



# POUR UNE AGRICULTURE BAS CARBONE, RÉSILIENTE ET PROSPÈRE

**POUR UNE TRANSFORMATION  
AMBITIEUSE DU SECTEUR**

RAPPORT INTERMÉDIAIRE

JUIN 2024



# Rapport intermédiaire

# Avant-propos

**L'association The Shift Project travaille depuis 14 ans à éclairer les chemins de la décarbonation de nombreux secteurs économiques** : transports, bâtiment, industrie ou encore numérique. Cependant, nous avons – trop – longtemps négligé de nous intéresser à la question du vivant et de la biomasse.

Quelques travaux ont été publiés par le Shift Project sur ces thématiques :

- Rapport « Stratégies de résilience des territoires - Climat, crises : comment transformer nos territoires » (septembre 2021) et le Cahier thématique sur les territoires ruraux (septembre 2022) ;
- Initiation d'un volet « Agriculture » du *Plan de transformation de l'économie française* (PTEF) sans publication de rapport (février 2022) ;
- Note d'analyse « Biodiversité et changement climatique » (avril 2019) ;
- « Proposition pour réussir le passage à l'agriculture durable : évolution de l'alimentation », *Décarbonons ! 9 propositions pour que l'Europe change d'ère* (mars 2017).

Cependant, nous n'avons pas mené de projet sur ces sujets à la hauteur de l'enjeu qu'ils représentent pour la transition écologique de notre économie.

Heureusement, **de nombreuses organisations, think tanks et organismes de recherche ont étudié ces sujets de longue date, proposant des analyses poussées et mobilisatrices** (INRAE, CIRED, IDDRI, Solagro, Ademe, pour ne citer qu'eux), et ainsi constitué un fondement solide pour alimenter le débat incontournable de la transition écologique de l'agriculture française.

Si l'impératif de la transformation du secteur agricole est de plus en plus documenté, la manière de réaliser cette transformation est loin de faire consensus, aussi bien concernant le point d'arrivée que les moyens à déployer. Ce rapport, ici dans sa version intermédiaire, a vocation à imaginer la transformation du système agricole français en y intégrant les contraintes physiques auxquelles il fait face : contraintes énergétiques, climatiques, d'usage des sols, et également en termes de biodiversité et de ressources non-énergétiques. Il vise aussi à instruire les enjeux socio-économiques que ces problématiques soulèvent, et à proposer des réponses.

Le Shift Project n'est pas le premier acteur à s'essayer à cet exercice difficile, mais nous souhaitons apporter notre voix et nos analyses à la discussion urgente qui doit être menée afin de préserver la capacité du système agricole à subvenir aux besoins de notre société dans la durée.

**Ce projet s'inscrit dans la continuité de l'approche adoptée dans le cadre du Plan de transformation de l'économie française (PTEF)**, programme qui a structuré une partie conséquente des travaux du Shift depuis 2020. Dans cette perspective, il vise à adopter une vision systémique en cohérence avec la transition des autres secteurs économiques traités par ailleurs au sein du Shift Project (transports, industrie, etc.).

Ce projet s'attachera à réaliser un travail de synthèse sérieux des travaux existants. **Deux focus sont toutefois réalisés**, afin de traiter de manière plus approfondie des enjeux moins documentés qui nous semblent particulièrement importants :

- **Les enjeux d'emploi et de formation ;**
- **La question de la place de l'innovation technologique dans la transition écologique de l'agriculture.**

Ces deux sujets font l'objet de groupes de travail dédiés et aboutiront à des notes spécifiques. Les travaux intermédiaires de ces groupes de travail sont partagés dans le présent document, et sont au même titre soumis à votre relecture critique et commentaires.

**Une Grande Consultation des Agriculteurs est également en cours**<sup>1</sup>, avec l'aide des Shifters, réseau des bénévoles du Shift. Elle vise à permettre aux agriculteurs, premiers concernés par la transition de leur secteur, de partager leurs préoccupations et leurs attentes vis-à-vis de la transition agroécologique<sup>2</sup>, ainsi que la réalité concrète de leur quotidien professionnel, tant dans leur perception du risque climatique que dans l'évolution de leurs pratiques. Un premier volet qualitatif fondé sur des entretiens avec 60 agriculteurs est déjà largement entamé, et un volet quantitatif visant plus de 10 000 agriculteurs vient d'être lancé. Les résultats paraîtront à la fin de l'année 2024, conjointement avec le rapport final du projet « Pour une agriculture bas carbone, résiliente et prospère ».

---

<sup>1</sup> <http://grandeconsultationagri.fr/>

<sup>2</sup> Selon la définition de l'agroécologie précisée dans l'Article L1 II. du Code Rural :

"Ces systèmes [de production agroécologiques] privilégient l'autonomie des exploitations agricoles et l'amélioration de leur compétitivité, en maintenant ou en augmentant la rentabilité économique, en améliorant la valeur ajoutée des productions et en réduisant la consommation d'énergie, d'eau, d'engrais, de produits phytopharmaceutiques et de médicaments vétérinaires, en particulier les antibiotiques. Ils sont fondés sur les interactions biologiques et l'utilisation des services écosystémiques et des potentiels offerts par les ressources naturelles, en particulier les ressources en eau, la biodiversité, la photosynthèse, les sols et l'air, en maintenant leur capacité de renouvellement du point de vue qualitatif et quantitatif. Ils contribuent à l'atténuation et à l'adaptation aux effets du changement climatique."

## À propos du think tank The Shift Project

Le Shift Project est un groupe de réflexion qui œuvre en faveur d'une économie libérée de la contrainte carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, sa mission est d'éclairer et d'influencer le débat sur la transition énergétique et climatique en Europe.

Le Shift Project constitue des groupes de travail autour des enjeux les plus décisifs de la transition, produit des analyses robustes et chiffrées sur ces enjeux et élabore des propositions rigoureuses et innovantes. Il mène des campagnes d'influence pour promouvoir les recommandations de ses groupes de travail auprès des décideurs politiques et économiques. Il organise également des événements qui favorisent les discussions entre parties prenantes et bâtit des partenariats avec des organisations professionnelles et académiques, en France et à l'étranger.

Le Shift Project a été fondé en 2010 par plusieurs personnalités du monde de l'entreprise ayant une expérience de l'associatif et du public. Il est soutenu par plusieurs grandes entreprises françaises et européennes ainsi que par des organismes publics, des associations d'entreprises et, depuis 2020, par des PME et des particuliers.

Depuis sa création, le Shift Project a initié plus de 50 projets d'étude, participé à l'émergence de manifestations internationales et organisé plusieurs centaines de colloques, forums, ateliers et conférences. Il a pu influencer significativement plusieurs débats publics et décisions politiques importantes pour la transition énergétique, en France et au sein de l'Union européenne.

L'ambition du Shift Project est de mobiliser les entreprises, les pouvoirs publics et les corps intermédiaires sur les risques et opportunités de transformation découlant de la « double contrainte carbone » que constituent le changement climatique d'une part et les tensions sur l'approvisionnement en énergie d'autre part. Sa démarche est marquée par un prisme d'analyse particulier, fondé sur la conviction que l'énergie est un facteur de développement de premier ordre : dès lors, les risques induits par le changement climatique, intimement liés à l'usage de l'énergie, relèvent d'une complexité systémique et transdisciplinaire particulière. Les enjeux climat-énergie conditionnent l'avenir de l'humanité ; il est donc nécessaire d'intégrer cette dimension le plus rapidement possible à notre modèle de société.

Il est épaulé par un réseau de dizaines de milliers de bénévoles regroupés au sein d'une association loi 1901, les Shifters, créée en 2014 pour apporter un soutien bénévole au Shift Project. Initialement conçu comme une structure permettant d'accueillir toute personne souhaitant aider le Shift par un travail de recherche, de relais ou de soutien, les Shifters réalisent de plus en plus de travaux indépendants, mais toujours avec un objectif : contribuer efficacement à la sortie des énergies fossiles à l'échelle française et européenne.

## À propos du Plan de transformation de l'économie française

Le Plan de transformation de l'économie française (PTEF) vise à proposer des solutions pragmatiques pour décarboner l'économie, secteur par secteur, en favorisant la résilience et l'emploi.

Initié au début du premier confinement et publié en 2022 sous forme de rapports sectoriels<sup>3</sup> et d'un livre<sup>4</sup>, ce plan avait vocation à alimenter le débat public en particulier en amont de l'élection présidentielle de 2022. Il s'agissait de concevoir à grande échelle un programme systémique pour rendre l'économie effectivement compatible avec la limite des 2 °C désormais communément prise pour objectif.

L'élaboration du PTEF repose sur quatre piliers :

- Adopter une approche globale, systémique et cohérente du point de vue des lois de la physique et de la technique, et des flux économiques.
- S'intéresser aux vraies ressources rares : les ressources physiques et les compétences, l'emploi étant au cœur du dispositif.
- Faire des propositions pragmatiques, opérables dès à présent, de façon à ouvrir un chemin de décarbonation réaliste et cohérent au sein d'une transformation de long-terme qui impose un rythme de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'environ 5 % par an en moyenne dès 2022.
- Ne pas reposer sur le pari de la croissance économique (ce qui semble particulièrement adapté à la période), ni sur des évolutions technologiques supposées advenir mais encore non éprouvées.

Le PTEF est organisé selon quatre catégories :

- secteurs « usages » : mobilité quotidienne, mobilité longue distance, logement ;
- secteurs « services » : santé, autonomie, sport, culture, administration publique ;
- secteurs « amont » : agriculture-alimentation, énergie, fret, industrie lourde, industrie automobile ;
- et enfin chantiers transversaux : emploi, résilience des territoires, cohérence climatique et énergétique.

En 2020, tous les travaux sectoriels et transversaux ont été menés de front. En 2021 et 2022, les travaux de recherche ont continué, secteur par secteur, en consultant et en mobilisant le plus grand nombre d'acteurs possible. En 2022, tous les rapports finaux ont été publiés. Le livre résumant le PTEF « Crises, climat : le Plan de transformation de l'économie française » (Odile Jacob, 2022), s'est déjà vendu à plus de 100 000 exemplaires.

Les rapports et vidéos de présentation sont disponibles ici : <https://ilnousfautunplan.fr/> et sur notre site [www.theshiftproject.org](http://www.theshiftproject.org).

Depuis 2023, certains travaux sectoriels ou thématiques ont été approfondis, d'autres mis à jour ou précisés, et de nouveaux sont explorés. L'agriculture fait l'objet d'un rapport détaillé en 2024, l'alimentation sera traitée en 2025.

---

<sup>3</sup> Voir la liste des rapports sectoriels sur le site <https://ilnousfautunplan.fr/>

<sup>4</sup> *Climat, crises : Le plan de transformation de l'économie française*, The Shift Project, Odile Jacob, janvier 2022

## Votre participation aux travaux : relectures et contributions

Le travail qui vous est présenté ici est exploratoire : il vise à initier de nouvelles discussions et pose sur de nombreux sujets davantage de questions qu'il n'en résout.

Bien qu'il soit déjà le fruit d'un travail collectif, **ce rapport intermédiaire est encore un document de travail imparfait, incomplet et évolutif**. Comme vous le constaterez, les résultats de nos analyses quantitatives n'ont pas encore été pleinement finalisés. Pour les phases de travail à venir, toute source de données ou d'information que vous trouveriez essentielles à intégrer à nos travaux et manquantes sont les bienvenues.

**Vos retours seront également précieux sur l'ensemble du document et des éléments qui vous y sont présentés** : méthodologie, approche générale et choix des angles choisis sont ici présentés pour être soumis aux avis des parties prenantes du secteur agricole. Dans cette logique, nous vous prions de nous faire part de vos remarques, critiques et propositions **directement sur le googledoc proposé, ou alors en envoyant vos contributions écrites aux contacts indiqués en fin de rapport**.

Vous n'avez bien entendu pas besoin de lire l'ensemble de ce long document pour nous aider à l'améliorer : toutes les contributions sont les bienvenues. Nous avons besoin de vous !

## Comité de rédaction

Céline Corpel, Cheffe de projet Agriculture, The Shift Project  
Corentin Biardeau-Noyers, Ingénieur projet Agriculture, The Shift Project  
Corentin Leroux, Pilote du Groupe de travail « Technologies agricoles », Aspexit  
Laure Le Quéré, Ingénieur projet experte, The Shift Project  
Thomas Robert, Chargé de projet Agriculture, The Shift Project  
Vinciane Martin, Copilote du Groupe de travail « Emploi et formation agricole », The Shift Project  
Clémence Morant, Copilote du Groupe de travail « Emploi et formation agricole », The Shifters  
Marie Garcia Couillaud, Copilote du Groupe de travail « Emploi et formation agricole », The Shifters  
Florence Haynes, Copilote du Groupe de travail « Emploi et formation agricole », The Shifters  
Clémence Vorreux, Coordinatrice Agriculture, The Shift Project

Ce projet a aussi reçu l'appui d'Emma Stokking, de Corentin Grange et de Simon Bignonneau pour la communication.

## Remerciements

À ce stade du projet, l'équipe Agriculture du Shift Project souhaite d'ores et déjà remercier les très nombreux contributeurs et contributrices ayant participé au travail réalisé, par leur participation aux différents groupes de travail à l'œuvre, ou par leur relecture attentive des premières analyses formulées : Adrien Fauste-Gay, Alessandra Kirsch, Alice Holvoet, Alice Lemaire, Alice Richard, Aline Baguet, Amélie Fischer, Anna Maitre, Anne Godart, Anne Stépanoff, Anthony Fardet, Arnaud Poupert-Lafarge, Anne-Sophie Tricaud, Aurélie Catallo, Aurélie Ringard, Benjamin Vincent, Bernard Commere, Bertrand Daveau, Caroline Frery, Catherine Stein, Charles Saint-Marc, Chloé Morel, Christian Couturier, Christophe Diss, Claire Gouze, Clémence Morant, Clément Garçon, David Soetaert, Diane Masure, Dominique Verneau, Elisabeth Mouchot, Etienne Gatt, Fanny Barthelemy, Félix Lallemand, Florence Haynes, Franky Duchâteau, Gaël Guennebaud, Grégoire Philippon, Guilhem Soutou, Gwenaël Kergresse, Helen Larguier, Hélène Lepetit, Henri Louis, Isabelle Pion, Jean Colcombet, Jean-Marie Séronie, Jean-Luc Vincent, Jean-Yves Voisin, Julien SAILLET, Kate Blin, Katia Puaud-Noyer, Louis Ravillon, Louise Ribéreau, Marie Cherasse, Marie de Sarnez, Marie Garcia Couillaud, Marie Goumarre, Marine Nevannen, Marion Kentzel, Marlène De Bank, Mickael Lepage, Nicolas Beitbeder, Nicolas Berthomé, Nicolas Ceccaldi, Nicolas Coudry Mesny, Olivia Ruch, Olivier Dager, Olivier Dusart, Paul Luu, Patrice Durand, Patrick de Verdière, Patrick Flouriot, Patrick Mendès, Paul Sanséau, Paul-Henri Lava, Philippe Pouchin, Pierre Compère, Pierre Hilson, Pierre Labarthe, Pierre Weill, Rémi Castanié, Sabine Bonnot, Sandrine Perrot-Naïli, Sébastien Comyn, Sébastien Paque, Tanneguy Hoüitte de la Chesnais, Thomas Guilbaud, Véronique Chalando, Véronique Dupond, Vincent Jean-Baptiste, Xavier Poux, Yves Gauthier.

