Estes, Sailer, et Tinney 1986). Depuis l'usage de l'IA n'a cessé de croitre (Garcia Vazquez, Torres, et Perez Perez 2021), facilité par l'émergence de nouvelles et nombreuses sources de données : capteurs embarqués sur les machines (GPS, rendement, caméras...), satellites, drones, objets communicants.

Depuis 2015, on constate que la masse de données disponibles ainsi que les puissances de calcul disponibles ont permis à l'apprentissage profond d'investir de manière massive le secteur de l'agriculture (Coulibaly *et al*. 2022). L'apprentissage profond est utilisé pour identifier les cultures et les mauvaises herbes à partir d'images (Rai *et al*. 2023), permettant une gestion plus précise des cultures et une application ciblée des herbicides (Fan *et al*. 2023) ou un désherbage mécanique robotisé (Quan *et al*. 2022). Il est également appliqué à la détection précoce des maladies et des ravageurs, permettant une intervention rapide et limitant les pertes de récoltes (Ahmad, Saraswat, et El Gamal 2023 ; Pallagani *et al*. 2019). Des modèles d'apprentissage sont utilisés pour estimer le rendement des cultures à partir de données de télédétection (Muruganantham *et al*. 2022), aidant les agriculteurs à optimiser leurs pratiques de gestion. Ces méthodes sont aussi utilisées pour optimiser l'irrigation en fonction des besoins spécifiques des cultures et des conditions environnementales (Kashyap *et al*. 2021).

Selon (Smith 2018), l'IA est maintenant mature et transforme l'agriculture moderne en améliorant la précision des informations collectées sur le terrain, permettant des décisions éclairées apportant une réelle plus-value aux filières. Mais ces technologies ne sont pas uniquement à voir comme des outils au service de la productivité. Une approche durable de l'agriculture bénéficie également de ces progrès. (Mathur 2023) explore comment ces technologies contribuent à des pratiques agricoles durables, permettant aux agriculteurs de surveiller l'humidité du sol, la qualité de l'air, et les niveaux de toxicité pour mieux gérer les ressources.

Aujourd'hui, l'avènement des LLM, tels que ChatGPT, Mistral, Gemini… marque une nouvelle ère pour l'agriculture. Ces modèles peuvent traiter de vastes volumes de données non structurées, y compris des rapports de recherche, des prévisions météorologiques, des textes réglementaires et des données agricoles historiques, afin de générer des informations exploitables (Andreev *et al*. 2024). Cette capacité à synthétiser des informations provenant de diverses sources hétérogènes a élargi l'application de l'IA dans l'agriculture tout en facilitant les interactions homme-machine (Silva *et al*. 2023).

Si ces technologies offrent des avantages considérables pour l'agriculture, tels que la précision dans le suivi des cultures, elles présentent également plusieurs défis qu'il convient de relever pour une intégration généralisée et équitable. Des questions telles que l'accessibilité des données, les coûts de calcul, les problèmes de confidentialité et l'interprétabilité des modèles restent des limitations à l'usage des LLM dans l'agriculture. Les recherches existantes soulignent l'importance de développer des modèles de langages qui soient non seulement précis et évolutifs (Sindhu B *et al*. 2024), mais aussi interprétables (Doshi-Velez et Kim 2017), économes en énergie (Jiang *et al*. 2024). En outre, le besoin de cadres éthiques et d'un accès équitable aux outils pilotés par l'IA est important (Liyanage et Ranaweera 2023) : Il est essentiel de veiller à ce que ces techniques soutiennent des pratiques agricoles durables sans accroitre les inégalités ou la dégradation de l'environnement.

Cet article explore le rôle transformateur des LLM dans l'agriculture en analysant leurs applications actuelles, les défis qu'ils posent, et leurs perspectives d'avenir. La section 2 met en lumière les différentes utilisations des LLM en s'appuyant sur des exemples issus des dernières recherches. La section 3 examine les défis liés à leur adoption et leur déploiement, notamment en termes d'exactitude, de disponibilité des données, de confidentialité et d'impact énergétique. Enfin, la dernière section envisage les développements futurs dans un secteur en constante évolution, soulignant leur potentiel à transformer les pratiques agricoles tout en respectant les impératifs de durabilité et d'équité.

2. Applications des grands modèles de langage en agriculture

2.1. Gestion des cultures et détection des ravageurs

Les LLM se sont imposés comme des outils puissants dans de nombreux domaines, y compris l'agriculture. Leur capacité à traiter et à analyser des quantités massives de données textuelles et visuelles offre de nouvelles perspectives pour la gestion des cultures et la détection des ravageurs (Lu *et al*. 2023 ; Garcia Vazquez, Torres, et Perez Perez 2021). Les études suggèrent qu'ils pourraient jouer un rôle essentiel dans l'amélioration de la productivité agricole et la gestion durable des ressources (Balaguer *et al*. 2024 ; Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024).

L'un des domaines d'application prometteurs des LLM en agriculture est le diagnostic des maladies et des infestations des cultures (Park et Choi 2024 ; Qing *et al*. 2023 ; Selva Kumar *et al*. 2024). Les approches traditionnelles de détection des ravageurs reposent souvent sur l'expertise de spécialistes, ce qui peut s'avérer coûteux et prendre du temps. Les modèles, entraînés sur de vastes ensembles de données d'images et de descriptions textuelles de maladies et de ravageurs (Peng *et al*. 2023), offrent une alternative efficace. Un agriculteur peut prendre une photo d'une plante potentiellement malade et la soumettre à un outil pour analyse. Le modèle, capable de traiter l'information visuelle, peut alors fournir un diagnostic, ainsi que des recommandations sur les traitements possibles (Qing *et al*. 2023). De plus, des techniques telles que la RAG (Retrieval-Augmented Generation) sont utilisées pour améliorer la précision des diagnostics en permettant aux modèles d'accéder à des informations actualisées et contextuelles provenant de bases de données spécifiques (Selva Kumar *et al*. 2024).

Outre le diagnostic, les LLM peuvent également être utilisés pour automatiser la création de bases de connaissances agricoles complètes. (Wang, Cui, et Liu 2023) soulignent leur capacité à extraire des informations pertinentes de documents agricoles tels que des articles de recherche, des manuels et des rapports scientifiques, puis à organiser ces informations de manière structurée. Ces bases de connaissances, accessibles aux agriculteurs, aux chercheurs et aux étudiants, faciliteraient la diffusion des connaissances, la formation et permettraient une prise de décision éclairée en matière de gestion des cultures.

Les LLM peuvent également aider à fournir des recommandations personnalisées aux agriculteurs pour la gestion de leurs cultures (Park et Choi 2024 ; Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024). En intégrant des données provenant de diverses sources, telles que les prévisions météorologiques (Park et Choi 2024), les conditions du sol, les besoins spécifiques des cultures et les données historiques sur les rendements (Tan 2024), les modèles peuvent fournir des informations sur mesure pour optimiser l'utilisation des ressources, améliorer la santé des cultures et maximiser les rendements (Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024). Par exemple, un outil d'aide à la décision basé sur ces approches pourrait aider un agriculteur à déterminer le meilleur moment pour planter, fertiliser ou irriguer en fonction des conditions spécifiques de son exploitation (Johnson et Wilson 2024).

2.2. Conseil agronomique et assistance aux agriculteurs

Grâce à leur capacité à traiter et à comprendre de grandes quantités de données textuelles, les LLM peuvent servir de plateformes interactives pour dispenser des recommandations personnalisées et spécifiques au contexte. Par exemple, des études sur le terrain au Nigéria ont démontré le potentiel de ces solutions à fournir des conseils techniques aux cultivateurs de manioc, améliorant ainsi la prise de décision et la productivité (Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024). En combinant ces techniques avec des prompts pertinents, les chercheurs peuvent affiner davantage les capacités des modèles à générer des résultats précis et adaptés sur le plan contextuel pour des tâches spécifiques de gestion des machines agricoles (Johnson et Wilson 2024).

L'intégration des LLM dans les services de vulgarisation agricole est particulièrement prometteuse. Ils peuvent simplifier les connaissances scientifiques complexes, les rendant accessibles aux agriculteurs qui n'ont peut-être pas d'expertise technique (Tzachor *et al*. 2023). De plus, les modèles peuvent fournir des recommandations agricoles personnalisées et basées sur les données, adaptées à des emplacements spécifiques (Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024). Cette capacité à fournir des conseils adaptés aux conditions locales est cruciale pour résoudre les défis agricoles spécifiques auxquels sont confrontés les agriculteurs de différentes régions. On voit apparaitre des startups mobilisant ce type de technologies pour l'évaluation des risques (financier, climatique). Cependant, il est essentiel de reconnaître les limites de cette technologie et de s'assurer que les recommandations générées sont validées par des experts humains (Tzachor *et al*. 2023).

Les chatbots basés sur ces techniques offrent une interface intuitive pour l'assistance agricole. En tirant parti du traitement du langage naturel, les chatbots peuvent répondre aux questions des agriculteurs, fournir des conseils personnalisés et offrir un support en temps réel (Benzinho *et al*. 2024 ; De Clercq 2024 ; Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024). Ces agents conversationnels peuvent aider les agriculteurs à accéder à des informations sur des sujets tels que la gestion des cultures, les techniques d'élevage, les machines agricoles... (Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024). L'utilisation de chatbots peut simplifier l'interaction avec les plateformes technologiques complexes, améliorant ainsi l'accessibilité et l'adoption de solutions numériques dans l'agriculture (Benzinho *et al*. 2024). Cependant, il est important de noter que la qualité des conseils fournis par les chatbots dépend fortement de la qualité des données utilisées pour leur entrainement et de l'intégration efficace des connaissances du domaine agricole : Les techniques de Retrieval-Augmented Generation (RAG) améliorent la qualité des réponses des LLM en leur permettant d'accéder à des sources de données spécifiques pour des informations plus complètes et précises (Balaguer *et al*. 2024 ; Silva *et al*. 2023). Le processus RAG comporte deux étapes principales : la récupération et la génération (Li *et al*. 2024). Lors de la récupération, le système identifie les documents les plus pertinents dans une base de connaissances ou un corpus externe en fonction de la requête de l'utilisateur. Ensuite, lors de la génération, les informations récupérées sont intégrées au processus de génération du modèle de langage, lui permettant de fournir des réponses plus complètes, précises et contextuelles. On peut souligner que plusieurs preuves de concept de chatbots agricoles ont été développées lors du hackathon GAIA (Generative Artificial Intelligence for Agriculture), organisé par la Ferme Digitale, qui s'est déroulé à deux reprises (2024 et 2025) lors du salon international de l'agriculture à Paris (La Ferme Digitale 2025).

2.3. Apprentissage et enseignement agricole

Ces modèles peuvent créer des plateformes d'apprentissage personnalisées et interactives, rendant l'information scientifique complexe plus accessible aux agriculteurs (Park et Choi 2024 ; Yang *et al*. 2024). En utilisant un langage simple et clair, un LLM peut expliquer des concepts difficiles et fournir des conseils adaptés aux besoins spécifiques de chaque utilisateur.

Les modèles génératifs peuvent aller au-delà de la simple transmission d'informations en développant des outils pédagogiques innovants : des simulations immersives et des jeux sérieux peuvent permettre aux agriculteurs d'expérimenter différentes pratiques agricoles et de visualiser l'impact de leurs décisions (Ray 2023). Un modèle pourrait simuler des scénarios de gestion des cultures en tenant compte de facteurs tels que les conditions météorologiques, les types de sols et les variétés de plantes, offrant ainsi une expérience d'apprentissage. En plus des simulations, les LLM pourraient jouer le rôle d'assistants virtuels, disponibles 24h/24 et 7j/7 pour répondre aux questions des agriculteurs et leur fournir un soutien personnalisé (Koyuturk *et al*. 2023 ; Lu *et al*. 2023). Ces assistants pourraient suivre la progression de l'apprentissage des agriculteurs, identifier les lacunes dans leurs connaissances et proposer des ressources complémentaires pour les aider à approfondir leur compréhension des concepts clés, notamment dans le contexte de transition agroécologique.

3. Défis liés à l'intégration des LLM en agriculture

L'intégration des LLM en agriculture promet d'énormes avancées dans la gestion et l'optimisation des pratiques agricoles, mais elle soulève également des défis importants sous différents aspects. Les principaux enjeux et les défis associés portent notamment sur ce qui concerne l'exactitude des données, le manque de données exploitables pour différents contextes, la confidentialité des données, les considérations éthiques, et enfin, l'impact énergétique.

3.1. Hallucination et exactitude des données

L'un des principaux défis de l'application des modèle génératifs en agriculture est le risque d'hallucination, où le modèle génère des informations inexactes ou trompeuses qui ne reflètent pas la réalité (Koh *et al*. 2024). Cela peut être particulièrement problématique dans un domaine comme l'agriculture, où des conseils inexacts peuvent avoir de graves conséquences sur les rendements des cultures, la santé écosystèmes et la rentabilité des exploitations. Les hallucinations peuvent provenir d'inexactitudes dans les données d'apprentissage, de biais dans le modèle ou d'un manque de connaissances contextuelles (Benzinho *et al*. 2024 ; Koh *et al*. 2024 ; Zhang et Gao 2023). Par exemple, un modèle entrainé sur des données provenant principalement de pays possédant une agriculture intensive (comme aux USA, pays des principaux acteurs du secteur) pourrait ne pas être en mesure de fournir des conseils pertinents aux exploitations agroécologiques en France ou dans des pays en développement (De Clercq 2024).

La qualité et l'exactitude des données utilisées pour entraîner les modèles sont cruciales (Lu *et al*. 2023 ; X. Zhao *et al*. 2024 ; Zhu *et al*. 2024). Des données insuffisantes, de mauvaise qualité, fausses ou falsifiées peuvent entraîner des hallucinations et des résultats inexacts (Benzinho *et al*. 2024). Si un modèle est entraîné sur un ensemble de données contenant des informations erronées sur la quantité de pesticides à appliquer à certaines cultures, il pourrait donner des conseils dangereux aux agriculteurs (De Clercq 2024). Il est donc essentiel de garantir l'accès à des ensembles de données agricoles de haute qualité, complets et représentatifs pour former des systèmes efficaces et fiables (Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024 ; Lu *et al*. 2023 ; Zhu *et al*. 2024).

Plusieurs stratégies peuvent être utilisées pour atténuer les hallucinations et améliorer l'exactitude des données. L'une d'entre elles consiste à utiliser les RAG (Retrieval-Augmented Generation), qui permettent d'enrichir les LLM avec des données spécifiques pertinentes provenant de sources fiables (Balaguer *et al*. 2024 ; Selva Kumar *et al*. 2024). La stratégie consiste à affiner les modèles sur des ensembles de données spécifiques à un domaine, comme des données agricoles locales, pour améliorer leur pertinence et leur précision (Awais *et al*. 2024 ; Balaguer *et al*. 2024 ; De Clercq 2024 ; Kuska, Wahabzada, et Paulus 2024).

Il est de plus essentiel de mettre en place des mécanismes de validation des résultats générés, en faisant appel à des experts du domaine ou à des systèmes de vérification des faits, pour garantir la fiabilité des informations fournies aux agriculteurs (Koh *et al*. 2024 ; Zhu *et al*. 2024).

3.2. Manque de données exploitables spécifiques aux différents contextes

Comme nous l'avons souligné, les systèmes RAG offrent un potentiel prometteur pour un bon usage des LLM en agriculture, mais leur création dans ce secteur soulève d'importantes questions et défis. La construction d'une base de connaissances exhaustive représente un obstacle majeur. Les documents agricoles, tels que les rapports de recherche, les manuels techniques et les textes réglementaires, sont souvent dispersés dans diverses sources et peuvent adopter des formats non structurés, ce qui rend leur extraction et leur intégration difficiles. De plus, l'agriculture est un domaine en constante évolution, avec de nouvelles recherches, technologies et meilleures pratiques qui émergent régulièrement, notamment dans le contexte actuel d'évolution des pratiques et d'adaptation au changement climatique.

Maintenir la pertinence et l'actualité d'un RAG agricole exige une mise à jour continue, ce qui peut être une tâche complexe et coûteuse (Banerjee, Das, et Mondal 2024).

Afin de bien spécialiser les modèles aux différents contextes (zones pédo-climatiques, types de production...), il est important de disposer de données en quantité et qualité suffisante caractérisant ces différents contextes : ceci n'est malheureusement pas toujours le cas (Weersink *et al*. 2018). La recherche s'oriente vers des solutions pour surmonter ces défis, notamment la génération de données synthétiques (Sapkota, Meng, et Karkee 2024), l'intégration d'expertise humaine (Awais *et al*. 2024), l'utilisation de techniques de pointe comme l'apprentissage séquentiel et le développement de modèles spécialisés pour l'extraction d'informations (Abchiche *et al*. 2023 ; Peng *et al*. 2023). Malgré ces efforts, la question de la disponibilité des données reste un obstacle important à la création de RAG performants et fiables pour l'agriculture.

Par ailleurs, la création de RAG agricoles soulève des questions d'éthique et de responsabilité. La confidentialité des données agricoles, la propriété intellectuelle et le potentiel de biais algorithmique doivent être soigneusement examinés et atténués (Sparrow, Howard, et Degeling 2021). Assurer la transparence, l'équité et la responsabilité dans le développement et le déploiement de RAG agricoles est crucial pour gagner la confiance des agriculteurs et des autres parties prenantes.

3.3. Confidentialité et propriété des données

La question de la confidentialité et de la propriété des données en agriculture est cruciale, notamment lorsque les données utilisées contiennent des informations non anonymes et sensibles sur les pratiques agricoles, les rendements des cultures ou les résultats financiers des exploitations. Les LLM, en raison de leur capacité à mémoriser des fragments de données d'entraînement, posent un risque de fuite d'informations privées. Ainsi, l'usage de ces modèles nécessite l'intégration de techniques de protection de la vie privée comme par exemple les travaux de (Xiao *et al*. 2024) qui proposent des modèles capables de protéger les données tout en garantissant l'efficacité des recommandations pour le secteur agricole. En outre, l'adoption de méthodes de protection de la vie privée, telles que la confidentialité différentielle, peut prévenir les risques de fuite d'informations personnelles, bien que cela puisse affecter la précision des modèles (Plant, Giuffrida, et Gkatzia 2022). (Peris *et al*. 2023) et (Majmudar *et al*. 2022) mettent en avant des mécanismes de protection durant le processus d'inférence, limitant les risques de fuite tout en maintenant la fonctionnalité des LLM pour des applications agricoles sensibles.

Selon (Bronson et Knezevic 2016), la collecte massive de données agricoles, facilitée par les technologies modernes comme les capteurs et les LLM, peut transformer les relations de pouvoir entre les agriculteurs et les grandes entreprises technologiques. Cela soulève des questions éthiques sur la propriété et le contrôle des données, particulièrement lorsque celles-ci sont essentielles pour optimiser les pratiques agricoles et répondre aux exigences du marché. Les défis de confidentialité dans le traitement des données agricoles avec des modèles nécessitent des lignes directrices claires pour protéger les données des exploitants et éviter des conséquences négatives pour la concurrence dans le secteur (Sykuta 2016).

3.4. Considérations éthiques

L'intégration des LLM en agriculture soulève des préoccupations éthiques et pratiques majeures qui nécessitent une attention particulière pour garantir une adoption équilibrée et bénéfique pour les agriculteurs. D'abord, l'automatisation des processus décisionnels via ces solutions pourrait réduire la nécessité de main-d'œuvre humaine, mettant potentiellement en péril les emplois agricoles (Eloundou *et al*. 2023). Bien que l'automatisation puisse améliorer l'efficacité, elle risque aussi d'éroder les savoir-faire et pratiques traditionnels essentiels pour les communautés locales.

De plus, le développement et la maintenance des modèles nécessitent des ressources informatiques et une expertise technique considérables, créant une dépendance des petits exploitants agricoles et des pays envers les grandes entreprises technologiques, le plus souvent américaines. Cette dépendance pose des questions d'accessibilité, de coût et de contrôle, risquant de limiter l'accès équitable à ces technologies (Benhamou 2020). Les enjeux linguistiques et culturels s'ajoutent également aux défis, notamment dans les régions où le savoir agricole est ancré dans des langues locales. (X. Zhao *et al*. 2024) soulignent la nécessité de modèles localisés capables de traiter des terminologies propres à chaque région, rendant ces technologies plus accessibles et pertinentes pour des contextes variés.

Par ailleurs, la question de l'interprétabilité et de la fiabilité des LLM demeure un défi important (Singh *et al*. 2024). Souvent perçus comme des « boîtes noires », ces modèles fournissent des recommandations sans explications, ce qui limite la confiance que les agriculteurs peuvent leur accorder. L'absence de clarté dans le raisonnement des modèles peut freiner leur adoption, notamment pour les agriculteurs qui ont besoin de comprendre le processus décisionnel et que celui-ci soit aligné avec leurs valeurs (Jeanneaux 2018). La précision et la clarté des explications influencent la confiance des utilisateurs dans les systèmes à base d'IA (Papenmeier *et al*. 2022).

3.5. Energie

L'usage de ces techniques bien que prometteuse pour améliorer la gestion des cultures et la production alimentaire, soulève un défi énergétique important. Les LLM, avec leurs milliards de paramètres, exigent d'énormes quantités d'énergie pour le processus d'inférence, c'est-à-dire l'utilisation du modèle pour générer du texte ou effectuer des analyses (Wilkins, Keshav, et Mortier 2024). Ce besoin énergétique est principalement dû à la taille massive des modèles, qui comptent souvent des milliards de paramètres, et à l'attente de latence faible pour les applications. La demande croissante pour des applications basées sur ces modèles met à rude épreuve les infrastructures des centres de données, qui sont déjà responsables d'une part importante de la consommation mondiale d'électricité (Stojkovic *et al*. 2024). Cette situation est aggravée par le fait que l'inférence des LLM peut consommer 25 fois plus d'énergie que l'entraînement du modèle sur une année d'utilisation (Stojkovic *et al*. 2024).

L'utilisation de technologies à forte empreinte carbone est en contradiction avec l'objectif de durabilité environnementale, qui est un impératif pour le secteur agricole. Il est donc crucial de trouver des solutions pour optimiser l'efficacité énergétique des LLM afin de garantir une intégration de ces technologies dans les pratiques agricoles tout en minimisant leur impact environnemental (Faiz *et al*. 2023).

L'utilisation de petits modèles de LLM embarqués offre des avantages significatifs en termes d'efficacité énergétique et de confidentialité des données. Les petits modèles, avec un nombre réduit de paramètres, exigent moins de ressources informatiques, ce qui permet une exécution efficace sur des appareils à faible consommation énergétique (Qing *et al*. 2023).

4. Perspectives pour les LLM en agriculture

Alors que le secteur agricole doit faire face à des défis croissants liés au changement climatique, à la rareté des ressources et à l'augmentation démographique, les LLM se présentent comme des solutions novatrices, capables de redéfinir les paradigmes agricoles. Ces modèles offrent des perspectives prometteuses pour maintenir la productivité tout en favorisant des pratiques durables et résilientes.

Une des perspectives les plus prometteuses est l'amélioration de l'agriculture de précision grâce à des outils d'aide à la décision localisés. Les progrès des modèles dans l'intégration de données multimodales (texte, imagerie satellite, données de capteurs) permettront d'obtenir des analyses contextualisées, offrant aux agriculteurs des recommandations précises sur l'irrigation, la fertilisation ou la lutte contre les ravageurs. Ces ajustements basés sur des données en temps réel visent à réduire le

gaspillage de ressources et à minimiser l'impact environnemental. Selon (Micheni, Machii, et Murumba 2022), les systèmes capables d'analyser simultanément des données environnementales et des textes agronomiques favoriseront une agriculture plus efficiente et respectueuse des écosystèmes.

Pour renforcer leur adoption, les systèmes devront être conçus avec une interprétabilité accrue, répondant ainsi à la demande d'explicabilité des modèles. Les utilisateurs, notamment les agriculteurs, doivent comprendre le raisonnement sous-jacent aux recommandations proposées. Des cadres d'interprétabilité robustes permettront de renforcer la confiance dans ces technologies, améliorant leur acceptation et leur utilité dans les pratiques agricoles diverses (Lei *et al*. 2024 ; R. Zhao *et al*. 2023).

Les LLM devraient également jouer un rôle central dans les stratégies d'adaptation au changement climatique. Face aux conditions météorologiques de plus en plus imprévisibles, ces modèles peuvent fournir des informations critiques sur les risques climatiques, permettant aux agriculteurs d'adapter les rotations culturales, les calendriers des itinéraires culturaux et les besoins en intrants. (Kraus *et al*. 2023) prévoit que les modèles évolueront pour rendre exploitables des données climatiques complexes, en les traduisant en conseils pratiques pour les petits exploitants agricoles, souvent les plus vulnérables aux aléas climatiques.

L'intégration de ces techniques génératives avec les technologies robotiques et l'Internet des Objets (IoT) représente une autre voie majeure de développement. Les robots agricoles équipés de modèles de langage pourront interpréter des données IoT en temps réel et ajuster de manière autonome leurs opérations, notamment pour la lutte contre les ravageurs, le désherbage et la récolte. (Ren *et al*. 2023) suggère que ces technologies offriront une meilleure compréhension contextuelle, permettant une automatisation plus précise et efficace des tâches agricoles.

Par ailleurs, le développement de modèles adaptés à des contextes culturels et linguistiques spécifiques est essentiel pour rendre ces technologies accessibles à une diversité d'agriculteurs. L'émergence de modèles capables de fournir des conseils pertinents dans les langues et dialectes locaux, renforçant ainsi leur applicabilité dans les régions rurales est envisageable (X.-P. Nguyen *et al*. 2024). En parallèle, la démocratisation de l'IA nécessitera des initiatives pour développer des modèles open-source (Scao *et al*. 2023) et économiquement accessibles afin que même les petits exploitants agricoles puissent tirer parti de ces avancées.

Avant de généraliser l'adoption de l'IA et des LLM en agriculture, une évaluation éthique et réglementaire approfondie est indispensable. Les promesses d'efficacité doivent être confrontées aux risques potentiels : désinformation (V. Nguyen *et al*. 2024), impact sur l'emploi et l'accès aux données agricoles (Tzachor *et al*. 2023). Les défis éthiques concernent l'équité, les biais inhérents aux modèles (Zhu *et al*. 2024 ; B. Zhao *et al*. 2023) et le manque de transparence ("boîte noire") (Abchiche *et al*. 2023). Bien qu'un cadre législatif européen existe (Metsola et Michel 2024), des réglementations spécifiques au domaine agricole sont nécessaires pour la protection des données, les normes de performance et la responsabilité car la souveraineté alimentaire est très importante.

Ls LLM offrent des opportunités considérables pour transformer l'agriculture en un écosystème plus interconnecté, intelligent et durable. En surmontant les limitations actuelles et en mettant l'accent sur l'interprétabilité, l'inclusivité et la durabilité environnementale, ces technologies ont le potentiel de redéfinir les pratiques agricoles et de renforcer la résilience des systèmes alimentaires à l'échelle mondiale.

5. Conclusion

Les grands modèles de langage s'imposent comme une technologie clé pour transformer l'agriculture en un secteur plus intelligent, durable et résilient. En permettant une analyse approfondie et contextuelle des données agricoles, Ils offrent des solutions innovantes pour relever des défis cruciaux tels que l'optimisation des ressources, l'adaptation au changement climatique et l'amélioration de la

productivité. Leur capacité à traiter des données multimodales en temps réel, à fournir des recommandations personnalisées et à renforcer les interactions homme-machine ouvre de nouvelles perspectives pour les agriculteurs, les chercheurs et les décideurs.

Cependant, leur adoption lorsque cela est nécessaire nécessite de répondre des questions importantes. La précision des recommandations, la disponibilité des données pertinentes, la confidentialité et les défis énergétiques sont autant d'aspects qui nécessitent des solutions adaptées. Les préoccupations éthiques, notamment en ce qui concerne l'équité d'accès, la localisation des modèles linguistiques et la réduction de la dépendance envers les grandes entreprises technologiques, doivent également être au centre des discussions pour garantir une adoption inclusive. Les enjeux de souveraineté alimentaire doivent également être pris en considération dans le cadre de la réglementation : les textes actuels ne considèrent pas l'agriculture comme une secteur à risque vis-à-vis de l'IA (sauf pour la sécurité des engins agricoles).

L'avenir des LLM en agriculture repose sur la recherche et le développement de modèles plus interprétables, efficaces sur le plan énergétique, et spécialisés dans des contextes agricoles variés. Le développement de modèles open-source et l'utilisation de techniques telles que les RAG (Retrieval-Augmented Generation) constituent des pistes prometteuses pour maximiser l'impact des LLM tout en atténuant leurs limites. Enfin, leur intégration avec les technologies de l'agriculture 4.0, telles que la robotique et l'IoT, pourrait marquer un tournant décisif dans la modernisation des pratiques agricoles.

En conclusion, les LLM possèdent un potentiel immense pour redéfinir les paradigmes agricoles tout en répondant aux enjeux contemporains de durabilité et de résilience. À condition de relever les défis qui subsistent, ils pourraient jouer un rôle essentiel dans l'élaboration d'un système alimentaire mondial plus robuste, équitable et respectueux de l'environnement.

Éthique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Dans l'esprit de cet article, l'auteur à mobiliser les LLM pour la rédaction de cet article suivant la méthodologie suivante : après une recherche d'articles en lien avec le sujet de l'article, l'ensemble des sources sous forme de PDF a été utilisé pour constituer un corpus qui a été téléchargé dans un carnet NotebookLM1 de Google ; Il a été ensuite possible d'interagir avec les références en fonction des problématiques à aborder.

ORCIDs des auteurs

Jean-Pierre Chanet : https://orcid.org/0000-0002-7011-4535

Contributions des auteurs

L'auteur a réalisé l'ensemble des tâches nécessaire à la rédaction de l'article.

[1] https://notebooklm.google.com/

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Références bibliographiques

Abchiche, Sarah, Lynda Said Lhadj, Vincent Guigue, et Laure Soulier. 2023. « Intégration du raisonnement numérique dans les modèles de langue : État de l'art et direction de recherche ». In *Actes de CORIA-TALN 2023. Actes de la 18e Conférence en Recherche d'Information et Applications (CORIA)*, édité par Haïfa Zargayouna, 173-84. Paris, France: ATALA. https://aclanthology.org/2023.jeptalnrecital-coria.11.

Ahmad, Aanis, Dharmendra Saraswat, *et al*y El Gamal. 2023. « A survey on using deep learning techniques for plant disease diagnosis and recommendations for development of appropriate tools ». *Smart Agricultural Technology* 3 (février):100083. https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100083.

Andreev, Aleksandr, Anton Kotsenko, Oleg Varlamov, Radmir Kim, et Boris Goryachkin. 2024. « Text Processing Using LLM for Automatic Creation of Agricultural Crops Knowledge Bases ». *BIO Web of Conferences* 130:01029. https://doi.org/10.1051/bioconf/202413001029.

Awais, Muhammad, Ali Husain Salem Abdulla Alharthi, Amandeep Kumar, Hisham Cholakkal, et Rao Muhammad Anwer. 2024. « AgroGPT: Efficient Agricultural Vision-Language Model with Expert Tuning ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.08405.

Balaguer, Angels, Vinamra Benara, Renato Luiz de Freitas Cunha, Roberto de M. Estevão Filho, Todd Hendry, Daniel Holstein, Jennifer Marsman, *et al*. 2024. « RAG vs Fine-tuning: Pipelines, Tradeoffs, and a Case Study on Agriculture ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.08406.

Banerjee, Saikat, Soumitra Das, et Abhoy Chand Mondal. 2024. « A Study of the Application Domain of a Large Language Models in the Agricultural Sector ». *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology* 12 (5): 74-78.

Benhamou, Bernard. 2020. « Souveraineté numérique : quelles stratégies pour la France et l'Europe ? » *Cahiers français* 415 (2): 30-39. https://doi.org/10.3917/cafr.415.0030.

Benzinho, J., J. Ferreira, J. Batista, L. Pereira, M. Maximiano, V. Távora, R. Gomes, et O. Remédios. 2024. « LLM Based Chatbot for Farm-to-Fork Blockchain Traceability Platform ». *Applied Sciences (Switzerland)* 14 (19). https://doi.org/10.3390/app14198856.

Bronson, Kelly, et Irena Knezevic. 2016. « Big Data in Food and Agriculture ». *Big Data & Society* 3 (1): 2053951716648174. https://doi.org/10.1177/2053951716648174.

CNIL. 2025. « Intelligence artificielle ». Site Web de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL). 2025. https://www.cnil.fr/fr/definition/intelligence-artificielle.

Coulibaly, Solemane, Bernard Kamsu-Foguem, Dantouma Kamissoko, et Daouda Traore. 2022. « Deep learning for precision agriculture: A bibliometric analysis ». *Intelligent Systems with Applications* 16 (novembre):200102. https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200102.

De Clercq, Djavan. 2024. « Large Language Models Can Help Boost Food Production, but Be Mindful of Their Risks ». *Frontiers in Artificial Intelligence* 7 (octobre). https://doi.org/10.3389/frai.2024.1326153.

Doshi-Velez, Finale, et Been Kim. 2017. « Towards A Rigorous Science of Interpretable Machine Learning ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.08608.

Eloundou, Tyna, Sam Manning, Pamela Mishkin, et Daniel Rock. 2023. « GPTs are GPTs: An Early Look at the Labor Market Impact Potential of Large Language Models ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.10130.

Estes, John E., Charlene Sailer, et Larry R. Tinney. 1986. « Applications of Artificial Intelligence Techniques to Remote Sensing ». *The Professional Geographer* 38 (2): 133-41. https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1986.00133.x.

Faiz, Ahmad, Sotaro Kaneda, Ruhan Wang, Rita Chukwunyere Osi, Prateek Sharma, Fan Chen, et Lei Jiang. 2023. « LLMCarbon: Modeling the End-to-End Carbon Footprint of Large Language Models ». In . https://openreview.net/forum?id=aIok3ZD9to.

Fan, Xiangpeng, Xiujuan Chai, Jianping Zhou, et Tan Sun. 2023. « Deep learning based weed detection and target spraying robot system at seedling stage of cotton field ». *Computers and Electronics in Agriculture* 214 (novembre):108317. https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108317.

Garcia Vazquez, Juan Pablo, Ricardo Salomon Torres, et Dalila Blanca Perez Perez. 2021. « Scientometric Analysis of the Application of Artificial Intelligence in Agriculture ». *Journal of Scientometric Research* 10 (1): 55-62. https://doi.org/10.5530/jscires.10.1.7.

Jeanneaux, Philippe. 2018. « Agriculture numérique : quelles conséquences sur l'autonomie de la décision des agriculteurs ? » *Agronomie, Environnement & Sociétés* 8 (1): 13.

Jiang, Peng, Christian Sonne, Wangliang Li, Fengqi You, et Siming You. 2024. « Preventing the Immense Increase in the Life-Cycle Energy and Carbon Footprints of LLM-Powered Intelligent Chatbots ». *Engineering* 40 (septembre):202-10. https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.04.002.

Johnson, Emily, et Noah Wilson. 2024. « Enhancing Agricultural Machinery Management through Advanced LLM Integration ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.20588.

Kashyap, Pankaj Kumar, Sushil Kumar, Ankita Jaiswal, Mukesh Prasad, et Amir H. Gandomi. 2021. « Towards Precision Agriculture: IoT-Enabled Intelligent Irrigation Systems Using Deep Learning Neural Network ». *IEEE Sensors Journal* 21 (16): 17479-91. https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3069266.

Koh, E., R.S. Sunil, H.Y.I. Lam, et M. Mutwil. 2024. « Confronting the data deluge: How artificial intelligence can be used in the study of plant stress ». *Computational and Structural Biotechnology Journal* 23:3454-66. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2024.09.010.

Koyuturk, Cansu, Mona Yavari, Emily Theophilou, Sathya Bursic, Gregor Donabauer, Alessia Telari, Alessia Testa, *et al*. 2023. « Developing Effective Educational Chatbots with ChatGPT prompts: Insights from Preliminary Tests in a Case Study on Social Media Literacy (with appendix) ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.10645.

Kraus, Mathias, Julia Anna Bingler, Markus Leippold, Tobias Schimanski, Chiara Colesanti Senni, Dominik Stammbach, Saeid Ashraf Vaghefi, et Nicolas Webersinke. 2023. « Enhancing Large Language Models with Climate Resources ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.00116.

Kuska, Matheus Thomas, Mirwaes Wahabzada, et Stefan Paulus. 2024. « AI for crop production – Where can large language models (LLMs) provide substantial value? » *Computers and Electronics in Agriculture* 221 (juin):108924. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108924.

La Ferme Digitale. 2025. « Gaia ». Generative Artificial Intelligence for Agriculture. 2025. https://gaia-mistral.github.io/.

Lei, Yuxuan, Jianxun Lian, Jing Yao, Xu Huang, Defu Lian, et Xing Xie. 2024. « RecExplainer: Aligning Large Language Models for Explaining Recommendation Models ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.10947.

Li, Baolin, Yankai Jiang, Vijay Gadepally, et Devesh Tiwari. 2024. « LLM Inference Serving: Survey of Recent Advances and Opportunities ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.12391.

Liyanage, Udara Piyasena, et Nimnaka Dilshan Ranaweera. 2023. « Ethical Considerations and Potential Risks in the Deployment of Large Language Models in Diverse Societal Contexts ». *Journal of Computational Social Dynamics* 8 (11): 15-25.

Lu, Guoyu, Sheng Li, Gengchen Mai, Jin Sun, Dajiang Zhu, Lilong Chai, Haijian Sun, *et al*. 2023. « AGI for Agriculture ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.06136.

Majmudar, Jimit, Christophe Dupuy, Charith Peris, Sami Smaili, Rahul Gupta, et Richard Zemel. 2022. « Differentially Private Decoding in Large Language Models ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.13621.

Mathur, Rashmi. 2023. « Artificial Intelligence in Sustainable Agriculture ». *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* 11 (6): 4047-52. https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.54360.

McKinion, J. M., et H. E. Lemmon. 1985. « Expert systems for agriculture ». *Computers and Electronics in Agriculture* 1 (1): 31-40. https://doi.org/10.1016/0168-1699(85)90004-3.

Metsola, R., et M. Michel. 2024. *Loi sur l'intelligence artificielle*. *JO de l'Union Européenne*.

Micheni, Elyjoy, Jackson Machii, et Julius Murumba. 2022. « Internet of Things, Big Data Analytics, and Deep Learning for Sustainable Precision Agriculture ». In *2022 IST-Africa Conference (IST-Africa)*, 1-12. https://doi.org/10.23919/IST-Africa56635.2022.9845510.

Muruganantham, Priyanga, Santoso Wibowo, Srimannarayana Grandhi, Nahidul Hoque Samrat, et Nahina Islam. 2022. « A Systematic Literature Review on Crop Yield Prediction with Deep Learning and Remote Sensing ». *Remote Sensing* 14 (9): 1990. https://doi.org/10.3390/rs14091990.

Nguyen, Vincent, Sarvnaz Karimi, Willow Hallgren, Ashley Harkin, et Mahesh Prakash. 2024. « My Climate Advisor: An Application of NLP in Climate Adaptation for Agriculture ». In *Proceedings of the 1st Workshop on Natural Language Processing Meets Climate Change (ClimateNLP 2024)*, édité par Dominik Stammbach, Jingwei Ni, Tobias Schimanski, Kalyan Dutia, Alok Singh, Julia Bingler, Christophe Christiaen, *et al.*, 27-45. Bangkok, Thailand: Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/2024.climatenlp-1.3.

Nguyen, Xuan-Phi, Wenxuan Zhang, Xin Li, Mahani Aljunied, Zhiqiang Hu, Chenhui Shen, Yew Ken Chia, *et al.* 2024. « SeaLLMs -- Large Language Models for Southeast Asia ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.00738.

Pallagani, Vishal, Vedant Khandelwal, Bharath Chandra, Venkanna Udutalapally, Debanjan Das, et Saraju P. Mohanty. 2019. « dCrop: A Deep-Learning Based Framework for Accurate Prediction of Diseases of Crops in Smart Agriculture ». In *2019 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (iSES) (Formerly iNiS)*, 29-33. https://doi.org/10.1109/iSES47678.2019.00020.

Papenmeier, Andrea, Dagmar Kern, Gwenn Englebienne, et Christin Seifert. 2022. « It's Complicated: The Relationship between User Trust, Model Accuracy and Explanations in AI ». *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 29 (4): 1-33. https://doi.org/10.1145/3495013.

Park, Ji-jun, et Soo-joon Choi. 2024. « LLMs for Enhanced Agricultural Meteorological Recommendations ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.04640.

Peng, Ruoling, Kang Liu, Po Yang, Zhipeng Yuan, et Shunbao Li. 2023. « Embedding-based Retrieval with LLM for Effective Agriculture Information Extracting from Unstructured Data ». https://doi.org/10.48550/ARXIV.2308.03107.

Peris, Charith, Christophe Dupuy, Jimit Majmudar, Rahil Parikh, Sami Smaili, Richard Zemel, et Rahul Gupta. 2023. « Privacy in the Time of Language Models ». In *Proceedings of the Sixteenth ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 1291-92. WSDM '23. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3539597.3575792.

Plant, Richard, Valerio Giuffrida, et Dimitra Gkatzia. 2022. « You Are What You Write: Preserving Privacy in the Era of Large Language Models ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.09391.

Qing, Jiajun, Xiaoling Deng, Yubin Lan, et Zhikai Li. 2023. « GPT-aided diagnosis on agricultural image based on a new light YOLOPC ». *Computers and Electronics in Agriculture* 213 (octobre):108168. https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108168.

Quan, Longzhe, Wei Jiang, Hailong Li, Hengda Li, Qi Wang, et Liqing Chen. 2022. « Intelligent intra-row robotic weeding system combining deep learning technology with a targeted weeding mode ». *Biosystems Engineering* 216 (avril):13-31. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.019.

Rai, Nitin, Yu Zhang, Billy G. Ram, Leon Schumacher, Ravi K. Yellavajjala, Sreekala Bajwa, et Xin Sun. 2023. « Applications of deep learning in precision weed management: A review ». *Computers and Electronics in Agriculture* 206 (mars):107698. https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107698.

Ray, Partha Pratim. 2023. « AI-Assisted Sustainable Farming: Harnessing the Power of ChatGPT in Modern Agricultural Sciences and Technology ». *ACS Agricultural Science & Technology* 3 (6): 460-62. https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00145.

Ren, Allen Z., Anushri Dixit, Alexandra Bodrova, Sumeet Singh, Stephen Tu, Noah Brown, Peng Xu, *et al*. 2023. « Robots That Ask For Help: Uncertainty Alignment for Large Language Model Planners ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.01928.

Sapkota, Ranjan, Zhichao Meng, et Manoj Karkee. 2024. « Synthetic Meets Authentic: Leveraging LLM Generated Datasets for YOLO11 and YOLOv10-Based Apple Detection through Machine Vision Sensors ». *Smart Agricultural Technology*, octobre, 100614. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100614.

Scao, Teven Le, Angela Fan, Christopher Akiki, Ellie Pavlick, Suzana Ilić, Daniel Hesslow, Roman Castagné, *et al*. 2023. « BLOOM: A 176B-Parameter Open-Access Multilingual Language Model ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.05100.

Selva Kumar, S, Afifah Khan Mohammed Ajmal Khan, Imadh Ajaz Banday, Manikantha Gada, et Vibha Venkatesh Shanbhag. 2024. « Overcoming LLM Challenges using RAG-Driven Precision in Coffee Leaf Disease Remediation ». In *2024 International Conference on Emerging Technologies in Computer Science for Interdisciplinary Applications (ICETCS)*, 1-6. https://doi.org/10.1109/ICETCS61022.2024.10543859.

Silva, Bruno, Leonardo Nunes, Roberto Estevão, Vijay Aski, et Ranveer Chandra. 2023. « GPT-4 as an Agronomist Assistant? Answering Agriculture Exams Using Large Language Models ». https://arxiv.org/abs/2310.06225v2.

Sindhu B, Prathamesh R P, Sameera M B, et KumaraSwamy S. 2024. « The Evolution of Large Language Model: Models, Applications and Challenges ». In *2024 International Conference on Current Trends in Advanced Computing (ICCTAC)*, 1-8. https://doi.org/10.1109/ICCTAC61556.2024.10581180.

Singh, Chandan, Jeevana Priya Inala, Michel Galley, Rich Caruana, et Jianfeng Gao. 2024. « Rethinking Interpretability in the Era of Large Language Models ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.01761.

Smith, Matthew J. 2018. « Getting Value from Artificial Intelligence in Agriculture ». *Animal Production Science* 60 (1): 46-54. https://doi.org/10.1071/AN18522.

Sparrow, Robert, Mark Howard, et Chris Degeling. 2021. « Managing the risks of artificial intelligence in agriculture ». *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences* 93 (1): 172-96. https://doi.org/10.1080/27685241.2021.2008777.

Stojkovic, Jovan, Esha Choukse, Chaojie Zhang, Inigo Goiri, et Josep Torrellas. 2024. « Towards Greener LLMs: Bringing Energy-Efficiency to the Forefront of LLM Inference ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.20306.

Sykuta, Michael E., éd. 2016. « Big Data in Agriculture: Property Rights, Privacy and Competition in Ag Data Services ». *International Food and Agribusiness Management Review*, Volume 19, https://doi.org/10.22004/ag.econ.240696.

Tan, Keong. 2024. « Large Language Models for Crop Yield Prediction ». Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4750823/v1.

Tzachor, A., M. Devare, C. Richards, P. Pypers, A. Ghosh, J. Koo, S. Johal, et B. King. 2023. « Large language models and agricultural extension services ». *Nature Food* 4 (11): 941-48. https://doi.org/10.1038/s43016-023-00867-x.

Wang, Ting, Yunpeng Cui, et Juan Liu. 2023. « Agricultural Technology Knowledge Intelligent Question-Answering System Based on Large Language Model ». *Artificial Intelligence and Robot Technology for Smart Agriculture* 5 (4): 105-16.

Weersink, Alfons, Evan Fraser, David Pannell, Emily Duncan, et Sarah Rotz. 2018. « Opportunities and Challenges for Big Data in Agricultural and Environmental Analysis ». *Annual Review of Resource Economics* 10 (Volume 10, 2018): 19-37. https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654.

Wilkins, Grant, Srinivasan Keshav, et Richard Mortier. 2024. « Hybrid Heterogeneous Clusters Can Lower the Energy Consumption of LLM Inference Workloads ». In *Proceedings of the 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems*, 506-13. e-Energy '24. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3632775.3662830.

Xiao, Yijia, Yiqiao Jin, Yushi Bai, Yue Wu, Xianjun Yang, Xiao Luo, Wenchao Yu, *et al*. 2024. « PrivacyMind: Large Language Models Can Be Contextual Privacy Protection Learners ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.02469.

Yang, Shanglong, Zhipeng Yuan, Shunbao Li, Ruoling Peng, Kang Liu, et Po Yang. 2024. « GPT-4 as Evaluator: Evaluating Large Language Models on Pest Management in Agriculture ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.11858.

Zhang, Xuan, et Wei Gao. 2023. « Towards LLM-based Fact Verification on News Claims with a Hierarchical Step-by-Step Prompting Method ». In *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Natural Language Processing and the 3rd Conference of the Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*, édité par Jong C. Park, Yuki Arase, Baotian Hu, Wei Lu, Derry Wijaya, Ayu Purwarianti, et Adila Alfa Krisnadhi, 996-1011. Nusa Dua, Bali: Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/2023.ijcnlp-main.64.

Zhao, Biao, Weiqiang Jin, Javier Del Ser, et Guang Yang. 2023. « ChatAgri: Exploring potentials of ChatGPT on cross-linguistic agricultural text classification ». *Neurocomputing* 557 (novembre):126708. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.126708.

Zhao, Ruochen, Shafiq Joty, Yongjie Wang, et Tan Wang. 2023. « Explaining Language Models' Predictions with High-Impact Concepts ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.02160.

Zhao, Xinyan, Baiyan Chen, Mengxue Ji, Xinyue Wang, Yuhan Yan, Jinming Zhang, Shiyingjie Liu, Muyang Ye, et Chunli Lv. 2024. « Implementation of Large Language Models and Agricultural Knowledge Graphs for Efficient Plant Disease Detection ». *Agriculture* 14 (8): 1359. https://doi.org/10.3390/agriculture14081359.

Zhu, Hongyan, Shuai Qin, Min Su, Chengzhi Lin, Anjie Li, et Junfeng Gao. 2024. « Harnessing Large Vision and Language Models in Agriculture: A Review ». arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.19679.

Pour citer cet article : Jean-Pierre Chanet. Agriculture 5.0 : Opportunités et défis des grands modèles de langage. Innovations Agronomiques, 2025, 108, pp.20-33. 10.17180/ciag-2025-vol108-art02

CC BY 4.0 Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.

Recherche collaborative pour l'appui aux transitions agroécologiques de territoires d'élevage : retours d'expérience d'une approche de pilotage du projet pour l'impact

Marine PICHOT[1], Claudine THENAIL[2], Denis FOLLET[3], Armelle LAINE PENEL[4], Faustine RUGGIERI[1], Valérie VIAUD[1]

[1]UMR 1069 SAS INRAE, Rennes France ;

[2] UMR 0980 BAGAP INRAE, Rennes France ;

[3] Chambre d'Agriculture de Bretagne, Rennes France ;

[4]Institut Agro, Rennes France

Correspondance : valerie.viaud@inrae.fr

DOI : https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art03

Résumé

L'approche ASIRPA$^{\text{in itinere}}$ est destinée à faciliter le pilotage d'un projet de recherche pour une contribution effective à des impacts sociétaux souhaités. En première étape d'application pour la conduite de notre projet sur les transitions des territoires d'élevage en Bretagne, nous avons mené des entretiens et ateliers auprès de l'équipe-projet et des acteurs de deux territoires locaux, afin de comparer leur expression des enjeux, des cibles et chemins de transformations. Les parties-prenantes identifient des enjeux communs concernant l'eau et le bocage, mais ont une diversité de visions de l'agroécologie. Les relations entre acteurs au sens large (dispositifs et organisations entre acteurs des territoires, filières, institutionnels), sont mises en avant pour assurer le chemin d'impact mais de façon encore générale. L'étude confirme l'intérêt de mener l'approche de façon itérative pour améliorer le pilotage du projet pour l'impact, mais aussi l'intérêt de représentations collaboratives des systèmes complexes en jeu, pour aider les parties prenantes à partager les enjeux et transformations visées.

Mots clés : chemin d'impact ; pilotage de projet ; recherche collaborative ; analyse qualitative ; territoire d'élevage

Abstract: Collaborative research to support agroecological transitions in livestock farming regions: feedback on a project management approach for impact

The ASIRPA$^{\text{Real-Time}}$ framework was developed to facilitate the design and management of research projects so that they contribute to societally desired changes. As a first step in applying this framework to our project focusing on territorial agroecological transitions of livestock farming in Brittany (France), we organized interviews and workshops with the project team and actors from two local territories in focus, to compare their vision of the key issues, targeted transformations, and the impact pathway to implement and foster with the project. The result showed that the stakeholders identified common issues related to transition in terms of water and hedgerow landscape preservation, but that they had differing opinions on agroecology. Relationships between stakeholders (e.g. by the way of the local governance systems, the agro-industrial sector, management plans or diverse organizations) are identified as key to ensure the project impact, but they are still mentioned in a general way. Our study confirms the value of taking an iterative approach to improve project management for impact. This also highlights the value of collaborative representations of the complex systems involved when considering agroecological transition, to help stakeholders clarify and share the issues and transformations targeted.

Keywords: impact pathway; steering research project; collaborative research; qualitative analysis; livestock-farming territory

1. Introduction

L'agriculture fait face actuellement à de nombreux enjeux, qui apparaissent difficilement conciliables : réduire le recours aux intrants de synthèse, limiter les apports d'effluents organiques, produire une nourriture de meilleure qualité en gérant les quantités, préserver l'eau en quantité et en qualité et les fonctions écologiques du paysage, réduire l'empreinte carbone de l'agriculture tout en s'adaptant au changement climatique. C'est particulièrement le cas de l'élevage bovin laitier qui fait l'objet d'une diversité de demandes sociétales et est en situation de contraintes multiples (Dumont *et al*., 2018 ; Herrero *et al*., 2015). Ces enjeux de l'agriculture résonnent avec les objectifs de transition assignés aux territoires locaux en réponse aux changements sociétaux et environnementaux à l'œuvre depuis plusieurs années : production d'énergie renouvelable, sobriété d'utilisation des ressources non renouvelables, relocalisation de l'alimentation, emploi, ou encore aménagement de l'espace. Le territoire est envisagé ici comme espace de projet multi-acteurs, avec ses spécificités en termes de dynamiques agricoles et de ressources naturelles et socioéconomiques (Di Méo, 2001). Une approche territoriale de la transition agroécologique (TAE) apparait incontournable pour i) adapter les trajectoires de transition localement et ii) organiser l'action collective, entre autres en impliquant les parties prenantes dans les questions concernant l'insertion de l'agroécologie dans les transitions territoriales (Sala *et al*., 2013).

Aujourd'hui, peu de travaux de recherche s'intéressent aux conditions, leviers et verrous, pour que l'agriculture remplisse la diversité des fonctions qui sont attendues d'elle à plusieurs échelles, et étendent la production de connaissances sur les transitions agroécologiques au-delà de l'échelle de la ferme (Sundstrom *et al*., 2023). Pour penser les transitions dans la durée, Sala *et al*. (2013) soulignent la nécessité non seulement d'adopter des approches systémiques, c'est-à-dire multi-échelles de la multifonctionnalité de l'agriculture, mais aussi d'impliquer la diversité des parties prenantes concernées par les questions de durabilité de l'agriculture. Elargir l'approche de la transition agroécologique de l'élevage aux échelles territoriales implique d'associer aux recherches une diversité d'agriculteurs et d'autres porteurs d'enjeux concernés à différents niveaux par les fonctions attendues de l'élevage et/ou par les projets territoriaux (Lasseur *et al*., 2019), et qui portent des points de vue potentiellement divers et contrastés sur les transformations attendues des élevages (Helfenstein *et al*., 2022).

A notre connaissance, peu de méthodologies, partagées et formalisées, existent sur la façon d'associer des acteurs hétérogènes dans le cadre de recherches collaboratives i) qui intègrent les dimensions socio-écologiques et sociotechniques des territoires ruraux pour envisager leurs transformations vers la durabilité en impliquant les agriculteurs (Andersson *et al*., 2024 ; Audouin *et al*., 2018 ; Ceseracciu *et al*., 2023), ii) qui proposent un appui spécifique au pilotage nécessairement adaptatif de tels projets de recherche collaborative, à visée transformative et systémique (Blundo Canto *et al*., 2020 ; Matt *et al*., 2023). Matt *et al.* (2023) ont développé une méthode d'évaluation des impacts sociétaux en temps réel de la recherche transformative, ASIRPA*in itinere*. Cette méthode appuie le pilotage et la réflexivité des partenaires et acteurs impliqués dans des projets de recherche, pour faire émerger une vision collective des transformations visées par les projets et adapter chemin faisant une démarche de recherche permettant d'atteindre ces transformations.