*Nota bene : les interprétations, positions et recommandations figurant dans ce rapport intermédiaire ne peuvent être attribuées ni aux contributeurs, ni aux relecteurs cités ci-dessous. Le contenu de ce rapport n'engage que le Shift Project.*

# Table des matières

<b>AVANT-PROPOS</b> .....	<b>2</b>
À propos du think tank The Shift Project.....	4
À propos du Plan de transformation de l'économie française.....	5
Votre participation aux travaux : relectures et contributions.....	6
Comité de rédaction.....	7
Remerciements.....	7
Table des matières.....	8
Table des figures.....	11
Table des tableaux.....	12
Liste des abréviations.....	13
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>14</b>
<b>LA FRANCE AGRICOLE EN 2024</b> .....	<b>18</b>
<b>1. Les multiples facettes de l'agriculture hexagonale</b> .....	<b>18</b>
A. De vastes surfaces agricoles, mais en diminution constante.....	18
B. Des exploitations agricoles toujours moins nombreuses et plus grandes.....	19
C. Les principales productions végétales : une céréalisation progressive des espaces cultivés.....	22
D. Les productions animales : des cheptels diversifiés aux trajectoires divergentes.....	27
E. Exportations et importations : la place de la France dans les échanges agricoles et alimentaires internationaux.....	32
F. Les usages de biomasse agricole : connexions entre filières, débouchés croissants et conflits à venir.....	34
<b>2. Des dépendances et des vulnérabilités qui s'accumulent</b> .....	<b>40</b>
A. Un système agricole devenu totalement dépendant des énergies fossiles.....	40
B. D'autres ressources critiques non renouvelables : exemple du phosphore.....	44
C. Une dépendance aux importations de soja pour l'alimentation animale.....	45
D. Une dépendance à l'usage de produits phytosanitaires.....	46
E. Une diversité domestique à la base génétique restreinte.....	52
F. Des conditions pédoclimatiques nouvelles : vulnérabilités supplémentaires et besoin d'adaptation rapide.....	53
<b>3. Les impacts et contributions climatiques de l'agriculture</b> .....	<b>56</b>
A. Les émissions directes de GES du secteur agricole français.....	56
B. Les émissions indirectes du secteur agricole hexagonal.....	60
C. Le stockage de carbone dans les sols, un puits vulnérable.....	63
D. Contribution de l'agriculture à la décarbonation des autres secteurs.....	65
<b>4. D'autres impacts environnementaux</b> .....	<b>67</b>
<b>5. Un contexte socio-économique déterminant</b> .....	<b>71</b>
A. Le cadre structurant de la Politique Agricole Commune.....	71
B. Une rentabilité économique aléatoire et très hétérogène.....	73

## LEVIERS ET PROJECTIONS DE TRANSFORMATION DU SYSTEME AGRICOLE - TRAVAUX EN COURS ..... 77

### 1. Des leviers d'atténuation et de résilience à actionner à différentes échelles..... 77

A. Leviers à actionner à l'échelle des fermes : réduire les émissions directes, stocker du carbone, s'adapter et préserver la biodiversité .....77

B. Leviers à actionner à l'échelle nationale : réduire les émissions indirectes, repenser les systèmes et les flux agricoles .....84

### 2. Quelles projections de transformation pour l'agriculture française à horizon 2050 ?.. 87

A. Quels objectifs donner au système agricole français en 2050 ?.....87

B. Première phase prospective : tests préliminaires de trois projections contrastées .....89

C. Résultats issus de ces projections préliminaires.....96

D. Seconde phase prospective : développements ultérieurs - travaux en cours ..... 101

## PISTES DE RECOMMANDATIONS POUR DEPLOYER LES LEVIERS DEJA IDENTIFIES - TRAVAUX EN COURS ..... 104

### Principaux points de blocages identifiés et recommandations ..... 104

## LA FORMATION AGRICOLE ..... 109

### 1. La formation agricole en France - Quelques chiffres..... 109

A. La formation agricole initiale.....109

B. Dans l'enseignement supérieur long .....113

C. La formation professionnelle continue courte et le transfert de connaissances .....114

D. Des effectifs en baisse .....115

### 2. Les enjeux environnementaux dans la formation agricole..... 116

A. Le programme "Enseigner à produire autrement" : une initiative louable mais qui manque de mobilisation dans sa mise en œuvre.....116

B. La transition agroécologique, un enseignement prévu dans les formations mais à la mise en œuvre incertaine .....117

C. L'enseignement des enjeux écologiques se heurte à des freins .....118

## L'EMPLOI AGRICOLE : ETAT DES LIEUX, VOLUME D'EMPLOI, CONDITIONS D'EMPLOI ET DE TRAVAIL..... 119

### 1. De moins en moins d'actifs agricoles, et une recomposition profonde des métiers vers davantage de salariat ..... 119

### 2. L'évolution de l'activité agricole aura des impacts en emploi contrastés selon les OTEX ..... 120

A. Un volume d'emploi et une intensité en emploi variables d'une OTEX à l'autre .....120

B. Des contrastes territoriaux fortement liés à la spécialisation des territoires .....122

C. Le recours aux travailleurs saisonniers varie d'une orientation à l'autre .....122

### 3. Emploi des services et du conseil agricole ..... 123

### 4. Le secteur agricole est marqué par des tensions de main-d'œuvre ..... 123

### 5. Des conditions de travail et d'emploi bien spécifiques ..... 124

A. Une charge de travail élevée et des horaires contraints .....124

B. Une pénibilité intrinsèque aux métiers agricoles.....125

C. Intensité et insécurité du travail : des situations contrastées entre exploitants et salariés .....125

D. Des revenus disparates.....125

### 6. Aspirations et vécu des actifs agricoles ..... 126

<b>COMMENT EVALUER LA CAPACITE DES TECHNOLOGIES AGRICOLES A ACCOMPAGNER LA TRANSITION ?</b> .....	<b>128</b>
<b>1. Qu'entend-t-on par technologie agricole ?</b> .....	<b>128</b>
<b>2. Un premier pas de côté</b> .....	<b>129</b>
A. Penser le lien entre les technologies agricoles et la transition énergie-climat de l'agriculture .....	130
B. Un faux sentiment de neutralité des technologies agricoles .....	133
<b>3. Approche méthodologique</b> .....	<b>134</b>
<b>Un panorama des innovations technologiques en agriculture</b> .....	<b>135</b>
A. Méthodologie de construction de la cartographie des technologies .....	135
B. Décryptage du panorama technologique .....	140
<b>Sélection des innovations technologiques</b> .....	<b>143</b>
<b>Description détaillée des innovations technologiques</b> .....	<b>145</b>
A. Proposition méthodologique d'explicitation des technologies agricoles .....	145
B. Évaluation de deux innovations technologiques .....	146
<b>Projection des innovations technologiques dans des personas agricoles</b> .....	<b>153</b>
A. L'exemple de la robotique électrique de désherbage sélectif .....	154
B. L'exemple de la sélection conventionnelle .....	158
<b>Matrices SWOT et Matrices des leviers associés aux innovations technologiques</b> .....	<b>162</b>
A. Sélection conventionnelle.....	162
B. Agro-équipement paysan de désherbage mécanique .....	164
C. Robotique électrique de désherbage sélectif .....	166
D. Optimisation de l'alimentation animale.....	168
E. Production en environnement contrôlé .....	170
<b>ANNEXES</b> .....	<b>172</b>
Annexe 1 : Cartographie des flux actuels de biomasse en France – en MtMS.....	173
Annexe 2 : Indicateurs de bilan français des principales filières agricoles et agroalimentaires en volumes (Source France Agrimer).....	174
Annexe 3 : Emissions moyennes de GES par type de biocarburant .....	174
Annexe 4 : Tableau des leviers.....	175
Références .....	178

## Table des figures

Figure 1 : Nombre d'exploitations selon la dimension économique .....	19
Figure 2 : Spécialisation de la production agricole en 2020 (17 postes) .....	20
Figure 3 : Surfaces des productions végétales .....	22
Figure 4 : Répartition des surfaces irriguées .....	23
Figure 5 : Part des prairies dans la SAU du département .....	24
Figure 6 : Cultures fourragères .....	24
Figure 7 : Surface de grandes cultures en France métropolitaine .....	24
Figure 8 : Part des grandes cultures dans la SAU du département .....	24
Figure 9 : Surface des oléagineux et protéagineux .....	25
Figure 10 : Structure des élevages bovins .....	28
Figure 11 : Elevages et effectifs bovins .....	28
Figure 12 : Localisation des vaches .....	28
Figure 13 : Effectifs des ovins .....	29
Figure 14 : Effectifs de porcins .....	30
Figure 15 : Localisation des poulets de chair – part des effectifs régionaux .....	31
Figure 16 : Effectif des poulets de chair et des poules pondeuses .....	31
Figure 17 : Part de la SAU bio (y compris en conversion) .....	32
Figure 18 : a) Energie investie par source et production nette (petajoules – PJ) et b) Retour énergétique sur énergie investie et autosuffisance énergétique .....	41
Figure 19 : Evolution du NoDU agricole pour les substances actives Cancérigènes, Mutagènes et Reprotoxiques .....	46
Figure 20 : Evolution des quantités totales de substances actives vendues par type d'usages .....	47
Figure 21 : Estimation des stocks de carbone organique de 0 à 30 cm de profondeur en France métropolitaine hors Corse .....	53
Figure 22 : Evolution des émissions de GES du secteur de l'agriculture en France entre 1990 et 2021 ....	59
Figure 23 : Emissions GES directes de l'agriculture, 2021 .....	59
Figure 24 : Evolution de la répartition du budget européen de la PAC de 1985 à 2020. ....	71
Figure 25 : Résultat brut au total ou par actif non-salarié et EBE par UTANS en termes réels – base 100 1990 .....	74
Figure 26 : Solde disponible par exploitant en 2022 par OTEX .....	74
Figure 27 : Bilan des émissions directes et indirectes de GES (MtCO <sub>2e</sub> ) – Projections préliminaires .....	97
Figure 28 : Potentiel nourricier selon différentes projections (nombre de personnes) .....	99
Figure 29 : Schéma des parcours de formation agricoles .....	110
Figure 30 : Répartition des effectifs dans l'enseignement agricole (production agricole) .....	112
Figure 31 : Équivalents temps plein (ETP) agricoles en 2010 et en 2020 .....	120
Figure 32 : Nombre d'ETP selon l'OTEX en 2020 .....	121
Figure 33 : Nombre d'ETP par exploitation selon l'OTEX en 2020 .....	121
Figure 34 : Évolution des ETP 2010-2020, en % .....	122
Figure 35 : Répartition du travail des permanents et des salariés saisonniers ou occasionnels selon l'OTEX en 2020 .....	123
Figure 36 : Horaires et organisation du temps de travail en 2019 .....	124
Figure 37 : Intensité et insécurité du travail en 2019 .....	125

## Table des tableaux

Tableau 1 : Recensement agricole 2020, France métropolitaine .....	21
Tableau 2 : Données de production des principales céréales en 2022 .....	25
Tableau 3 : Ordre de grandeur des émissions indirectes sur l'agriculture française en 2021 (MtCO <sub>2</sub> e) .....	60
Tableau 4 : Liste de leviers « INRA-GES » mis en œuvre dans l'outil ClimAgri® .....	91
Tableau 5 : Estimations d'émissions directes de GES par hypothèse (MtCO <sub>2</sub> e) .....	96
Tableau 6 : Description des Besoins moyens quotidiens et Apports réels moyens quotidiens d'un Français .....	98
Tableau 7 : Potentiel nourricier en fonction des différentes projections .....	98
Tableau 8 : Production d'énergie en fonction des différentes projections .....	99
Tableau 9 : Effectifs globaux de l'enseignement agricole 2023 par champ professionnel .....	111
Tableau 10 : Etudiants dans les écoles de l'enseignement supérieur agricole en 2021 .....	114
Tableau 11 : Innovations technologiques en production végétale .....	138
Tableau 12 : Innovations technologiques en production animale .....	139
Tableau 13 : Catégorisation des innovations technologiques sélectionnées suivant un lot de critères. ....	144
Tableau 14 : Analyse détaillée de l'implantation d'outils robotiques de désherbage sélectif dans les fermes .....	156

## Liste des abréviations

AB	Agriculture biologique
AQR	Apports quotidiens réels
BMQ	Besoins moyens quotidiens
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CIVE	Cultures intermédiaires à valorisation énergétique
CMR	Cancérogène, mutagène et reprotoxique
CUMA	Coopérative d'utilisation des matériels agricoles
EBE	Excédent brut d'exploitation
ETP	Equivalent temps plein
FAO	Food and agriculture organisation (organisation des Nations unies)
GES	Gaz à effet de serre
HRI	Harmonized risk indicator
IFT	Indice de fréquence des traitements
MAFOR	Matières fertilisantes d'origine résiduaire
Mha	Million d'hectares
MO	Matière organique
NIMA	Non issu du monde agricole
NoDU	Nombre de doses unités
NBT	New breeding techniques
NGT	New genomic techniques
NTG	Nouvelles technologies génomiques
OTEX	Orientation technico-économique de l'exploitation
PAC	Politique agricole commune
PBS	Production brute standard
PTEF	Plan de transformation de l'économie française
QSA	Quantité de substance active
RA	Recensement agricole
RPD	Redevance pollution diffuse
SAU	Surface agricole utilisée
SGPE	Secrétariat général à la planification écologique
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
STH	Surface toujours en herbe
TEP	Tonne équivalent pétrole
TFUE	Traité sur le Fonctionnement de l'Union européenne
TWh	Térawatt-heure
UAB	Utilisable en agriculture biologique
UTANS	Unité de travail annuel non salarié
UTCATF	Utilisation des terres, changements d'affectation des terres et de la forêt

# Introduction

En quelques décennies, les énergies fossiles ont révolutionné les techniques agricoles et l'organisation du système productif agricole et alimentaire, le rendant progressivement, à l'instar des autres secteurs économiques, dépendant d'un approvisionnement sécurisé en pétrole et en gaz. La perspective de la raréfaction de ces ressources, les conséquences directes des effets du dérèglement climatique sur les activités agricoles, par essence vulnérables, et le caractère essentiel du secteur pour répondre aux besoins de base des populations nécessitent de penser dès aujourd'hui une évolution profonde du secteur. Ce rapport intermédiaire, reflet de travaux en cours de recherche, vise à permettre d'apprécier les termes des alternatives possibles, au prisme des questions énergétiques et climatiques.

Dans les zones tempérées, à la faveur de l'optimum climatique qui a suivi la dernière glaciation, le développement progressif de l'agriculture depuis le Néolithique a conduit les populations à aménager leurs écosystèmes au profit de la culture de plantes sélectionnées, en association avec l'élevage d'animaux domestiqués, dans l'objectif de produire les aliments et autres ressources utiles à leurs besoins. Imaginées selon les contextes pédoclimatiques locaux et patiemment perfectionnées, ces solutions techniques sont devenues la base de la sécurité alimentaire des populations, l'ayant emporté en matière de volumes de production sur les techniques de chasse et de cueillette préexistantes.

En termes énergétiques, ces systèmes agricoles et alimentaires ont longtemps fonctionné à l'énergie solaire, captée par les végétaux chlorophylliens via le processus biologique de la photosynthèse, et transmise par l'alimentation aux hommes et aux animaux dont la force de travail constituait la base de leur fonctionnement. La production de biomasse agricole était limitée, dans un contexte pédoclimatique donné, par les éléments fertilisants naturellement présents dans le milieu ou fixés par les plantes<sup>5</sup>, ou apportés via des ressources organiques telles que les déchets urbains et les fumiers, permettant dans le même temps un retour au sol maximisé de matière organique. Les systèmes de polyculture/élevage ont ainsi longtemps constitué la norme, assurant, via un système que l'on qualifierait aujourd'hui d'économie circulaire, le meilleur compromis entre production de biomasse, fourniture d'énergie mécanique par les animaux d'élevage et maintien de la fertilité des sols.

La deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, dans le contexte nouveau de l'abondance énergétique offerte par l'exploitation des énergies fossiles, a vu se transformer radicalement ces systèmes agraires français. L'arrivée des tracteurs à la suite du Plan Marshall et leur déploiement rapide dans les campagnes, la mécanisation des travaux et le recours de plus en plus important aux engrais azotés de synthèse (fabriqués à partir de gaz fossile), efficaces et simples d'utilisation, ont métamorphosé l'organisation agricole du territoire et progressivement rendu l'agriculture dépendante des ressources fossiles. L'usage d'engrais de synthèse a notamment abouti à la dissociation possible des cultures et de l'élevage et à une forte spécialisation des territoires, le tout sous l'influence des politiques de modernisation agricole successives. Les moyens de transport accrus et les possibilités de réfrigérer les productions ont aussi facilité les flux de denrées agricoles, rallongeant peu à peu les filières et dessinant une nouvelle logistique alimentaire à l'échelle nationale, mais aussi internationale.

Cette nouvelle agriculture, tout en permettant la réduction de la pénibilité du travail dans le secteur, a fait exploser la productivité par unité de surface comme par travailleur, assurant la sécurité alimentaire nationale et un approvisionnement abondant et bon marché pour le consommateur, via des canaux de distribution eux-

---

<sup>5</sup> Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, voir partie 2.A, encadré Azote et Fertilisation des cultures

mêmes métamorphosés. D'autres corollaires positifs de cette « périlleuse augmentation des rendements »<sup>6</sup> ont été la possibilité de la poursuite de l'urbanisation et le transfert massif de main-d'œuvre vers d'autres secteurs économiques. Alors que plus de 5 millions de personnes, soit 30 % des actifs<sup>7</sup>, travaillent dans l'agriculture au début des années 1950, ils ne sont plus qu'environ 700 000 en 2020<sup>8</sup>, soit moins de 3 %. Dans le même temps, s'exerçant en milieux ouverts, renforcées par la sélection de variétés à haut rendement et le recours croissant à des traitements phytosanitaires, les activités agricoles sont devenues une source d'impacts environnementaux significatifs dans les différents compartiments des écosystèmes : eau, sol, air et biodiversité.

En matière climatique, le secteur contribue aujourd'hui à 18 %<sup>9</sup> des émissions de gaz à effet de serre (GES) nationales, avec la spécificité que ces émissions sont très majoritairement d'origine non énergétique, car non issues directement de la consommation de carburants fossiles, mais contrôlées par des processus biologiques au caractère diffus et complexe. Mais il est dans le même temps l'un des rares secteurs économiques permettant un stockage additionnel de carbone, sous certaines conditions et avec les pratiques adéquates, dans les sols et les parcelles agricoles (biomasse ligneuse des arbres et arbustes). Il permet également la production d'une biomasse non alimentaire servant à la décarbonation d'autres secteurs économiques (bioénergie, biochimie, biomatériaux). Outre sa contribution à l'atténuation de l'impact climatique des activités humaines, le secteur agricole, par essence vulnérable aux conditions météorologiques et climatiques, est par ailleurs surtout contraint à une adaptation rapide de ses systèmes et modes de production, dans un contexte de ressources futures limitées, notamment en énergie et en eau.

Ces dépendances et ces vulnérabilités nécessitent de réfléchir à l'évolution du système, qui se jouera dans un cadre physique non négociable, celui des sols disponibles, de leur santé et donc de leur fertilité, du climat, des ressources énergétiques et non énergétiques disponibles, des ressources en eau, et de la biodiversité. C'est l'objet de ce présent travail : imaginer des projections possibles de transformation du système agricole hexagonal pour répondre aux contraintes physiques qui le conditionnent aujourd'hui et le conditionneront demain.

Ce rapport vise aussi à instruire les enjeux socio-économiques que ces problématiques soulèvent, notamment en termes de sécurité et de souveraineté alimentaire, d'indépendance énergétique, de viabilité économique des fermes et d'attractivité des métiers agricoles, d'installation et de transmission, ainsi que d'emploi et de formation. La transition écologique et climatique du secteur dépendra en effet d'options politiques et de priorités sociales qui doivent être débattues au niveau national, de l'écriture d'un cap clair et de missions assignées collectivement à l'agriculture française. La nécessité de trouver des solutions locales et adaptées aux spécificités pédoclimatiques et sociales des territoires dans un contexte de déterminants internationaux, tant en termes de politiques agricoles que de suivi des émissions de GES, confère à l'exercice une difficulté supplémentaire.

## **Périmètre du projet**

Ce projet Agriculture du Shift Project, concentré sur l'amont du secteur, se poursuivra en 2025 par des travaux de recherche sur l'aval des filières, intégrant le système agroalimentaire et alimentaire et toutes les dimensions « de la fourche à la fourchette ». Une mise en cohérence globale de ces deux phases de projets successives est prévue à l'issue, à horizon 2026.