L'objectif de cet article est de présenter un retour d'expérience de la mobilisation de la méthode ASIRPA*in itinere* dans le cadre d'un projet de recherche portant sur la transition agroécologique en élevage, de la ferme au territoire. Le projet AMPERA (Approche Métabolique et PaysagèrE pour une tRansition Agroécologique territorialisée en élevage) se positionne sur l'identification et la prise en charge des besoins de co-construction de connaissances collectives, de partage et d'appropriation de connaissances intégrées, pour une approche systémique de la transition agroécologique des systèmes

d'élevage en Bretagne, de la ferme au territoire. Le projet a l'ambition de produire des connaissances mobilisables par les multiples parties prenantes pour raisonner les TAE et se placer effectivement dans une dynamique transformative. Il associe des scientifiques issus d'une diversité de disciplines (agronomie, zootechnie, géographie, écologie et droit) et des parties prenantes non-académiques de différents domaines et métiers (agriculture, collectivités, associations, autres acteurs privés). Il est concentré sur deux territoires administratifs situés en Bretagne, contrastés en termes de prédominance et d'évolution de l'élevage laitier, d'urbanisation, et de dynamiques de projets territoriaux de transition (ex : Plan Alimentaire Territorial). Il s'agit de construire, chemin faisant avec les acteurs des territoires, des connaissances, des références et des représentations partagées permettant *in fine* de co-produire des connaissances et démarches pour adapter les transitions agroécologiques aux contextes locaux, par exemple aux possibilités matérielles, organisationnelles et aux projets déjà existants des territoires. Il s'agit aussi de prendre en compte la diversité des visions de la transition des systèmes agricoles par les acteurs. Le projet AMPERA s'inscrit dans le programme de recherche TETRAE, cofinancé par INRAE et 8 Régions françaises, qui vise à stimuler une recherche systémique, finalisée, ancrée sur des dispositifs partenariaux et d'innovation ouverte pour faciliter et accélérer les transitions agroécologiques territoriales. Le programme propose aux collectifs de projet de mettre en œuvre la méthodologie ASIRPA*in itinere*. Cette approche est encore peu mise en œuvre ; c'est son originalité en termes d'approche itérative du pilotage de projet pour favoriser les processus d'apprentissage, la coordination et la réflexivité au niveau de projets à visées transformatives qui a été l'argument principal de notre choix pour le projet AMPERA.

Nous présentons ici une première étape de mise en œuvre de l'approche ASIRPA*in itinere* pour le pilotage du projet AMPERA, avec les résultats que nous obtenons à mi-parcours du projet, soit deux ans et demi après son lancement, et les perspectives que nous en retirons. Pour cette première étape, nous comparons les enjeux, cibles et moyens de transformation identifiés par la diversité des parties-prenantes du projet en termes de transitions des élevages et de transformations du système agriculture – territoire visées. Notre identifions la façon dont ces points de vue convergent ou non, et la façon dont les parties prenantes intègrent la complexité du système dans leur point de vue. En effet, le système agriculture-territoire peut être vu comme un système socio-techno-écologique complexe, ce qui pose la question de la capacité des parties prenantes à exprimer des enjeux et visées transformatives qui impliquent des effets d'échelles spatiales (ex : contribution des fermes aux territoires, échelles des filières agri-alimentaires, diversité des acteurs) et temporelles (ex : incertitudes et réactions sur le temps long des systèmes écologiques) difficiles à appréhender (Andersson *et al*., 2024 ; Audouin *et al*., 2018 ; Ceseracciu *et al*., 2023). D'autre part, la convergence ou divergence des points de vue est importante à caractériser dans ses multiples formes, car elle révèle les capacités de collectifs de collaboration transdisciplinaire à construire des ressources pertinentes scientifiquement et localement (ex. ressources en connaissances, outils d'évaluation, dispositifs de co-apprentissage) pour traiter ensemble des problèmes de durabilité de systèmes socio-techno-écologiques (Carr Kelman *et al*., 2024 ; Ceseracciu *et al*., 2023).

2. Matériels et méthodes

2.1. Cadre général : l'approche ASIRPA*in itinere*

Il existe une diversité de méthodes d'évaluation des impacts de projet de recherche-action (Penfield *et al*., 2013), parmi lesquelles des approches d'évaluation participatives (Faure *et al*., 2020). L'approche ASIRPA (Joly *et al*., 2015), comme d'autres approches appliquées à la recherche en agronomie systémique, telles qu'ImpresS (Blundo Canto *et al*., 2020), s'inspire de l'analyse participative du chemin d'impact (Douthwaite and Hoffecker, 2017). Le chemin d'impact (Figure 1) permet d'expliciter et de représenter visuellement les liens de causalités entre les actions du projet de recherche et sa contribution aux impacts souhaités (Blundo Canto *et al*., 2020). Il permet ainsi de mettre en évidence

« le travail de recherche, le cheminement des connaissances en dehors de la sphère académique, ainsi que leur traitement et leur utilisation par les acteurs socio-économiques » (Joly *et al*., 2015). Dans ce diagramme, la prise en compte des éléments de contexte, que nous précisons par les termes « économique », « social », « environnemental », est à faire pour examiner la façon dont ce contexte peut influencer significativement le cheminement vers l'impact (Figure 1). ASIRPA emprunte également des éléments à la théorie de l'acteur-réseau (Callon, 1986) qui prend en compte la complexité de la contribution des acteurs à un processus d'innovation et de passage à des échelles plus larges.

Par rapport à des approches d'évaluation ex-post, l'originalité de la méthode ASIRPA*in itinere* d'analyser les impacts sociétaux de la recherche chemin faisant (Matt *et al*., 2023) est un atout pour le projet AMPERA. Dans l'analyse du chemin d'impact, ASIRPA*in itinere* met l'accent sur l'identification, la discussion et le partage du contexte et des transformations visées afin d'ajuster, voire de reconcevoir, le cheminement qui était anticipé entre projet et impacts, par exemple certaines actions ou étapes du projet (Matt *et al*., 2023). Ainsi, on parle de « cycle de pilotage » avec ASIRPA*in itinere* (Matt *et al*., 2023). Enfin, dans cette perspective, l'accent mis sur le contexte et les transformations visées suppose d'identifier et mobiliser, également chemin-faisant, les acteurs avec lesquels ces réflexions seront utilement menées pour assurer les impacts du projet de recherche (Matt *et al*., 2023).

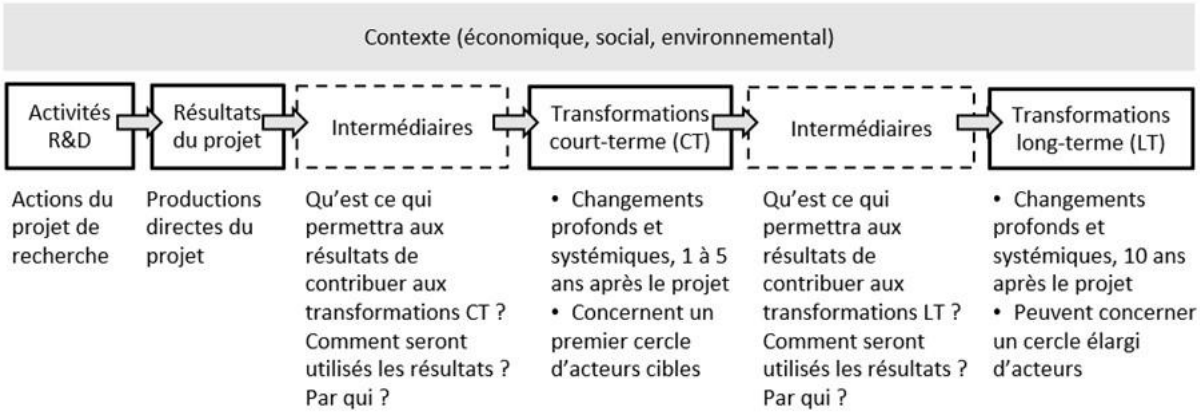


Figure 1 : Diagramme simplifié du chemin d'impact mis en œuvre dans la conduite du projet de recherche AMPERA, dans le cadre de l'approche ASIRPAin itinere. Inspiré de Matt et al. (2023).

2.2. Initiation de l'approche ASIRPA*in itinere* pour le projet AMPERA

2.2.1. Spécifications et objectifs

Dans l'approche ASIRPA*in itinere* l'accent est mis sur l'identification, la discussion et le partage du contexte et des transformations visées pour (re)considérer le chemin d'impact. Au-delà d'une simple description du contexte, nous avons considéré qu'il s'agissait de repérer les enjeux contextuels du projet de recherche et du déploiement de ses contributions, c'est-à-dire les domaines d'action et les sujets problématiques qui relèvent du contexte général (ex : de l'agriculture d'élevage, des transitions agroécologiques) aussi bien que localisé, situé (ex : dans un territoire investigué). Il en est de même pour les transformations visées : encourager l'expression de transformations visées à un niveau général et à un niveau localisé doit aider à penser un cheminement d'impact effectif. Cette priorité suppose de savoir identifier et mobiliser chemin faisant les acteurs permettant ces réflexions avec l'équipe-projet (constituée des chercheurs et partenaires du projet). C'est pourquoi l'identification de territoires d'étude a constitué une étape à part entière des activités du projet de même que, pour chaque territoire, l'identification des acteurs concernés et intéressés par la thématique (agriculteurs, conseillers agricoles territoriaux, diversité d'acteurs publics, d'associations, et d'acteurs privés).

Pour l'initiation de la démarche ASIRPA*in itinere* dans le projet AMPERA concernant la transition territorialisée des élevages bovins, nous nous sommes donnés trois sous-objectifs : il s'agit de

caractériser et mettre en regard i) les enjeux contextuels, ii) les transformations visées, iii) des éléments de moyens et ressources pour le cheminement, tels qu'identifiés d'une part par l'équipe-projet, d'autre part par les acteurs des territoires investigués. Notre ambition était que cela permette de travailler à la mise en cohérence, voire au rapprochement des points de vue sur les enjeux contextuels, de mieux susciter et comprendre l'expression des transformations visées, et de démarrer la spécification du chemin d'impact, en particulier des composantes « intermédiaires » dans le diagramme (Figure 1). Même si nous avons tenté de distinguer des projections de transformation à court et long terme (Figure 1), nous avons constaté que cela ajoutait une difficulté supplémentaire trop importante à ce stade avec les parties prenantes, c'est pourquoi nous ne les distinguerons pas ici. Pour l'équipe-projet, les enjeux contextuels correspondent à ceux présentés au départ du projet AMPERA (encadré 1).

Encadré 1. Les enjeux contextuels et le questionnement définis au montage du projet AMPERA.

Au montage du projet, l'équipe-projet s'est accordé sur l'enjeu d'intégration effective de trois points de vue sur la transition des élevages souvent traités de façon sectorielles et qui peuvent être en tension : (1) une vision par la fonction de production des systèmes agricoles, dont on attend un renouvellement en termes de nature, qualité et quantité face aux nouvelles attentes dans les territoires (ex : alimentation locale, production d'énergie renouvelable sans compétition avec l'alimentation animale et humaine) ; (2) une vision de mise en circularité des flux de matière, de nutriments, et d'énergie à l'échelle des fermes et des territoires, dans l'objectif de diminuer le recours aux intrants de synthèse, de tendre vers une sobriété énergétique et de diminuer l'impact des pollutions venant de l'agriculture ; (3) une vision de préservation et l'entretien des fonctions écosystémiques associées aux paysages d'élevage, telles que la conservation de la biodiversité et de ses services (ex : pollinisation), la qualité et la disponibilité des ressources naturelles (eau, sol), et le cadre de vie. Dans la suite du texte, nous nous y référerons en utilisant les termes dimension productive, de circularité des flux et paysagère-écosystémique. Le questionnement porte alors sur les connaissances à co-produire et s'approprier pour combiner ces dimensions, à l'échelle de la ferme et à l'échelle des territoires, en s'intéressant particulièrement à l'élevage bovin laitier, et sur les freins et leviers à l'articulation entre ces trois dimensions, de la ferme au territoire local.

2.2.2. L'étude auprès des parties prenantes

Le projet AMPERA est collaboratif à deux niveaux. Premièrement, il a été construit et est mené avec des partenaires non académiques (Institut de l'élevage, Chambre d'Agriculture de Bretagne, DRAAF2) : l'équipe-projet. Deuxièmement, les recherches du projet se font sur deux territoires d'études en Bretagne, dont la superficie recouvre un ou deux EPCI3. On appellera « parties prenantes » le regroupement de l'équipe-projet et des acteurs des territoires du projet.

L'équipe-projet rassemble des chercheurs de six laboratoires de recherche, ainsi que des partenaires de quatre structures, deux structures d'accompagnement du milieu agricole et deux structures de l'enseignement agricole. Le groupe des acteurs des territoires rassemble des structures impliquées dans la construction et la mise en œuvre de projets de territoire qui répondent à des enjeux de transitions en lien avec l'agriculture, c'est-à-dire des projets qui impliquent plusieurs acteurs, en lien avec les enjeux agricoles. Il s'agit de collectivités territoriales, de structures animatrices de projets territoriaux de collectivités (ex : PAT4, SCoT5), d'acteurs de la gestion des ressources naturelles (syndicats de bassins versants, syndicat de production d'eau potable), de la Chambre d'Agriculture de Bretagne, d'associations d'accompagnement des agriculteurs, d'associations citoyennes. Nous avons également rencontré des structures non impliquées directement dans des projets de territoire mais qui font partie ou accompagnent le milieu agricole. Ainsi, le collectif concerné par le projet est à la fois

[2] Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
[3] EPCI : Établissement public de coopération intercommunale
[4] PAT : Proj*et al*imentaire Territorial
[5] SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

important en nombre de personnes, et divers puisqu'il rassemble des structures variées, avec différents degrés d'implication dans le projet, et réparties sur deux territoires contrastés.

Nous avons travaillé avec trois groupes de personnes de façon distinctes : l'équipe-projet et les groupes des acteurs de chacun des deux territoires. L'expression des enjeux contextuels pour l'équipe-projet correspond à ce qui a été exprimé au montage du projet (voir encadré 1) ; nous avons fait exprimer les acteurs sur les enjeux qu'ils identifiaient dans le contexte de leurs territoires. Nous avons interrogé les acteurs sur les transformations souhaitées sur les territoires, et l'équipe-projet sur les transformations visées à l'issue du projet de recherche, afin de répondre aux enjeux précédemment identifiés. Concernant les moyens et ressources de cheminement, nous avons, d'une part, caractérisé avec les acteurs de territoire ce qui existe déjà en termes d'actions en cours, notamment dans le cadre des projets de territoire, afin de mieux comprendre la situation actuelle et mieux situer ce sur quoi il y a une prise d'appui possible. D'autre part, nous avons caractérisé avec l'équipe-projet les moyens supplémentaires ou complémentaires qu'il faut mettre en place pour atteindre les transformations.

Avec chacun des groupes, nous avons organisé des ateliers collectifs, ainsi que des entretiens individuels (14 avec l'équipe-projet, et entre 7 et 9 par territoires), entre début 2024 et mi-2025. Ces entretiens ont été menés de manière semi-directive et compréhensive (Kaufmann, 2016). Ils ont été conduits en se basant sur une trame d'entretien, dont les questions ont été adaptées à chaque entretien, en fonction de la structure rencontrée et de l'orientation que prenait la discussion, dans la perspective de répondre dans tous les cas aux sous-objectifs énoncés plus haut. Pour les analyser, nous avons réalisé un codage multithématique (Ayache and Dumez, 2011) à partir des transcriptions. A partir de l'ensemble des données qualitatives collectées, nous avons décrit et identifié les points de vue des différentes parties prenantes interrogées, puis mené une analyse transversale de ceux-ci.

3. Résultats

3.1. Principaux enjeux communs aux deux territoires du projet

Pour rappel, les enjeux de l'équipe-projet sont ceux qu'elle a annoncé dans la rédaction du projet (encadré 1) et partagé à nouveau dans un séminaire d'ouverture. Concernant, les acteurs de territoires, un grand nombre d'enjeux relatifs à la TAE ont été mentionnés lors des échanges. Nous nous centrons ici sur cinq d'entre eux, qui ont été rapportés par beaucoup de parties prenantes, et tant par les acteurs des territoires que par l'équipe-projet :

- **l'installation d'agriculteurs et la transmission des fermes** est ressortie comme un enjeu majeur partagé par toutes les structures rencontrées, agricoles ou non, et dans les deux territoires étudiés. Pour certaines parties prenantes, il s'agit même d'un objet d'inquiétude. Différents types d'acteurs - chambre d'agriculture, collectivités - font le constat d'un décalage entre les caractéristiques des fermes à transmettre (taille, type de production, infrastructures, équipement) et les souhaits d'installation. La question de la transmission de fermes en élevage bovin est particulièrement prégnante, car les futurs installés souhaitent travailler avec moins d'astreinte. Lors des entretiens, le lien est souvent fait entre l'enjeu d'installation et transmission des fermes et l'évolution du paysage. Ainsi, l'agrandissement des exploitations est mis en lien, particulièrement par les collectivités territoriales, avec i) une réduction du linéaire de haies, ii) la disparition de certaines prairies remplacées par des cultures, associée à un embroussaillement d'autres parcelles qui ne sont plus valorisées pour l'élevage. Ces évolutions du paysage sont identifiées comme ayant également un impact sur la qualité de l'eau : un acteur de la gestion des ressources naturelles indique qu'*«il y a l'enjeu du renouvellement des générations, qui est lié à l'eau, parce que nous on voit bien que quand les fermes s'agrandissent, les méthodes aussi se simplifient et que c'est souvent plus de céréales et moins d'herbe » ;*

- **l'amélioration de la qualité de l'eau** est mentionnée comme un enjeu important sur les deux territoires, de manière particulièrement marquée sur l'un des deux territoires qui produit de l'eau potable pour une métropole située à 50 km (eau d'un fleuve et captage de nappes superficielles). Il faut noter que cet enjeu est prégnant en Bretagne et de longue date, en particulier avec la question des concentrations élevées en nitrates dans les eaux de surface ;
- **la préservation des paysages bocagers** : il y a un constat partagé d'altération du paysage, historiquement bocager sur les deux territoires, avec une disparition ou une suppression des haies et des talus et la disparition de certaines prairies pour produire des grandes cultures. Le lien est souvent fait entre le déclin des activités d'élevage et la disparition du bocage ;
- **l'évolution de l'agriculture et de l'élevage sur les territoires du projet** : des acteurs constatent une augmentation de la surface par ferme ou par actif et considèrent celle-ci non souhaitable, car elle va de pair avec une simplification des pratiques agricoles, et par conséquent avec des impacts environnementaux négatifs [acteur de la gestion des ressources naturelles, animateur de projet territorial de collectivité]6. Les acteurs mentionnent également la baisse de l'élevage, en ayant conscience de son impact important sur les paysages, la qualité de l'eau, les filières économiques, le stockage de carbone, l'érosion des sols [chambre d'agriculture, acteur de la gestion des ressources naturelles] ;
- **les relations entre acteurs :** certains acteurs font le constat d'un manque de communication, voire de reconnaissance entre habitants natifs et nouveaux habitants [collectivités], entre les structures qui travaillent autour de thématiques similaires sur le territoire [collectivité, animateur de projet territorial de collectivité], entre agriculteurs [collectivité], et entre agriculteurs et non-agriculteurs [chambre d'agriculture], ce qui est partagé par un agriculteur qui explique siéger dans une instance de décision territoriale, et souligne l'importance que des agriculteurs y soient représentés, mais se questionne « *est-ce qu'on est entendus* ? ». Enfin, il est souvent mentionné la nécessité que les dispositifs de soutien aux changements par les acteurs des filières et institutionnels (ex : filières de valorisation, paiements pour services systémiques, autres politiques publiques) permettent que ces changements soient économiquement viables pour les agriculteurs, condition sans quoi les TAE ne pourront pas se mettre en place [chambre d'agriculture, acteurs de la gestion des ressources naturelles, collectivités].

Au-delà de ces 5 enjeux, nous constatons que l'enjeu de préservation de la biodiversité, identifié par l'équipe-projet, est peu cité par les autres parties prenantes. Cet enjeu est identifié principalement par des agriculteurs et nommé sous l'angle de ses déséquilibres : les problèmes sanitaires et de proliférations de ravageurs sont de plus en plus difficiles à gérer par les producteurs, au niveau des troupeaux et des champs, notamment avec des espèces qualifiées de *« nuisibles »* pour la production agricole (choucas, sangliers, ragondins).

3.2. Transformations souhaitées sur les territoires

Les acteurs se sont exprimés sur les transformations souhaitées sur leurs territoires, et l'équipe-projet s'est exprimée sur les transformations visées à l'issue du projet :

- **l'installation d'agriculteurs et la transmission des fermes** : l'ensemble des parties prenantes vise davantage d'installations d'agriculteurs et une transmission facilitée. En revanche les personnes interrogées priorisent différemment les types d'installations. La priorité peut être mise sur l'installation de profils d'agriculteurs orientés filière courte [animateur de projet territorial de collectivité], sur l'installation de nouveaux producteurs, avec des pratiques vertueuses et des systèmes économiques viables [Chambre d'Agriculture, collectivités], et/ou

[6] L'entre-crochet mentionne les types d'acteurs qui s'expriment sur ce sujet

pour maintenir un bon maillage social et économique [Chambre d'Agriculture]. Les acteurs de la gestion des ressources naturelles souhaitent des installations qui permettent une amélioration de la qualité de l'eau. Pour sa part, l'équipe-projet souhaite contribuer à ce que le métier d'éleveur permette de bonnes conditions de vie et de rémunération, rendant ainsi les installations attractives ;

- **l'amélioration de la qualité de l'eau** : la transformation souhaitée par les collectivités et les acteurs de la gestion des ressources naturelles est d'améliorer la qualité de l'eau, en s'inscrivant dans la Directive-cadre sur l'eau (directive 2000/60/CE), donc dans une perspective d'atteindre un bon état écologique de l'eau. L'équipe-projet inclut l'atteinte d'une bonne qualité de l'eau dans une transformation plus large, celle de mosaïques paysagères agricoles qui remplissent une diversité de fonctions écosystémiques dont la régulation de la qualité de l'eau ;
- **la préservation des paysages bocagers** : les acteurs de la gestion des ressources naturelles souhaitent préserver les paysages bocagers pour améliorer la qualité de l'eau. De plus, les services des collectivités souhaitent maintenir un paysage bocager qui soutient l'attractivité du territoire, et favorise les services écosystémiques rendus au-delà de la seule qualité de l'eau (ex : biodiversité). Pour sa part, l'équipe-projet souhaite contribuer à ce que : (1) le bocage soit perçu comme un levier d'adaptation au changement climatique et de maintien des fonctions paysagères écosystémiques et pour cela qu'il soit mieux intégré dans les choix des agriculteurs et des collectivités, (2) les indicateurs de performance des élevages laitiers prennent mieux en compte les ressources naturelles et le paysage, (3) la mosaïque paysagère soit raisonnée à l'échelle du territoire afin de favoriser les fonctions et services liés à l'assemblage territorial des fermes ;
- **l'évolution de l'agriculture et de l'élevage sur les territoires du projet** : les acteurs des territoires ont des visions diverses en termes d'évolution de l'agriculture et de l'élevage sur leurs territoires. Pour certaines structures, la priorité est de garder des systèmes herbagers le plus possible [acteur de la gestion des ressources naturelles, collectivité, animateurs de projets territoriaux de collectivités], voire d'*« aller de plus en plus vers le tout pâturage »* tout en gardant des systèmes *« viables économiquement et socialement »* [collectivité]. Pour d'autres, c'est le maintien de l'activité de la production qui prime, pour maintenir une dynamique socio-économique qui permette aux agriculteurs de produire le volume qu'ils souhaitent [chambre d'agriculture]. Le maintien du nombre d'agriculteurs et d'exploitations est également mentionné [chambre d'agriculture, collectivité] pour garder une population agricole suffisamment nombreuse, notamment pour monter en compétence collectivement, grâce aux échanges entre pairs, et pour entretenir le paysage bocager. Enfin, la diversification des productions est mentionnée sur l'un des deux territoires [collectivité, animateur de projet territorial de collectivité, acteur de la gestion des ressources naturelles], afin de développer des productions à destination de l'alimentation humaine (fruits, légumes, légumineuses) pour tendre vers plus d'autonomie alimentaire à l'échelle du territoire.

L'équipe-projet souhaite contribuer à l'évolution de l'élevage sur les territoires du projet. On y retrouve également une diversité de points de vue individuels en termes d'évolutions souhaitées : le maintien de la production laitière, et/ou le maintien du nombre d'exploitations agricoles, et/ou le maintien des prairies, et/ou une diversification des exploitations agricoles et une relocalisation d'une partie de la production alimentaire nécessaire au territoire.

De plus, au-delà d'une diversité de visions sur l'évolution souhaitée de l'agriculture sur le territoire, nous avons constaté des compréhensions différentes du terme « agroécologie », notamment parmi les acteurs des territoires. Certains y voient un objectif de changement, d'autres y associent directement des actions techniques réalisées sans mentionner d'objectif de changement, d'autres préfèrent ne pas s'y attarder car la question est *« trop politique » :*

- **les relations entre acteurs** : au niveau des acteurs de territoire, la chambre d'agriculture et les collectivités (élus, salariés des collectivités ou animateurs des projets territoriaux de collectivités), le souhait est exprimé de faire dialoguer différents groupes de personnes, et de promouvoir un dialogue entre agriculteurs bios et non bios, entre habitants natifs et nouveaux arrivés, entre les différents acteurs des territoires, entre agriculteurs et société.

De plus, la structuration de filières locales est identifiée comme un levier pour valoriser le bois de bocage [chambre d'agriculture, acteurs de la gestion des ressources naturelles, animateur de projet territorial de collectivité], pour valoriser les produits issus d'exploitations engagées dans une amélioration de leurs pratiques [acteur de la gestion des ressources naturelles], et pour relocaliser l'alimentation [animateur de projet territorial de collectivité].

Pour sa part, l'équipe-projet souhaite contribuer à ce que : (1) les acteurs des territoires soient en capacité d'identifier des liens, d'analyser les effets de changements sur les territoires, de se projeter et mettre en œuvre des actions, en prenant en compte les changements et incertitudes ; (2) sur les territoires, un collectif de travail permette d'échanger et de dépasser les points de contradictions entre les différents acteurs (scientifiques, politiques, agriculteurs) et de partager au moins un objectif commun. Ce groupe serait ouvert et permettrait d'intéresser des acteurs qui n'étaient pas présents dès le début du projet ; (3) à plus long terme, les transformations agroécologiques soient gérées collectivement sur les territoires du projet, qu'un collectif d'échange, d'innovation et de décisions soit pérennisé, par exemple, via un living lab; (4) une communauté de recherche interdisciplinaire et collaborative se structure ; (5) les politiques publiques valorisent les TAE, les différentes échelles mettent en œuvre les leviers qu'elles ont à disposition (aides financières, leviers fonciers, planification territoriale…).

Au-delà des 5 thématiques de transformations présentées ci-dessus, les acteurs des territoires n'ont pas partagé de transformations souhaitées concernant la biodiversité. En revanche l'équipe-projet souhaite que les élevages favorisent les fonctions paysagères écosystémiques telles que le maintien de la biodiversité.

Ainsi, le travail sur les transformations permet d'aller plus en détail grâce à l'expression des changements concrets attendus. On observe une relative diversité des transformations visées, en lien avec une diversité de définitions de l'agroécologie.

3.3. Les moyens et cheminements pour contribuer aux transformations souhaitées

Les acteurs des territoires se sont exprimés sur des moyens et cheminements à l'œuvre actuellement. Ils ont ainsi identifié des outils qui existent pour porter des actions, ainsi que les actions effectivement mises en œuvre. Ces moyens sont reliés aux enjeux identifiés. L'équipe-projet, quant à elle, s'est projetée sur les cheminements à mettre en œuvre :

- **l'installation d'agriculteurs et la transmission des fermes** : la Chambre d'agriculture travaille sur cet enjeu avec diverses formes d'accompagnement (collectifs et individuels). Sur l'un des deux territoires, lors des entretiens, certains acteurs rencontrés [animateur de projet territorial de collectivité, collectivité] indiquent qu'ils abordaient peu le sujet il y a quelques années mais souhaitent s'y investir, tout en regrettant ne pas avoir de vision claire sur ce qui est organisé par la chambre d'agriculture, acteur positionné sur le sujet depuis plus longtemps. Les intérêts et positionnement des uns et des autres sont donc en train d'évoluer sur cet enjeu ;

- **la préservation de la qualité de l'eau** : dans les deux territoires, des actions sont mises en œuvre pour améliorer la qualité de l'eau, via le contrat territorial à l'échelle du bassin versant, coordonné par le syndicat de bassin versant et mis en œuvre par une diversité de partenaires. Autour de cet enjeu, il peut y avoir des tensions entre les objectifs d'amélioration de l'eau de

certaines structures, et les agriculteurs qui peuvent percevoir certaines mesures comme imposées ;

- **l'évolution de l'agriculture et de l'élevage sur les territoires du projet** : pour accompagner l'évolution de l'agriculture, les acteurs rencontrés mentionnent l'importance de l'accompagnement réalisé par la chambre d'agriculture auprès des agriculteurs [Chambre d'agriculture, collectivité], ainsi que le travail effectué dans le cadre d'outils de planification tels qu'un SCoT ou un PLUi7 [collectivités, animateurs de projet territoriaux de collectivités]. La Chambre d'agriculture souligne la nécessaire rentabilité économique des fermes pour imaginer des changements ;
- **la préservation des paysages bocagers** : dans les deux territoires, des programmes de plantations de haies sont en cours depuis plusieurs décennies, en lien avec des politiques régionales de reconquêtes de la qualité de l'eau et de plantation du bocage. Cependant, les acteurs de la gestion de l'eau constatent que les plantations ne sont pas suffisantes et souhaitent intensifier les efforts autour du maintien et de l'entretien de l'existant. De plus, sur les deux territoires, il y a eu une volonté partagée par de nombreux acteurs de travailler à une filière de valorisation de bois de bocage : *« il y a eu des volontés de mettre en place des filières, etc. pour entretenir la haie, mais force est de constater que ça ne va jamais jusqu'au bout, puisque […] ce n'est pas assez rentable par rapport à d'autres bois, plaquettes. » ;*
- **la préservation de la biodiversité** : des salariés de collectivités abordent la biodiversité, en regrettant que le sujet ne soit pas plus travaillé au sein de leurs services : « *on ne s'interroge pas sur le sujet* » ; « *je ne suis pas armé* » ;
- **les relations entre acteurs** : dans les deux territoires, des projets de territoires créent des espaces de discussions entre agriculteurs ou acteurs de territoires (PCAET8, SCoT, PAT) [collectivités, animateurs de projets territoriaux de collectivités]. Ainsi, des acteurs rencontrés ont exprimés leur sensation de travailler de manière transversale au sein de leurs structures et/ou entre les structures [animateur de projet territorial de collectivité, chambre d'agriculture, collectivité]. Cependant, certains acteurs rencontrés ont exprimé leur sensation de ne pas être en capacité d'être moteur d'un changement effectif de l'agriculture sur leur territoire, soit parce qu'ils n'ont pas les outils pour influencer directement les pratiques agricoles [collectivité, animateur de projet territorial de collectivité], ou parce que la rentabilité des exploitations dépend fortement de filières non territorialisées et d'aides européennes [chambre d'agriculture].

Enfin, le souhait de créer des filières locales est freiné par des questions de rentabilité économique (*Cf* enjeu de préservation des paysages bocagers), et de verrouillage des filières actuelles [acteur de la gestion des ressources naturelles].

Plus globalement, sur les deux territoires, les agriculteurs sont accompagnés à la fois par des structures impliquées dans des projets territoriaux (Chambre d'agriculture, Agrobio, GAB9, CIVAM10, CUMAs11…), et par des structures non impliquées dans ces projets (coopératives, entreprises privés), qui ne participent donc pas à l'élaboration de visions et plan d'actions territoriaux.

[7] PLUi : Plan Local d'Urbanisme intercommunal
[8] PCAET : Plan Climat Air Energie Territorial
[9] GAB : Groupement d'Agriculteurs Bio
[10] CIVAM : Centre d'Initiative pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural)
[11] CUMA : Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole

L'équipe-projet quant à elle s'est exprimée de manière prospective sur des cheminements à mettre en œuvre lors du déroulé du projet ou à son issue. Elle identifie des moyens pour contribuer à l'ensemble des transformations souhaitées, mais de façon très générale, sans spécification pour telle ou telle thématique. Les moyens à mettre en œuvre sont les suivants : créer une communauté de travail à l'échelle des territoires, accompagner des groupes d'échanges entre pairs en lien avec les groupes d'échanges existant sur les territoires accompagnés par des acteurs centraux des transformations (Chambre d'agriculture, CETA, CIVAM, GAB…) et sensibiliser les acteurs des politiques publiques. Là encore, les propositions de l'équipe-projet relèvent principalement des relations entre acteurs au sens large (ex : des territoires, institutionnels, des filières).

4. Discussion

Sur la base de la démarche mise en œuvre et de son analyse, nous identifions plusieurs éléments contribuant potentiellement au partage des enjeux contextuels et des transformations visées entre parties prenantes, et à l'alimentation du chemin d'impact pour des TAE territorialisées d'élevages bovins en particulier laitiers (sous-section 4.1). Nous tirons également quelques leçons de l'initiation de l'approche ASIRPA$^{\text{in itinere}}$ pour le projet AMPERA (sous-section 4.2.).

4.1. Eléments pour le partage des enjeux et transformations et l'alimentation du chemin d'impact

Nous repérons quatre éléments saillants dans l'expression des partie-prenantes :

- **l'expression d'une vision systémique aux échelles des territoires locaux.** Elle se traduit par les liens que les répondants opèrent entre des problématiques systémiques associées au territoire, par exemple entre la démographie des fermes, l'évolution des paysages et de la ressource en eau. Cette capacité des acteurs est liée à la connaissance qu'ils ont de leurs territoires et au développement d'une culture systémique (Lardon, 2024). Cette vision systémique est davantage exprimée dans les enjeux ; elle semble plus difficile lorsqu'il s'agit de définir des visées transformatives et des chemins pour y parvenir. Cela confirme les difficultés rencontrées dans d'autres projets, quand il s'agit pour les parties-prenantes de s'exercer à cette projection compte-tenu des incertitudes, multiples interactions et temporalités dans ces systèmes complexes que sont les territoires (Charbonneau and Poinsot, 2018) ;
- **l'importance du paysage dans les visions systémiques.** Cette importance du paysage est exprimée par les répondants aussi bien dans les enjeux que dans les visées transformatives. Le paysage peut être envisagé par les professionnels de l'aménagement comme les scientifiques en termes de fonctions écosystémiques, mais il est aussi accessible à tous les acteurs sous l'angle de l'appréhension sensible (Besse, 2018). Il peut être ainsi envisagé aux échelles fines des fermes (les haies, les prairies), aussi bien qu'aux échelles plus larges d'étendues que l'on peut parcourir dans le cadre de son travail ou de ses loisirs (le paysage bocager). Ainsi le paysage peut constituer une ressource sans cesse remodelée par les activités en relations avec le milieu, et spécifique d'un territoire : il offre ainsi un support privilégié de construction de projet de territoire (Peyrache-Gadeau and Perron, 2010) impliquant les agriculteurs (Pinto-Correia and Kristensen, 2013 ; Thenail *et al.*, 2022). Cependant on repère des discordances parmi les répondants dans les moyens d'y parvenir, par exemple entre une vision d'aménagement du paysage de bocage (ex : plantations de haies) et une vision davantage de valorisation économique de la ressource en bois associée (ex : création de filière bois). Dans d'autres études, on montre que ces discordances entre acteurs dans les projections de paysages souhaités peuvent mettre en exergue des écarts entre visions économiques plutôt qu'écologiques, ou entre vision en zonage ou en partage de l'espace selon les fonctions souhaitées (Helfenstein *et al.*, 2022).

- **Une diversité de vision de l'agroécologie au niveau des fermes et des difficultés de transposition aux échelles des territoires**.

Certaines propositions, notamment relatives aux évolutions de l'agriculture et de l'élevage sur les territoires, sont divergentes. En effet, selon certains points de vue un ajustement, voire un maintien des systèmes agricoles et des relations actuelles entre acteurs (au sens large), est préférable (par exemple avec le maintien du volume de production laitière, des infrastructures et des filières associées), tandis que selon d'autres points de vue, une reconception des systèmes agricoles et des relations entre acteurs est nécessaire (par exemple avec la relocalisation et la diversification des productions alimentaires). Ce sont donc différentes voies de transformation des systèmes agricoles qui ne présentent pas le même degré de rupture par rapport au système dominant actuel (Duru *et al*., 2015). Par ailleurs une difficulté émerge quant à la « transposition » de ces principes d'agroécologie en action lorsque l'on passe des échelles de la ferme aux échelles du territoire (Duru *et al*., 2015) : s'agit-il de penser une diversité, une coexistence de systèmes « diversement agroécologiques » et/ou s'agit-il de penser aussi leurs interactions spatiales multiples avec le territoire qui font émerger des propriétés agroécologiques à ce niveau ?

- **L'importance des relations entre acteurs (territoriaux, institutionnels, des filières) dans les enjeux et les difficultés d'imaginer des formes de gouvernance dans les visées transformatives.**

Que ce soit dans les enjeux ou les visées transformatives et les cheminements imaginés, les relations entre acteurs au sens large sont mentionnées par les différentes parties prenantes, même si elles le sont de façon assez générale. Au niveau de l'équipe-projet, la plupart des transformations et des cheminements évoqués réfèrent directement aux relations entre acteurs (politiques publiques, dispositifs de montée en capacité des acteurs, mise en place d'un collectif de travail, structuration de filières, organisation collective territoriale). Cette expression des transformations visées montre que l'équipe-projet s'est efforcée de passer dans sa réflexion au-delà de ses thématiques-métiers sur les systèmes agricoles et les écosystèmes. Cependant, on retrouve des difficultés comparables à celles relevées dans les expériences de Matt *et al*. (2023) avec différentes équipes-projet, pour le prototypage de l'approche ASIRPA$^{in\ itinere}$, à savoir les difficultés des chercheurs pour identifier spécifiquement les acteurs et moyens nécessaires, intermédiaires, afin d'assurer le passage des productions de recherche aux impacts sociétaux (Matt *et al*., 2023). Au niveau des acteurs de territoire, cette dimension des relations entre acteurs est plutôt mentionnée sous la forme d'un souhait de faire davantage dialoguer différentes parties prenantes du territoire (par exemple, les acteurs des différents types d'agriculture ou les acteurs du milieu agricole avec les autres structures du territoire), et via le souhait de certains acteurs de structurer des filières locales. Ainsi, du côté des acteurs des territoires, il s'agit davantage d'estimer comment mieux composer avec les organisations d'acteurs en place. Ces questions touchent à une problématique de gouvernance des territoires (qui implique la gestion des ressources et des acteurs par le biais de règles et d'institutions) pour soutenir des innovations agroécologiques permettant la durabilité de ces territoires (Audouin *et al*., 2018). De tels questionnements sont particulièrement mis en exergue dans le cadre de living lab, avec des arguments en faveur de formes de gouvernance basées sur des démarches participatives et de co-apprentissage entre parties-prenantes, pour gérer les problèmes « épineux » (que l'on ne sait pas « par quel bout prendre ») posés par les territoires ruraux/agricoles pour leur durabilité (Ceseracciu *et al*., 2023).

4.2. Leçons tirées de l'initiation de l'approche ASIRPA$^{in\ itinere}$ pour le projet AMPERA

Si nous mesurons la richesse de la diversité des points de vue entre parties-prenantes, nous voyons certains freins occasionnés par cette diversité, mais également du fait des décalages pour de même parties-prenantes entre l'expression des transformations visées et des enjeux (voire des actions concernant le projet AMPERA). Cela se concrétise dans cette étude par exemple dans la difficulté de

formuler un/des chemins de transformation à ce stade. Cependant le travail en trois étapes (identification des enjeux, transformations, cheminements) réalisé dans cette initiation d'ASIRPA$^{in\ itinere}$ a eu l'intérêt de rendre explicite la diversité de points de vue autour de l'agroécologie entre les parties prenantes et de spécifier comment elle se décline de façon située dans les territoires. En outre, c'est le passage par l'identification de transformations visées qui a permis de faire exprimer les parties prenantes de façon plus fine et de révéler ainsi les besoins et pistes pour le passage à la formalisation d'un chemin d'impact (Matt *et al*., 2023).

Par ailleurs, cette expérience confirme l'analyse selon laquelle les projets abordant des systèmes complexes rencontrent des difficultés à définir un chemin d'impact car ils font face à des interactions et dynamiques souvent inattendues qu'il s'agit de mobiliser pour atteindre les transformations visées (Douthwaite and Hoffecker, 2017). Ainsi, notre étude d'initiation d'ASIRPA$^{in\ itinere}$ renforce l'argumentaire sur le besoin de développer, de façon complémentaire aux modèles scientifiques « sectoriels » (ex : sur les circularités, le paysage), des formes de représentations collaboratives des systèmes complexes, en jeu ici dans les TAE territorialisées des élevages bovins, afin de mettre en capacité les différentes parties prenantes de débattre et partager les enjeux et transformations (Martin *et al*., 2018 ; Voinov *et al*., 2018). Dans ces approches, on insiste sur la nécessité de boucle d'itération pour progresser entre partie-prenantes, ce qui est en effet cohérent avec le principe de l'approche ASIRPA$^{in\ itinere}$ envisagé en cycles itératifs de pilotage d'un projet de recherche pour l'impact. Pour nous, l'engagement des parties prenantes du projet AMPERA dans un chemin de transformation devrait se traduire par une montée en capacité collective pour accéder successivement à : i) une vision systémique plurielle, multi-échelle des territoires, ii) une identification partagée et précisée de nœuds d'enjeux et de visées de transformation pour les territoires, iii) une formalisation partagée de modalités de scénarios intégrant ces visées de transformation identifiées. Il s'agira de poursuivre l'organisation de nos activités et l'identification de jalons de pilotage et de réalisations dans ce sens.

Les perspectives immédiates que nous identifions pour la suite du projet s'appuient sur ces constats de diversité des points de vue et de décalages entre enjeux et transformations visées. Il s'agit de les prendre en compte aussi bien en termes de richesse qu'en termes de potentiels freins voire blocages que cette diversité et ces décalages de points de vue pourraient occasionner. La proposition que se fait l'équipe-projet est de travailler de façon itérative sur ces points de vue, sur l'expression des enjeux et des transformations, et ce, pour engager effectivement des chemins de transformation. Ainsi, lors de nos futurs échanges, avec l'équipe-projet et avec les acteurs des territoires, nous serons attentifs à expliciter et faire expliciter les façons d'envisager l'agroécologie, qui peut être pensée avec des visées d'optimisation des systèmes agricoles, ou de re-conception, mais aussi ce qui peut ou devrait faire territoire (relations entre acteurs, ressources, cohérence de projet) dans les enjeux et transformations visées. La démarche a permis de mieux comprendre les spécificités de chaque territoire en termes d'enjeux identifiés par les acteurs des territoires, de structures et projets présents ; et nous constatons que l'organisation et les caractéristiques sur chaque territoire influent sur la manière dont les acteurs se mobilisent dans le cadre du projet. Nous pourrons ainsi davantage et mieux nous appuyer sur les dynamiques locales existantes.

5. Conclusion et perspectives

Dans le cadre du projet AMPERA, nous avons mis en place une démarche basée sur une méthode d'analyse d'impact de la recherche chemin faisant, ASIRPA$^{in\ itinere}$, pour caractériser la manière dont l'équipe-projet et les acteurs se représentent i) les enjeux des TAE sur les territoires du projet, ii) les transformations souhaitées sur les territoires et iii) les cheminements pour y contribuer. Pour cela, nous avons mis en œuvre des ateliers collectifs et des entretiens individuels, qui nous ont permis de réaliser une analyse qualitative transversale. Nous avons pu identifier i) des points de vue qui se rejoignent, par exemple sur des thématiques à enjeux comme l'installation transmission des fermes, la qualité de l'eau,

ou le maintien du paysage bocager, ii) des points de vue diversifiés voire qui divergent, par exemple l'ajustement versus la reconception de systèmes agricoles et les dispositifs multi-acteurs (politiques, filières, instances), ou bien l'attention plus ou moins importante portée aux relations entre acteurs (des territoires, institutionnels, des filières) dans les transformations visées, iii) des décalages entre enjeux identifiés (davantage liés aux thématiques-métiers) et les transformations visées (plus ouvertes), dans et entre groupes d'acteurs et équipe-projet.

La présente étude nous donne des clés pour caractériser et évaluer une diversité de systèmes agricoles possibles, ainsi que ce que peut produire à l'échelle territoriale la coexistence de cette diversité de systèmes. Également, l'étude nous conforte sur l'effort à fournir pour produire des représentations collaboratives qui permettent de rendre compte des effets de synergie, antagonismes et rétroactions entre les dimensions productives, de circularité et paysagères-écosystémiques des transitions agroécologiques des élevages bovins de la ferme au territoire. Une telle démarche pourra s'appuyer sur les transformations souhaitées par les acteurs des territoires pour imaginer des territoires plus agroécologiques, et également sur les moyens identifiés à mettre en œuvre pour concevoir des chemins d'impact effectif du projet AMPERA.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCIDs des auteurs

Faustine RUGGIERI : https://orcid.org/0000-0003-4474-8339

Claudine THENAIL: https://orcid.org/0000-0003-1308-1121

Valérie VIAUD : https://orcid.org/0000-0002-6434-369X

Contributions des auteurs

Marine PICHOT, Claudine THENAIL, Denis FOLLET, Armelle LAINE PENEL et Valérie VIAUD ont participé à la conceptualisation et à la problématisation de la démarche.

Marine PICHOT a formalisé le plan d'échantillonnage, collecté et mis en forme les données, réalisé les analyses et rédigé une première version de l'article. Tous les auteurs ont contribué à réviser l'article.

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement les acteurs des territoires du projet qui ont dédié du temps aux échanges en y apportant leurs regards et leurs expertises. Ils remercient également l'équipe-projet d'avoir participé et contribué à la démarche présentée. Merci à Giulia Volpini, en thèse sur la démarche Asirpa[in itinere], pour son appui dans le cadre des ateliers dédiés du programme TETRAE. Et merci enfin aux relecteurs de la publication pour leurs retours de grand intérêt.

Déclaration de soutien financier

La Région Bretagne

Le projet AMPERA est financé via le programme TETRAE, par INRAE.

https://www.tetrae.fr/les-projets/ampera

Références bibliographiques

Andersson, J., Lennerfors, T. T., and Fornstedt, H. (2024). Towards a socio-techno-ecological approach to sustainability transitions. Environmental Innovation and Societal Transitions **51**.

Audouin, S., Gazull, L., and Gautier, D. (2018). Territory matters: Exploring the functioning of an innovation system through the filter of local territorial practices - the example of the adoption of cashew trees in Burkina Faso. Journal of Rural Studies **63**, 130-140.

Ayache, M., and Dumez, H. (2011). Le codage dans la recherche qualitative une nouvelle perspective ? Le Libellio d' AEGIS **7**, 33-46.

Besse, J. M. (2018). "La nécessité du paysage," Ed. Parenthèses, Marseille.

Blundo Canto, G., De Romemont, A., Hainzelin, E., Faure, G., Monier, C., Triomphe, B., Barret, D., and Vall, E. (2020). "ImpresS ex ante. Démarche pour co-construire ex ante les chemins d'impact de la recherche pour le développement. Guide méthodologique ImpresS ex ante (Deuxième version)" CIRAD, Montpellier, France.

Callon, M. (1986). The Sociology of an Actor-Network: The Case of the Electric Vehicle. In "Mapping the Dynamics of Science and Technology: Sociology of Science in the Real World" (M. Callon, J. Law and A. Rip, eds.), pp. 19-34. Palgrave Macmillan UK, London.

Carr Kelman, C., Srinivasan, J., Lorenzo Bajaj, T., Raschke, A. B., Brown-Wood, R. N., Kellner, E., Ahn, M., Kariuki, R. W., Simeone, M., and Schoon, M. (2024). Convergence research as transdisciplinary knowledge coproduction within cases of effective collaborative governance of social-ecological systems. Ecology and Society **29**.

Ceseracciu, C., Branca, G., Deriu, R., and Roggero, P. P. (2023). Using the right words or using the words right? Re-conceptualising living labs for systemic innovation in socio-ecological systems. Journal of Rural Studies **104**, 103154.

Charbonneau, M., and Poinsot, Y. (2018). Pour territorialiser les politiques publiques de l'eau potable : Prendre en compte le concernement territorial des acteurs et les configurations spatiales des dispositifs de gestion. Cybergeo : European Journal of Geography [en ligne] Espace, Société, Territoire.

Di Méo, G. (2001). "Géographie sociale et territoires.," 2e/Ed. Nathan Université, Paris.

Douthwaite, B., and Hoffecker, E. (2017). Towards a complexity-aware theory of change for participatory research programs working within agricultural innovation systems. Agricultural Systems **155**, 88-102.

Dumont, B., Groot, J. C. J., and Tichit, M. (2018). Review: Make ruminants green again – how can sustainable intensification and agroecology converge for a better future? animal **12**, s210-s219.

Duru, M., Therond, O., and Fares, M. h. (2015). Designing agroecological transitions; A review. Agronomy for Sustainable Development **35**, 0.

Faure, G., Blundo-Canto, G., Devaux-Spatarakis, A., Le Guerroué, J. L., Mathé, S., Temple, L., Toillier, A., Triomphe, B., and Hainzelin, E. (2020). A participatory method to assess the contribution of agricultural research to societal changes in developing countries. Research Evaluation **29**, 158-170.

Helfenstein, J., Diogo, V., Bürgi, M., Verburg, P. H., Schüpbach, B., Szerencsits, E., Mohr, F., Siegrist, M., Swart, R., and Herzog, F. (2022). An approach for comparing agricultural development to societal visions. Agronomy for Sustainable Development **42**, 5.

Herrero, M., Wirsenius, S., Henderson, B., Rigolot, C., Thornton, P., Havlík, P., de Boer, I., and Gerber, P. J. (2015). Livestock and the Environment: What Have We Learned in the Past Decade? Annual Review of Environment and Resources **40**, 177-202.

Joly, P.-B., Gaunand, A., Colinet, L., Larédo, P., Lemarié, S., and Matt, M. (2015). ASIRPA: A comprehensive theory-based approach to assessing the societal impacts of a research organization. Research Evaluation **24**, 440-453.

Kaufmann, J. (2016). L'entretien compréhensif. Armand Col.

Lardon, S. (2024). Quand la société civile contribue à de nouveaux territoires de la participation, que fait la recherche ? Revue Organisations & territoires **33**, 24-40.

Lasseur, J., Bonaudo, T., Choisis, J. P., Houdart, M., M., Napoleone, M., Tichit, M., and Dedieu, B. (2019). Élevage et territoires : quelles interactions et quelles questions ? INRA Productions Animales **32**, 189-204.

Martin, G., Allain, S., Bergez, J.-E., Burger-Leenhardt, D., Constantin, J., Duru, M., Hazard, L., Lacombe, C., Magda, D., Magne, M.-A., Ryschawy, J., Thénard, V., Tribouillois, H., and Willaume, M. (2018). How to Address the Sustainability Transition of Farming Systems? A Conceptual Framework to Organize Research. Sustainability **10**, 2083.

Matt, M., Robinson, D. K. R., Joly, P.-B., Van Dis, R., and Colinet, L. (2023). ASIRPAReal-Time in the making or how to empower researchers to steer research towards desired societal goals. Research Evaluation **32**, 412-425.

Penfield, T., Baker, M. J., Scoble, R., and Wykes, M. C. (2013). Assessment, evaluations, and definitions of research impact: A review. Research Evaluation **23**, 21-32.

Peyrache-Gadeau, V., and Perron, L. (2010). Le Paysage comme ressource dans les projets de développement territorial Développement durable et territoires **1**.

Pinto-Correia, T., and Kristensen, L. (2013). Linking research to practice: The landscape as the basis for integrating social and ecological perspectives of the rural. Landscape and Urban Planning **120**, 248-256.

Sala, S., Farioli, F., and Zamagni, A. (2013). Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1. The International Journal of Life Cycle Assessment **18**, 1653-1672.

Sundstrom, S. M., Angeler, D. G., and Allen, C. R. (2023). Resilience theory and coerced resilience in agriculture. Agricultural Systems **206**, 103612.

Thenail, C., Moonen, A. C., Lardon, S., Marraccini, E., and Rizzo, D. (2022). Chapter 10. Landscape Agronomy: lessons learned and challenges ahead, from a European perspective. In "Landscape Agronomy: Advances and Challenges of a Territorial Approach to Agricultural Issues" (D. Rizzo, E. Marraccini and S. Lardon, eds.), pp. 271-294. Springer Verlag.

Voinov, A., Jenni, K., Gray, S., Kolagani, N., Glynn, P. D., Bommel, P., Prell, C., Zellner, M., Paolisso, M., Jordan, R., Sterling, E., Schmitt Olabisi, L., Giabbanelli, P. J., Sun, Z., Le Page, C., Elsawah, S., BenDor, T. K., Hubacek, K., Laursen, B. K., Jetter, A., Basco-Carrera, L., Singer, A., Young, L., Brunacini, J., and Smajgl, A. (2018). Tools and methods in participatory modeling: Selecting the right tool for the job. Environmental Modelling & Software **109**, 232-255.

Pour citer cet article : Marine Pichot, Claudine Thenail, Denis Follet, Armelle Laine Penel, Faustine Ruggieri, *et al.*. Recherche collaborative pour l'appui aux transitions agroécologiques de territoires d'élevage : retours d'expérience d'une approche de pilotage du projet pour l'impact. Innovations Agronomiques, 2025, 108, pp.34-49. 10.17180/ciag-2025-vol108-art03

CC BY 4.0 Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.

Analyse des successions culturales 2015 – 2022 en France : état des lieux du niveau de diversification en agriculture conventionnelle et biologique

Marie-Sophie DEDIEU[1], Christian BOCKSTALLER[2] ; Pierre CANTELAUBE[1], Baptise GIRAULT[3], Philippe MARTIN[3], Thomas POMEON[1], Natacha SAUTEREAU[4]

[1] INRAE, US ODR, Castanet-Tolosan 31326, France

[2] Université de Lorraine, INRAE LAE, Colmar -68000, France

[3].Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SADAPT, Palaiseau 91120, France

[4] Institut Technique de l'Agriculture Biologique, Pôle Durabilité Transitions, 84000 Avignon

Correspondance : marie-sophie.dedieu@inrae.fr

DOI : https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art04

Résumé

L'allongement et la diversification des rotations sont des leviers majeurs pour réduire le recours aux produits phytosanitaires et engrais de synthèse. Face à ces enjeux, il est nécessaire d'acquérir des connaissances sur les successions culturales à échelle géographique fine. A partir des données de séquences de cultures issues du Registre Parcellaire Graphique, et du travail d'un groupe d'experts en agronomie, l'Observatoire du Développement Rural a précédemment produit un jeu d'indicateurs qualifiant les successions sur terres arables, sur la période 2015-2021. Une nouvelle version de ces indicateurs, portant sur 2015-2022, est à présent disponible. Les résultats distinguent désormais les successions en agriculture biologique et conventionnelle. En moyenne, 3.7 cultures sont enregistrées sur 8 années de succession. Les successions sont plus diversifiées en agriculture biologique et comportent beaucoup plus fréquemment des légumineuses. Sur les quatre dernières années de la période, près de 90 % des surfaces ont eu au moins deux cultures différentes, ce qui correspond à la nouvelle norme relative aux rotations introduite dans la PAC 2023-2027.

Mots-clés : rotations, agriculture biologique, diversité cultivée, délais de retour, Registre Parcellaire Graphique, conditionnalité PAC.

Abstract: Analysis of crop successions 2015-2022 in France: assessment of diversification levels in conventional and organic agriculture

Lengthening and diversifying crop rotations are major levers to reduce the use of plant protection products and synthetic fertilisers. To meet these challenges, it is necessary to acquire knowledge on crop rotations on a detailed geographical scale. Using data on crop sequences from the Land Parcel Identification System, and the work of a group of agronomy experts, the Rural Development Observatory has previously produced a set of indicators describing crop successions on arable land over the period 2015-2021. A new version of these indicators, covering the period 2015-2022, is now available. The results now distinguish between successions in organic and conventional farming. On average, 3.7 crops are recorded over 8 years of succession. Successions are more diversified in organic farming, and include legumes much more frequently. Over the last four years of the period, almost 90% of the areas had at least two different crops, which corresponds to the new rotation constraint introduced in the 2023-2027 CAP.