---

<sup>6</sup> Griffon, Michel. « Vers une septième révolution agricole », *Revue Projet*, vol. 332, no. 1, 2013, pp. 11-19

<sup>7</sup> Devienne, Sophie. « Les mutations récentes du foncier et des agricultures en Europe », *Presses universitaires de Franche-Comté*, 2018, pp. 25-52

<sup>8</sup> [https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/002\\_inst-site-chambres/actu/2022/Analyses-Perspectives\\_recensement-agricole\\_01072022.pdf](https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/002_inst-site-chambres/actu/2022/Analyses-Perspectives_recensement-agricole_01072022.pdf)

<sup>9</sup> [https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/2023/Citepa\\_Secten\\_ed2023\\_v1.pdf](https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/2023/Citepa_Secten_ed2023_v1.pdf)

Notre analyse actuelle se concentre sur les activités de production agricole brute, incluant la prise en compte de la production des intrants (engrais, aliments pour animaux, machinisme,...), y compris importés, jusqu'à la sortie de ferme (collecte). Nous ne traitons pas ici des importations de produits à destination de la consommation humaine, qui seront traitées dans le projet dédié aux enjeux de l'agroalimentaire et de l'alimentation. S'agissant des productions, les activités de pêche et d'aquaculture, ainsi que celles rapportées à la sylviculture, ne sont pas considérées.

Le périmètre géographique retenu dans le cadre de ce rapport est le territoire hexagonal.

Deux thématiques spécifiques sont par ailleurs actuellement approfondies par des groupes de travail dédiés. Leurs travaux feront l'objet de notes séparées qui compléteront ce rapport lors de sa parution finale :

- une note relative aux questions d'emploi et de formation,
- une note relative à la place de la technologie dans la transition agricole.

Elles sont présentées ici, dans leur version intermédiaire, en fin de ce rapport, avant les annexes.

# La France agricole en 2024



# La France agricole en 2024

## 1. Les multiples facettes de l'agriculture hexagonale

Le système agricole hexagonal est complexe, très diversifié, inégalement réparti sur le territoire, combinant des filières animales et végétales et des modes de production en interdépendance, et inscrit dans des flux commerciaux internationaux. Il est à la base de la production d'une ressource convoitée, la biomasse agricole, aux usages multiples, qu'ils soient d'ordre alimentaire, énergétique ou industriel.

### A. De vastes surfaces agricoles, mais en diminution constante

En France métropolitaine, la **Surface Agricole Utilisée (SAU) par les professionnels agricoles couvre 26,9 millions d'hectares (Mha)<sup>10</sup>, soit 49 % du territoire**. Cette surface se répartit entre des terres arables, cultivées annuellement, sur 17 Mha (64 %), des surfaces toujours en herbe (STH), les prairies permanentes, qui occupent 8,7 Mha (32 %), et des cultures permanentes telles que les vignes et vergers, sur 1 Mha (3,6 %). Au sein des terres arables se trouvent les prairies temporaires et artificielles (dont luzerne), sur 2,4 Mha (environ 9 % de la SAU). Il faut noter qu'à ces surfaces mobilisées par l'agriculture s'ajoutent **1,7 Mha de jardins, vergers et STH non professionnels**. La SAU totale dans l'hexagone s'élève ainsi à 28,6 Mha.

**La SAU est en contraction constante depuis près d'un siècle**, les surfaces agricoles ayant régressé au profit des surfaces boisées et des espaces naturels (landes, friches, ...) d'une part, et des zones urbanisées d'autre part. La déprise agricole s'est accélérée avec la modernisation de l'agriculture et la concentration de la production sur les terres les plus facilement mécanisables ou les plus fertiles. **Depuis les années 1950, la surface agricole productive a décliné de 7 millions d'hectares<sup>11</sup>, soit une perte moyenne de l'ordre de 100 000 hectares par an**. Durant cette période, le ratio surface agricole utilisée par habitant a été divisé par 2, passant d'environ 0,8 à 0,4 hectare par habitant. Les gains de productivité associés ont ainsi permis de nourrir, habiller et fournir en énergie (notamment) une population croissante.

Si elle tend désormais à ralentir, l'artificialisation des sols liée à l'étalement urbain soustrait encore aux activités agricoles une part majoritaire des **20 000 à 30 000 hectares<sup>12</sup> consommés annuellement aujourd'hui**. Source importante de libération du carbone stocké dans les sols, elle constitue par ailleurs la première cause d'érosion de la biodiversité. Avec la loi Climat Résilience de 2021, la France s'est donné pour objectif d'atteindre "zéro artificialisation nette" des sols en 2050, visant en priorité à maîtriser l'étalement urbain et à le compenser, non sans susciter de vifs débats.

---

<sup>10</sup> [https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2319/cd2023-19\\_SAA2022-D%C3%A9finitive.pdf](https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2319/cd2023-19_SAA2022-D%C3%A9finitive.pdf)

<sup>11</sup> Desriers M., 2007, « L'agriculture française depuis cinquante ans : des petites exploitations familiales aux droits à paiement unique », *INSEE Références. L'agriculture française et l'Europe*, p. 17-30

<sup>12</sup> <https://www.vie-publique.fr/eclairage/287326-zero-artificialisation-nette-zan-comment-protger-les-sols>  
<https://cartagene.cerema.fr/portal/apps/dashboards/14bfa33d28cf4670aa2b765866b0e883>

## B. Des exploitations agricoles toujours moins nombreuses et plus grandes

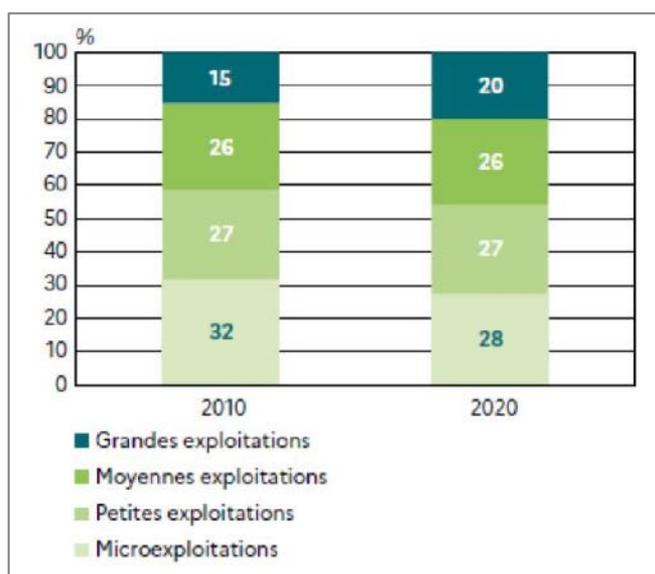


Figure 1 : Nombre d'exploitations selon la dimension économique

Source : Graph'Agri 2023

En 2020 on dénombrait 390 000 exploitations agricoles<sup>13</sup> en France hexagonale, soit près de 100 000 de moins qu'en 2010. Leur nombre a diminué en moyenne de 2,3 % par an depuis 2010, avec une baisse plus marquée (- 4 % par an) pour les micro-exploitations, générant une Production Brute Standard<sup>14</sup> (PBS) de moins de 25 000 euros par an, mais en revanche une hausse (+ 0,3 % par an) pour les grandes exploitations, générant plus de 250 000 euros de PBS. Près de 80 % du potentiel de production agricole est assuré par l'ensemble des exploitations hors micro-exploitations.

Si la plupart des exploitations disposent d'une SAU, 2 % d'entre elles n'en ont pas : cela concerne essentiellement des élevages de volailles, des élevages de porcs et des fermes apicoles. Celles jouissant d'une SAU mettent en valeur en 2020 **en moyenne 69 hectares**, soit 13 hectares de plus qu'en 2010.

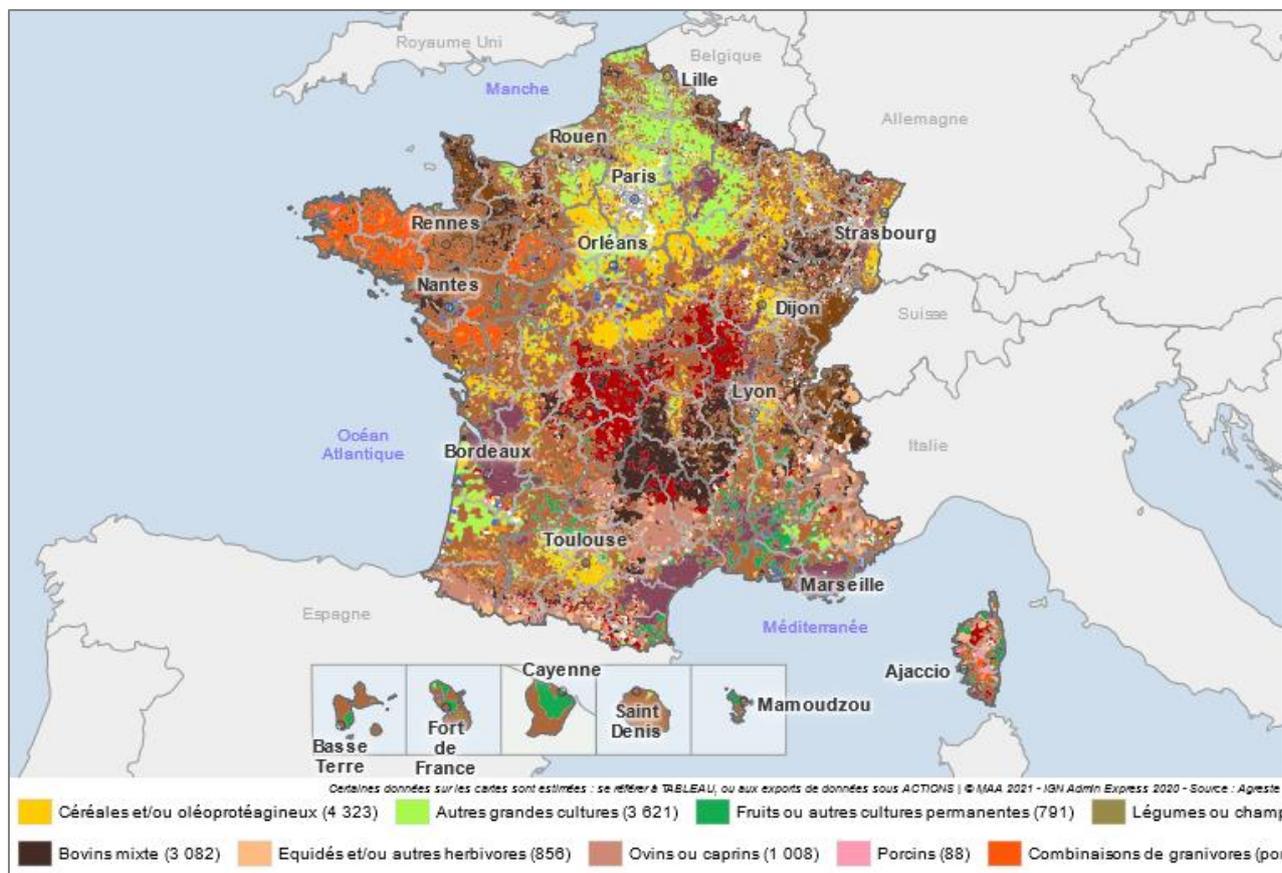
**39 % de la SAU est cultivée par des grandes exploitations, au sens de la dimension économique, avec 139 hectares en moyenne. Les micro-exploitations valorisent 5 % de la SAU, avec 14 hectares en moyenne.** La superficie moyenne varie beaucoup d'un département à l'autre, de 21 ha dans les Pyrénées-Orientales à 170 ha en Haute-Marne, la taille moyenne étant naturellement plus petite dans les régions viticoles, plus importante dans les régions d'élevage mettant en valeur des prairies permanentes.

**La France métropolitaine se distingue par la grande diversité de ses productions agricoles**, révélée par l'analyse des territoires sous l'angle des OTEX (orientations technico-économiques des exploitations). Introduite à l'occasion du recensement agricole de 1988, cette typologie rend compte des dominantes productives des différents territoires français. Dans le détail, il s'agit d'isoler pour chaque commune le type de production agricole sur lequel repose au moins 2/3 de la production brute standard (PBS). Cette méthode permet d'éclairer la **dynamique de spécialisation à l'œuvre dans l'agriculture hexagonale**, qu'il s'agisse de l'abondance des cultures céréalières dans le Bassin parisien ou des activités d'élevage en terres

<sup>13</sup> AGRESTE, 2024. Graph'Agri 2023

<sup>14</sup> La Production Brute Standard est la production potentielle d'une exploitation exprimée en euros, calculée selon les prix et rendements d'une année donnée. Cet indicateur permet de classer les exploitations par dimension économique. Voir Graph'Agri 2023, Glossaire p.205.

bretonnes. En outre, cette spécialisation a abouti à la prépondérance des productions végétales, concernant près de 217 000 exploitations contre 150 000 exploitations tournées vers les productions animales en 2020.. Cette photographie était totalement inversée il y a encore 20 ans.



**Figure 2 : Spécialisation de la production agricole en 2020 (17 postes)**

Source : Agreste, recensement agricole 2020, Cartostat<sup>15</sup>

Dans un niveau d'analyse plus précis, le recensement agricole (RA) de 2020 nous renseigne sur les dynamiques contrastées relatives aux différents postes de production agricole durant la décennie 2010. Trois secteurs sont parvenus à maintenir leur potentiel économique (évalué en termes de PBS), à savoir les grandes cultures, la viticulture et l'élevage de bovin-lait, tandis que d'autres secteurs accusent un net recul sur cette période, en production animale (élevage de granivores, élevage ovin et caprin, élevage bovin-viande), ainsi qu'en productions fruitières pour lesquelles la baisse s'exprime aussi bien en termes démographiques (baisse des effectifs d'exploitation) qu'économiques (PBS déclinante). Le secteur du maraîchage et de l'horticulture se distingue, étant le seul à être en phase de croissance (hausse du nombre d'exploitations, de la SAU valorisée, de l'emploi et de la PBS)<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> [https://stats.agriculture.gouv.fr/cartostat/#bbox=-14397,7051938,1511961,922316&c=indicator&i=otex\\_2020\\_1.otefdd20&t=A02&view=map11](https://stats.agriculture.gouv.fr/cartostat/#bbox=-14397,7051938,1511961,922316&c=indicator&i=otex_2020_1.otefdd20&t=A02&view=map11)  
<sup>16</sup> RECENSEMENT AGRICOLE 2020 Chiffres clés - Chambres d'Agriculture - 2022

OTEX	Nombre d'exploitations	Evolution RA 2010 / 2020	Superficie agricole utilisée (SAU - hectares)	ETP (Équivalent Temps Plein)	Production brute standard (PBS - milliers d'euros)
Exploitations spécialisées en grandes cultures	112 000	-3 %	9 730 000	119 000	12 100 000
Exploitations spécialisées en maraîchage ou horticulture	15 000	+7 %	180 000	66 000	4 400 000
Exploitations spécialisées en viticulture	59 000	-16 %	1 100 000	124 000	12 400 000
Exploitations spécialisées en cultures fruitières ou autres cultures permanentes	15 000	-29 %	350 000	38 000	2 900 000
Exploitations spécialisées en élevage bovin	91 000	-27 %	8 770 000	152 000	14 200 000
Exploitations spécialisées en élevage ovin et/ou caprin	35 000	-37 %	1 750 000	47 000	2 200 000
Exploitations spécialisées en élevage de granivores	19 000	-34 %	1 020 000	40 000	8 800 000
Exploitations spécialisées en polyculture et/ou en polyélevage	42 000	-29 %	3 820 000	74 000	7 500 000

**Tableau 1 : Recensement agricole 2020, France métropolitaine**

(Source : Agreste)

**La transmission des fermes devient un enjeu majeur pour le secteur.** Avec le vieillissement de la population active agricole (en 2019, 55 % des agriculteurs avaient 50 ans ou plus, 13 % 60 ans ou plus<sup>17</sup>), on estime que la moitié des 390 000 fermes sera à reprendre durant la décennie à venir. Ainsi, depuis 2015, environ 20 000 chefs d'exploitation cessent leur activité chaque année, pour 14 000 qui s'installent. La poursuite plus ou moins prononcée de cette tendance au déficit de reprises, à l'agrandissement et à la spécialisation sera déterminante dans l'organisation du système agricole à échéance 2050.

<sup>17</sup> [https://www.insee.fr/fr/statistiques/4806717#figure3\\_radio2](https://www.insee.fr/fr/statistiques/4806717#figure3_radio2)

## C. Les principales productions végétales : une céréalisation progressive des espaces cultivés

Sauf exception mentionnée, les données présentées sont issues de Graph'Agri 2023.

La très grande variété des terroirs et des climats français permet la culture d'une grande diversité d'espèces, des grandes cultures céréalières ou industrielles aussi bien que des fruits et légumes variés, de la vigne, des espèces prairiales, etc. **En tendance générale, la modernisation et la spécialisation régionale des systèmes agricoles durant les dernières décennies a conduit à diminuer la variabilité des espèces cultivées par région, en lien également avec l'industrialisation et la concentration des outils de transformation des produits, et à augmenter la surface consacrée aux grandes cultures au détriment des cultures fourragères et des cultures permanentes de vignes et vergers.**

Les principales productions végétales produites sur le territoire hexagonal se répartissent entre :

- des **cultures fourragères**, sur 13,9 Mha, soit environ **50 % des surfaces**, dont 90 % de prairies permanentes (STH) ou non permanentes (prairies temporaires à base de graminées fourragères ou prairies de légumineuses telles que la luzerne ou le trèfle) et 10 % de cultures fourragères annuelles,
- des **grandes cultures**, sur 12,9 Mha, soit environ **45 % des surfaces**, dont près de 90 % en céréales, oléagineux et protéagineux, le reste en betteraves, pommes de terre, plantes à fibre et plantes aromatiques et médicinales ;
- des **cultures permanentes (vignes et vergers)** sur 1 Mha, soit **3,5 % des surfaces**,
- d'autres surfaces cultivées (**légumes, fleurs, semences et plants**) sur 0,4 Mha, soit **1,5 % des surfaces**.