Keywords: rotations, organic farming, crop diversity, return time, Land Parcel Identification System, CAP conditionality.

1. Introduction

La nature des cultures et leur ordre de succession sur les parcelles sont des éléments clés de caractérisation des systèmes de culture, avec les itinéraires techniques appliqués aux différentes cultures (Sebillotte, 1990). Dans l'ouvrage historique sur les assolements et les systèmes de culture (Heuzé, 1862), la rotation est définie comme le retour d'une succession de cultures données sur une même surface. En Europe, les systèmes de culture de l'Antiquité reposaient classiquement sur une rotation biennale, avec une céréale d'hiver suivie d'une jachère (Mazoyer et Roudart, 2002). Un transfert de fertilité du *saltus* vers l'*ager* était réalisé grâce au bétail qui pâturait sur les terres périphériques et sur les jachères. Avec l'accroissement des troupeaux et le développement de la stabulation, la rotation triennale s'est développée au Moyen-Age. L'apport de fumier sur la jachère permit alors d'introduire une seconde céréale dans la rotation. Au XVIII^{ème} siècle, la « première révolution agricole des Temps modernes » a vu le développement de cultures fourragères, notamment des prairies artificielles, et la suppression des jachères, permettant d'augmenter le bétail et la production de fumier. Les rotations se sont alors allongées et complexifiées. C'est avec l'essor de l'utilisation des intrants de synthèse que les contraintes agronomiques liées aux rotations se sont assouplies : « *l'usage des produits de traitements a affranchi les exploitations des anciennes règles de rotation et d'assolement qu'elles devaient respecter pour éviter le foisonnement des mauvaises herbes, la pullulation des insectes et la multiplication des maladies des plantes. Le colza, par exemple, pour éviter les pullulations d'insectes parasites […], ne pouvait être cultivé sur une même parcelle que tous les cinq à six ans ; aujourd'hui, avec les nouveaux traitements, le colza peut revenir tous les trois ans sur la même parcelle* » (Mazoyer et Roudard, 2002, p 515).

Si l'usage des intrants de synthèse a conduit à la simplification et au raccourcissement des rotations, l'émergence de nouveaux enjeux environnementaux a entraîné un regain d'intérêt pour la diversification des cultures, dans l'espace (assolement) et le temps (rotation). De nombreuses études ont souligné l'intérêt de ce levier pour réduire le recours aux intrants de synthèse, notamment aux produits phytosanitaires (Guinet *et al*, 2023 ; Beillouin *at al.*, 2021). Dans le cadre du plan Ecophyto, « choisir des cultures diversifiées dans la rotation », pour varier les familles botaniques cultivées *et al*longer le délai de retour d'une même culture, est mis en avant afin de diminuer l'usage de produits phytosanitaires[12]. La règlementation encadrant l'agriculture biologique fait des rotations une pratique centrale pour préserver et augmenter la fertilité sols, en particulier par l'introduction de légumineuses. Enfin, depuis 2023, une nouvelle obligation portant sur la rotation des cultures a été instaurée dans le cadre de la conditionnalité des aides de la Politique Agricole Commune (PAC).

Pourtant, en dépit de la nécessité du suivi des évolutions des pratiques agricoles et du niveau d'adoption de dimensions agroécologiques dans les rotations, en particulier du fait de l'importance de ce levier pour réduire le recours aux fertilisants minéraux et produits phytosanitaires, peu de données récentes de synthèse existent autour des successions culturales. En effet, les enquêtes de la statistique agricole n'éclairent que partiellement sur les rotations. Les recensements agricoles ou les enquêtes intercensitaires sur la structure des exploitations, réalisés sur un échantillon d'exploitations, sont centrés sur des éléments clés relatifs aux facteurs de production, et ne comportent que quelques questions sur les pratiques culturales. Les surfaces avec cultures intermédiaires et en monoculture peuvent y être enregistrées. Les enquêtes « pratiques culturales » permettent quant à elles de mieux connaître les rotations en grandes cultures, grâce aux questions portant sur les précédents culturaux sur cinq années. Elles ont été exploitées pour dégager des rotations type à l'échelle nationale (Jouy et Wissocq, 2011). Mais ces enquêtes ne sont réalisées qu'à pas de temps pluriannuel, et sur un échantillon de parcelles représentatif uniquement à échelle régionale. D'autres travaux se sont appuyés sur l'enquête TERUTI portant sur la couverture du territoire, en France (Xiao *et al.*, 2014) et au niveau européen (Ballot *et al*., 2023). Au Royaume-Uni, les rotations culturales ont été analysées à partir de données de

[12] https://ecophytopic.fr/leviers/prevenir/choisir-des-cultures-diversifiees-dans-la-rotation

couverture du sol issue de télédétection (Upcott *et al.*, 2023). L'Observatoire du Développement Rural a produit des études et indicateurs portant sur les successions de culturales et les rotations types sur la période 2006-2012, à partir des données du Registre Parcellaire Graphique (RPG), alors que celui-ci était structuré à l'échelle de l'ilot, regroupement contigu de parcelles (Fuzeau *et al*., 2012 ; Martin et Poméon, 2018). Certains travaux ont mobilisé des données plus récentes, sur la période 2017-2020 par exemple, pour qualifier agronomiquement les rotations en France, notamment par le délai de retour du blé tendre (Nowak *et al.,* 2022). En Suède, les données du RPG ont aussi été utilisées pour caractériser la diversité culturale des successions en agriculture biologique dans différentes zones agricoles (Reumaux *et al.,* 2023).

Face à ce manque d'information patent, nous nous proposons de répondre aux besoins de meilleure connaissance des successions culturales, par la construction et mise à disposition d'indicateurs clés, simples d'usage, mobilisables pour l'action publique et l'évaluation de politiques publiques. Pour cela, nous utilisons les données de séquences de cultures construites à partir du RPG (Girault et Martin, 2024). Ce dernier est désormais disponible depuis 2015 à l'échelle de la parcelle et non plus de l'îlot, et représente, en 2022, 99 % des terres arables d'après les données du RPG et du RPG Complété (Cantelaube et Lardot, 2022)[13]. Après la publication d'un data paper dédié au choix des indicateurs, aux modalités de traitement des données, et à la mise à disposition d'un premier jeu d'indicateurs pour la période 2015-2021 (Dedieu *et al.,* 2024), **l'objectif est ici de présenter quelques résultats, pour la période actualisée 2015-2022, pour qualifier les successions et distinguer, nouvellement, les successions conduites en agriculture biologique.** Les indicateurs d'intérêt sont définis autour de quatre thèmes : i) la diversité temporelle cultivée, ii) la saisonnalité des cultures, iii) la présence de légumineuses et prairies dans les successions, et enfin iv) la durée des rotations. Ces thèmes font écho aux principaux enjeux associés aux rotations, et incluent des aspects agronomiques et écologiques.

Après avoir présenté, dans une première partie, la méthodologie de production des indicateurs sur la période 2015-2022, dernières données disponibles lors des traitements de données[14], nous présenterons, dans une seconde partie, quelques résultats clés. Trois sous-questions seront abordées : i) quels grands traits des successions de cultures peut-on tirer des données à l'échelle de la France ii) dans quelle mesure les rotations en agriculture biologique sont-elles plus diversifiées que les rotations en agriculture conventionnelle, iii) les nouvelles règles de conditionnalité introduites dans le cadre de la PAC 2023-2027 relatives aux rotations sont-elles contraignantes, au regard des données observées sur la période précédente ?

2. Méthodologie de production des indicateurs

2.1. Les indicateurs de caractérisation des successions culturales

Afin de sélectionner les indicateurs d'intérêt et de définir leurs modalités de calcul, des experts INRAE sur les rotations culturales, ingénieurs, chercheurs, ou enseignants-chercheurs, ont été sollicités pour

[13] https://odr.inrae.fr/ : surfaces 2022 hors jachères, prairies permanentes, vergers, vignes, légumes et fleurs et postes divers : 15 793 610 ha dans le RPG, et 235 163 ha dans le RPG complété.

[14] Les séquences portant sur la période 2015-2023 ont été publiées en juillet 2025, après la période de traitement des données présentées dans le présent article. Une mise à jour annuelle des indicateurs présentés ici est prévue dans le cadre des travaux de l'US ODR, disponibles sur https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/successions-culturales.

leurs compétences thématique ou méthodologique[15]. Des discussions ont eu lieu au cours de trois réunions en 2023 sur la base d'une première liste martyre d'indicateurs, et de premiers résultats, liste largement revue par la suite. Les travaux ont abouti à la publication d'un data paper dédié (Dedieu *et al.*, 2024). Les indicateurs retenus s'articulent autour de quatre thématiques : diversité culturale temporelle ; saisonnalité des cultures au sein de la succession ; composants clés de la succession et enfin les indicateurs autour de la durée de rotation (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Liste des thématiques et indicateurs sélectionnés pour qualifier les successions culturales

Thème 1 : diversité temporelle des cultures dans les séquences
- **Nombre moyen de cultures :** nombre d'espèces différentes au sein de la succession (min.=1 ; max.= 8), avec regroupement des espèces selon leurs dates de semis (blé tendre d'hiver et de printemps distincts dans les déclarations PAC par exemple, ici regroupés) ou leurs destinations (maïs grain et maïs fourrage par exemple). - **Indice de Simpson inversé** : $1/\sum p_i 2$ avec p_i : proportion de la culture i dans la séquence. Cet indice tient compte des proportions de chaque culture, et est facilement lisible car compris entre 1 et 8. - **Nombre moyen de familles botaniques** - **Indice de Simpson inversé appliqué aux familles botaniques** - **Nombre d'occurrence d'une même culture dans la succession,** hors cultures pluriannuelles : prairies temporaires, jachères et légumineuses fourragères. - **Monoculture de maïs ou quasi monoculture de maïs :** 7 à 8 maïs (maïs, maïs fourrage, maïs doux).
Thème 2 : saisonnalité des cultures dans les séquences
- **Nombre de cultures d'automne, d'hiver, printemps, été** dans les successions. Colza d'hiver comptabilisé en culture d'automne. Les cultures pluriannuelles ne sont pas qualifiées. - **Indicateurs portant sur la part des cultures d'hiver-automne et de printemps-été dans la succession.** - **Nombre d'intercultures longues** dans les séquences : si succession de deux cultures de printemps ou été ; ou d'une culture d'hiver suivie d'une culture de printemps ou été ; ou d'une culture d'automne (colza hiver) suivi d'une culture de printemps ou été.
Thème 3 : focus sur certains composants clés structurant les séquences
- **Séquences avec cultures de légumineuses**, et nombre de légumineuses présentes - **Séquences avec prairies temporaires, nombre de prairies, et nombre de prairies temporaires consécutives**
Thème 4 : autour de la durée des rotations
- **Délai de retour du blé** - **Délai de retour du colza** **Délai de retour de la pomme de terre** Avec délai de retour : nombre de cultures entre deux cultures d'intérêt au sein d'une séquence, moyenné si plus de deux cultures d'intérêt dans la séquence. - **Surfaces en délais de retour court** : monoculture ou au plus 3 cultures différentes, ou présence d'une même culture annuelle deux ans consécutivement (définition IDEA[16]). Le calcul ne tient pas compte des prairies temporaires, jachères et légumineuses fourragères (pois et féverole en revanche

[15] Remerciements à : Guillaume Adeux, Rémy Ballot, Christian Bockstaller, Baptiste Girault, Nicolas Guilpart, Mae Guinet, Olivier Lision, Philippe Martin, Antoine Méssean, Nicolas Munier-Jolain, Benjamin Nowak, Olivier Therond.

[16] Voir dans Zahm F., Girard S., Alonso Ugaglia A., Barbier J.-M., Boureau H., Carayon D., Cohen S., Del'homme B., Gafsi M., Gasselin P., Gestin C., Guichard L., Loyce C., Manneville V., Redlingshöfer B. Rodrigues I., 2023. La Méthode IDEA4, Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles. Educagri éditions.

comptabilisés notamment).

- **Surfaces avec au moins deux cultures consécutives identiques.** Le calcul ne tient pas compte des prairies temporaires, jachères et légumineuses fourragères (pois et féverole en revanche comptabilisés notamment).

Les indicateurs sont restitués pour quatre niveaux d'agrégation : commune, département, région et France métropolitaine, **déclinés selon le mode de production (conventionnel, AB et ensemble)**. On donne, pour chacun de ces niveaux et pour chaque indicateur, les moyennes pondérées par les surfaces concernées, avec en complément la répartition des surfaces correspondantes par modalité. Par exemple, en sus du nombre moyen de cultures, les surfaces avec 1 culture, 2 cultures différentes, et ce jusqu'à 8 cultures différentes sont présentées.

Deux fichiers accompagnent les indicateurs produits :

- dictionnaire de variables, avec définition des indicateurs ;
- nomenclature de cultures utilisée pour les traitements, les familles botaniques des cultures et leur saisonnalité. Sur un ensemble de 351 cultures distinguées dans le RPG, les regroupements opérés conduisent à un ensemble de 238 cultures.

2.2. Les sources mobilisées : séquences, référentiels géographiques et RPG

Nous utilisons les données de séquences de cultures produites par INRAE SADAPT (Girault et Martin, 2024) portant sur les 8 années 2015-2022, France métropolitaine. Il s'agit de fichiers départementaux, au format géopackage. Ces données sont produites à partir du logiciel RPG explorer (Levavasseur *et al.,* 2016). Dans le cas simple d'une parcelle dont les contours restent stables dans le temps, la séquence de culture correspond à la concaténation des codes cultures déclarés pour cette parcelle au cours du temps. La surface de la séquence correspond à la surface de la parcelle. Dans le cas où les contours de la parcelle changent au cours du temps, ce sont les intersections de surfaces dans le temps qui sont retenues comme unité de séquences. Chaque parcelle est rattachée à une commune, un département, une région, grâce **au référentiel géographique de l'INSEE 2022**[17], ce qui permet d'avoir un référentiel communal actualisé.

Concernant l'agriculture biologique, cette information n'est actuellement pas disponible dans la version publique du RPG diffusée par l'IGN, alors que c'est un attribut des parcelles agricoles qui devrait être en open data, d'après la directive européenne 2019/1024 concernant les données ouvertes et la réutilisation des informations du secteur public[18] et son règlement d'application 2023/138[19]. Les données portant sur les parcelles en agriculture biologique sont certes diffusées par l'Agence Bio[20], mais avec un identifiant anonymisé spécifique qui ne permet pas d'apparier cette information aux autres données RPG. **L'attribut agriculture biologique en provenance des données en diffusion restreinte du RPG « niveau 2 » a donc été utilisé**[21]. Ce jeu de données de niveau 2 comporte, en plus de la géométrie des parcelles et de leur couvert, des informations complémentaires liées à l'exploitation et aux aides du premier et second pilier perçues, utilisables à des fins de recherche dans le respect du secret statistique.

[17] Voir INSEE, code officiel géographique au 1er janvier 2022 https://www.insee.fr/fr/information/6051727

[18] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1024

[19] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0138

[20] https://www.data.gouv.fr/fr/reuses/cartobio/

[21] https://info.agriculture.gouv.fr/boagri/instruction-2022-106

2.3. Traitements des données : quatre principales étapes

Le traitement des données est organisé en quatre principales étapes (Figure 2). Au préalable, les fichiers de séquences de cultures, organisés par département au format « géopackage », sont assemblés en un fichier France métropolitaine (les séquences ne sont pas disponibles pour les départements d'Outre-mer) au **format « parquet »**. Ce format de fichier, open source, est très efficace en termes de compression et décompression de données. Les géométries ne sont pas conservées afin de réduire la taille du fichier à traiter.

La première étape consiste à ajouter la localisation communale de la séquence. Pour cela, on utilise le résultat de traitements géomatiques réalisés à l'ODR permettant d'affecter à chaque parcelle du RPG public la commune dans laquelle se situe la majeure partie de sa surface. La table 2022 est utilisée, correspondant au dernier millésime des séquences de cultures 2015-2022. Par ailleurs, l'information sur l'agriculture biologique est ajoutée grâce aux données du RPG niveau 2. Comme l'identifiant d'une même parcelle est différent selon qu'il s'agit du RPG diffusion publique IGN ou du RPG diffusion restreinte niveau 2, on utilise des tables de correspondance associant l'identifiant d'une parcelle du RPG niveau 1 et l'identifiant de cette même parcelle dans le RPG niveau 2. Cette correspondance a dû être établie par jointure spatiale, pour comparer les géométries des parcelles provenant des deux sources.

La deuxième étape porte sur le filtrage des séquences. Seules les séquences complètes sur les 8 années sont retenues, sur terres arables : les séquences avec prairies permanentes, cultures permanentes ou exclusivement composées de plantes à parfum, aromatiques, médicinales, horticulture, ou légumes sont exclues. **Un ensemble de 5,6 millions de séquences est retenu, pour 15 millions d'hectares, sur un total initial de 15,2 millions de séquences et 29,3 millions d'hectares disponibles dans les fichiers bruts.**

Les successions ici définies en agriculture biologique sont celles pour lesquelles les 8 cultures constitutives de la succession 2015-2022 sont enregistrées en agriculture biologique dans le RPG niveau 2. Sur les 5,6 millions de séquences retenues, 190 000 sont en agriculture biologique, qui correspondent à 380 000 hectares, soit 2,5 % des surfaces analysées en agriculture biologique.

La troisième étape des traitements permet de calculer chacun des indicateurs au niveau de chaque séquence. Ces indicateurs sont ensuite agrégés selon le critère agriculture biologique ou conventionnelle, au niveau commune, département, région, France métropolitaine, au cours de la **quatrième et dernière étape**.



Figure 2 : Etapes de traitement des données de séquences de cultures

Ces traitements ont été réalisés via l'instance Onyxia SSP Cloud, service en ligne de traitement des données développé par l'INSEE à destination de tout agent du service public. Le stockage des données proposé est adapté à des données ouvertes, et les capacités de calcul proposées sont performantes pour les ensembles volumineux de données. Les traitements ont été réalisés avec R dans un environnement R-Studio®. Le recours au format « parquet », plutôt que « csv » réduit considérablement la taille des fichiers et le temps de traitement des données. Le jeu de données contenant les différents indicateurs 2015-2022 est accessible sur recherche.data.gouv (Dedieu *et al.,* 2025).

3. Des éléments d'analyse sur les successions culturales pour comprendre et agir pour des systèmes agricoles plus durables

3.1. Caractériser et suivre le niveau de diversification temporelle à différentes échelles spatiales,

Les principaux résultats pour la France métropolitaine, pour la période de 8 années 2015-2022, sont présentés en Figure 3. D'autres indicateurs sont disponibles dans les données, comme la quantification des surfaces en monoculture de maïs qui constitue la première monoculture sur terres arables en France, avec 300 000 hectares (2 % des terres arabes de France métropolitaine).

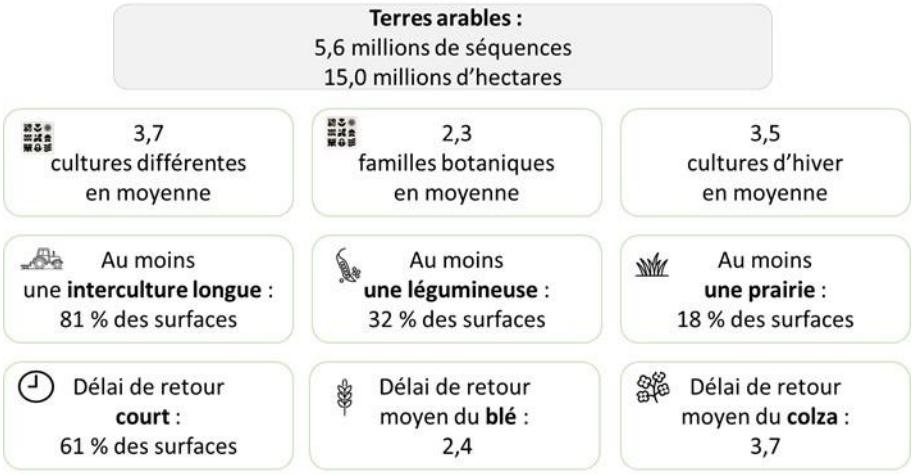


Figure 3 : Chiffres clés sur les successions culturales, France métropolitaine, sur 8 ans, 2015-2022 pour l'ensemble des terres arables et tous modes de production confondus

Une autre manière de représenter les résultats au niveau national est la répartition des surfaces selon le nombre de cultures différentes enregistrées entre 2015 et 2022 (**Figure 4**) : 77 % des surfaces ont eu au maximum 4 cultures sur 8 années de successions culturales.

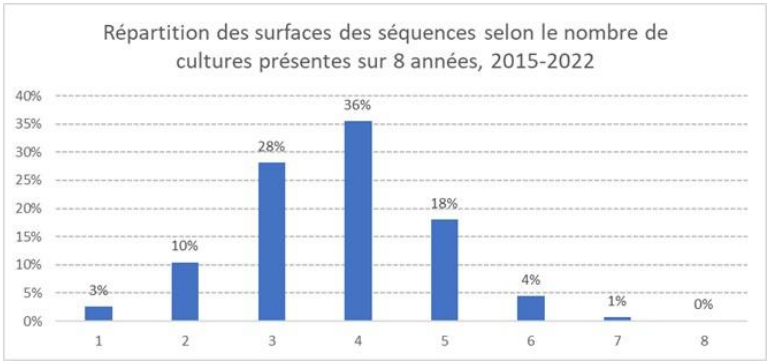


Figure 4 : Répartition des surfaces des successions 2015-2022 selon le nombre de cultures différentes, terres arables

Au-delà de ces chiffres clés au niveau national, le jeu d'indicateurs proposé permet d'appréhender la variabilité territoriale des pratiques, à échelle communale. La carte en **Figure 5** permet de visualiser l'indice de Simpson inversé moyen par commune en France. Elle illustre notamment la pratique de la monoculture de maïs dans les Landes et Pyrénées-Atlantiques, ou dans le Haut-Rhin. En revanche, aucune zone ne se dégage avec une importante diversité temporelle des cultures, c'est-à-dire avec plus de 4 cultures cultivées sur 8 années. On peut également souligner une importante zone avec entre 3 et 4 cultures sur la période, allant de la Lorraine à Poitou-Charentes, incluant le Pays de Caux, la Champagne-Ardenne. Dans ces zones, différentes cultures avec des contraintes de délais de retour alternent, comme les betteraves, la pomme de terre, le colza ou le lin. Dans les Hauts-de-France, l'indice de Simpson est plutôt compris entre 2 et 3, malgré la présence de cultures industrielles, du fait de la forte présence de blé qui peut être cultivé deux années successives.

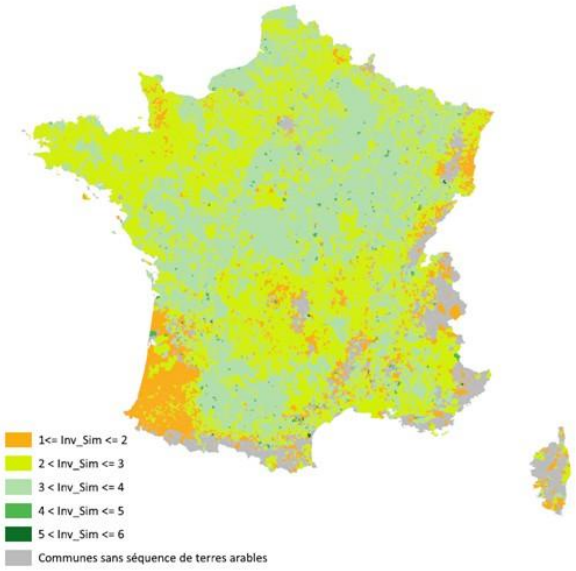


Figure 5 : Carte de l'indice de Simpson inversé moyen (établi sur les cultures) par commune sur les successions 2015-2022, terres arables. Une valeur de 1 correspond à une monoculture. Une valeur comprise entre 4 et 5 signifie que sur 8 années de successions culturales, l'indice de Simpson inversé moyen de la commune est supérieur à 4, et inférieur ou égal à 5.

3.2. Des successions plus diversifiées en agriculture biologique

Toutes choses égales par ailleurs, sur terres arables, les séquences en agriculture biologique, sur les 8 années de la période, se caractérisent par une plus grande diversité temporelle d'espèces cultivées. Au niveau national, l'indice de Simpson inversé est de 3.0 en moyenne pour les séquences en agriculture conventionnelle, contre 3.8 en agriculture biologique. Des tests statistiques permettent de vérifier que les résultats sont significativement différents sur les deux groupes de séquences, non AB et AB (tests de Wilcoxon). L'indice de Simpson inversé est significativement supérieur pour les successions en agriculture biologique dans chacune des 13 régions de France métropolitaine.

Pour comparer plus globalement les pratiques de succession en agriculture conventionnelle et biologique, on peut regarder les surfaces concernées pour plusieurs indicateurs exprimant un effort de diversification et d'agroécologisation (

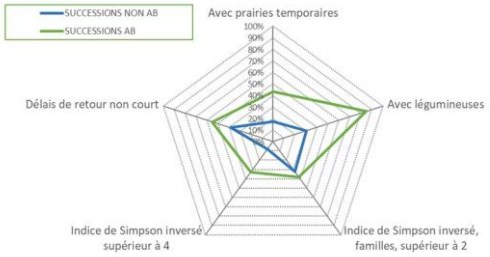


Figure **6**) : surfaces de successions avec prairies temporaires, avec légumineuses, avec indice de Simpson relatif aux familles botaniques supérieur à 2, avec indice de Simpson relatif aux cultures supérieur à 4, et enfin, surfaces en délai de retour non court.

Pour tous ces indicateurs, les surfaces des successions en agriculture biologique se démarquent des autres, en particulier pour la présence de légumineuses. En agriculture conventionnelle, 30 % des surfaces des séquences ont au moins une légumineuse, contre 85 % en agriculture biologique, reflet du recours à ces cultures dans les successions en alternative à l'usage d'engrais azoté. Les résultats au niveau national soulignent ainsi les marges de manœuvre existantes en termes d'intégration de pratiques agroécologiques au sein des successions culturales, hors agriculture biologique. Les comparaisons demeurent toutefois à affiner, par exemple sur des territoires et systèmes ciblés, afin notamment de mieux contrôler la comparabilité entre les résultats obtenus en AB et en conventionnel.

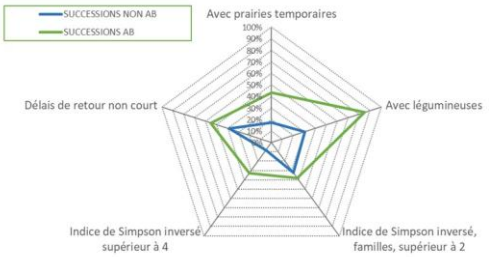


Figure 6 : Comparaison des successions AB et non AB 2015-2022 : part des surfaces selon différents indicateurs (valeurs moyennes, France entière)

3.3. Les successions au regard de la BCAE n°7

Lors de sa mise en œuvre, en 2023, la norme de bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE) n°7[22] a institué deux règles relatives à la diversité temporelle des cultures. D'une part, chaque année, sur au moins 35 % des surfaces de l'exploitation, la culture principale doit être différente de la culture précédente, sauf si des cultures secondaires sont implantées (critère dit annuel). D'autre part, pour chaque parcelle de terres arables, **sur une période de 4 années, au moins deux cultures principales différentes doivent être présentes**, sauf également si des cultures secondaires sont implantées chaque année (critère dit « pluriannuel »).

Afin d'évaluer dans quelle mesure ce volet a pu être contraignant en induisant des changements à opérer dans les rotations, nous avons analysé les données de successions culturales sur les 4 années précédant l'entrée en vigueur de la mesure, c'est-à-dire 2019-2022, en comptabilisant le nombre de cultures différentes présentes sur ces 4 années, en *ex-ante*, c'est-à-dire avant la mise en œuvre de la BCAE n°7.

Tableau 2 : Surfaces des séquences 2019-2022 sur terres arables, hors cultures pluriannuelles, selon le nombre de cultures différentes présentes (France métropolitaine).

Surfaces arables *(hors jachères, prairies temp., légumineuses fourragères)*	**Hectares**	**Part cumulée dans le total**
Surfaces avec 4 cultures sur 2019-2022	1 684 950	12%
Surfaces avec 3 cultures sur 2019-2022	6 834 627	60%
Surfaces avec 2 cultures sur 2019-2022	3 972 385	88%
Surfaces avec 1 culture sur 2019-2022	1 753 185	100%
Ensemble	**14 245 147**	**100%**

D'après les résultats (Tableau 2), 88 % des surfaces de terres arables respectaient, sur les 4 années 2019-2022, la condition de présence de 2 cultures différentes, c'est-à-dire sans changement à opérer pour entrer dans le respect du critère pluriannuel de la BCAE n°7. On peut supposer, bien que cela reste à vérifier, que, parmi les 12 % de surfaces restantes, certaines entrent dans le cadre des exemptions prévues : exploitations de moins de 10 hectares de terres arables, ou avec plus de 75 % de surfaces de terres arables dédiées à la production de fourrages ou de légumineuses, ou avec 75 % des surfaces de l'exploitation en prairies, ou exploitations certifiées agriculture biologique sur l'ensemble des terres arables non concernées, ou avec cultures secondaires implantées en interculture. Il est toutefois aussi possible que, dans le détail, le décompte de cultures opéré pour la PAC ne soit pas exactement identique au décompte opéré ici (cultures de saisonnalités différentes distinguées à la PAC).

Malgré le caractère *a priori* relativement limité de l'impact de cette nouvelle norme, cette BCAE a déjà fait l'objet d'exemptions. Un nouvel assouplissement a été introduit en 2025. Les agriculteurs pourront

[22] https://agriculture.gouv.fr/la-conditionnalite-des-aides-pac

désormais choisir entre le critère de diversité temporelle ou de diversité des cultures dans l'assolement[23].

4. Discussion et perspectives

Le RPG constitue une source précieuse de données pour connaître les assolements et successions culturales, pour lesquelles il est possible de calculer des indicateurs synthétiques utiles pour l'action publique, à échelle géographique fine. Toutefois, plusieurs limites sont à souligner. Premièrement, le RPG ne permet pas un éclairage complet sur les successions culturales. Aucune information n'est présente sur la couverture du sol en période d'interculture, et seule la principale est enregistrée. Une première tentative d'intégration de données sur les couverts intermédiaires pièges à nitrates a été proposée dans le cadre du projet européen H2020 NIVA à l'aide des données satellitaires de mesures de NDVI (Bockstaller *et al*., 2021). A terme, il pourra être intéressant d'intégrer dans l'analyse des successions les informations sur la couverture du sol et l'irrigation, issues du projet « Hydrologie spatiale »[24].

Deuxièmement, le RPG est une source de données administrative, et non statistique, conçue à des fins de gestion. Il peut évoluer selon les modalités d'octroi des subventions. Par exemple, les modalités d'enregistrement des cultures ont changé en 2023, nécessitant des traitements pour une comptabilisation homogène des cultures dans le temps. A propos de cette comptabilisation, nous avons ici choisi d'appliquer une nomenclature adaptée à la question de l'impact présumé des successions de cultures sur les fonctions écosystémiques (régulation bioagresseurs, fertilité des sols, etc.), mais d'autres modalités de décompte sont envisageables.

La gamme d'indicateurs pourrait aussi être complétée par le calcul d'indicateurs évaluant de manière plus approfondie la diversité fonctionnelle des cultures, via la fourniture potentielle de services écosystémiques telle la maîtrise des adventices ou la structuration des sols (indicateur I-DRo, Keichinger *et al*., 2025). D'autres indicateurs pourraient aussi être développés pour s'intéresser aux dynamiques de surfaces en arboriculture, viticulture ou prairies permanentes. Enfin, les analyses proposées ne vont pas jusqu'à la caractérisation de rotations types, comme cela a été réalisé à l'échelle de la France et de l'Europe à partir de données d'enquêtes sur l'utilisation du territoire (Xiao *et al*, 2014 ; Ballot *et al* 2023) ou sur les pratiques culturales (Jouy et Wissocq, 2011). Ce sujet demeure complexe du fait de la diversité des motifs de séquences rencontrés et des flexibilités dans les rotations opérées par les agriculteurs.

Enfin, les successions culturales ne sont que l'un des volets des pratiques culturales. Une connaissance fine des itinéraires techniques serait complémentaire, incluant apports de produits phytosanitaires, d'azote et d'eau. Cela permettrait une analyse des pratiques, voire de leurs impacts, dans toute leur globalité et diversité. Mais seules les données issues des enquêtes pratiques culturales, offrant une vue régionale, sont actuellement disponibles. Les données agricoles issues des logiciels de gestion pourraient offrir à l'avenir des opportunités, mais avec d'importantes limites, liées à la représentativité des observations, à la complétude des données, en plus des questions techniques et juridiques quant à leur accessibilité.

Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

[23] https://agriculture.gouv.fr/pac-2023-2027-modification-du-psn-de-la-france-approuvee et https://www.cher.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Agriculture-et-developpement-rural/PAC-2023-20272/Telepac-2025/Conditionnalite-PAC-2025-evolution-des-regles-de-la-BCAE7-sur-la-rotation-des-cultures

[24] https://cnes.fr/actualites/france-2030-lancement-officiel-projet-hydrologie-spatiale

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur recherche.data.gouv.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCIDs des auteurs

Marie-Sophie Dedieu : https://orcid.org/0009-0007-3462-1787

Pierre Cantelaube : https://orcid.org/0009-0005-5476-8001

Baptiste Girault : https://orcid.org/0009-0002-0824-1151

Thomas Poméon: https://orcid.org/0000-0002-3352-9117

Philippe Martin : https://orcid.org/0000-0001-5551-8016

Christian Bockstaller : https://orcid.org/0000-0001-8880-4908

Contributions des auteurs

Marie-Sophie Dedieu : autrice principale, traitement des données ; Christian Bockstaller : expertise agronomique et relecture de l'article ; Pierre Cantelaube : contribution au traitement de données; Baptiste Girault : production des séquences de cultures, contribution au traitement des données ; Philippe Martin : contribution à la production des séquences, expertise agronomique et relecture de l'article ; Thomas Poméon : conceptualisation, contribution méthodologique et relecture de l'article. Natacha Sautereau : problématisation pour l'agriculture biologique.

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Références bibliographiques

Ballot R., Guilpart N., Jeuffroy M.-H., 2023. The fist map of crop sequence types in Europe over 2012-2018, Earth Syst. Sci. Data 15.https://doi.org/10.5194/essd-15-5651-2023

Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., Makowski, D., 2021. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. Glob. Chang. Biol. 27, 4697–4710. https://doi.org/10.1111/GCB.15747

Bockstaller, C., Sirami, C., Sheeren, D., Keichinger, O., Arnaud, L., Favreau, A., Angevin, F., Laurent, D., Marchand, G., de Laroche, E., Ceschia, E., 2021. Apports de la télédétection au calcul d'indicateurs agri-environnementaux au service de la PAC, des agriculteurs et porteurs d'enjeu. *Innovations agronomiques*, 83, 43–59.

Cantelaube P., Lardot B., 2022. Construction d'une base de données géographiques exhaustive à échelle fine sur l'occupation agricole du sol : le "RPG complété". https://hal.inrae.fr/hal-03818008v1

Dedieu M.-S., Cantelaube P., Girault B., 2025. Indicateurs sur les successions culturales 2015-2022, V1. Recherche Data Gouv. https://doi.org/10.57745/DPSBYA

Dedieu M.-S., Poméon T., Girault B., Martin P., Bockstaller C., 2024. A dataset of crop succession indicators for 2015–2021, Data in Brief 57. https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110907

Fuzeau, V., Dubois, G., Thérond, O., Allaire, G., 2012. Diversification des cultures dans l'agriculture française. Etat des lieux et dispositifs d'accompagnement. Etudes et documents Vol. 67. Ed. : Ministère de l'Ecologie, Commissariat Général au Développement Durable. https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/315182/diversification-des-cultures-dans-l-agriculture-francaise-etat-des-lieux-et-dispositifs-d-accompagne?_lg=fr-FR

Girault B., Martin P., 2024. Séquences de culture, France, 2015-2022, recherche.data.gouv. https://doi.org/10.57745/W8SQPZ

Guinet, M., Adeux, G., Cordeau, S., Courson, E., Nandillon, R., Zhang, Y., Munier-Jolain, N., 2023. Fostering temporal crop diversification to reduce pesticide use. Nature Communications 14, 1–11. https://doi.org/10.1038/s41467-023-43234-x

Heuzé G., 1862. Les assolements et les systèmes de culture, Paris, Hachette, 534 p.

Jouy L., Wissocq A., 2011. Observatoire des pratiques : 34 types de successions culturales en France. Perspectives Agricoles 346, pp 44-46.

Keichinger, O., Viguier, L., Corre-Hellou, G., Messéan, A., Angevin, F., Bockstaller, C., 2025. I-DRo: A new indicator to assess spatiotemporal diversity and ecosystem services of crop rotations. European Journal of Agronomy, 164, 127531. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127531

Levavasseur F., Martin P., Bouty C., Barbottin A., Bretagnolle V., Thérond O., Scheurer O., Piskiewicz N., 2016. RPG Explorer: A new tool to ease the analysis of agricultural landscape dynamics with the Land Parcel Identification System, Computers and Electronics in Agriculture, 127, pp 541-552. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.015

Martin, P., Poméon, T., 2018. Vers une meilleure diffusion des séquences de cultures obtenues avec le RPG : synergies entre RPG Explorer et les travaux menés à l'INRA ODR. Rapport. Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. https://doi.org/10.34894/VQ1DJA

Mazoyer M., Roudard L., 2002. Histoire des agricultures du monde, Du néolithique à la crise contemporaine, Editions du Seuil, 2002, 699 p.

Nowak B., Michaud A., Marliac G., 2022. Assessment of the diversity of crop rotations based on network analysis indicators, Agricultural Systems 199. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103402

Reumaux R., Chopin P., Bergkvist G., Watson C., Öborn I., 2023. Land Parcel Identification System (LPIS) data allows identification of crop sequence patterns and diversity in organic and conventional farming systems., European Journal of Agronomy 149. https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126916

Sebillotte M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : L. Combe et D. Picard coord., Les systèmes de culture. Inra, pp 165-196.

Upcott E., Henrys P., Redhead J., Jarvis S., Pywell R., 2023. A new approach to characterising and predicting crop rotations using national-scale annual crop maps, Science of The Total Environment 860, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160471

Xiao Y., Mignolet C., Mari J.-F., Benoît M.,2014. Modeling the spatial distribution of crop sequences at a large regional scale using land-cover survey data: A case from France. Computers and Electronics in Agriculture 102, pp 51-63. https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.01.010

Pour citer cet article : Marie-Sophie Dedieu, Christian Bockstaller, Pierre Cantelaube, Baptiste Girault, Philippe Martin, *et al.*. Analyse des successions culturales 2015 -2022 en France : état des lieux du niveau de diversification en agriculture conventionnelle et biologique. Innovations Agronomiques, 2025, 108, pp.50-61. 10.17180/ciag-2025-vol108-art04

CC BY 4.0 Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.

Perception des agriculteurs sur les alternatives aux pesticides : entre intentions et réalité

Thomas DAMESTOY[1], Nicolas BRAULT[2], Ronan MARREC[3], Régis WARTELLE[4], Marie BERNARD[5], Anne-Maïmiti DULAURENT[1]

[1] UniLaSalle, AGHYLE, UP 2018.C101, FR-60026 Beauvais, France

[2] UniLaSalle, InTerACT UP 2018.C102 FR-60026 Beauvais, France

[3] UMR CNRS 7058, EDYSAN, Université de Picardie Jules Verne, Amiens, France

[4] PERI-G, Pôle Jules Verne, Boves, France

[5] FREDON Hauts-De-France, Loos-en-Gohelle, France

Correspondance : damestoythomas@hotmail.fr

DOI : https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol108-art05

Résumé

Le projet BIO'AUXIL vise à développer des solutions agricoles durables pour lutter contre les ravageurs, en tenant compte des besoins des agriculteurs. Une enquête auprès de 92 agriculteurs révèle l'utilisation de méthodes préventives variées : choix de variétés résistantes (73 %), modification des dates de semis (61 %) *et al*longement des rotations (58 %). Cependant, 54 % n'utilisent pas d'alternatives aux insecticides, freinés par les coûts, le manque de main-d'œuvre et des doutes sur leur efficacité. Il est crucial de renforcer la collaboration entre la recherche scientifique et les agriculteurs pour co-construire des solutions locales, intégrant des considérations économiques et environnementales. Cela nécessite un investissement en recherche, formation et soutien institutionnel, mobilisant tous les acteurs pour répondre aux défis de demain pour rendre les systèmes agricoles plus résilients face aux défis climatiques et réglementaires.

Mots-clés : Agriculture ; Risques ; Insecticides ; Alternatives ; Acceptabilité

Abstract: Alternatives to synthetic pesticides: Good intentions, harsh reality! How do field actors perceive things?

The BIO'AUXIL project aims to develop sustainable agricultural solutions to combat pests, taking account of farmers' needs. A survey of 92 farmers revealed that they use a variety of preventive methods: choosing resistant varieties (73%), changing sowing dates (61%) and lengthening rotations (58%). However, 54% do not use alternatives to insecticides, held back by cost, lack of human resources and doubts about their effectiveness. It is crucial to strengthen collaboration between scientific research and farmers to co-construct local solutions, integrating economic and environmental considerations. This requires investment in research, training, and institutional support, mobilising all stakeholders to respond to tomorrow's challenges and make farming systems more resilient in the face of climate and regulatory challenges.

Keywords: Agriculture; Risks; Insecticides; Alternatives; Acceptability

1. Introduction

Le 28 novembre 2024, un groupe d'agriculteurs, a priori liés à la FNSEA (Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles), le syndicat agricole majoritaire en France, murait l'entrée d'INRAe,

pour symboliser le « *mur de contraintes* »[25] qui s'élèverait devant les agriculteurs du fait des régulations environnementales toujours plus exigeantes, et au motif que les recommandations des chercheurs de l'INRAe « *auraient conduit à des décisions de politiques environnementales contraires à leurs intérêts* ». À la suite de cette action symbolique, un collectif de plus de 240 chercheurs d'INRAe publiait une tribune dans le journal *Le Monde* afin d'affirmer qu'il était de la responsabilité des scientifiques de « *résister aux pressions des lobbys* » et que « *la science est au service de l'agriculture* ». Cet épisode, parmi d'autres, met en lumière l'enjeu majeur de la communication entre scientifiques et agriculteurs pour la promotion de pratiques agricoles durables limitant les impacts négatifs sur l'environnement et la santé. Les scientifiques doivent en effet comprendre les contraintes et les besoins des agriculteurs afin de développer des solutions efficaces et adaptées à la réalité du terrain. De leur côté, les agriculteurs doivent comprendre les résultats de la recherche et être en mesure d'appliquer les pratiques recommandées pour améliorer la durabilité de leurs exploitations. Cependant, cette communication peut souvent être difficile en raison de la complexité des problématiques agricoles et de la diversité des situations dans lesquelles évoluent les agriculteurs, mais aussi parce que les multiples conflits et controverses qui touchent à la question agricole (ex. : pesticides, méga-bassines, bien-être animal) ont progressivement conduit à une « *polarisation des opinions* »25, voire à une radicalisation des différentes parties prenantes, les uns dénonçant l'*agribashing*, les autres critiquant l'extractivisme du capitalisme agroindustriel et ses impacts négatifs sur l'environnement et la santé.

Cependant, les stratégies d'intensification de production des dernières décennies ont contribué à la généralisation des monocultures recouvrant de très grandes surfaces, et ont rendu les agroécosystèmes dépendants des intrants chimiques et vulnérables aux bioagresseurs. En grandes cultures, la première solution de lutte contre les bioagresseurs est donc l'utilisation de pesticides de synthèse. Or, ces dernières années, nous observons que plusieurs familles de produits ont progressivement perdu leur efficacité du fait de l'émergence généralisée de résistances, et que d'autres ont été interdites d'utilisation. Nous observons aussi que le grand public tolère de moins en moins l'utilisation de ces solutions chimiques. L'un des exemples emblématiques est l'interdiction en 2018 par le gouvernement français de l'utilisation de néonicotinoïdes (NNI) sur toutes les cultures, qui sont des insecticides systémiques à large spectre et dont les effets néfastes sur la santé humaine et des écosystèmes ont été démontrés[26].

La problématique de santé publique et de respect de l'environnement liée à cette pratique met en avant la nécessité de reconcevoir la protection des cultures fondée sur les principes de l'agroécologie, en mobilisant des leviers naturels et en comprenant mieux les interactions qui ont lieu au sein de l'agroécosystèmes (Hill, 2004 ; Kumar *et al*., 2018 ; Müller, 2018). Cette prise de conscience encourage le développement de la protection intégrée qui privilégie la prévention plutôt que la lutte et favorise la recherche de stratégies alternatives[27]. Il s'agit d'un défi majeur qui doit concilier à la fois objectifs de production alimentaire et objectifs de régulation. Actuellement, la recherche scientifique fournit un certain nombre de leviers alternatifs pour une gestion efficace contre les bioagresseurs et un maintien, voire une restauration de la biodiversité. Produits de biocontrôle, diversification de la végétation, mélanges variétaux, associations d'espèces, rotations diversifiées, haies, bandes fleuries, bandes enherbées, seraient autant de leviers possibles pour une régulation des populations de ravageurs sur le long terme (Beillouin *et al*., 2021 ; Fahrig *et al*., 2011 ; Graham *et al*., 2018 ; Mézière *et al*., 2015 ; Sirami *et al*., 2019 ; Tibi *et al*., 2023). Cependant, il est également important de prendre en compte et

25 « Il est de notre responsabilité de résister aux pressions des lobbys » : plus de 240 scientifiques de l'Inrae signent une tribune après les critiques de certains agriculteurs, consulté le 09-01-2025

26 Décision n° 450155 - Conseil d'État (conseil-etat.fr) consulté le 09-01-2025

27 Qu'est-ce que la PIC ? | Ecophytopic

de comprendre les contraintes et les besoins des agriculteurs afin de développer au mieux les solutions appropriées.

Pour tenter de concilier agriculture et écologie et sortir de cette opposition binaire et largement stérile, le projet BIO'AUXIL[28], mené entre 2022 et 2024, entendait promouvoir l'utilisation de leviers agronomiques alternatifs aux insecticides pour lutter contre les ravageurs des filières grandes cultures. Il s'attachait particulièrement à la gestion du puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*), principal vecteur des virus de la jaunisse de la betterave à sucre (*Beta vulgaris*), culture majeure des Hauts-de-France, région assurant près de 51 % de la production nationale (Agreste Hauts-de-France, 2023). Depuis l'interdiction des néonicotinoïdes en 2018, les dégâts causés se sont intensifiés, entraînant en 2020 une baisse moyenne de rendement de 28 % (dépassant localement 50 %, par rapport à la moyenne 5 ans) (ARTB, 2022). Toutefois, en 2021 et 2022, l'usage des NNI a été temporairement autorisé par dérogation, et en 2023-2024, la mobilisation des insecticides classiques ainsi que la généralisation des mesures prophylactiques, notamment la destruction des réservoirs viraux, ont permis de limiter les pertes à moins de 5 % dans la plupart des régions.

Ce projet reposait sur une approche de co-construction des connaissances, qui implique une collaboration étroite entre les chercheurs et les agriculteurs pour mieux comprendre les enjeux et les contraintes du terrain. A travers une enquête auprès d'agriculteurs, cette étude vise ainsi à recueillir le ressenti et le niveau d'acceptabilité des agriculteurs sur l'introduction de pratiques alternatives à l'utilisation des insecticides de synthèse.

2. Matériel et Méthodes

Dans le but de collecter des données sur les pratiques agronomiques, les moyens de gestion des ravageurs et les niveaux d'acceptabilité des leviers alternatifs aux pesticides, un questionnaire a été élaboré et diffusé en ligne à destination des agriculteurs sur une période de quatre semaines, de la mi-avril à la mi-mai 2023. Cette enquête a pour but de mieux appréhender les différents leviers agronomiques mis en place ou pouvant être mis en place chez les agriculteurs afin de lutter contre les ravageurs des cultures.

Le questionnaire se divise en deux grandes sections : une première partie portant sur les grandes cultures (blé, colza, orge, pomme de terre et betterave), et une seconde section spécifiquement consacrée à la culture de la betterave. Tout d'abord, les informations recueillies incluent la localisation géographique des exploitations ainsi que les surfaces cultivées. Ensuite, le questionnaire s'intéresse au type d'agriculture pratiquée, en abordant différentes approches comme l'agriculture conventionnelle (mode de production n'excluant pas le recours aux intrants de synthèse), raisonnée (réduction des intrants chimiques), biologique (sans pesticides de synthèse), régénérative (réduction du travail du sol), de conservation (sans travail du sol) et intégrée (favorisant les pratiques agroécologiques pour minimiser les intrants).

Les impacts des ravageurs sur les différentes cultures et leur gravité perçue constituent un autre axe de l'étude. Des tests χ^2 ont été utilisés pour évaluer la relation potentielle entre les dégâts causés par les pucerons sur betterave (estimés par les agriculteurs), et des variables telles que le département, la surface des parcelles et le type d'agriculture. Par ailleurs, les pratiques de gestion des ravageurs ont été examinées de manière détaillée, en incluant les méthodes de prévention, de surveillance, de prise de décision et de lutte. Le questionnaire s'intéresse également aux contraintes et freins rencontrés par les agriculteurs (coûts, besoins en matériel ou en connaissances techniques), ainsi qu'aux solutions envisagées pour surmonter ces obstacles. Enfin, un focus particulier a été mis sur la betterave, notamment en ce qui concerne les pratiques mises en place pour faire face à la jaunisse transmise par les pucerons et les alternatives développées à la suite de l'interdiction des néonicotinoïdes.

28 Bio'AUXIL | Peri-G (perig.com).

Le questionnaire est composé de 20 questions (Annexe A). Les questions incluent à la fois des formats fermés et ouverts permettant de collecter des données quantitatives précises facilitant l'analyse comparative et de recueillir des informations qualitatives détaillées. Par exemple, les participants ont été invités à sélectionner des réponses parmi des choix prédéfinis concernant leurs types d'agriculture, les impacts des ravageurs, les méthodes de surveillance ou encore les leviers alternatifs. Ce format assure une standardisation des données. Cependant, pour capter une diversité de pratiques ou des avis nuancés, plusieurs questions offrent la possibilité d'ajouter des réponses personnalisées via des champs libres, grâce à l'option « Autre ». Cela a permis aux participants de détailler leurs problématiques spécifiques, en particulier sur les contraintes associées à l'adoption de nouvelles pratiques, ou encore de signaler des leviers qu'ils utilisent et qui pourraient ne pas être inclus dans les réponses prédéfinies. Ce type de question a également été utilisé pour recueillir leurs attentes ou suggestions sur les leviers innovants à envisager. La présence de nombreuses options « non concerné » ou « autre » a garanti que les participants pouvaient répondre de manière adaptée à leur situation.

Afin de toucher un large éventail de participants, le questionnaire a été largement diffusé en ligne via les réseaux sociaux des partenaires UniLaSalle et Peri-G, comme LinkedIn, Facebook et Twitter. Une promotion a également été assurée par la publication d'un article dans l'hebdomadaire agricole L'Oise Agricole, ainsi que par l'envoi de courriels ciblés à destination des agriculteurs partenaires d'UniLaSalle. Cette démarche a permis de recueillir une diversité de réponses, enrichissant ainsi les données sur les pratiques et les attentes en matière de gestion durable des ravageurs.

3. Résultats

3.1. Généralités : Localisation, type d'agriculture, surface et dégâts.

Au total, 92 réponses d'agriculteurs ont été recueillies, provenant principalement de la région Hauts-de-France (64 %) où l'enquête a largement été diffusée, avec une majorité présente dans les départements de l'Oise (27 %), l'Aisne (25 %), la Somme (24 %) et le Pas-de-Calais (20 %). Les régions Centre-Val de Loire, Grand Est, Normandie et Occitanie représentent environ 20 % des réponses (5 % par région), suivies par l'Île-de-France (4 %), la Bretagne (3 %) et la Belgique (3 %). Les régions Bourgogne-Franche-Comté et Auvergne-Rhône-Alpes représentent quant à elles seulement 2 % des réponses. Parmi les types d'agriculture dominants, 46 % des exploitations pratiquent l'agriculture raisonnée, 35 % sont en agriculture conventionnelle, 14 % en agriculture régénérative et 5 % en agriculture de conservation. Une seule exploitation pratique l'agriculture biologique en activité secondaire. La surface agricole utile de chaque exploitation varie entre 20 et 756 ha, avec une moyenne (± erreur standard) de 202 ± 13 ha. Concernant la surface en betterave sucrière, 76 exploitants sur les 92 la cultivent sur leur exploitation, avec une surface minimale de 5 ha et maximale de 100 ha (30 ± 3 ha).

Il a été demandé aux agriculteurs d'évaluer les impacts (fort, modéré, faible ou très faible) liés aux ravageurs sur leur différentes cultures, puis les dégâts spécifiques aux ravageurs principaux des différentes cultures entre 2020 et 2023. Parmi les différentes cultures, ce sont la betterave sucrière et le colza qui semblent les plus à risque face aux ravageurs, avec respectivement 76 et 58 % des agriculteurs qui ont relevé un fort impact sur leur culture. Ces dégâts ont été principalement alloués aux pucerons sur betterave (62 % fort impact) et aux altises sur colza (39 % fort) où les plus forts dégâts semblent être plus partagés que sur betterave, entre altises (39 % fort), charançons (21 % fort) et méligèthes (17 % fort). Le blé et l'orge semblent être plus modérément impactés par les ravageurs, avec respectivement 21 % et 18 % des réponses relevant un fort impact sur ces deux cultures. Il est également remonté par les agriculteurs que ce sont les pucerons, vecteurs d'agents pathogènes, qui semblent faire le plus de dégâts sur ces deux céréales. La culture de pomme de terre est, quant à elle,

peu représentée dans les réponses, 61 % des agriculteurs ayant répondu au questionnaire ne sont pas concernés.

Sur betterave sucrière, en 2020, 45 % des répondants estiment une perte importante (> 30 %) due à la jaunisse dont le virus est transmis par les pucerons. Cette estimation est cohérente avec les chiffres du suivi ministériel, qui évaluent la baisse moyenne de production à 27,4 %, avec des pertes allant jusqu'à 63,4 % dans certaines zones et 40,8 % des planteurs touchés par des pertes supérieures à 30 % (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2021). En 2021 et 2022, à la suite de la dérogation accordée par l'État français pour la réutilisation de néonicotinoïdes (combiné à des conditions climatiques défavorables au développement des pucerons en début d'année 2021[29]), 66 % estiment que la perte due à la jaunisse est de moins de 5 %. Un test χ^2 ne montre pas de relation entre les dégâts estimés (2020) par les agriculteurs et le département (χ^2 = 93,959, df = 75, p-value = 0,06846), la surface des parcelles de betteraves (χ^2 = 12,478, df = 15, p-value = 0,6425) ni le type d'agriculture (χ^2 = 33,336, df = 45, p-value = 0,9003). L'intensité des dégâts estimée pourrait être due à la densité locale des populations de pucerons, et/ou à la charge virale présente initialement au sein des parcelles ou dans paysage.

3.2. Méthodes prophylactiques.

La protection contre les ravageurs commence par la prévention, permettant ainsi d'empêcher ou de retarder l'apparition des ravageurs, et ainsi limiter la mise en place de pratiques de lutte. Les méthodes les plus utilisées par les agriculteurs sont le choix de la variété (73 %), la modification de la date de semis (61 %) et l'allongement de la rotation (58 %) (Figure 1). L'adaptation des densités de semis ou l'utilisation de plantes compagnes représentent chacune 28 % des réponses, tandis que l'installation d'aménagements comme des haies ou des bandes fleuries pouvant agir positivement sur les populations d'auxiliaires représentent respectivement 20 % et 10 % des réponses (Figure 1).