Figure 3 : Surfaces des productions végétales

Source : Graph'Agri 2023

### • Irrigation et drainage des terres agricoles

En 2020, **6,8 % des surfaces agricoles ont été irriguées**, soit 1,8 Mha<sup>18</sup>, **en hausse de 15 % par rapport à 2010**, soit 64 % de la surface irrigable qui couvre 2,8 Mha (surface équipée d'un système d'irrigation). La part de surface irrigable a augmenté dans toutes les OTEX depuis 2010, et atteint désormais la moitié des surfaces des exploitations spécialisées en maraîchage et horticulture, ainsi qu'en cultures fruitières et autres cultures permanentes. En viticulture, 10 % des surfaces sont aujourd'hui irrigables.

Les prélèvements d'eau sont variables selon les années et les territoires. Ils sont plus élevés dans la moitié sud du pays et dans une moindre mesure dans le Centre-Ouest. En moyenne 1 900 m<sup>3</sup><sup>19</sup> d'eau sont prélevés par hectare irrigué, en très légère baisse depuis 2010. Cette quantité moyenne d'eau prélevée varie

<sup>18</sup> <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/7165/download?inline>

<sup>19</sup> Ibid.

considérablement selon les départements, de 40 m<sup>3</sup>/ha irrigué en Meurthe-et-Moselle à 9 700 dans les Pyrénées-Orientales.

En 2020, le maïs représente environ un tiers des surfaces irriguées, les fruits et légumes 15 %. Les légumes, les fruits, le soja, le maïs et les pommes de terre sont les cultures dont les surfaces demandent le plus d'eau (en prenant en compte l'indicateur surface irriguée/surface totale de la culture). Ainsi, en 2020, plus de 60 % des surfaces de légumes, 50 % des surfaces de vergers, 40 % des surfaces de pommes de terre et soja et 34 % des surfaces de maïs ont été irriguées<sup>20</sup>.

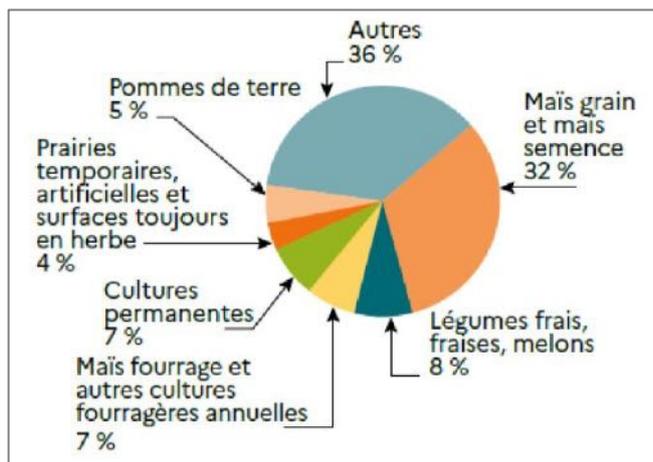


Figure 4 : Répartition des surfaces irriguées

Source : Agreste, Recensement agricole 2020

Inversement, une partie de la SAU a été aménagée par des techniques de drainage pour gérer l'eau en excès dans des sols hydromorphes. La superficie des terres drainées en France s'établirait (en 2015) à un peu plus de 3 Mha, soit 10 % de la SAU<sup>21</sup>.

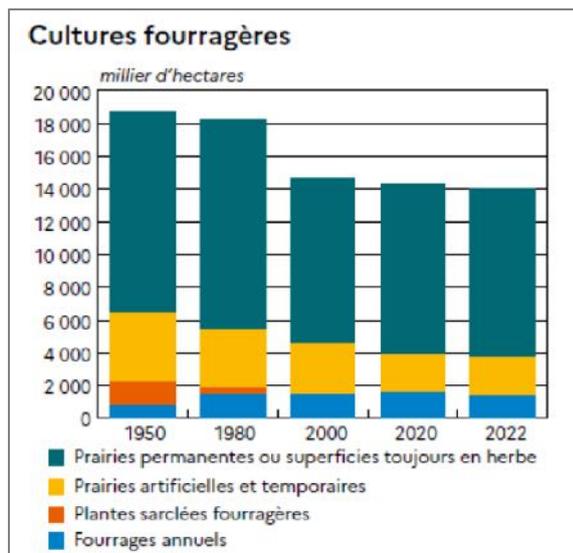
### • Les cultures fourragères

La surface totale des cultures fourragères, destinées à l'alimentation animale, a régressé de 5 millions d'hectares depuis les années 1950, dont environ 2 Mha de prairies permanentes, 2 Mha de prairies temporaires et 1 Mha de plantes sarclées fourragères (betteraves fourragères), en lien avec la diminution des effectifs animaux, la déprise agricole et l'urbanisation. Avec le développement de la culture du maïs, les surfaces de fourrages annuels ont en revanche beaucoup progressé de 1950 à 1980, mais sont depuis globalement stabilisées.

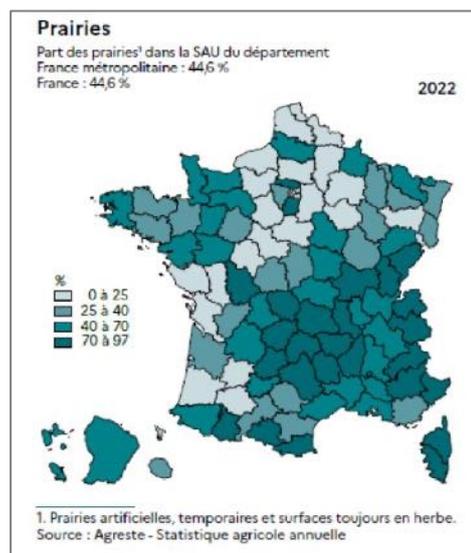
Les prairies représentent la très grande majorité (90 %) des surfaces fourragères. L'essentiel des surfaces se trouvent en zone de montagne, les régions Auvergne-Rhône-Alpes et Occitanie concentrant à elles deux un tiers des prairies. Celles-ci occupent plus de 90 % de la SAU dans certains départements comme la Corrèze et le Cantal, et jusqu'à 96 % en Corse.

<sup>20</sup> AGRESTE, 2024. Graph'Agri 2023

<sup>21</sup> Vincent, B. (2020). Principes techniques et chiffres du drainage agricole – De la tuyautique à l'hydro-diplomatie. Sciences Eaux & Territoires, (32), 8–15



**Figure 6 : Cultures fourragères**  
Source : Graphagri 2023



**Figure 5 : Part des prairies dans la SAU du département**  
Source : Agreste – Statistique agricole annuelle

- **Les grandes cultures**

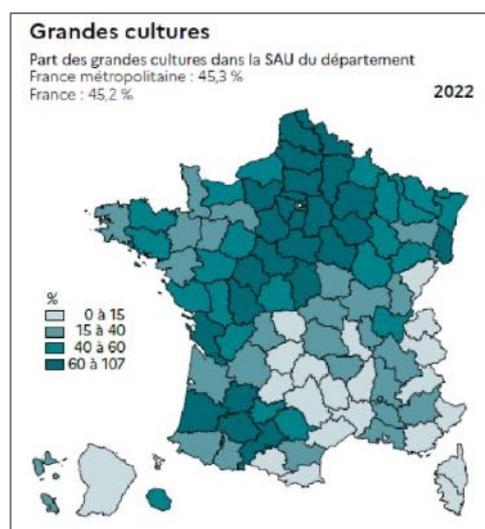
Parmi les grandes cultures, ce sont les céréales (blé, orge, maïs, ...) qui mobilisent la plus grande surface et environ un tiers de la SAU française, avec 8,9 Mha en 2022. Ensuite viennent les oléagineux (colza, tournesol, lin) avec 2,3 Mha, les cultures industrielles (betteraves sucrières, plantes à fibre, plantes aromatiques et médicinales) avec 617 000 ha, les jachères avec 452 000 ha, les protéagineux (pois, féverole, légumes secs) avec 309 000 ha, et les pommes de terre avec 211 000 ha. Depuis 1950, les surfaces en céréales sont globalement stables alors que les surfaces en oléagineux ont fortement augmenté. Les surfaces de pomme de terre ont été divisées par 4. Les cultures industrielles ne représentent que 5 % de la SAU, mais sont aujourd'hui en forte hausse du fait de l'essor des plantes à fibre (chanvre et lin). Les grandes cultures sont prépondérantes dans la moitié Nord de la France, en particulier dans les grands bassins céréaliers des régions Ile-de-France, Hauts de France, Grand Est et Centre-Val de Loire.

	1950	1980	2000	2020	2022
<i>millier d'hectares</i>					
Céréales, oléagineux, protéagineux (COP) y.c légumes secs	9 114	10 519	11 564	11 434	11 591
part (%)	76,3	90,7	85,9	89,8	90,7
Cultures industrielles (betteraves industrielles, plantes à fibre...)	433	625	521	645	617
part (%)	3,6	5,4	3,9	5,7	4,8
Pommes de terre	988	237	163	216	211
part (%)	8,3	2,0	1,2	1,7	1,6
Jachères	1 405	219	1 221	443	452
part (%)	11,8	1,9	9,7	3,5	3,5
<b>Grandes cultures</b>	<b>11 941</b>	<b>11 600</b>	<b>13 469</b>	<b>12 738</b>	<b>12 872</b>
France métr. (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Note : données révisées, les légumes secs sont à nouveau dans les protéagineux.

**Figure 7 : Surface de grandes cultures en France métropolitaine**

Source : Agreste – Statistique agricole annuelle



**Figure 8 : Part des grandes cultures dans la SAU du département**

Source : Agreste – Statistique agricole annuelle

- En céréales, **le blé tendre est la principale céréale cultivée en France** avec en 2022 52 % du total des surfaces céréalières, sur plus de 4,5 Mha, devant l'orge (21 %) et le maïs grain (16 %). Les rendements des céréales ont fortement augmenté durant les années 1950-1990, en lien avec la progression conjointe de la génétique, de l'utilisation de fertilisants et de produits phytosanitaires, et du perfectionnement des techniques de moisson, mais ils ne progressent plus, affichant une forte variabilité annuelle corrélée aux effets du changement climatique<sup>22,23</sup>. **En 2022, le rendement moyen du blé tendre est de 72 quintaux par hectare (contre 15 quintaux en 1950 et 50 quintaux en 1980)**. Les surfaces de blé tendre se maintiennent.

À l'inverse, les surfaces de maïs ont tendance à diminuer et le rendement moyen est par ailleurs très affecté par la sécheresse. Ainsi la récolte de maïs grains a été en 2022 la plus faible depuis 1990 (rendement du maïs grain - hors semences - en baisse de 25 q/ha par rapport à 2021 et de 15 q/ha par rapport à la moyenne 2017-2021).

En orge, les surfaces sont plutôt stables, voire en légère hausse, et peuvent bénéficier du report de semis de blé n'ayant pu être effectués en bonnes conditions à l'automne. En revanche, le rendement est là aussi très affecté par les sécheresses qui pénalisent particulièrement les orges de printemps (à la différence des orges d'hiver).

**La France est le principal producteur européen de céréales, concentrant en 2022 27 % de la production européenne de blé tendre et 22 % de celle d'orge, devant l'Allemagne (respectivement 16 % et 20 %)**. Le maïs français représente 21 % de la production européenne, suivi par la production polonaise.

Culture	Surface cultivée (Million d'hectares)	Production (Millions de tonnes)	Rendement moyen (Quintaux/ha)
<b>Blé tendre</b>	4,6	33,7	72
<b>Maïs</b>	1,4	10,8	75
<b>Orge</b>	1,8	11,4	61

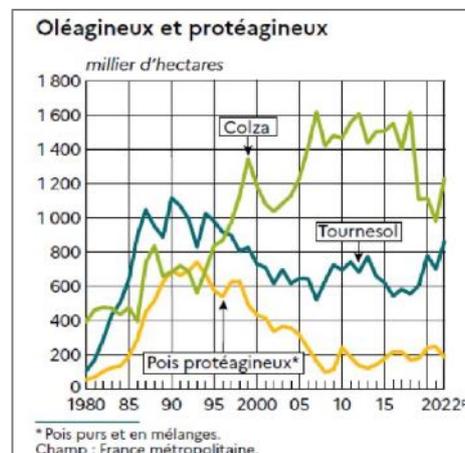
**Tableau 2 : Données de production des principales céréales en 2022**

Source : Graph'Agri 2023

Année particulièrement marquée par la sécheresse, mais jugée représentative du climat 2050 ?

- En oléagineux, **le colza occupe, avec 1,2 Mha en 2022, la majorité des surfaces (53 %), suivi par le tournesol (37 %), le soja (8 %) et le lin oléagineux (1,5 %)**. Les surfaces peuvent varier de façon significative d'une année à l'autre en fonction du prix des graines sur les marchés. La production française de graines oléagineuses atteint un tonnage total de 6,7 Mt en 2022, dont 4,5 Mt de colza et 1,8 Mt de tournesol. La moitié de la sole de colza est concentrée dans les régions Centre-Val de Loire, Grand Est et Hauts de France.

Les graines oléagineuses sont cultivées pour leur richesse en huile, les résidus de la trituration et les tourteaux étant valorisés en alimentation animale. La production française de tourteaux atteint depuis 2010 plus de 3 Mt par an, ce qui ne couvre que la moitié des besoins : en 2021-2022, 54 % des besoins ont été couverts par les importations, majoritairement de tourteaux de soja sud-américain.



**Figure 9 : Surface des oléagineux et protéagineux**

Source : Agreste – Statistique agricole annuelle

<sup>22</sup> Evolution du rendement moyen annuel du blé France entière de 1815 à 2021 - Académie d'agriculture de France

<sup>23</sup> Progression comparée des rendements moyens français du blé tendre et du maïs grain (1960-2017) - Académie d'agriculture de France

**Les surfaces en protéagineux (pois et féveroles essentiellement) restent très inférieures à leur niveau des années 1990, lorsque des aides étaient spécifiquement allouées à ces cultures.** En 2022, moins de 260 000 hectares y ont été consacrés. Malgré l'intérêt agronomique de ces plantes légumineuses qui ne nécessitent pas d'engrais azoté, la faiblesse des rendements et des prix ainsi que la difficulté à lutter contre certains insectes (bruches) ou contre les oiseaux au moment des semis sont des facteurs de découragement pour les agriculteurs. Le manque d'intérêt économique de ces filières freine également la recherche de nouvelles variétés. La relance de la culture des légumineuses est pourtant un levier important dans les stratégies de décarbonation du secteur (voir partie II sur les leviers).

- **Les cultures permanentes**

**Les surfaces de cultures permanentes ont été divisées par deux depuis les années 1950**, passant de 2 à 1 Mha au total. Ainsi les vignes occupaient encore 1,5 Mha en 1950, mais ne couvrent plus que 795 000 ha aujourd'hui. Les surfaces viticoles ont fortement baissé dans les années 1980, du fait des politiques d'encouragement à l'arrachage pour les vins de consommation courante.

De même, **les vergers ont perdu presque 60 % de leur surface depuis 1950**, passant de 453 000 hectares à 197 000 aujourd'hui. Cette surface est globalement stable depuis 2010, avec de grandes disparités entre espèces : les surfaces en noyers, noisetiers, châtaigniers, amandiers et pommiers à cidre progressent nettement, alors que celles en pruniers, cerisiers, abricotiers, pêchers et nectariniers diminuent. Le verger français est situé principalement dans le bassin Rhône-Méditerranée (40 %) et dans le Sud-Ouest (25 %), zones particulièrement vulnérables au changement climatique.

- **Les autres cultures**

**Les cultures de légumes frais couvrent une surface d'environ 250 000 hectares**, dominés par les petits pois (44 000 ha), les haricots (39 000 ha), les choux (23 000 ha), le maïs doux (21 000 ha), les oignons (17 000 ha), les carottes (14 000 ha) et les melons (12 000 ha). Au total la production de légumes frais s'est élevée en 2022 à 4,9 millions de tonnes, pénalisée par la sécheresse du printemps et de l'été (-7 % par rapport à 2021). En 2000 la production totale s'élevait à plus de 6 millions de tonnes.

**Le maraîchage diversifié occupe plus de 56 000 hectares.**

**Les fleurs et plantes ornementales occupent 4 700 hectares en 2022.**

### **Semences et plants : un secteur stratégique pour la résilience agricole nationale**

**La France est un des leaders mondiaux du secteur des semences** : 1<sup>er</sup> producteur européen, 1<sup>er</sup> exportateur mondial en semences de grandes cultures, 2<sup>ème</sup> pour les semences d'espèces potagères. Plus de la moitié de la production nationale de semences est destinée à l'export, dont les ¾ à l'intérieur de l'Union Européenne.

Le secteur comprend plus de 70 entreprises de création et de maintenance variétale, en majorité des PME et TPE, plus de 250 entreprises de production de semences ainsi que 66 entreprises spécialisées de triage à façon, réparties sur l'ensemble du territoire. Environ **17 000 agriculteurs multiplicateurs** spécialisés et détenteurs d'un savoir-faire reconnu dans le monde entier assurent le travail de multiplication des semences **sur une surface de l'ordre de 380 000 ha en France.**

Sur l'ensemble de ces chiffres, la production de semences biologiques implique 140 entreprises et 1 400 agriculteurs multiplicateurs, qui assurent la production de près de 600 variétés de 114 espèces différentes sur 23 000 ha (soit une augmentation des surfaces de 30 % depuis 2018 et un doublement du nombre de variétés bio produites en 5 ans) (Source : SEMAE).

## D. Les productions animales : des cheptels diversifiés aux trajectoires divergentes

Sauf exception mentionnée, les données présentées sont issues de Graph'Agri 2023.