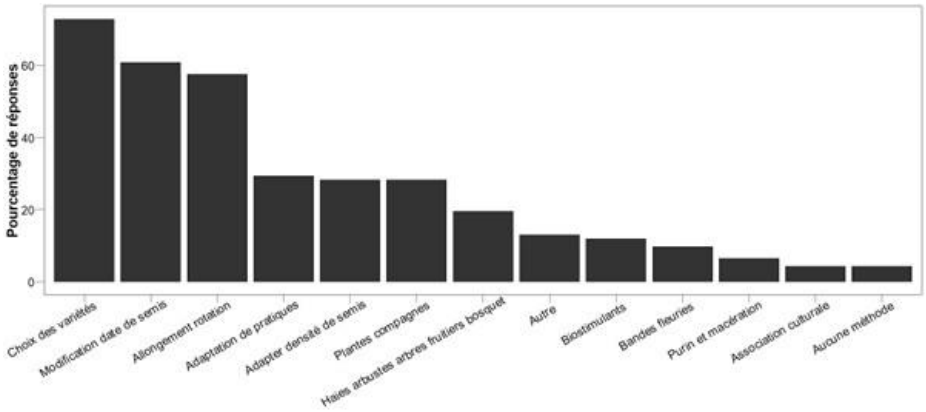


Figure 7 : Pourcentage d'agriculteurs utilisant les différentes méthodes préventives. La question était à choix multiples, un répondant pouvait donc indiquer plusieurs méthodes utilisées. Les valeurs de chaque barre ne sont pas cumulatives.

3.3. Méthodes de surveillance et décision d'intervention.

Les mesures préventives visent simplement à limiter l'apparition et la croissance des populations de ravageurs. Par conséquent, une surveillance régulière des parcelles est essentielle pour garantir un contrôle efficace de ces populations et prendre des décisions de traitement appropriées. La méthode de surveillance la plus couramment employée est l'observation directe sur les parcelles (98 %). Environ 62 % font également appel au Bulletin de Santé du Végétal et 38 % utilisent des outils d'aide à la

29 Arrivée des pucerons verts en culture de betterave en 2021 - Recherche et expertise au service de la filière betteravière

décision, tandis que 45 % ont recours à une intervention extérieure (*p. ex.* : techniciens, conseillers) et 44 % complètent leurs observations par le piégeage.

C'est effectivement l'observation directe sur le terrain qui joue un rôle prépondérant dans le processus de décision concernant les traitements. Environ 87 % des répondants décident de traiter après observation sur les parcelles (33 % avec l'utilisation de piège) et seulement 4 % utilisent un traitement préventif. Il est donc essentiel pour les agriculteurs d'avoir une bonne connaissance du terrain et des cycles biologiques des ravageurs pour prendre des décisions éclairées au moment opportun et lorsque cela est nécessaire.

3.4. Méthodes de lutte.

Les traitements insecticides chimiques de synthèse sont privilégiés dans le contrôle des ravageurs (65 %). Cependant seulement 7 % déclarent appliquer un traitement systématique, 7 % appliquent des traitements localisés, et 21 % réduisent les doses utilisées dans les parcelles. Aussi, 56 % utilisent la technique de coupure des tronçons afin d'optimiser la qualité de pulvérisation et limiter les recoupements, et 25 % appliquent des produits utilisables en agriculture biologique. Lorsque nous nous intéressons à la mise en place de méthodes alternatives à l'utilisation d'insecticides, 54 % des répondants déclarent ne pas en utiliser, et 13 % ne répondent pas à cette question. Cependant, 15 % utilisent également des produits de biocontrôle, tandis que 9 % optent pour des lâchers d'auxiliaires (sur les cultures de maïs). De manière anecdotique, 2 % utilisent des plantes compagnes en culture de colza, et 2 % favorisent la colonisation des parcelles par les auxiliaires en installant des infrastructures agroécologiques. En outre, 1 % utilise des biostimulants, et 1 % préconise une réduction de la taille des parcelles.

Concernant les réponses des 76 agriculteurs ayant de la betterave sur leur exploitation, pour 88 % d'entre eux, l'alternative aux néonicotinoïdes est l'utilisation d'autres insecticides (Figure 2). L'allongement des rotations est également une méthode de prévention utilisée par les agriculteurs (26 %) (Figure 2). Parmi les méthodes alternatives les plus attendues, c'est l'utilisation de variétés résistantes qui regroupe le plus de réponses, avec 62 % des agriculteurs qui pourraient accepter de les mettre en place (Figure 2). L'utilisation de produits de biocontrôle (29%) et le lâcher d'auxiliaires (21 %) sont des méthodes qui pourraient être acceptées par les agriculteurs (Figure 2). Il est intéressant de noter que des méthodes d'aménagement du territoire, qui permettraient un meilleur fonctionnement de l'agroécosystème, une limitation de la dispersion des bioagresseurs ou une installation plus pérenne des auxiliaires de culture, sont utilisées ou envisagées par moins de 20 % des répondants (Figure 2).

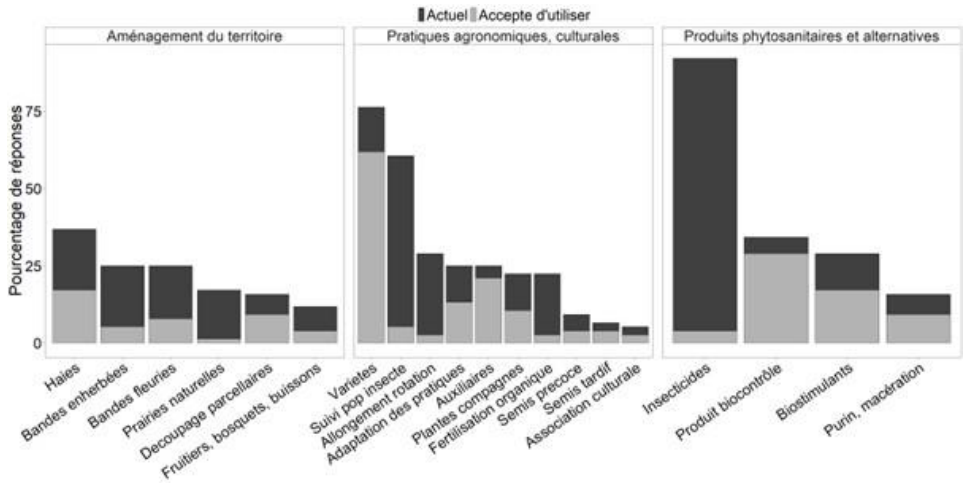


Figure 8 : Pourcentage d'agriculteurs en fonction des leviers alternatifs à l'utilisation de néonicotinoïdes mis en place (Actuel – barres noires) et des leviers alternatifs qu'ils pourraient adopter (Accepte d'utiliser – barres grises). La question était à choix multiples, un répondant pouvait donc indiquer

plusieurs méthodes utilisées. Les valeurs de chaque barre ne sont pas cumulatives, le pourcentage est calculé pour chaque méthode.

3.5. Quels sont les freins à la mise en place de méthodes alternatives ?

Ces premiers résultats révèlent une certaine réticence à adopter des méthodes de prévention et de lutte alternatives. Nous avons sollicité les répondants afin qu'ils identifient les obstacles entravant l'adoption d'alternatives aux pesticides, dans le but de mieux comprendre les résultats obtenus. Les principaux obstacles à l'adoption des méthodes alternatives incluent les contraintes liées au temps de travail, au manque de main-d'œuvre, au déficit de connaissances et à la diminution des rendements, ces préoccupations étant exprimées respectivement par environ 35 % des participants à l'enquête (Figure 3). De plus, le coût élevé de la mise en œuvre de ces pratiques alternatives est cité comme un obstacle majeur par 42 % des agriculteurs interrogés (Figure 3). Il est intéressant de noter que c'est principalement l'incertitude concernant les résultats qui entrave le plus l'adoption de pratiques alternatives (73 %), liée probablement aux manques de connaissances relevés.

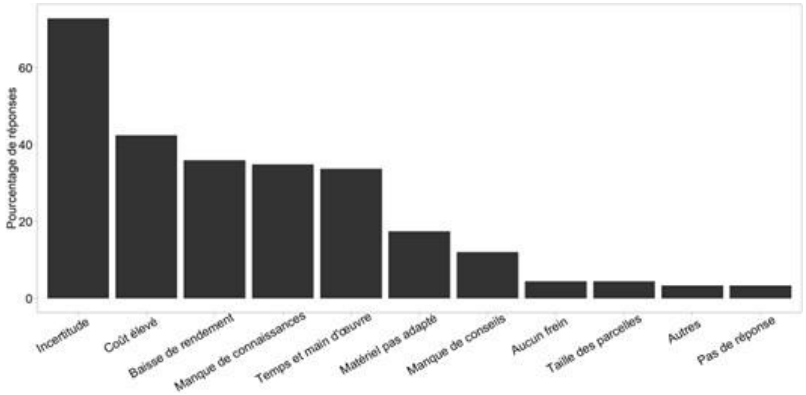


Figure 9 : Pourcentage d'agriculteurs en fonction des freins à la mise en place de méthodes de prévention et de lutte alternatives aux pesticides. La question était à choix multiples, un répondant pouvait donc indiquer plusieurs méthodes utilisées. Les valeurs de chaque barre ne sont pas cumulatives.

Parmi les 76 agriculteurs cultivant de la betterave, les freins à l'adoption de méthodes alternatives aux néonicotinoïdes sont comparables. L'incertitude des résultats constitue l'obstacle principal à l'adoption de ces pratiques (81 %), probablement liée à un manque de connaissances signalé par 49 % d'entre eux. Les pertes financières, incluant la baisse de rendement et le coût des applications, occupent la troisième place parmi les freins évoqués, avec 46 % des réponses. Le temps et la disponibilité de main-d'œuvre suscitent également des préoccupations importantes (43 %). Par ailleurs, le manque de conseils spécialisés et de matériel adapté est mentionné par respectivement 18 % et 17 % des répondants, tandis que 6 % considèrent que la grande taille des parcelles représente un frein à l'application. Enfin, certains se montrent plus catégoriques en affirmant qu'aucune méthode alternative ne fonctionne (6 %).

3.6. Quelles sont les conditions de mise en place de méthodes alternatives ?

Malgré les freins identifiés à la mise en place de méthodes alternatives, il est surprenant de constater que l'efficacité avérée de ces pratiques, bien qu'ajoutée dans la catégorie « Autre » par certains répondants (cette option n'étant pas proposée dans le questionnaire), ne représente que 22 % des réponses sur les conditions nécessaires à leur adoption. En revanche, 37 % des agriculteurs souhaitent pouvoir évaluer cette efficacité grâce à des outils d'aide à la décision (Figure 4). Les considérations économiques émergent comme les principales conditions de mise en œuvre : 74 % des répondants

seraient prêts à adopter des méthodes alternatives si leur marge bénéficiaire restait équivalente à l'actuelle, et 42 % le feraient s'ils étaient indemnisés pour les pertes de rendement ou de qualité des récoltes (Figure 4). Par ailleurs, 38 % des agriculteurs demandent des aides financières spécifiques pour soutenir l'utilisation de ces alternatives (Figure 4). Ces résultats renforcent l'idée d'un manque de confiance envers les résultats de ces méthodes, déjà mis en évidence parmi les freins à leur adoption. Paradoxalement, bien que l'incertitude sur les résultats soit souvent citée comme un obstacle, ce sont davantage les garanties financières que l'efficacité avérée qui conditionnent leur mise en œuvre sur le terrain. En outre, 41 % des agriculteurs expriment le besoin d'un accompagnement technique, sous forme de formations, de conseils ou de groupes de travail, tandis que 25 % soulignent l'importance d'un accès à des matériels adaptés, et 13 % souhaitent minimiser les contraintes liées à l'application de ces pratiques (Figure 4).

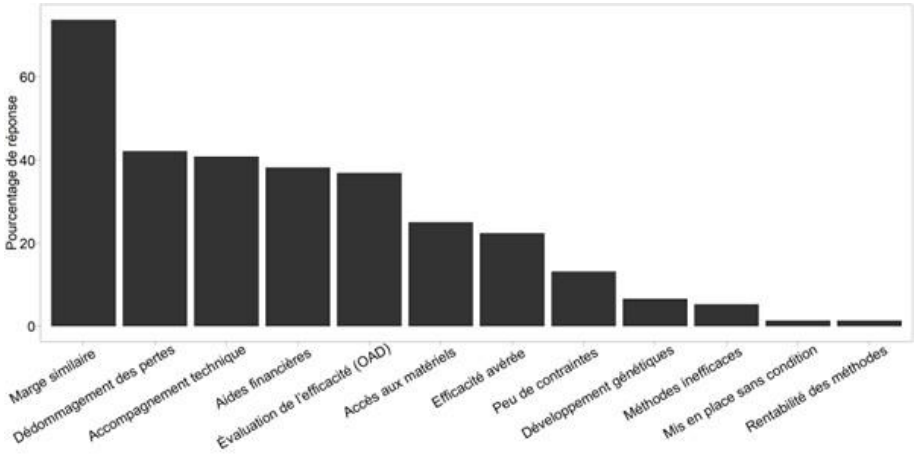


Figure 10 : Pourcentage d'agriculteurs en fonction des conditions à la mise en place de méthodes de prévention et de lutte alternatives aux néonicotinoïdes sur culture de betterave. La question était à choix multiples, un répondant pouvait donc indiquer plusieurs méthodes. Les valeurs de chaque barre ne sont pas cumulatives, le pourcentage est calculé pour chaque condition.

4. Discussion

Au cours des dix dernières années, l'agriculture a subi une transformation majeure sous l'influence des mutations environnementales et sociétales. Ces transformations, interconnectées, ont contribué à redéfinir les attentes vis-à-vis de l'agriculture et ont placé la durabilité au cœur des préoccupations. Alors que les pays développés ont vu leur agriculture se moderniser depuis 1960, avec une augmentation considérable de la productivité grâce à l'utilisation de nouvelles variétés, à l'usage massif d'intrants de synthèse, à la mécanisation et à l'irrigation, cette productivité a été obtenue au prix d'un coût environnemental significatif. En effet, les effets négatifs de ces pratiques sont de plus en plus évidents30. Par ailleurs, les préoccupations croissantes sur la santé des agriculteurs et des consommateurs renforcent le besoin de recherche de solutions alternatives.

4.1. Agriculture et bioagresseurs : défis complexes d'une transition

La standardisation et l'intensification des systèmes agricoles ont favorisé la généralisation des monocultures, rendant les agroécosystèmes plus vulnérables aux bioagresseurs (Letourneau *et al*., 2011). L'enquête révèle la place centrale des pesticides, perçus par la majorité des agriculteurs comme indispensables pour garantir rendement et qualité. Toutefois, une prise de conscience des impacts négatifs sur l'environnement, la biodiversité et la santé émerge. Plus de 20 % des répondants disent utiliser des produits plus respectueux de l'environnement et/ou réduire les doses utilisées et seulement

30 La biodiversité, malade de certains modes de production consulté le 20/02/2025

7 % appliquent un traitement systématique. Certains indiquent n'utiliser les insecticides qu'« *en dernier recours* », qu'en cas de « *nécessité absolue* » ou limiter leur utilisation au « *strict nécessaire pour ne pas impacter les auxiliaires* ».

Cependant, en dépit des enjeux bien identifiés, les alternatives aux pesticides restent encore marginales dans leur adoption. L'utilisation de variétés résistantes est la plus privilégiée (73 % l'utilisent et 62 % l'utiliseraient). Certains préconisent le développement des nouvelles techniques de sélection (NBT) ou même d'OGM, et perçoivent la génétique comme seule alternative aux pesticides. L'ex-ministre français de l'agriculture, Marc Fesneau (2022-2024), soutenait d'ailleurs les NBT comme une innovation clé pour réduire l'usage des pesticides et améliorer la résilience des cultures31. Cette approche, bien qu'efficace à court terme, soulève des défis à long terme. Les bioagresseurs peuvent s'adapter aux nouvelles variétés, rendant les résistances obsolètes (Lannou *et al*., 2021), et imposant un renouvellement constant, coûteux en temps et en recherche. Ce **contournement de la résistance** témoigne de la dynamique constante entre innovation agricole et sélection naturelle. De plus, il est surprenant de constater que l'incertitude des résultats freine l'adoption des alternatives, alors que l'on sait avec certitude que l'utilisation seule de variétés résistantes ne constitue pas une solution durable (Goyeau *et al*., 2021). Pour limiter ce contournement et avoir un déploiement de la résistance plus durable, des stratégies comme le pyramidage de gènes, la rotation des variétés ou les mélanges variétaux peuvent être recommandées (Lannou *et al*., 2021 ; Rimbaud *et al*., 2021 ; Saintenac *et al*., 2021 ; Vidal *et al*., 2021).

De plus, les méthodes qui sont privilégiées par les répondants nécessitent soit une intervention directe sur la culture (insecticides, produits de biocontrôle, lâcher d'auxiliaires), soit un coût de recherche et de développement important. Ces choix montrent que les critères de raisonnement restent encore le plus souvent basés sur le court terme, la rentabilité maximale et la gestion individuelle. Cependant, combinées, ces méthodes faciliteraient une transition rapide vers des pratiques durables. La majorité des répondants n'envisagent d'ailleurs pas de restreindre leurs méthodes de gestion à une seule stratégie.

La diversification des cultures pourrait fournir des résultats durables pour la gestion des bioagresseurs (Beillouin *et al*., 2021 ; Fahrig *et al*., 2011 ; Ratnadass *et al*., 2012). Enrichir la diversité spécifique, variétale, spatiale et temporelle des cultures et installer des habitats semi-naturels sont des solutions prometteuses (Beillouin *et al*., 2021 ; Liu *et al*., 2022 ; Shah *et al*., 2021 ; Tibi *et al*., 2023 ; Wezel *et al*., 2014). La rotation diversifie les cultures dans le temps et réduit les populations de bioagresseurs en les privant de leur hôte, ce qui limite les pics de pullulation et les risques d'adaptation aux variétés résistantes (Liu *et al*., 2022 ; Shah *et al*., 2021 ; Tibi *et al*., 2023). Une mosaïque paysagère diversifiée améliore la connectivité des habitats, limiterait les ravageurs et favoriserait les auxiliaires (Boetzl *et al*., 2024 ; Fahrig *et al*., 2011 ; Sirami *et al*., 2019). Les systèmes de cultures multi-espèces incarnent une mise en œuvre concrète des principes écologiques fondés sur la biodiversité, les interactions biotiques et les mécanismes naturels de régulation. Ces systèmes offrent des avantages potentiels en termes de productivité, de stabilité des rendements, de résilience et de durabilité (Deguine *et al*., 2016 ; Malézieux *et al*., 2009). Ainsi, favoriser des éléments paysagers encourageant les mécanismes de régulation biologique est essentiel pour protéger durablement les cultures (Beillouin *et al*., 2021).

Néanmoins, ces transformations nécessitent du temps pour produire des effets, souvent perceptibles après plusieurs années. De plus, leur efficacité repose sur une mise en œuvre à l'échelle du paysage et du territoire, au-delà de la parcelle ou de l'exploitation (Tscharntke *et al*., 2021). Cela constitue sans doute un point d'achoppement majeur qui explique les réticences des agriculteurs à s'engager en faveur de pratiques agroécologiques, car l'échelle temporelle de l'agriculteur reste celle d'une année, et

31 Prononcé le 20 novembre 2023 - Marc Fesneau 2011-2023 Politique agricole dans l'Union européenne | vie-publique.fr consulté le 20/02/2025

non d'une dizaine d'années, car c'est cette échelle qui détermine son revenu. De même, l'échelle spatiale de l'agriculteur ne peut être que celle de son exploitation et non une échelle qui inclurait les exploitations de ses voisins immédiats ou plus lointains. Cette différence d'échelle temporelle et spatiale constitue sans nul doute un problème majeur lorsqu'il s'agit de mettre en pratique des transitions, quelles qu'elles soient (Leventon *et al*., 2019).

4.2. Concurrence, risques et incertitudes : ou pourquoi les agriculteurs ne changent pas de pratiques ?

Cette vision à court terme en termes d'échelle temporelle, profondément ancrée dans les pratiques agricoles, est exacerbée par les incertitudes économiques, la pression des marchés et la gestion individuelle des exploitations agricoles. En effet, l'exigence principale des répondants pour adopter des alternatives est de « maintenir une marge similaire » (74 %), tandis que 42 % accepteraient ces pratiques sous condition d'indemnisation des pertes de rendement ou de qualité. Ces résultats montrent que les agriculteurs ne sont pas fondamentalement réticents à mettre en œuvre des alternatives aux insecticides. Leur principale préoccupation est de préserver leur rentabilité économique. Toutefois, cette rentabilité est souvent évaluée à court terme, en se basant principalement sur l'usage des intrants, sans toujours intégrer les coûts cachés associés, tels que les impacts environnementaux, sanitaires ou encore les dépenses liées aux résistances des bioagresseurs. En effet, l'efficacité des pesticides peut diminuer au fil du temps avec l'apparition de résistances, rendant nécessaire l'augmentation des doses ou le recours à de nouvelles molécules plus coûteuses, ce qui remet en question la durabilité économique de cette stratégie. La concurrence internationale menace sans cesse cette rentabilité, alors même que de nombreux pays n'entendent pas se passer de pesticides déjà interdits en Europe. Les tensions autour de l'Accord de libre-échange entre le Mercosur et l'Union Européenne attestent de l'inquiétude des agriculteurs face à la concurrence des produits sud-américains, moins chers et non soumis aux mêmes normes environnementales et sociales qu'en France, même si les volumes concernés en matière de sucre par exemple sont particulièrement limités.

Au-delà des enjeux économiques et scientifiques, des résistances psychologiques peuvent également entraver la transition. Modifier des pratiques agricoles ancrées depuis des décennies remet en question des modèles de production jugés fiables et éprouvés. Cette rupture, perçue comme une remise en cause profonde, complique l'adhésion à une approche systémique intégrant les dimensions économiques et environnementales. Cette situation maintient les agriculteurs dans une logique de rentabilité immédiate, freinant l'adoption des pratiques à long terme. Ces obstacles traduisent un cercle vicieux : la peur de pertes financières limite les expérimentations nécessaires pour valider l'efficacité de ces alternatives directement sur les exploitations.

Ainsi, bien que des études montrent clairement les avantages de la diversification des cultures, l'adoption de telles pratiques demeure un défi. Ces stratégies nécessitent, en effet, un changement de paradigme dans les pratiques agricoles. Si la simplification est le maître-mot depuis des décennies, la diversification des cultures et des pratiques privilégie quant à elle des démarches plus holistiques tenant compte de la complexité des systèmes comme socle de leur durabilité, et nécessite également une évolution de l'aval des filières. Complexifier les systèmes agricoles tient davantage compte des contextes locaux que les systèmes « classiques » (Mézière *et al*., 2015 ; Reynolds *et al*., 2014). La diversification des systèmes, en intégrant chaque année des cultures aux performances diverses, pourrait stabiliser les revenus tout en favorisant la biodiversité. Une approche personnalisée permettrait aux agriculteurs de choisir les solutions les plus adaptées à leurs objectifs et contraintes. Cependant, ces systèmes sont plus complexes à instaurer et à gérer, ce qui peut freiner leur adoption, en raison de la charge de travail supplémentaire et du surcoût qu'ils entraînent. Même si leurs avantages sont démontrés, leur mise en œuvre reste souvent difficile (Bommarco *et al*., 2013). Ils exigent non seulement des compétences techniques supplémentaires ou différentes, impliquant une expertise approfondie, mais aussi des efforts de recherche ciblés pour adapter ces pratiques aux spécificités locales et aux objectifs de production.

4.3. Recherche scientifique et agriculteurs : un fossé grandissant ?

Enfin, l'un des principaux obstacles à l'adoption de ces solutions agroécologiques peut résider dans le fossé qui semble se creuser de plus en plus entre les agriculteurs et la recherche. En effet, nous observons l'émergence, ou la résurgence, de discours minoritaires marquant une certaine défiance des agriculteurs envers les scientifiques, voire une remise en question de la recherche elle-même. Cela confirmerait ce que soulignent les scientifiques d'INRAe dans leur tribune citée supra : « *Malheureusement, le climat politique et médiatique actuel favorise une approche relative (voire alternative) de la vérité, qui mène à la suspicion vis-à-vis des résultats de la recherche, des atteintes à la liberté académique, et une polarisation des opinions* »32. Ces scientifiques aperçoivent derrière ces discours « *l'influence des lobbys, aux intérêts contradictoires, qui cherchent à mettre en cause et à relativiser le discours scientifique, voire à l'intimider* »32. Une certaine défiance envers les scientifiques et la science semble ainsi à l'œuvre. Effectivement, au cours de notre enquête, les agriculteurs soulignent régulièrement une « incertitude des résultats » des alternatives aux pesticides, malgré les preuves disponibles dans les articles scientifiques. Apparait aussi dans les réponses écrites le reproche classique de l'homme de terrain au contact de la ruralité envers le scientifique forcément citadin : « *Venez dans les champs sortez de la ville !!!!* », ou encore : « *votre enquête est orientée, vous les bobos écolos !!!!* ». A cette dichotomie assez classique, se superposent néanmoins des discours dont la gradation va de la remise en cause des résultats de la recherche scientifique : « *AUCUNE étude ne montre l'efficacité des méthodes alternatives citées ci-dessus. […]* » ; à la négation, voire à la subversion des mêmes résultats. Certains avancent ainsi que les NNI seraient bénéfiques pour l'environnement : « *Et si vous vous posiez plutôt la question : et si les NNI étaient bénéfiques pour l'environnement (ils n'ont jamais tué de ruche la majorité de ce qui est dit sur eux est faux) ceux qui étaient autour de la table lors de l'interdiction n'y connaissaient rien en insectes dans le nord de la France*. », ou encore : « *Pourquoi vouloir absolument nous faire croire que ça fonctionne ! Les essais scientifiques ont montré le contraire. C'est la nature qui décide, pas les technocrates des ministères dans leurs bureaux ! Venez dans les champs, sortez de la ville !!!! ».*

Cette citation illustre bien les différents reproches faits aux agronomes ainsi qu'un rapport problématique à la recherche, perçue comme imposant des obligations et des interdictions déconnectées du terrain. Ces défiances pourraient en partie expliquer les échecs successifs des plans Ecophyto, lancés par le gouvernement français en 2008, visant à réduire de moitié l'usage des pesticides d'ici 2018, repoussés à 2025, puis à 2030. Fin 2023, une commission d'enquête parlementaire a reconnu « *un échec collectif* » dans cette réduction.33. Toutefois, il convient d'apporter une nuance : bien que les volumes totaux de pesticides utilisés (y compris les produits de synthèse et de biocontrôle) soient restés globalement stables depuis 2009, l'usage des produits de biocontrôle a néanmoins augmenté de 200 % entre 2009 et 2022. Par ailleurs, si les substances CMR (Cancérigènes, Mutagènes ou Reprotoxiques) représentaient 28,4 % des ventes totales de substances actives en 2009, elles n'en représentent plus que 14 % aujourd'hui. Entre 2018 et 2019, les ventes de substances CMR de catégorie 1 ont diminué de 63 %, et celles de catégorie 2 de 49 %. De plus, la sortie des CMR est d'ores et déjà planifiée au niveau européen34.