Près de 145 000 exploitations sont consacrées à l'élevage, soit 37 % de l'ensemble des exploitations françaises. Les dernières statistiques confirment une dynamique de long terme, à savoir la **décapitalisation des filières d'élevage bovin, ovin et porcin, à la fois en termes démographiques, économiques et de surfaces mobilisées**. Les effectifs bovins ont baissé de plus de 10 % depuis 10 ans, le nombre de fermes détenant des bovins de plus de 25 %. Les dynamiques des dernières décennies ont cependant été différentes entre les élevages bovins laitiers et allaitants. En élevage ovin, les effectifs ont baissé de 11 % depuis 2012, le nombre de fermes ovines de 36 %. L'effectif des élevages porcins a quant à lieu diminué de 60 % entre 2010 et 2020.

- **Les élevages bovins laitiers**

Restant une composante majeure de l'élevage hexagonal avec près de 68 000 exploitations recensées en 2022, l'élevage bovin laitier voit ses effectifs se contracter, avec environ 3,2 millions de vaches laitières (- 2.7 % en un an), contre plus de 7 millions au début des années 1980. Malgré cette baisse, la collecte de lait de vache, après avoir fortement décliné à la suite de l'instauration des quotas laitiers de 1984, avait retrouvé en 2015 son niveau de 1980 du fait de l'augmentation de la production de lait par vache. Néanmoins, cette collecte diminue depuis deux ans en raison notamment de l'arrêt de nombreux producteurs ou de la conversion vers la production de céréales et de difficultés liées à la production de fourrages (sécheresses). Elle représente 23 milliards de litres de lait environ, de l'ordre de 7 000 litres de lait par vache et par an.

Géographiquement, le cheptel bovin laitier est présent principalement dans l'arc laitier des Pays de la Loire, de la Bretagne et de la Normandie, abritant 52 % des effectifs de vaches laitières en 2022. À ces pôles du Grand Ouest s'ajoutent, avec une moindre densité d'élevage, les plaines de l'Est et les zones d'élevage des massifs montagneux (la Franche-Comté, les Alpes du Nord et le Massif central). Il subsiste ainsi une relative diversité de contextes paysagers dans lesquels s'épanouit l'élevage bovin laitier. En outre, les exploitations laitières reposent pour 23 % d'entre elles sur l'association de plusieurs formes d'élevage bovin (« bovin mixte »), modèles essentiellement représentés dans le Massif Central et le Grand Est, ou encore s'exercent dans des schémas de polyculture/élevage<sup>24</sup>.

En dépit de la dynamique de décapitalisation affectant le secteur, **la France demeure le 2<sup>ème</sup> producteur laitier en Europe**, derrière l'Allemagne. La taille moyenne des troupeaux reste toutefois bien inférieure à celle des pays nordiques européens, de l'Allemagne ou du Royaume-Uni, où les fermes de plus de 1 000 vaches sont courantes. **La ferme laitière moyenne française élève 47 vaches. 57 % des fermes possèdent moins de 70 vaches laitières, 4 % seulement plus de 150**. La tendance est à l'agrandissement des troupeaux : en 2020, 36 % des vaches laitières se trouvent dans des élevages d'au moins 100 vaches, contre 11 % en 2010.

En valeur, les produits laitiers représentent 12 % de la production agricole nationale. **Avec une cinquantaine d'AOC, une dizaine d'IGP, des groupes de transformation dans le top 15 mondial, la filière laitière française occupe une place visible sur la scène internationale**. En Europe, l'Allemagne et la France se détachent nettement devant la Pologne, suivie par les Pays-Bas et l'Italie. Sur le plan mondial toutefois, ces deux pays figurent loin derrière l'Inde ou les États-Unis d'Amérique.

---

<sup>24</sup> Agreste, « Les exploitations bovines laitières en France métropolitaine en 2020 », Novembre 2023.

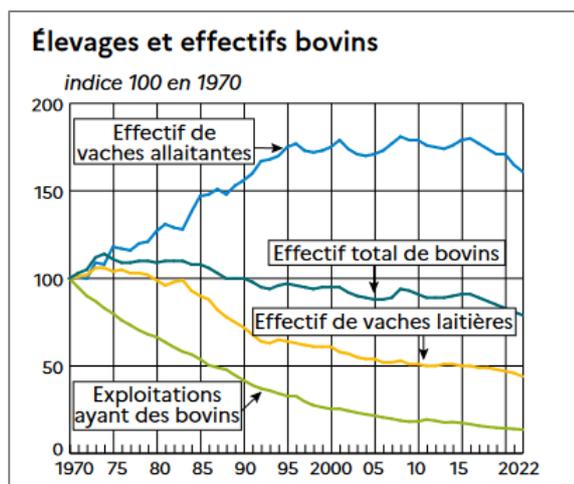


Figure 11 : Elevages et effectifs bovins  
Source : Graph'Agri 2023

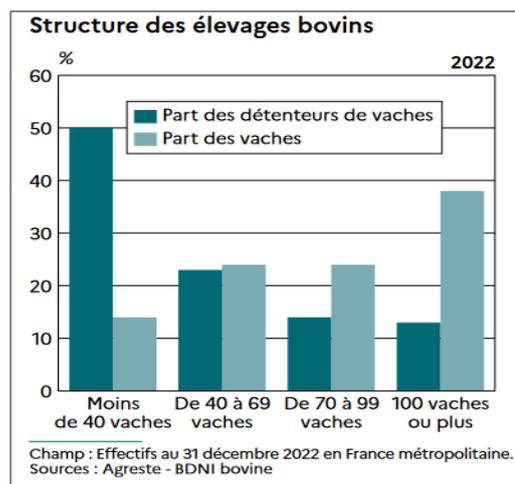


Figure 10 : Structure des élevages bovins  
Source : Graph'Agri 2023

## • Les élevages bovins viande

**116 000 exploitations élèvent des vaches allaitantes en 2022, avec un cheptel total de 3,8 millions de têtes (contre 2,9 en 1983), effectif en déclin depuis 2015.**

En tendance, après avoir augmenté régulièrement, la production de viande bovine décroît depuis 30 ans et retrouve aujourd'hui son niveau de 1970, avec 1600 milliers de tonne-équivalent-carcasse (tec) en 2022.

L'élevage bovin allaitant s'étend essentiellement dans les régions herbagères du centre de la France, à savoir le Massif Central, la Bourgogne, le Poitou-Charentes ou le Limousin. Cinq départements, Saône-et-Loire, Allier, Creuse, Cantal et Aveyron, comptant chacun près de 150 000 têtes de vaches allaitantes, abritent 23 % du cheptel bovin allaitant de la France métropolitaine.

**La taille des élevages de vaches allaitantes reste limitée : 64 % ont entre 5 et 50 animaux<sup>25</sup>. Seuls 10 % des élevages détiennent plus de 100 vaches allaitantes.**

La filière viande bovine possède des liens étroits avec la filière laitière puisque cette dernière lui fournit des veaux et des vaches laitières de réforme. La majeure partie des veaux mâles laitiers (61 % en 2016) est ainsi destinée à la filière des "veaux de boucherie". Hormis 1 % des veaux laitiers mâles qui sont destinés à la reproduction, le restant est également destiné à la filière viande au sens large (jeune bovin, export maigre ou bœuf). Les veaux femelles issues du cheptel laitier sont quant à elles à 69 % destinées à la reproduction).

**Avec ses vastes surfaces de prairies permanentes, la France constitue pourtant de loin le premier cheptel bovin européen, devant l'Allemagne, l'Irlande et l'Espagne.** En effet, la production de brouillards (bovins maigres de plus de 160 kg élevés en pâture, hors veaux), est une spécialisation notable de la filière

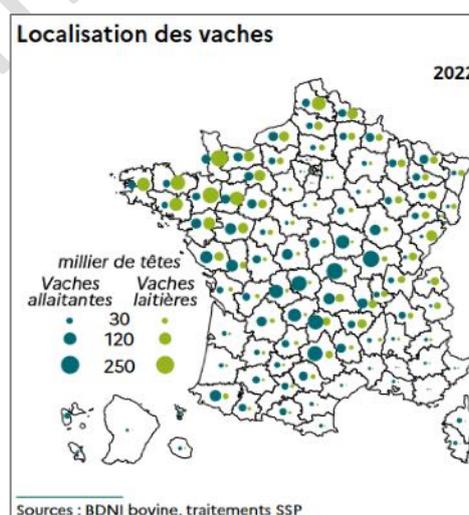


Figure 12 : Localisation des vaches  
Source : Graph'Agri 2023

<sup>25</sup> [https://idele.fr/?eID=cmis\\_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F5173106d-ab95-464e-8ce4-073ec3c92720&cHash=35c67b92156dc7c82a91d5b5d235276a](https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F5173106d-ab95-464e-8ce4-073ec3c92720&cHash=35c67b92156dc7c82a91d5b5d235276a)

française. Cette production est largement dépendante de l'export (1,1 million de brouillards sur 1,5 million de bovins exportés), à 80 % vers l'Italie (dans une moindre mesure vers l'Espagne et l'Algérie). Dans des zones géographiques distinctes, la filière bovine française produit également des bovins engraisés (gros bovins finis) dont les vaches représentent environ 50 %.

**À compléter :** Vérifier l'homogénéité des différentes sources concernant les données sur les exploitations détenant des cheptels

## • Les élevages ovins

L'élevage ovin est également en recul. **Avec près de 6,6 millions de têtes en 2022, le cheptel ovin français est en baisse de 5,7 % par rapport à 2021 et de 11,5 % par rapport à 2012.** Le nombre d'exploitations ovines continue de chuter, passant de **50 300 à 32 300 unités** entre 2012 et 2022 (- 36 %), alors qu'elles étaient encore 95 000 en 2000. **Malgré cette décapitalisation, la France possède le 4<sup>ème</sup> troupeau ovin à l'échelle européenne, derrière l'Espagne, la Roumanie et la Grèce.**

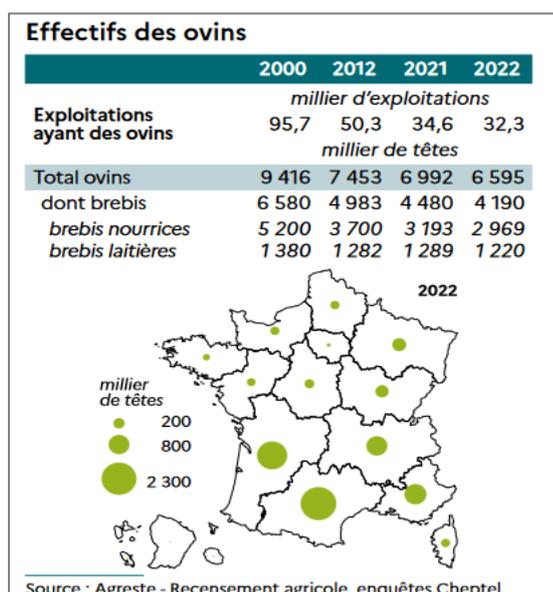


Figure 13 : Effectifs des ovins

Source : Graph'Agri 2023

Les effectifs de brebis allaitantes se sont érodés de manière plus significative que ceux de brebis laitières sur la décennie écoulée (- 19,8 % contre 4,8 %). Géographiquement, le cheptel laitier se concentre dans trois bassins (Roquefort, Ossau-Iraty, Broccio), tandis que le cheptel allaitant se situe essentiellement dans le sud de la France.

Les importations de viande ovine reculent globalement depuis 15 ans, accompagnant la baisse de la consommation. Elles ont cependant bondi en 2022 (+ 13,6 %). Mais la production française, de l'ordre de 80 milliers de tonne-équivalent-carcasse (tec), ne parvient à couvrir que 50 % de la consommation nationale.

La production de lait de brebis avoisine les 300 millions de litres de lait par an, en légère baisse en 2022 après une dynamique de hausse régulière depuis plusieurs décennies. La collecte de lait de brebis était trois fois inférieure en 1980.

## • Les élevages caprins

**Le cheptel caprin comprend un effectif moindre avec 1,3 million de têtes réparties entre 11 200 exploitations en 2022.** Ce type d'élevage s'inscrit dans une trajectoire plus favorable que les productions animales évoquées précédemment. L'effectif total de caprins est stable depuis 2012, mais le nombre d'exploitations tend à s'éroder. La production de viande caprine correspond à environ 6,3 milliers de tec en 2022. **Les entreprises laitières françaises ont collecté 527 millions de litres de lait de chèvre en 2022** (+ 1,7 % en un an), confirmant le dynamisme de la filière. La Nouvelle-Aquitaine conserve en 2022 son statut de 1<sup>ère</sup> région caprine, avec plus du tiers du cheptel et de la production totale. Les établissements de la région fabriquent les trois-quarts des fromages industriels de chèvre.

La production française de lait de chèvre représente un poids significatif à l'échelle européenne, comptant pour un peu moins d'un tiers de la collecte, désormais dépassée par celle des Pays-Bas.

- **Les élevages porcins**

En 2022 le cheptel porcine français comprend 12,1 millions de têtes, en réduction de presque 6 % sur un an, prolongeant une décrue moyenne annuelle de 1,3 % sur les dix années précédentes. On ne dénombre en 2020 qu'un peu plus de 13 000 élevages porcins, contre 22 000 en 2010 et presque 60 000 en 2000. Cette baisse s'est accompagnée d'une forte concentration, 66 % des élevages possédant désormais plus de 2000 animaux.

Les trois quarts des effectifs porcins se trouvent dans les régions de la façade atlantique, en Bretagne (55,8 % des porcins français), Pays de la Loire (11,1 %) et Nouvelle-Aquitaine (6,8 %). La production de viande porcine représente 2 180 milliers de tec, couvrant à peu près la consommation nationale. Avec 9 % du cheptel européen, la France occupe la troisième place, nettement derrière l'Espagne (25 % du cheptel européen) et l'Allemagne (16 %).

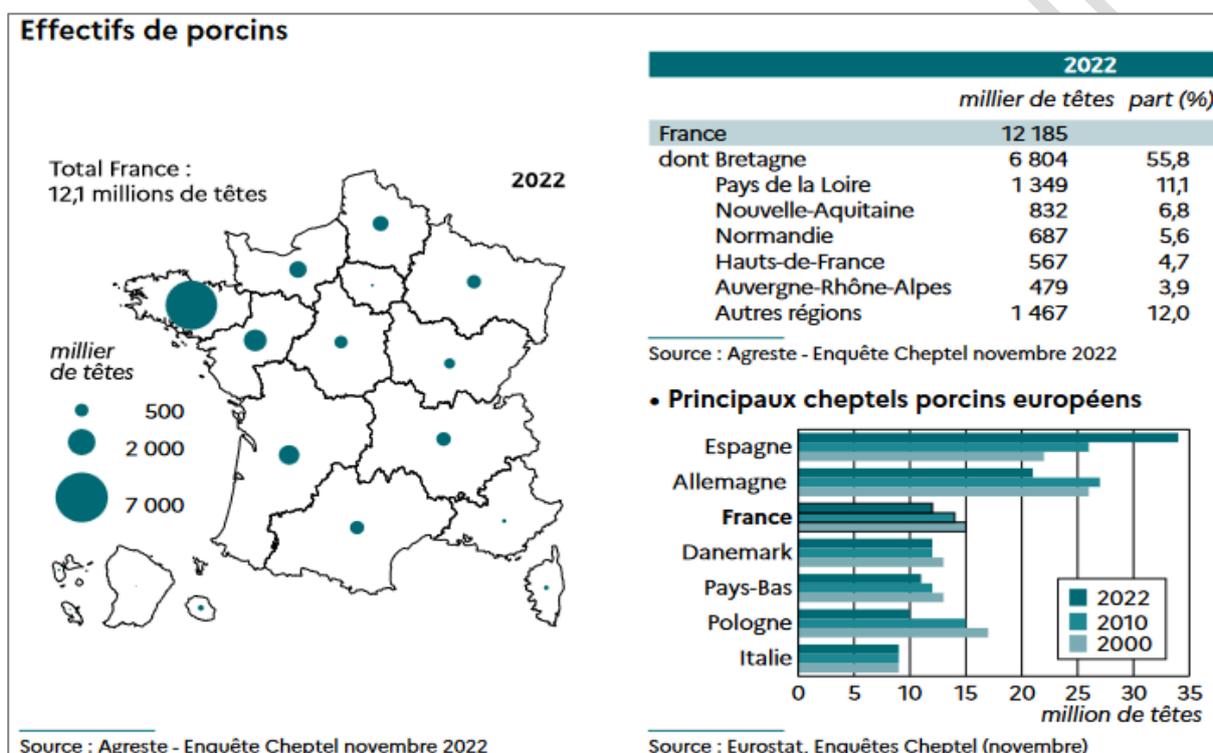


Figure 14 : Effectifs de porcins

Source : Graph'Agri 2023

- **Les élevages avicoles**

Si la filière française de volailles de chair regroupe différentes espèces (poulets, dindes, canards et oies, pintades, cailles), ce sont les élevages de poulets qui dominent largement : ils ont fourni, en 2022, 1,16 million de tec, soit les ¾ de la production totale (1,55 million de tec). Cette proportion s'est accentuée ces dernières années en lien avec la décrue de la production de canards particulièrement affectée par l'épizootie d'influenza aviaire (- 30 % depuis 2021, - 50 % depuis 2010) et la baisse de la production de dindes (respectivement - 17 % et - 37 %). La production totale de volaille de chair a reculé de 7,8 % entre 2021 et 2022.

Le cheptel de poulets de chair s'est légèrement contracté en 2022, reculant à 143,3 millions d'animaux (- 5,2 % sur un an), mais reste supérieur de 10 % aux effectifs de 2000 (129,9 millions). Il se répartit dans 8 500 exploitations. La majorité des élevages (44 %) possèdent de 2 000 à 10 000 poulets, cependant les deux tiers des poulets appartiennent à des exploitations de plus de 20 000 animaux. La filière est très concentrée géographiquement, la Bretagne et les Pays de la Loire abritant 53 % des effectifs.

Effectif des poulets de chair et des poules pondeuses					
	2000	2010	2015	2021	2022 <sup>P</sup>
	million de têtes				
Poules pondeuses d'œufs de consommation	48,1	45,6	53,4	57,3	nd
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	129,9	141,7	155,4	151,3	143,3

Note : données 2010 et 2015 rebasées, suite au Recensement agricole de 2020.  
Source : Agreste - Statistique agricole annuelle

Figure 16 : Effectif des poulets de chair et des poules pondeuses

Source : Agreste – Statistique agricole annuelle

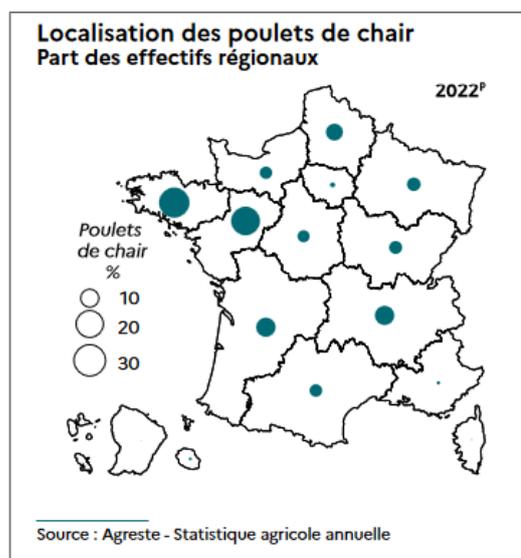


Figure 15 : Localisation des poulets de chair – part des effectifs régionaux

Source : Agreste – Statistique agricole annuelle

Le déficit du commerce extérieur de viandes de volailles atteint 1,16 milliards d'euros en 2022 (après 566 millions d'euros en 2021), du fait de l'explosion des importations (+ 10,5 % en un an, + 80 % depuis 2010), majoritairement en provenance de Pologne et de Belgique et, désormais, d'Ukraine, tandis que les exportations régressent. **La moitié de la viande de volaille de chair consommée en France est importée, alors que la consommation ne cesse d'augmenter (en moyenne 27,9 kg équivalent carcasse en 2022 contre 23,7 en 2010).** La France demeure toutefois le 3<sup>ème</sup> producteur de poulets et le 1<sup>er</sup> producteur de dindes en Europe.

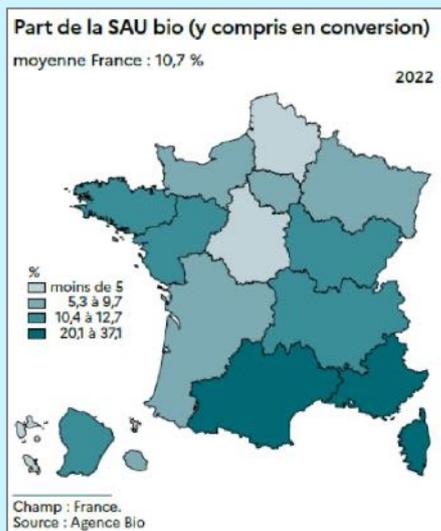
S'agissant de l'élevage de poules pondeuses, le cheptel est stable ces deux dernières années, mais comprend presque 20 % de poules de plus qu'en 2000 : il s'élève à environ 47 millions de têtes à un instant donné, pour des capacités de production de 57 millions (vides sanitaires compris). La moitié des 2 250 élevages comprend de 2 000 à 10 000 poules, cependant 55 % des poules sont élevées dans des élevages de plus de 50 000 têtes, 20 % dans des élevages de 20 000 à 50 000 têtes. Ces dernières sont principalement situées en Bretagne où sont élevés 35 % des effectifs de poules pondeuses.

Les systèmes d'élevage avicole se sont beaucoup adaptés ces dernières années, progressant nettement en matière de bien-être animal. **Les 2/3 des poules pondeuses sont aujourd'hui issues d'élevages dits alternatifs dont 16 % en agriculture biologique, 28 % en plein air et 26 % au sol, proportion ayant doublé depuis 2016 et signant l'abandon progressif des systèmes d'élevage en cage.** Les élevages français ont produit en 2022 15,4 milliards d'œufs, en léger repli de 1,6 % sur un an, mais en hausse de presque 25 % depuis 2005, pour un tonnage de 943 milliers de tonnes-équivalent-œuf-coquille (teoc). La part d'œufs issus de modalités d'élevages alternatives atteint 62 % en 2022 (55 % en 2021).

Dans le contexte de pénurie d'œufs liée à la grippe aviaire, les importations françaises d'œufs ont sensiblement augmenté en 2022 (+ 31 %), en provenance notamment des Pays-Bas, tandis que les exportations ont régressé (- 12 %). La balance extérieure française se creuse avec un déficit estimé à 64 200 teoc en 2022. Néanmoins, la France demeure le 1<sup>er</sup> producteur d'œufs européen (14 % de la production) devant l'Allemagne (14 %), l'Espagne (12 %), l'Italie (12 %), et les Pays-Bas (10 %). La consommation des Français atteint 14,5 kg équivalent-œuf-coquille par personne en 2022 contre 14 en 2021 et 12,5 kg en 2010.

## Productions végétales et animales en agriculture biologique

En 2022, plus de 60 000 exploitations sont engagées en agriculture biologique (AB), en conversion ou certifiées, représentant 10,7 % de la SAU totale (2,9 millions d'hectares). La progression des surfaces AB continue, mais ralentit dans le contexte de baisse du marché. Ce sont les PPAM (plantes à parfum, aromatiques et médicinales), les vignes et les fruits qui sont les productions végétales les plus couramment cultivées selon le mode biologique. Les grandes cultures AB sont en hausse de 4 % (10 % en 2021), mais ne sont conduites en agriculture biologique que sur 7 % de leurs surfaces. Les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse et Occitanie ont ainsi les parts de SAU en AB les plus importantes (respectivement 36 %, 22 et 19 % des surfaces). En productions animales, ce sont les poules pondeuses, suivies des brebis laitières et des chèvres qui sont les plus couramment élevées selon le mode AB.



**Figure 17 : Part de la SAU bio (y compris en conversion)**

Source : Agence Bio

### • Productions végétales

	Exploitations		Surface bio <sup>2</sup>	
	nombre		millier d'hectares	part %
Surfaces fourragères	37 993		1 674	13,2
Céréales, oléagineux et protéagineux	22 214		781	6,9
Vigne	11 952		171	21,5
Fruits	15 379		68	17,5
Légumes frais (y. c. pommes de terre)	14 475		50	11,1
Plantes à parfum, aromatiques et médicinales	4 774		17	29,1

### • Productions animales

	Exploitations		Animaux bio	
	nombre		millier de têtes	part %
Vaches laitières	5 256		302	8,8
Vaches allaitantes	6 730		232	5,8
Brebis laitières	746		166	13,6
Brebis viande	2 678		293	8,7
Chèvres	1 578		121	12,7
Truies reproductrices	733		20	1,9
Poulets de chair	1 066		13 617	1,7
Poules pondeuses	2 757		9 636	20,3
Apiculture <sup>3</sup>	1 372		237	22,8

2. Certification bio et en conversion.

3. Nombre d'apiculteurs et de ruches.

Champ : France.

Sources : Agence Bio, Agreste - Enquête annuelle laitière

En grandes cultures, les rendements en AB sont inférieurs à ceux de l'agriculture conventionnelle, avec des écarts variables selon les espèces et les régions<sup>26</sup>. En 2022, l'écart est le plus important pour le blé tendre (- 57 %), suivi des orges (- 46 %) et du maïs non irrigué (- 35 %). Il n'est que de 28 % en tournesol et 26 % en soja (en moyenne sur les 5 dernières années).

## E. Exportations et importations : la place de la France dans les échanges agricoles et alimentaires internationaux

Les crises sanitaires et géopolitiques récentes ont mis en évidence les fragilités du système agricole et alimentaire national, illustrées désormais dans le débat public par la notion de souveraineté alimentaire. Ce concept, initialement porté au niveau international par le mouvement altermondialiste lors du Sommet

<sup>26</sup> [https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Pri2308/Primeur2023-8\\_RendementsGdesCultures.pdf](https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Pri2308/Primeur2023-8_RendementsGdesCultures.pdf)

mondial de l'alimentation à Rome en 1996, a ainsi vu sa définition évoluer, se rapprochant désormais plutôt de questions de stratégie et de sécurisation de l'alimentation. Nous présentons ici un bref éclairage sur les grandes lignes de la place de l'agriculture nationale dans les échanges internationaux.

**La France a été en 2022 le 6<sup>ème</sup> exportateur mondial en valeur de produits agricoles et alimentaires, avec une part de marché de 4,5 %. Elle était le 2<sup>ème</sup> il y a 20 ans.** Parmi les exportations françaises, le secteur agricole et agroalimentaire occupe la 3<sup>ème</sup> place après le secteur aéronautique et spatial et le secteur de la chimie, parfums et cosmétique.<sup>27</sup> Ce sont surtout les exportations de vins et spiritueux qui pèsent dans les comptes et le bilan global cache de grandes disparités entre filières : malgré ses vastes surfaces agricoles et les volumes produits, la France n'est pas autonome pour son alimentation. Selon les productions, il peut s'agir d'un déficit d'offre lié à un manque de compétitivité (exemple des fruits et légumes), mais aussi d'un décalage entre les caractéristiques et qualité des productions françaises et la demande des consommateurs (cas du secteur bovin), ou encore d'une transformation agroalimentaire délocalisée avant réimportation (cas du blé dur). Certains secteurs montrent ainsi une forte dépendance aux importations, logiquement pour les fruits tropicaux, le riz et l'huile de palme, beaucoup moins pour la viande ovine et le poulet, le blé dur, le soja, certains fruits et légumes tempérés. À l'inverse, certaines filières structurellement excédentaires sont largement exportatrices et peuvent assurer l'autosuffisance alimentaire<sup>28</sup> nationale (céréales, sucre) ou pourraient l'assurer si les caractéristiques de la production française correspondaient aux attentes des consommateurs (importation de vins de moyenne gamme). Elles peuvent contribuer à la sécurité alimentaire d'autres pays (cas des céréales exportées dans les pays du bassin méditerranéen) et/ou jouer un rôle géostratégique via le maintien de certaines relations commerciales.

FranceAgriMer<sup>29</sup> a rassemblé un ensemble d'indicateurs de souveraineté alimentaire pour les principales productions agricoles et agroalimentaires sur les trois dernières années. Cette étude illustre bien les distinctions à opérer entre filières, selon le taux potentiel d'auto-provisionnement, le taux de couverture de la consommation par la production nationale, la capacité d'exportation et la dépendance aux importations. Il rappelle aussi la complexité du sujet : 13 produits sur les 30 suivis ont à la fois un fort taux de dépendance aux importations et une capacité d'exportations supérieure à 20 % (pomme de terre, vin, sucre, viande porcine, ovoproduits, crème, fromage, poudre de lait écrémée, poudre de lactosérum, colza, tournesol, féveroles, blé dur). Un tableau présenté en Annexe 2 résume la situation pour les principales filières agricoles françaises.

- **Un grand pays exportateur de céréales**

**En blé tendre, maïs et orge, la France dispose d'un très bon taux de couverture de la consommation par la production nationale et d'une forte capacité d'exportation.** En moyenne, sur les cinq dernières campagnes (2018/19 à 2022/23)<sup>30</sup>, la France a exporté la moitié de sa production, soit plus de 31 Mt de céréales sur 64 Mt produites. Ces exportations sont composées de 54 % de blé tendre, 21 % d'orges et 14 % de maïs. C'est l'Union européenne qui constitue le premier marché des ventes françaises de céréales (53 % de l'export total), en particulier Belgique, Pays-Bas et Espagne. Les exportations vers les pays tiers concernent essentiellement l'Algérie, le Maroc et la Tunisie pour le blé, la Chine pour l'orge, et le Royaume-Uni et la Suisse pour le maïs.

En blé dur, le taux d'auto-provisionnement est largement excédentaire. Ce qui n'empêche pas la forte dépendance aux importations en pâtes sèches et semoule, les grains étant exportés pour transformation.

---

<sup>27</sup> <https://infographies.agriculture.gouv.fr/post/732617117218832384>

<sup>28</sup> Capacité à subvenir aux besoins nationaux

<sup>29</sup> [https://www.franceagrimer.fr/content/download/70677/document/ETU-2023-SOUVERAINETE\\_ALIMENTAIRE.pdf](https://www.franceagrimer.fr/content/download/70677/document/ETU-2023-SOUVERAINETE_ALIMENTAIRE.pdf)

<sup>30</sup> Fiche filière - Céréales - FranceAgriMer - 2024

- **Mais une dépendance aux importations croissante pour son alimentation**

La situation est contrastée pour les oléagineux et protéagineux. Malgré un bon taux d'auto-provisionnement, la France s'affiche de plus en plus dépendante des importations de colza dont la demande est portée par les usages en biocarburants et pour les tourteaux en remplacement de soja importé (voir B.3). En soja, cette dépendance aux importations reste forte (67 %) malgré une nette amélioration de la production nationale de graines (voir B.3). Ce dernier élément est à nuancer selon les graines et les tourteaux : la France a un meilleur taux d'auto-provisionnement en graines (48 %) du fait d'une faible demande intérieure par manque d'usines de trituration sur le territoire, mais elle ne produit que 13 % du tourteau de soja qu'elle consomme.

**En fruits et légumes tempérés, du fait de la forte baisse de la production depuis 20 ans, la dépendance aux importations s'accroît** : le taux de couverture de la consommation par la production nationale n'est que de 63 % en fruits, 67 % en légumes frais, 74 % en pomme de terre.

Comme évoqué plus haut, **la perte de souveraineté alimentaire s'accroît aussi en viande ovine et, à un rythme beaucoup plus rapide, en poulets**. Les élevages français peinent à répondre à la demande nationale, l'augmentation de la production de volailles ne suffisant pas à répondre à la hausse très dynamique<sup>31</sup> de la consommation des viandes blanches (taux de croissance annuel moyen de 4 % entre 2012 et 2022 contre une baisse de 0,5 % en moyenne par an de viande bovine sur la même période).

**En viande bovine, malgré un taux d'auto-provisionnement restant supérieur à 90 %, la demande entraîne des importations représentant en moyenne 21 % de la consommation sur les trois dernières années**, toujours selon les données France Agrimer. Ce taux pourrait encore augmenter si une baisse de consommation n'accompagne pas la décapitalisation du cheptel évoquée plus haut. Le flux traditionnel d'exportations de bœufs vers l'Italie, désormais bien structuré, s'explique en partie par les différences de préférences de consommation entre France et Italie, ainsi que des orientations historiques de la PAC qui ne rémunèrent pas les bœufs. De la même façon, malgré l'autosuffisance du secteur, les importations couvrent 26 % de la consommation de viande porcine : les consommateurs français préfèrent certaines pièces comme les jambons qui doivent être en partie importés, contrairement à des morceaux comme les oreilles ou les pieds qui sont plutôt exportés.

## **F. Les usages de biomasse agricole : connexions entre filières, débouchés croissants et conflits à venir**

La biomasse agricole produite sur les sols français est valorisée principalement pour l'alimentation humaine et l'alimentation animale, mais aussi pour d'autres usages, en particulier énergétiques et textiles, en fort développement. La complexité des flux et les connexions entre les différentes filières sont matérialisées dans les diagrammes de Sankey qui ont été élaborés lors du projet AF Filières mené par le GIS Avenir Elevage, disponibles pour chaque espèce végétale<sup>32</sup>. Ces flux conservent une certaine souplesse et sont chaque année corrélés à la qualité des productions au moment de la récolte, ou à son évolution lors du stockage.

La cartographie générale des flux annuels de biomasse estimés en France est présentée en Annexe 1. **La production totale de biomasse agricole est évaluée à environ 217 Millions de tonnes de Matière Sèche (MtMS) par an<sup>33</sup>. Une part essentielle de cette biomasse (40 %) n'est pas valorisée directement, mais "retourne au sol", contribuant au maintien de la fertilité des sols et potentiellement au stockage de carbone lorsque les apports sont supérieurs aux pertes par minéralisation; en partie après utilisation par l'élevage.**

---

<sup>31</sup> <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/SynCsm23412/consyn412202307-ConsoViande.pdf>

<sup>32</sup> <https://www.flux-biomasse.fr/>, pour l'année 2015

<sup>33</sup> SGPE, La planification écologique dans l'agriculture - 9 juin 2023 – Point d'étape

Celui-ci valorise annuellement plus de 110 MtMS, essentiellement des ressources non valorisables pour l'alimentation humaine (herbe, fourrages, tourteaux de graines oléagineuses après extraction de l'huile, coproduits des industries agro-alimentaires). Pour la campagne 2022 - 2023, près de 8,7 Mt de céréales, soit environ 15 % de la production totale (60,5 Mt) ont été utilisées par l'industrie de l'alimentation animale<sup>34</sup>, dont environ la moitié pour les volailles, un quart pour les porcins et moins d'un cinquième pour les bovins. Avec les prairies temporaires, les oléo-protéagineux, les fourrages annuels, on peut estimer environ 35 % (chiffre à préciser) les surfaces arables françaises destinées à l'alimentation animale (prenant en compte des clés d'allocation pour les oléagineux et protéagineux et considérant uniquement les cultures produites et consommées en France, hors importations de soja et exportations de céréales notamment) (Sources Intercéréales, Terres Univia, Graph'Agri).

Les usages énergétiques (biocarburants et biogaz) consomment aujourd'hui moins de 5 % des tonnages produits. Enfin, une partie de la biomasse produite sur le territoire hexagonal (12 %) est exportée, essentiellement sous forme de céréales (blé, orge et maïs).

#### À approfondir :

- Quantifier plus précisément si possible la question de la compétition entre usages de biomasse (alimentation humaine vs animale notamment)

### La complexité des flux agricoles et du maintien de la fertilité des sols : des dépendances entre filières de production, entre agriculture biologique et conventionnelle

Si la traditionnelle association cultures - élevage au sein des fermes a diminué avec la spécialisation de l'agriculture, **les différents systèmes de production restent interdépendants, à des échelles spatiales variables** : une partie des productions végétales est utilisée pour nourrir les animaux d'élevage, les effluents d'élevage assurent en retour une part de la fertilisation des sols via les engrais organiques.