Bien que des études aient démontré l'efficacité de solutions alternatives aux pesticides, leur application pratique reste complexe (Beillouin *et al*., 2021 ; Mézière *et al*., 2015 ; Tibi *et al*., 2023 ; Wezel *et al*., 2014). Certains agriculteurs contestent cependant les résultats des études, soulignant le décalage avec

32 « Il est de notre responsabilité de résister aux pressions des lobbys » : plus de 240 scientifiques de l'Inrae signent une tribune après les critiques de certains agriculteurs consulté le 09-01-2025

33 Pesticides : une commission d'enquête déplore l'« impuissance publique » à réduire leur usage consulté le 21/02/2025

34 Ventes de produits phytopharmaceutiques pour l'année 2019 | Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire consulté le 17/03/2025

ce qu'ils observent sur leur exploitation. La critique est d'autant plus féroce si l'agriculteur s'est engagé dans une démarche de réduction des pesticides : « *Il est aujourd'hui beaucoup trop utopique de dire qu'il existe des solutions efficaces pour remplacer les insecticides. Sur mon exploitation j'ai des haies, des bandes fleuries, des rotations de 6 ans, 11 cultures différentes. Des prairies naturelles... […] Je suis certifié HVE3 donc je cherche à réduire un maximum l'utilisation des produits phyto, mais la partie insecticide est la plus compliqué à gérer. La baisse des doses et l'utilisation de méthodes alternatives engendrent à chaque fois des dégâts et donc perte de rendement. Et donc une perte de rentabilité de mon exploitation.* » Cette citation met en lumière le principal frein à l'adoption des méthodes alternatives : leur efficacité, souvent moindre, en tout cas à court et moyen terme, par rapport aux insecticides dont l'efficacité est avérée. Or, cette baisse d'efficacité induit nécessairement une baisse de rendement, menaçant la rentabilité de l'exploitation. Actuellement, ce risque financier incombe presque entièrement à l'agriculteur, qui doit aussi adopter des pratiques plus complexes et chronophages. Pour certaines cultures, les pertes peuvent atteindre plusieurs milliers d'euros, ce qui pourrait expliquer, au-delà des lobbys dont l'influence est réelle, un certain ras-le-bol des agriculteurs envers les méthodes alternatives et ceux qui les proposent.

Outre l'incertitude économique, l'écart entre la recherche scientifique et les réalités du terrain freine l'adoption des alternatives. Les résultats scientifiques, obtenus en conditions contrôlées, ne sont pas toujours perçus comme applicables aux exploitations agricoles, qui évoluent dans des contextes variables et imprévisibles. Malgré ces réticences, une minorité des répondants a toutefois recours régulièrement à des approches alternatives. Par ailleurs, le discours scientifique, souvent prudent et conditionnel par souci de rigueur, peut être interprété comme un manque d'assurance quant à l'efficacité des solutions proposées. Une vulgarisation des résultats et leur traduction en pratiques concrètes, ainsi qu'un accompagnement technique adapté, semblent indispensables, 41 % des agriculteurs exprimant ce besoin.

4.4. Co-construction des solutions pour une agriculture durable.

Pour réduire cette fracture, la recherche doit s'engager dans une co-construction des connaissances avec les agriculteurs. Des essais locaux, des retours d'expériences et un dialogue constant sont essentiels pour adapter les solutions aux spécificités de chaque exploitation et encourager l'adoption de pratiques durables. Des programmes de formation continue et de vulgarisation amélioreront la compréhension des mécanismes écologiques et inciteront à adopter des alternatives aux pesticides. Il est aussi crucial de soutenir financièrement la transition par des compensations ou subventions.

L'adoption des pratiques agroécologiques dépasse le cadre du binôme agriculteur-chercheur. Elle s'inscrit dans un contexte plus large incluant l'influence des industries agroalimentaires, les dynamiques du marché ou même le gaspillage alimentaire. Les grandes industries, par leur poids économique et politique, peuvent avoir un impact considérable sur les choix agricoles. . Si elles contribuent parfois au maintien de modèles intensifs, elles peuvent aussi jouer un rôle moteur dans la transition agroécologique en imposant à leurs agriculteurs partenaires des pratiques plus raisonnées et durables visant à réduire l'impact environnemental. Toutefois, cette dynamique reste ambivalente : bien que certaines initiatives encouragent des pratiques plus durables, la logique de consommation de masse favorise encore largement des modèles d'efficience à court terme, parfois au détriment de la durabilité à long terme. Cette pression économique est renforcée par la standardisation des produits alimentaires, où les prix sont dictés par les coûts de production, la disponibilité des produits et la demande pour des aliments prêts à consommer. Par ailleurs, le modèle économique des industries agroalimentaires repose en grande partie sur l'homogénéité des produits, ce qui incite à une standardisation des pratiques agricoles et un gaspillage important. Cette logique de production est incompatible avec une approche fondée sur la diversification et la gestion écologique des habitats et cela pourrait expliquer en partie la difficulté pour les agriculteurs de basculer vers des alternatives agroécologiques plus durables. Dans ce contexte, les alternatives aux pesticides représentent des solutions prometteuses mais nécessitent un changement fondamental dans la relation entre producteurs, consommateurs et les

acteurs du marché. L'adoption de ces pratiques demande un investissement en recherche, en formation des agriculteurs et un soutien institutionnel et industriel pour surmonter les obstacles économiques et sociaux liés à leur mise en œuvre.

5. Conclusion : Une agriculture durable passe par la collaboration

En conclusion, les défis de l'agriculture moderne sont multiples et interconnectés : changement climatique, perte de biodiversité, pression démographique et enjeux économiques. Si les méthodes agricoles intensives ont permis d'augmenter les rendements, elles ont aussi eu des conséquences environnementales négatives, soulignant la nécessité d'une transformation vers des pratiques plus durables. Les alternatives aux pesticides, comme la diversification des cultures et des pratiques, sont prometteuses, mais leur adoption est freinée par des obstacles économiques, des incertitudes scientifiques et des résistances psychologiques chez les agriculteurs. Il est crucial de renforcer la collaboration entre chercheurs et agriculteurs pour co-construire des solutions adaptées aux spécificités locales, tout en intégrant les considérations économiques et environnementales. L'enjeu est d'autant plus grand que, dans la période actuelle relativement troublée au niveau politique, une scission s'opère entre les agriculteurs d'un côté et les scientifiques de l'autre. Parallèlement, une approche systémique, intégrant le cycle de vie des produits agricoles et les dynamiques du marché, est essentielle pour garantir une transition vers une agriculture durable et résiliente. Cette transition nécessite des investissements en recherche, en formation et en soutien institutionnel et industriel pour créer un environnement favorable à l'adoption de pratiques durables. C'est en mobilisant tous les acteurs (agriculteurs, chercheurs, industries et consommateurs) que l'agriculture pourra relever les défis de demain, préserver les ressources naturelles et assurer la sécurité alimentaire à long terme.

Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCIDs des auteurs

Damestoy T. : 0000-0001-5802-5137 - Brault N. : 0000-0001-8816-0217 - Dulaurent A.M. : 0000-0003-1910-5817 - Marrec R. : 0000-0003-1607-4939

Contributions des auteurs

Conception : TD, RM, AMD, RW, MB - **Supervision :** TD, AMD, RM - **Méthodologie :** TD, AMD, RM, RW - **Analyse des données :** TD - **Rédaction – brouillon initial :** TD - **Validation :** TD, NB, RM, AMD, RW, MB - **Visualisation :** TD - **Rédaction – révision :** TD, NB, RM, AMD, RW, MB

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué à cet article. Un grand merci à Chloé Girka pour son travail de relecture, ainsi qu'à Houda Msaddak et Marie Sonnet pour leur engagement et leur travail précieux lors de la collecte et de l'analyse des données. Nous remercions également les agriculteurs qui ont pris le temps de répondre à notre enquête. Leurs expériences et retours sont essentiels pour mieux comprendre les défis du secteur.

Déclaration de soutien financier

Cette étude est cofinancée par la région Hauts-de-France et le Fonds européen agricole pour le développement rural : L'Europe investit dans les zones rurales.

Références bibliographiques

Agreste Hauts-de-France, 2023. MÉMENTO 2022.

ARTB, 2022. Evaluer les pertes liées à la jaunisse.

Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., Makowski, D., 2021. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. Glob Chang Biol 27, 4697–4710. https://doi.org/10.1111/gcb.15747

Boetzl, F.A., Sponsler, D., Albrecht, M., Batáry, P., Birkhofer, K., Knapp, M., Krauss, J., Maas, B., Martin, E.A., Sirami, C., Sutter, L., Bertrand, C., Baillod, A.B., Bota, G., Bretagnolle, V., Brotons, L., Frank, T., Fusser, M., Giralt, D., González, E., Hof, A.R., Luka, H., Marrec, R., Nash, M.A., Ng, K., Plantegenest, M., Poulin, B., Siriwardena, G.M., Tscharntke, T., Tschumi, M., Vialatte, A., Van Vooren, L., Zubair-Anjum, M., Entling, M.H., Steffan-Dewenter, I., Schirmel, J., 2024. Distance functions of carabids in crop fields depend on functional traits, crop type and adjacent habitat: A synthesis. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 291. https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2383

Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G., 2013. Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. Trends Ecol Evol. https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012

Deguine, J.P., Gloanec, C., Laurent, P., Ratnadass, A., Aubertot, J.N., 2016. Protection agroécologique des cultures., Quae. Ed. ed.

Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M., Martin, J.L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. Ecol Lett 14, 101–112. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x

Goyeau, H., Halkett, F., Le Cam, B., Montarry, J., Le May, C., 2021. Les contournements de résistance : Mécanismes, dynamiques et conséquences, in: L'immunité Des Plantes. Pour Des Cultures Résistantes Aux Maladies. pp. 135–145.

Graham, L., Gaulton, R., Gerard, F., Staley, J.T., 2018. The influence of hedgerow structural condition on wildlife habitat provision in farmed landscapes. Biol Conserv. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.02.017

Hill, S.B., 2004. Redesigning Pest Management. J Crop Improv 12, 491–510. https://doi.org/10.1300/J411v12n01_09

Kumar, S., Joshi, P., Nath, P., Singh, V.K., 2018. Impacts of Insecticides on Pollinators of Different Food Plants. Entomol Ornithol Herpetol 07. https://doi.org/10.4172/2161-0983.1000211

Lannou, C., Roby, D., Ravigné, V., Hannachi, M., Moury, B., 2021. L'immunité des plantes: pour des cultures résistantes aux maladies, Quae. Ed. ed.

Letourneau, D.K., Armbrecht, I., Salguero Rivera, B., Montoya Lerma, J., Jiménez Carmona, E., Constanza Daza, M., Escobar, S., Galindo, Víctor, Gutiérrez, C., Duque López, S., López Mejía, J., Maritza Acosta Rangel, A., Herrera Rangel, J., Rivera, L., Carlos Saavedra, A., Marina Torres, A., Reyes Trujillo, A., 2011. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. Ecological Applications 21, 9–21. https://doi.org/10.1890/09-2026.1

Leventon, J., Schaal, T., Velten, S., Loos, J., Fischer, J., Newig, J., 2019. Landscape-scale biodiversity governance: Scenarios for reshaping spaces of governance. Environmental Policy and Governance 29, 170–184. https://doi.org/10.1002/eet.1845

Liu, C., Plaza-Bonilla, D., Coulter, J.A., Kutcher, H.R., Beckie, H.J., Wang, L., Floc'h, J.B., Hamel, C., Siddique, K.H.M., Li, L., Gan, Y., 2022. Diversifying crop rotations enhances agroecosystem services and resilience, in: Advances in Agronomy. Academic Press Inc., pp. 299–335. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.02.007

Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., De Tourdonnet, S., Valantin-Morison, M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models. A review. Agron Sustain Dev. https://doi.org/10.1051/agro:2007057

Mézière, D., Petit, S., Granger, S., Biju-Duval, L., Colbach, N., 2015. Developing a set of simulation-based indicators to assess harmfulness and contribution to biodiversity of weed communities in cropping systems. Ecol Indic 48, 157–170. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.028

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2021. Conseil de surveillance - Faits marquants de la campagne 2021au 16 mai et bilan de la campagne 2020.

Müller, C., 2018. Impacts of sublethal insecticide exposure on insects — Facts and knowledge gaps. Basic Appl Ecol. https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.05.001

Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R., 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: A review. Agron Sustain Dev. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4

Reynolds, H.L., Smith, A.A., Farmer, J.R., 2014. Think globally, research locally: Paradigms and place in agroecological research. Am J Bot 101, 1631–1639. https://doi.org/10.3732/ajb.1400146

Rimbaud, L., Papaïx, J., Fabre, F., 2021. Stratégies paysagères pour déployer efficacement et durablement la résistance: modèles et prédictions, in: L'immunité Des Plantes. Pour Des Cultures Résistantes Aux Maladies. pp. 197–208.

Saintenac, C., Manzanares-Dauleux, M.J., Gallois, J.L., 2021. Une feuille de route pour la valorisation de l'immunité végétale en agriculture. L'immunité des plantes, in: L'immunité Des Plantes. Pour Des Cultures Résistantes Aux Maladies. pp. 169–178.

Shah, K.K., Modi, B., Pandey, H.P., Subedi, A., Aryal, G., Pandey, M., Shrestha, J., 2021. Diversified Crop Rotation: An Approach for Sustainable Agriculture Production. Advances in Agriculture. https://doi.org/10.1155/2021/8924087

Sirami, C., Gross, N., Baillod, A.B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguet, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batáry, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhausser, I., Lefebvre, G., Gauffre, B., Vialatte, A., Calatayud, F., Gil-Tena, A., Tischendorf, L., Mitchell, S., Lindsay, K., Georges, R., Hilaire, S., Recasens, J., Solé-Senan, X.O., Robleño, I., Bosch, J., Barrientos, J.A., Ricarte, A., Marcos-Garcia, M.Á., Miñano, J., Mathevet, R., Gibon, A., Baudry, J., Balent, G., Poulin, B., Burel, F., Tscharntke, T., Bretagnolle, V., Siriwardena, G., Ouin, A., Brotons, L., Martin, J.L., Fahrig, L., 2019. Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. Proc Natl Acad Sci U S A 116, 16442–16447. https://doi.org/10.1073/pnas.1906419116

Tibi, A., Martinet, V., Vialatte, A., 2023. Protéger les cultures par la diversité végétale, Quae Ed. ed.

Tscharntke, T., Grass, I., Wanger, T.C., Westphal, C., Batáry, P., 2021. Beyond organic farming – harnessing biodiversity-friendly landscapes. Trends Ecol Evol 36, 919–930. https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.06.010

Vidal, T., Gauffreteau, A., Enjalbert, J., Suffert, F., 2021. Mélanger les variétés pour construire des peuplements plus résistants aux bioagresseurs, in: L'immunité Des Plantes. Pour Des Cultures Résistantes Aux Maladies. pp. 221–231.

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.F., Ferrer, A., Peigné, J., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. Agron Sustain Dev. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7

Pour citer cet article : Thomas Damestoy, Nicolas Brault, Ronan Marrec, Régis Wartelle, Marie Bernard, *et al*.. Perception des agriculteurs sur les alternatives aux pesticides : entre intentions et réalité. Innovations Agronomiques, 2025, 108, pp.62-81. 10.17180/ciag-2025-vol108-art05

ANNEXE A – Questionnaire diffusé à destination des agriculteurs

Bio'Auxil Enquête à destination des agriculteurs

Bienvenue dans cette enquête en ligne sur l'identification des **leviers agronomiques pour lutter contre les ravageurs des grandes cultures** (betterave, colza, blé/orge et pomme de terre) en Hauts-de-France dans le cadre du projet BioAuxil.

L'objectif de ce projet est de s'assurer de la **performance économique** des exploitations agricoles, tout en **minimisant l'usage des insecticides**, par le biais de la biodiversité fonctionnelle.

Cette enquête est menée dans le but de mieux appréhender les différents leviers agronomiques mis en place ou pouvant être mis en place chez les agriculteurs afin de lutter contre les ravageurs des grandes cultures. L'**acceptabilité** de ces leviers par les agriculteurs est une part importante de cette enquête. Par ailleurs, une étude plus approfondie est menée sur la culture de la **betterave.**

Ce projet est cofinancé par l'Union Européenne avec le Fonds Européen agricole pour le développement rural, il réunit de nombreux partenaires : Peri-G, UniLasalle, Université de Picardie Jules Verne, Fredon Hauts-de-France, Institut Technique de la Betterave, Arvalis, Bio en Hauts-de-France, ARAD2, CERFRANCE, Terre de Picardie.

Nous vous remercions de prendre le temps de répondre à cette enquête afin de partager vos connaissances et opinions avec nous. **Vos réponses seront confidentielles et ne seront utilisées que dans le cadre de cette enquête.**

Cette enquête dure environ 10 minutes.

1. Dans quel département travaillez-vous ?

- ☐ Aisne
- ☐ Oise
- ☐ Nord
- ☐ Pas-de-Calais
- ☐ Somme
- ☐ Autre : ……..

2. Quelle est la SAU de votre exploitation agricole ?

……

3. Quels sont les types d'agricultures que vous mettez en place sur votre exploitation ?

	Dominante (une seule réponse attendue)	Secondaire (aucune, une ou plusieurs réponses attendues)
Conventionnelle (Culture intensive)	☐	☐
Raisonnée (Minimiser le chimique)	☐	☐
Biologique (Sans pesticide chimique)	☐	☐
Régénérative (Minimiser le travail du sol)	☐	☐
Conservation (Sans travail du sol du tout)	☐	☐
Intégrée (Minimiser les intrants en favorisant les pratiques agroécologiques)	☐	☐

Dans le questionnaire, le mot ravageur concerne les insectes, les acariens, les mollusques, les nématodes, etc.

4. Quels sont les risques liés aux ravageurs pour chacune de vos cultures ?

	Très faible impact	Faible impact	Impact modéré	Fort impact	Non concerné
Blé	☐	☐	☐	☐	☐
Betterave sucrière	☐	☐	☐	☐	☐
Colza	☐	☐	☐	☐	☐
Pomme de terre	☐	☐	☐	☐	☐
Orge	☐	☐	☐	☐	☐

5. Quels sont les ravageurs qui ont impacté le plus vos cultures de blé ces trois dernières années ? (Pas de réponse attendue si vous ne cultivez pas cette culture)

	Pas visible sur la culture	Très faible impact	Faible impact	Impact modéré	Fort impact
Pucerons	☐	☐	☐	☐	☐
Criocères	☐	☐	☐	☐	☐
Limaces	☐	☐	☐	☐	☐
Cécidomyies	☐	☐	☐	☐	☐
Cicadelles	☐	☐	☐	☐	☐
Taupins	☐	☐	☐	☐	☐
Tordeuses	☐	☐	☐	☐	☐

6. Quels sont les ravageurs qui ont impacté le plus vos cultures de betterave ces trois dernières années ? (Pas de réponse attendue si vous ne cultivez pas cette culture)

	Pas visible sur la culture	Très faible impact	Faible impact	Impact modéré	Fort impact
Pucerons	☐	☐	☐	☐	☐
Cicadelles	☐	☐	☐	☐	☐
Charançons	☐	☐	☐	☐	☐
Atomaires	☐	☐	☐	☐	☐
Limaces	☐	☐	☐	☐	☐
Altises	☐	☐	☐	☐	☐
Taupins	☐	☐	☐	☐	☐
Pégomyies	☐	☐	☐	☐	☐
Noctuelles	☐	☐	☐	☐	☐

7. Quels sont les ravageurs qui ont impacté le plus vos cultures de colza ces trois dernières années ? (Pas de réponse attendue si vous ne cultivez pas cette culture)

	Pas visible sur la culture	Très faible impact	Faible impact	Impact modéré	Fort impact
Pucerons	☐	☐	☐	☐	☐
Charançons	☐	☐	☐	☐	☐
Altises	☐	☐	☐	☐	☐
Taupins	☐	☐	☐	☐	☐
Méligèthes	☐	☐	☐	☐	☐
Mouches du chou	☐	☐	☐	☐	☐
Tenthrèdes de la rave	☐	☐	☐	☐	☐
Punaises	☐	☐	☐	☐	☐

8. Quels sont les ravageurs qui ont impacté le plus vos cultures de pomme de terre ces trois dernières années ? (Pas de réponse attendue si vous ne cultivez pas cette culture)

	Pas visible sur la culture	Très faible impact	Faible impact	Impact modéré	Fort impact
Pucerons	☐	☐	☐	☐	☐
Cicadelles	☐	☐	☐	☐	☐
Doryphores	☐	☐	☐	☐	☐
Taupins	☐	☐	☐	☐	☐
Nématodes	☐	☐	☐	☐	☐
Noctuelles	☐	☐	☐	☐	☐
Teignes	☐	☐	☐	☐	☐

9. Quels sont les ravageurs qui ont impacté le plus vos cultures d'orge ces trois dernières années ? (Pas de réponse attendue si vous ne cultivez pas cette culture)

	Pas visible sur la	Très faible	Faible	Impact	Fort impact

	culture	impact	impact	modéré	
Pucerons	☐	☐	☐	☐	☐
Criocères des céréales	☐	☐	☐	☐	☐
Taupin	☐	☐	☐	☐	☐

10. Avez-vous une problématique ravageur sur l'une des cultures citées ou sur une autre culture présente dans votre rotation à nous faire remonter ? Dans ce cas, pouvez-vous citer la/les culture(s) et la/les ravageur(s) concerné(s) ?

……

11. Avez-vous une problématique ravageur impactant vos intercultures que vous souhaitez nous faire remonter ? Si c'est le cas, précisez le/les ravageurs et le type d'interculture.

……

12. Afin de limiter l'utilisation des insecticides, quels sont les leviers que vous utilisez dans les différentes étapes de la lutte intégrée (prévention, surveillance, décision de traitement, méthodes alternatives utilisées, pratiques pour traitement, etc.) ?

Quelle(s) est/sont la/les méthode(s) de prévention que vous mettez en place sur votre exploitation ?

- ☐ Allongement de la rotation des cultures
- ☐ Modification de la date de semis
- ☐ Augmentation de la densité de semis
- ☐ Réduction de la densité de semis
- ☐ Choix des variétés
- ☐ Plantes compagnes (une seule culture sur les deux récoltées)
- ☐ Association culturale (les deux cultures sont récoltées)
- ☐ Adaptation de pratiques agricoles (ex: semis direct, moins de labour...)
- ☐ Bandes fleuries
- ☐ Haies, arbustes, arbres fruitiers, bosquets…
- ☐ Biostimulants
- ☐ Purin et macération
- ☐ Aucune méthode de prévention utilisée
- ☐ Autre : …….

Par quel(s) moyen(s) surveillez-vous vos parcelles ?

- ☐ Observation sur le terrain
- ☐ Lecture du BSV (Bulletin de Santé du Végétal)
- ☐ Piégeage d'insectes
- ☐ Utilisation d'OAD (Outil d'Aide à la Décision)
- ☐ Observation par une personne extérieure à l'observation (ex : technicien, conseiller…)
- ☐ Aucune méthode de surveillance utilisée
- ☐ Autre : …….

Comment prenez-vous la décision de traiter ?

- ☐ Le BSV vous informe que les seuils sont atteints
- ☐ Les OAD vous informent que les seuils sont atteints
- ☐ Une personne extérieure vous conseille de traiter
- ☐ Les pièges que vous avez posés ont atteint un seuil critique
- ☐ Après l'observation de vos parcelles, vous constatez que les seuils sont atteints
- ☐ Aucune décision, un traitement préventif est toujours effectué
- ☐ Autre : …….

Quelle(s) est/sont la/les méthode(s) alternative(s) que vous utilisez ?

- ☐ Lâcher d'auxiliaires
- ☐ Produits de biocontrôle
- ☐ Aucune méthode alternative utilisée
- ☐ Autre : …….

Quelle(s) est/sont votre/vos pratique(s) pour traiter ?

- ☐ Réduction des doses d'insecticides
- ☐ Pulvérisation localisée
- ☐ Utilisation de produit plus soucieux de l'environnement (utilisable en agriculture biologique, produit à faible risque)
- ☐ Traitement insecticide "classique"
- ☐ Coupure des tronçons
- ☐ Traitement systématique
- ☐ Autre : …….

13. Quels sont les principaux freins et les principales contraintes que vous rencontrez vis-à-vis de ces méthodes ?

- ☐ Manque de connaissances vérifiées sur ces méthodes
- ☐ Manque de conseils
- ☐ Coût élevé
- ☐ Baisse de rendement
- ☐ Surcharge de temps et/ou de main-d'œuvre
- ☐ Incertitude des résultats
- ☐ Taille des parcelles
- ☐ Matériel pas adapté
- ☐ Aucun frein
- ☐ Autre : ……

14. Accepteriez-vous d'être contacté suite à cette enquête ?

- ☐ Non
- ☐ Oui (Pouvez-vous indiquer vos coordonnées dans la case "Autre" : Nom/Prénom + mail et/ou tél)
- ☐ Autre : ……

Focus sur la betterave : Si vous n'êtes pas concerné(e) par cette culture, veuillez indiquer 0 pour la question 15.

15. Quelle est la surface dédiée à la betterave sur votre exploitation ?

……

16. Quels sont les dommages engendrés par les pucerons (via la jaunisse, sans prendre en compte l'impact climatique éventuel) dans vos parcelles durant l'année 2020, 2021 et 2022 ?

	2020	2021	2022
0-5 %	☐	☐	☐
5-10 %	☐	☐	☐
10-15 %	☐	☐	☐
15-20 %	☐	☐	☐
20-25 %	☐	☐	☐
25-30 %	☐	☐	☐
30 % et plus	☐	☐	☐

17. Afin de remplacer les néonicotinoïdes, quels sont les leviers alternatifs que vous mettez en place et quels sont ceux qui vous semblent prometteurs ?

Pratiques agronomiques/culturales

	Qu'avez-vous mis en place sur votre exploitation ?	Qu'aimeriez-vous mettre en place sur votre exploitation ?
Allongement de la rotation	☐	☐
Adaptation de certaines pratiques agricoles	☐	☐
Semis précoce	☐	☐
Semis tardif	☐	☐
Fertilisation organique	☐	☐
Utilisation de variétés résistantes	☐	☐
Plantes compagnes (une seule culture sur les deux récoltées)	☐	☐
Association culturale (les deux cultures sont récoltées)	☐	☐
Suivi régulier des populations d'insectes	☐	☐
Utilisation d'auxiliaires	☐	☐

Produits phytosanitaires *et al*ternatives

	Qu'avez-vous mis en place sur votre exploitation ?	Qu'aimeriez-vous mettre en place sur votre exploitation ?
Biostimulants	☐	☐
Purin/macération	☐	☐
Produits de biocontrôle	☐	☐
Insecticides chimiques	☐	☐

Aménagement du territoire

	Qu'avez-vous mis en place sur votre exploitation ?	Qu'aimeriez-vous mettre en place sur votre exploitation ?
Haies	☐	☐
Bandes fleuries	☐	☐
Bande enherbée	☐	☐
Arbres fruitiers, bosquets, buissons	☐	☐

Prairie naturelle	☐	☐
Découpage des grands parcellaires betteravier pour les éloigner des cultures hôtes de puceron	☐	☐

18. Utilisez-vous d'autres leviers et/ou seriez-vous intéressé(e) par d'autres leviers que ceux cités précédemment ?

……

19. Sous quelles conditions mettriez-vous en place des leviers agronomiques innovants pour lutter contre le puceron en culture de betterave ?

- ☐ Si vous recevez des aides financières pour utiliser ces leviers agronomiques
- ☐ Si vous bénéficiez d'un accompagnement technique (formations, conseils, groupe de travail) pour mettre en place ces leviers
- ☐ Si vous accès à du matériel adéquat permettant la mise en place ces leviers
- ☐ Si vous pouvez évaluer l'efficacité de ces leviers grâce à des OAD par exemple
- ☐ Si votre marge reste plus ou moins similaire à celle actuelle après la mise en place de ces leviers
- ☐ Si toute la filière s'engage à dédommager financièrement les pertes de rendement ou de qualité
- ☐ Autre : ……

20. Quels sont les principaux freins et les contraintes que vous rencontrez vis-à-vis de ces méthodes ?

- ☐ Manque de connaissances propres sur ces méthodes
- ☐ Manque de conseils
- ☐ Coût élevé
- ☐ Baisse de rendement
- ☐ Surcharge de temps et/ou de main-d'œuvre
- ☐ Incertitude des résultats
- ☐ Taille des parcelles
- ☐ Matériel pas adapté
- ☐ Aucun frein présent
- ☐ Autre : ……

CC BY 4.0 Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.