**Les filières biologiques et conventionnelles partagent par ailleurs un destin commun**<sup>35</sup>, les fertilisants utilisables en agriculture biologique (UAB) comme les fumiers, les digestats de méthanisation, ou les vinasses de sucrerie, pouvant être en partie issus du circuit conventionnel, hormis dans le cadre de certains labels ayant des exigences supérieures au label AB (notamment Demeter et Biocoherence). Dans les régions sans élevage, l'augmentation des surfaces biologiques a pu créer des tensions sur les approvisionnements en fertilisants organiques. À l'avenir, des problèmes de disponibilité sont à prévoir du fait de l'utilisation par les cultures conventionnelles d'une quantité croissante d'engrais organiques, plus à même de préserver ou d'augmenter les taux de matière organique des sols, et ce d'autant plus si la baisse de la consommation d'engrais minéraux est encouragée pour diminuer les émissions de GES liées à leur fabrication (voir partie 3.B).

Le maintien de la fertilité des sols en agriculture biologique est ainsi particulièrement dépendant d'autres filières : il est étroitement lié à la disponibilité de surfaces de production en légumineuses (source d'azote primaire), mais également à la disponibilité de sources d'azote secondaire telles que les effluents d'élevage et les nouvelles ressources que sont les digestats de méthanisation notamment issus de biodéchets dont la collecte est désormais obligatoire depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2024. La fertilité actuelle des sols et donc la composition des produits peuvent par ailleurs reposer sur des apports d'engrais minéraux passés : des travaux<sup>36</sup> ont évalué à 72 % la part du phosphore actuel des productions biologiques provenant des engrais de synthèse accumulés lors de la période précédente, conduite en conventionnel.

La concentration des gisements de fertilisants organiques dans les régions spécialisées en élevage pose la question de leur transportabilité et de la répartition spatiale des productions sur le territoire.

---

<sup>34</sup> Chiffres clés 2023 - Intercéréales

<sup>35</sup> <https://agriculture.gouv.fr/etude-prospective-sur-lestimation-des-besoins-actuels-et-futurs-de-lagriculture-biologique-en>

<sup>36</sup> <https://hal.inrae.fr/tel-02810775>

Le gisement de matières fertilisantes repose aussi sur les coproduits des industries agroalimentaires et les déchets alimentaires, qui peuvent également être valorisés en alimentation animale. Ce sujet sera abordé plus largement lors de la deuxième phase du projet, qui étudiera l'aval de la production agricole (transformation, distribution et consommation).

### **Des débouchés énergétiques appelés à se développer : biocombustibles, biocarburants et biogaz**

C'est en réponse à l'obligation de gel des terres instaurée par la réforme de la Politique Agricole Commune (1992) et à la recherche de débouchés non alimentaires qu'ont émergé les filières agricoles des biocarburants dans les années 1990-2000. Désormais, puisqu'elle permet une utilisation moindre d'énergies fossiles, par effet de substitution, la valorisation de la biomasse en énergie est encouragée par les politiques publiques, le territoire disposant d'une importante ressource, agricole et forestière, dont on estime pouvoir compter sur des volumes additionnels conséquents. Dans le cadre global de l'atténuation du changement climatique, la Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse<sup>37</sup> rappelle qu'il s'agit dans le même temps d'assurer une meilleure indépendance énergétique et d'œuvrer en faveur d'une meilleure résilience économique des entreprises agricoles et forestières, par le développement de filières rémunératrices, tout en visant à s'assurer de la durabilité des pratiques et de la préservation de la santé des sols.

- **La biomasse agricole en remplacement du fuel dans les chaudières**

Un premier débouché énergétique correspond aux usages directs de biomasse agricole comme combustible, tel que le miscanthus utilisé en chaudières biomasse polycombustibles. Cette culture pérenne au fort pouvoir calorifique est récoltée en sec à la fin de l'hiver et peut être utilisée directement dans ces chaudières adaptées. La filière ne représente qu'une surface limitée, soit 20 % des 10 500 hectares de miscanthus cultivés aujourd'hui en France métropolitaine<sup>38</sup>, mais les surfaces augmentent régulièrement ces dernières années, de l'ordre de 10 % par an. Avec un rendement de 10 à 20 tonnes de matière sèche, un hectare de miscanthus peut remplacer l'équivalent de 6 000 litres de fuel en moyenne<sup>39</sup>.

- **Les biocarburants en remplacement d'une part de pétrole**

Les biocarburants sont des carburants de substitution issus de biomasse et incorporés aux carburants d'origine fossile.

La filière bioessence comprend essentiellement :

- **l'éthanol, ou bioéthanol**, incorporé dans les SP 95-E5 ou 98-E5 (5 % d'éthanol), le SP95-E10 (10 % d'éthanol) et le E85 (jusqu'à 85 % d'éthanol), produit par fermentation des sucres contenus dans les **betteraves et céréales** (blé et maïs en grande majorité), puis distillation ;
- **l'éther éthyle tertio-butyle ou ETBE**, fabriqué à partir d'éthanol et d'isobutène d'origine fossile et plus facile à mettre en œuvre d'un point de vue technique.

**En 2020, environ 1,1 milliard de litres<sup>40</sup> de biocarburants ont été incorporés à la filière essence, soit 11 % du volume d'essence mis à la consommation, essentiellement du bioéthanol (70 %) et de l'ETBE (26 %).** Il faut préciser que la matière première ne venait de France qu'à hauteur moyenne de 65 % (78 % pour le bioéthanol), correspondant à un équivalent de 705 millions de litres incorporés et de 7 % du volume

---

<sup>37</sup>

<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Strat%C3%A9gie%20Nationale%20de%20Mobilisation%20de%20la%20Biomasse.pdf>

<sup>38</sup> <https://france-miscanthus.org/debouches/energie-renouvelable/>

<sup>39</sup> Ibid.

<sup>40</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Panorama%20des%20biocarburants%20incorpor%C3%A9s%20en%20France.pdf>

d'essence. En surface, **les cultures utilisées pour cet usage carburant représentent environ 3 %<sup>41</sup> de la surface en céréales et plantes sucrières** (environ 330 000 ha, surface à préciser).

La **filière biodiesel** comprend essentiellement :

- **les esters méthyliques d'acides gras (EMAG), en particulier les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV)**, obtenus à partir de plantes oléagineuses, essentiellement du **colza**, utilisés en mélange dans le gazole de manière banalisée à hauteur de 7 % ;
- **les huiles végétales hydrotraitées gazole (HVHTG)**, dorénavant principalement obtenus à partir d'**huiles alimentaires usagées**, de **graisses animales** et de **colza** en lieu et place de l'huile de palme désormais interdite.

La fabrication de biodiesel aboutit à la production de "coproduits" : tourteaux utilisés en alimentation animale, glycérine pouvant être utilisée dans l'industrie pharmaceutique ou cosmétique.

**En 2020, environ 2,9 milliards de litres<sup>42</sup> de biocarburants ont été incorporés à la filière diesel, soit 7,9 % du volume de gazole mis à la consommation, essentiellement des EMHV (87 %) et des HVHTG (12 %).** La matière première d'origine française ne représentait que 38 % de la production, correspondant à un équivalent de l'ordre de **3 % du volume de gazole**.

**Le pourcentage de réduction des émissions de GES permis par les biocarburants par rapport au carburant fossile est estimé à 63 % en moyenne<sup>43</sup> (en kgCO<sub>2</sub>e par MégaJoule).** D'autres travaux<sup>44</sup> montrent que de manière générale, sans tenir compte des changements d'utilisation des terres, les biocarburants produits en France montrent des bilans énergétiques et climatiques largement meilleurs que ceux des carburants fossiles. Néanmoins des nuances sont à apporter à ces résultats si le développement de cultures énergétiques conduit à la disparition de prairies ou zones humides, modifiant en conséquence largement le bilan des émissions de GES, ou s'il s'accompagne d'autres impacts environnementaux tels que des atteintes à la biodiversité (ce qui peut être le cas pour certaines productions telles que le soja et l'huile de palme).

Ces carburants correspondent à la première génération de biocarburants, qui utilisent des productions agricoles pouvant entrer en concurrence avec la consommation alimentaire, mais générant par ailleurs des co-produits (drèches, tourteaux) pour l'alimentation animale. La filière biocarburants liquides a ainsi permis de renforcer l'autonomie protéique de la France (de 25 % en 1980 à 50 % aujourd'hui) par une réduction des importations d'alimentation animale, notamment de soja déforestant<sup>45</sup> (voir partie I.2.C). La recherche se focalise aujourd'hui sur les carburants de deuxième génération, produits à partir de biomasse lignocellulosique (résidus de cultures comme la paille, cultures ligneuses dédiées), qui sont amenés à se développer malgré la difficulté du passage à l'échelle industrielle.

### • **Des débouchés croissants en méthanisation**

La méthanisation consiste à produire du gaz par fermentation de matières organiques, et en particulier de biomasse agricole, gisement qui offre en France le potentiel méthanisable majoritaire (90 % de l'énergie potentielle<sup>46</sup>). La valorisation du biogaz évolue ces dernières années de la cogénération d'électricité à l'injection directe dans les réseaux de gaz, qui offre un meilleur rendement énergétique et pour laquelle les tarifs de rachat de gaz sont aujourd'hui plus favorables.

---

<sup>41</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/biocarburants>

<sup>42</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Panorama%202020%20des%20biocarburants%20incorpor%C3%A9s%20en%20France.pdf>

<sup>43</sup> Ministère de la Transition Ecologique, 2020. Panorama 2020, Biocarburants incorporés dans les carburants en France, p.36 et 37

<sup>44</sup> <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/1394-analyses-de-cycle-de-vie-appliquees-aux-biocarburants-de-premiere-generation-consommes-en-france.html>

<sup>45</sup> <https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2023-10/20211220-S2021-1718-politique-developpement-biocarburants.pdf>

<sup>46</sup> [https://librairie.ademe.fr/cadic/8158/Avis\\_technique\\_M\\_\\_thanisation.pdf](https://librairie.ademe.fr/cadic/8158/Avis_technique_M__thanisation.pdf)

L'essor de ce débouché est porté conjointement par les politiques de transition énergétique et de gestion des déchets. **Le facteur d'émission du biogaz, ou biométhane, est en effet estimé entre 5 et 10 fois plus faible<sup>47</sup> que celui du gaz fossile.** L'obligation désormais faite aux collectivités locales de collecter les biodéchets<sup>48</sup> les conduit à s'impliquer dans la filière, cependant sa croissance continue à reposer sur des installations agricoles, le gisement des biodéchets des collectivités, les boues d'épuration et les déchets organiques des industries représentant une faible part des gisements mobilisables<sup>49</sup>.

**En décembre 2023 sont dénombrées 1920 installations de production de biogaz<sup>50</sup>, dont :**

- **652 unités en injection, dont 85 % à la ferme, pour une production totale d'environ 9 TWh/an de biométhane injecté** (12 TWh/an de capacité), soit 2,4 % de la consommation nationale actuelle de gaz ;
- **1 065 en cogénération**, produisant de l'électricité à partir de biogaz, raccordées au réseau électrique pour une puissance électrique de 599 MW, soit **1,6 TWh** ;
- **203 en chaleur seule.**

580 nouveaux sites en sont au stade projet, mais pas spécifiquement dans les zones d'élevage, alors que **les effluents d'élevage constituent aujourd'hui plus de la moitié des intrants utilisés en méthanisation<sup>51</sup>.** Les autres ressources utilisées sont les coproduits des industries agro-alimentaires (16 %), des cultures intermédiaires à vocation énergétique ou CIVE (13 %) et des cultures principales dédiées (5,5 %). Une fraction (8,5 %) de la biomasse méthanisée n'est pas issue de l'agriculture et comprend notamment déjà des biodéchets des ménages. La variabilité des pouvoirs méthanogènes des intrants impose de les combiner pour un fonctionnement optimal des installations.

**Le développement d'unités de méthanisation dans les zones sans élevage, basées sur le recours à des CIVE intégrées à la rotation, peut soulever des interrogations quant à la performance agronomique et environnementale globale du système.** Certains travaux<sup>52</sup> ont montré que l'insertion dans les rotations de CIVE potentiellement fertilisées pour produire le maximum de biomasse pouvait bien constituer un levier d'atténuation (en plus de substituer du gaz fossile par du biométhane, elles stockent plus de C dans les sols que les couverts végétaux classiques grâce à leur biomasse plus importante), mais pouvait parfois entraîner un besoin accru en fertilisation et en ressources en eau à l'échelle de la rotation. Une étude menée en région Ile-de-France<sup>53</sup> montre aussi des effets contrastés, tendant à l'augmentation de la couverture des sols et du stockage de carbone, mais une diminution potentielle de la recharge en eau et une augmentation de la volatilisation ammoniacale.

Plus largement, le rôle de la méthanisation dans la transition agroécologique est sujette à débat<sup>54</sup> : si la méthanisation (à l'origine en cogénération) a émergé en réponse à la nécessité d'une meilleure maîtrise des pollutions par les nitrates, notamment dans l'Ouest de la France, les enjeux agroécologiques semblent tenir désormais une place minoritaire dans la construction de la politique publique de la méthanisation, comparativement aux enjeux énergétiques. Ainsi, la méthanisation, s'adossant aux systèmes agricoles et les modifiant, peut parfois améliorer, parfois dégrader la durabilité de ces systèmes, sans être une voie systématique vers l'agroécologie. En d'autres termes, la méthanisation peut assurer une soutenabilité partielle (réduction des émissions de GES de l'élevage, stockage de C dans les sols grâce aux CIVE) mais n'engage pas nécessairement les acteurs agricoles dans une transition systémique, n'ayant pas à elle-seule le pouvoir de faire basculer un système vers l'agroécologie<sup>55</sup>. La définition d'une méthanisation réellement agroécologique comprendrait la transition vers l'autonomie en fertilisants et une moindre consommation de

---

<sup>47</sup> Ibid.

<sup>48</sup> Loi AGECE (Anti-Gaspillage pour une Economie Circulaire)

<sup>49</sup> [https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8158/Avis\\_technique\\_M\\_methanisation.pdf](https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8158/Avis_technique_M_methanisation.pdf)

<sup>50</sup> [https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/ser-panoramagazrenouvelables2023\\_web.pdf](https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/ser-panoramagazrenouvelables2023_web.pdf)

<sup>51</sup>

[https://www.franceagrimer.fr/content/download/69402/document/20221007\\_RESSOURCES\\_EN\\_BIOMASSE\\_ET\\_METHANISATION\\_2022\\_WEB-V2.pdf](https://www.franceagrimer.fr/content/download/69402/document/20221007_RESSOURCES_EN_BIOMASSE_ET_METHANISATION_2022_WEB-V2.pdf)

<sup>52</sup> <https://pastel.hal.science/tel-04207003>

<sup>53</sup> <https://agriculture.gouv.fr/performances-agronomiques-et-environnementales-de-la-methanisation-agricole-sans-elevage-analyse>

<sup>54</sup> [https://pastel.hal.science/tel-04190138v1/preview/118091\\_CADIOUS\\_2023\\_archivage.pdf#page=2](https://pastel.hal.science/tel-04190138v1/preview/118091_CADIOUS_2023_archivage.pdf#page=2)

<sup>55</sup> <https://revue-sesame-inrae.fr/la-methanisation-agricole-en-france-entre-opportunité-energetique-et-transition-agroecologique-1-2/>

produits phytosanitaires, le maintien des cultures pérennes, l'attention portée à la biodiversité, le développement de CIVE multi-espèces ayant d'autres objectifs que la seule production d'énergie, et la recherche de sobriété et d'autonomie énergétique<sup>56</sup>.

- **Des conflits d'usage à anticiper**

Si la biomasse agricole était autrefois traditionnellement destinée en partie à des débouchés énergétiques (pour l'alimentation des animaux de trait notamment), les flux de biomasse attirés vers ces nouveaux débouchés de biogaz et biocarburants peuvent se placer en concurrence directe avec les usages actuels en alimentation humaine et animale. Un exemple connu en zone de grandes cultures est celui des pulpes de betteraves, co-produits des industries sucrières, historiquement majoritairement réservées à l'alimentation animale en retour des livraisons de betteraves, mais de plus en plus intégrées aux « rations » des méthaniseurs. Ceci illustre la concurrence directe sur la biomasse, entre des usages destinés à l'alimentation animale ou la production d'énergie, qui peut s'exercer à l'échelle de certains territoires. Concurrence qui ne pourra que s'intensifier avec la perspective de nouvelles utilisations de ces mêmes pulpes en substitution de combustibles fossiles dans les sucreries, selon les feuilles de route de décarbonation de ces industries prévues dans le Plan de Transition Sectoriel Sucre<sup>57</sup>.

**Dans le contexte du changement climatique en cours, en conditions d'aléas météorologiques récurrents et de ressources en eau et en énergie contraintes, les hypothèses de production de biomasse agricole sont soumises à de grandes incertitudes, alors même que les enjeux de décarbonation impliquent un recours croissant à cette ressource, en particulier pour les autres secteurs économiques.** Sans sobriété énergétique accélérée, des conflits d'usage croissants sont à attendre et vont poser la question du meilleur usage possible pour une ressource donnée. Collectivement, produire durablement plus de biomasse, comestible et non comestible, requiert de maximiser la photosynthèse par unité de surface, en conditions de ressources limitées et sans atteinte supplémentaire (et même plutôt en réduisant les atteintes) aux écosystèmes. Le secteur agricole est ainsi appelé à jouer un rôle très important dans la transition énergétique. Les usages agronomiques (retour au sol et stockage de carbone) et énergétiques (exportation de la biomasse) peuvent être antinomiques et doivent s'équilibrer. En matière climatique, un compromis devra être trouvé entre l'augmentation du stockage de carbone dans les sols agricoles (voir partie C.3) et l'utilisation de biomasse agricole en substitution aux énergies fossiles. Ces questions seront étayées dans les chapitres suivants.

Globalement, même avec l'hypothèse ambitieuse de nouvelles ressources agricoles et forestières de 30 MtMS/an (soit environ 10 % des tonnages actuels), le bouclage biomasse de la planification écologique semble difficilement assuré en 2030<sup>58</sup>. Afin de renforcer les connaissances, le suivi et le pilotage de ces ressources a été lancé lors du Salon International de l'Agriculture 2024 le **GIS Biomasse**<sup>59</sup>, instance d'expertise sur les usages de la biomasse, associant l'INRAE, l'ADEME, FranceAgriMer et l'IGN. FranceAgriMer est déjà chargé de la gestion de l'ONRB, Observatoire National des Ressources en Biomasse<sup>60</sup>, qui assure l'identification et la quantification des ressources disponibles en France et leurs utilisations.

**A approfondir : Suivre et prendre en compte les travaux du GIS Biomasse**

---

<sup>56</sup> <https://revue-sesame-inrae.fr/la-methanisation-agricole-en-france-entre-opportunit-e-energetique-et-transition-agroecologique-2-2/>

<sup>57</sup> [https://bibliographie.ademe.fr/cadic/7667/memo\\_pts\\_sucres\\_vf.pdf](https://bibliographie.ademe.fr/cadic/7667/memo_pts_sucres_vf.pdf)

<sup>58</sup> Secrétariat Général à la Planification Écologique, 2023. La planification écologique dans l'agriculture - 9 juin 2023 – Point d'étape

<sup>59</sup> <https://agriculture.gouv.fr/sia2024-lancement-dun-groupe-dinteret-scientifique-gis-en-faveur-de-la-biomasse>

<sup>60</sup> <https://www.franceagrimer.fr/Eclairer/Outils/Observatoires/Observatoire-National-des-Ressources-en-Biomasse-ONRB>

## 2. Des dépendances et des vulnérabilités qui s'accroissent

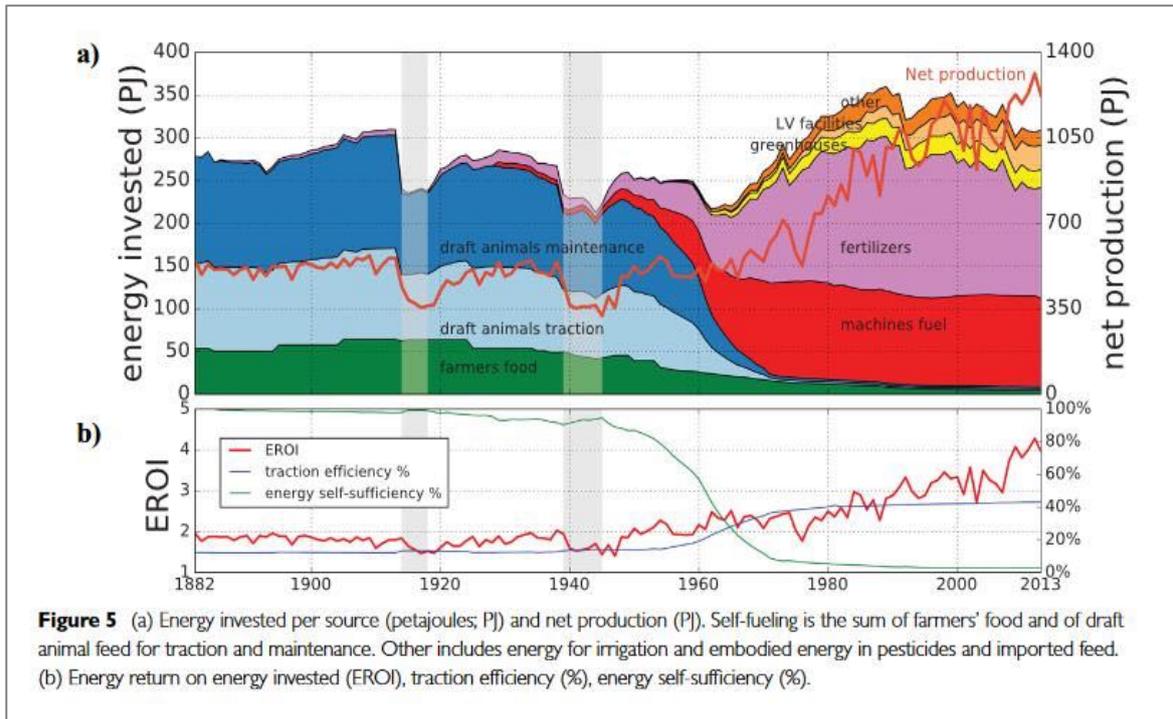
Au cours de la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, l'agriculture française est devenue totalement dépendante des énergies fossiles, que ce soit pour les carburants des tracteurs ou la fabrication de fertilisants azotés devenus nécessaires aux niveaux de productivité actuels. Une partie majoritaire des intrants nécessaires à son fonctionnement est aujourd'hui importée (engrais, alimentation animale), le recours aux produits phytosanitaires est devenu la norme, la biodiversité cultivée a eu tendance à s'homogénéiser. S'il s'est toujours adapté aux évolutions météorologiques, économiques, sociales et politiques, le monde agricole est soumis aujourd'hui à une accélération des changements à intégrer, le dérèglement climatique bousculant des systèmes et des filières construits sur des temps longs et exacerbant leur vulnérabilité intrinsèque.

### A. Un système agricole devenu totalement dépendant des énergies fossiles

De la même façon qu'elle a modifié drastiquement le fonctionnement de tous les secteurs économiques, l'utilisation exponentielle du pétrole dans la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle a totalement révolutionné les pratiques agricoles. **D'une part, les tracteurs et engins automoteurs ont – en un temps record d'une vingtaine d'années – remplacé la traction animale qui prévalait jusqu'alors, permettant une explosion de la productivité par actif, le tout dans un contexte de prix de carburant attractif et d'accès au crédit bancaire facilité. D'autre part, la généralisation de l'usage des engrais azotés de synthèse, fabriqués à partir de gaz naturel, a permis une augmentation sans précédent des rendements et un doublement de la biomasse agricole produite entre 1960 et 2010<sup>61</sup>.** Le pétrole et le gaz se sont ainsi totalement substitués aux énergies humaines et animales : d'un système autonome énergétiquement, par autoconsommation d'une partie de la biomasse produite sur ses sols, le secteur agricole est passé à un système quasi totalement dépendant des énergies fossiles. L'assolement français s'en est trouvé bouleversé, les surfaces d'avoine destinées à l'alimentation des chevaux déclinant très rapidement, de même que celles des légumineuses, qui assuraient traditionnellement une fourniture minimum d'azote aux rotations.

---

<sup>61</sup> Harchaoui S. & Chatzimpiros P., 2018. "Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882–2013", *Journal of Industrial Ecology* 23(2), pp. 412-425



**Figure 5** (a) Energy invested per source (petajoules; PJ) and net production (PJ). Self-fueling is the sum of farmers' food and of draft animal feed for traction and maintenance. Other includes energy for irrigation and embodied energy in pesticides and imported feed. (b) Energy return on energy invested (EROI), traction efficiency (%), energy self-sufficiency (%).

**Figure 18 : a) Energie investie par source et production nette (petajoules – PJ) et b) Retour énergétique sur énergie investie et autosuffisance énergétique**

Source : Harchaoui S. & Chatzimpiros P. (2018)

## • Les consommations directes d'énergie fossile par le secteur

**Le gazole est aujourd'hui la première source d'énergie consommée directement à l'échelle des fermes** : ce sont les carburants des tracteurs et automoteurs à moteur diesel qui en constituent le principal poste de dépense énergétique (53 %) <sup>62</sup>, suivis par le fonctionnement et le chauffage des installations (notamment bâtiments d'élevage, 11 %, et serres, 10 %), l'irrigation, le séchage des grains et fourrages, etc.

**En 2017, le secteur agricole a consommé environ 4,1 Mtep <sup>63</sup>, soit moins de 3 % de la consommation totale française.** Tirée par la mécanisation croissante des travaux agricoles, cette consommation a augmenté de façon régulière durant la période 1970-2000, mais s'est depuis stabilisée. **Elle repose majoritairement sur les produits pétroliers (72 %), le gaz fournissant 6 % des besoins. Les autres sources d'énergie sont l'électricité (18 %) et les énergies renouvelables (4 %), toutes deux en croissance.**

Il faut noter qu'en 2015, **le secteur agricole a contribué à la production de 4,6 Mtep d'énergies renouvelables <sup>64</sup>, représentant 20 % de la production nationale** (96 % pour les biocarburants et 83 % pour l'éolien - Chiffres 2017), soit une production d'énergies renouvelables légèrement supérieure à sa consommation directe d'énergie.

**L'usage des énergies fossiles a aussi révolutionné, en les facilitant, le transport des fertilisants et des denrées agricoles, leur conservation, les filières de transformation, les circuits de distribution,**

<sup>62</sup> <https://agriculture.gouv.fr/decarbonation-de-lenergie-utilisee-en-agriculture-lhorizon-2050>

<sup>63</sup> Ibid.

<sup>64</sup> <https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/915/synthese-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf>

dessinant peu à peu une nouvelle logistique de toute la filière agricole et agro-alimentaire. Cette nouvelle géographie agricole et alimentaire s'est calée dans le même temps sur la concentration de la consommation dans les villes, à mesure de l'urbanisation du territoire. Ces transports intérieurs comme extérieurs posent fortement question à moyenne échéance et supposent de réfléchir à la répartition des activités agricoles sur le territoire d'une part, à notre dépendance aux marchés étrangers d'autre part, dans un avenir où l'approvisionnement en énergie sera contraint. Ces questions seront approfondies lors de la deuxième phase du projet consacré à l'agroalimentaire et à l'alimentation.

- **Des intrants non énergétiques d'origine fossile : les engrais azotés de synthèse**

Ils ont révolutionné l'agriculture du XX<sup>ème</sup> siècle dans les pays du Nord. **Les engrais azotés de synthèse, dont la fabrication repose sur le procédé Haber-Bosch développé avant la Première Guerre mondiale, ont permis une hausse spectaculaire des rendements, notamment en céréales, aidés par la sélection variétale et le recours aux traitements phytosanitaires. En France, le rendement moyen du blé tendre passe ainsi de 15 quintaux par hectare en 1950 à 70 quintaux par hectare dans les années 1990<sup>65</sup>.** Globalement, la corrélation entre rendements et apports d'engrais azotés est très élevée<sup>66</sup>. Le recours aux fertilisants de synthèse va alors progressivement faire éclater les systèmes de production traditionnels, basés sur l'association de cultures et d'élevage, encore mis en œuvre en 1950 dans la plupart des régions françaises<sup>67</sup>.

### Azote et fertilisation des cultures

L'azote (N) est le principal facteur limitant de la croissance des végétaux. S'il se trouve en abondance dans l'air (78 % du volume) sous forme de diazote (N<sub>2</sub>), il ne peut être absorbé et valorisé directement que par les plantes appartenant à la famille des Légumineuses (luzerne, trèfle, soja, pois, haricot, lentille, féverole, etc.). Celles-ci jouissent en effet de la faculté unique de créer des symbioses avec des bactéries du sol du genre *Rhizobium*, qui induisent la formation de nodosités fixatrices de diazote sur les racines des plantes. Ce phénomène, qualifié de fixation symbiotique, permet la conversion de l'azote atmosphérique en "azote réactif" (nitrate ou ammonium), qui est alors mobilisable pour la plante pour constituer ses molécules organiques et assurer son développement. De ce fait, les légumineuses fournissent la seule porte d'entrée d'azote symbiotique dans les agroécosystèmes ; un rôle majoritairement rempli par les cultures de soja, représentant 2/3 de la quantité de N<sub>2</sub> fixé dans le monde par les légumineuses à graines (14 sur 21 Mt)<sup>68</sup>.

L'azote peut se trouver en quantité suffisante dans certains sols particulièrement riches, mais les systèmes agricoles (productions végétales) reposent sur des apports d'azote, via la fertilisation, pour compenser les exportations par les récoltes. Environ 80 % de l'apport en azote sur les parcelles agricoles provient aujourd'hui directement d'engrais azotés de synthèse ou engrais minéraux (ammonitrates, urée, solutions azotées, etc.), sources d'azote primaires, fabriqués industriellement à partir d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), lui-même issu du procédé Haber-Bosch qui permet de fixer le diazote atmosphérique en combinaison

<sup>65</sup> [https://www.academie-](https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/publications/encyclopedie/01.02.r02_rendement_moyen_annuel_du_ble_tendre.pdf)

[agriculture.fr/sites/default/files/publications/encyclopedie/01.02.r02\\_rendement\\_moyen\\_annuel\\_du\\_ble\\_tendre.pdf](https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/publications/encyclopedie/01.02.r02_rendement_moyen_annuel_du_ble_tendre.pdf)

<sup>66</sup> <https://agriculture.gouv.fr/geographie-economique-des-secteurs-agricole-et-agroalimentaire-francais-quelques-grandes-tendances>

<sup>67</sup> Devienne, S. 2018. Les révolutions agricoles contemporaines en France. In Chouquer, G., & Maurel, M. (Éds.), *Les mutations récentes du foncier et des agricultures en Europe*. Presses universitaires de Franche-Comté

<sup>68</sup> Herridge, D.F., Peoples, M.B. & Boddey, R.M. 2008. *Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems*, Plant Soil. New South Wales Department of Primary Industries

avec de l'hydrogène (H<sub>2</sub>)<sup>69</sup>. Cet hydrogène est aujourd'hui essentiellement issu de ressources fossiles, en particulier du gaz fossile qui est utilisé à la fois comme matière première dans le procédé de vaporeformage du gaz et comme combustible. Les 20 %<sup>70</sup> d'apports restants sont assurés par des fertilisants organiques (déjections animales, boues de stations d'épuration, composts...), sources secondaires dont l'azote est partiellement issu de la fertilisation minérale.

L'apport d'engrais azoté de synthèse est interdit par le cahier des charges de l'Agriculture Biologique, qui repose uniquement sur des apports de fertilisants organiques, aujourd'hui majoritairement issus d'élevages bovins<sup>71</sup>, et sur la fixation symbiotique assurée par les légumineuses incluses dans la rotation.

#### Azote, protéines et qualité des productions

Le cahier des charges exigé pour la commercialisation des céréales comprend généralement un taux minimum de protéines, corrélé à la disponibilité en azote pour les cultures (et inversement proportionnel au rendement par phénomène de dilution). Les recommandations de fertilisation pour un objectif de rendement donné visent donc à concilier rendement et taux de protéines élevé.

Les légumineuses donnent des fourrages (luzerne, trèfle, lupin) ou des graines (soja, pois, féveroles,...) très riches en protéines : elles sont les plus intéressantes en termes de richesse protéique (oscillant entre 18 et 42 %, soit 2 à 3 fois plus que pour les cultures céréalières), de valeur nutritionnelle (teneur supérieure en fibres), et souvent les plus performantes en termes de production de protéines par hectare, le tout sans fertilisation azotée. La traditionnelle pratique des méteils associant céréales et légumineuses permet la production d'un fourrage équilibré (ratio énergie/protéine adapté et bonne complémentarité protéique, les légumineuses étant riches en lysine au contraire des céréales).

La culture des légumineuses en association concerne aussi bien les prairies (association graminées - légumineuses) que les parcelles cultivées (cultures simultanées ou en relais, utilisation dans les couverts végétaux). Il existe par ailleurs des arbres et arbustes fixateurs d'azote (robiniers faux-acacias, aulnes, ...) qui peuvent exister ou être implantés dans les paysages agricoles (haies ou plantations agroforestières).

**Aujourd'hui, en agriculture conventionnelle, la quasi-totalité des surfaces de céréales, colza, betteraves ou encore pommes de terre est fertilisée avec de l'azote minéral<sup>72</sup>. La consommation totale d'engrais azotés de synthèse représente environ 2 millions de tonnes d'azote par an, répartis entre les ammonitrates (37 %), les solutions azotées (31 %), l'urée (20 %) et les autres produits azotés (12 %)<sup>73</sup>. En hausse continue après les années 1960, les livraisons d'engrais azotés de synthèse se sont stabilisées depuis les années 1990 autour d'une consommation moyenne par hectare fertilisable de l'ordre de 80/85 kg d'azote<sup>74</sup>, avec une décorrélation entre cette consommation et la production totale de céréales et colza<sup>75</sup>, signe d'une efficacité accrue de leur utilisation.**

**Si la France dispose de quatre sites de production sur le territoire, leurs capacités de production (0,8 Mt) sont insuffisantes pour subvenir à la consommation nationale actuelle : les engrais minéraux azotés sont donc aujourd'hui importés à hauteur de 75 %, dont l'urée et les solutions azotées à presque**

<sup>69</sup> [https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8111/PTS\\_Ammoniac\\_synthese.pdf](https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8111/PTS_Ammoniac_synthese.pdf)

<sup>70</sup> <https://agriculture.gouv.fr/prospective-des-matieres-fertilisantes-dorigine-residuaire-mafor-lhorizon-2035-analyse-ndeg-176>

<sup>71</sup> <https://agriculture.gouv.fr/estimation-des-besoins-actuels-et-futurs-de-lagriculture-biologique-en-fertilisants-organiques>

<sup>72</sup> [https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2009/cd2020-9\\_%20PK%20\\_GC2017b.pdf](https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2009/cd2020-9_%20PK%20_GC2017b.pdf)

<sup>73</sup> [https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8111/PTS\\_Ammoniac\\_synthese.pdf](https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8111/PTS_Ammoniac_synthese.pdf)

<sup>74</sup> <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/economie/l-agriculture-ressources/article/les-livraisons-d-engrais-en-france>

<sup>75</sup> <https://www.unifa.fr/actualites-et-positions/la-fertilisation-azotee-en-france-un-atout-rendement-et-qualite-pour-les>

100 %, les ammonitrates à 53 %, **en provenance de pays européens (Allemagne, Belgique), mais aussi hors Union européenne (Algérie, Egypte, États-Unis, Russie)**<sup>76</sup>. La filière est fortement exposée à la concurrence internationale.

## **B. D'autres ressources critiques non renouvelables : exemple du phosphore**

En plus de la généralisation des engrais azotés de synthèse, **la modernisation agricole de la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle a également reposé sur l'utilisation croissante d'engrais phosphatés et potassiques, issus de ressources minières par essence non renouvelables**. Phosphore et potassium sont des nutriments indispensables à la croissance des plantes et leur teneur dans les sols cultivés peut être un facteur limitant du rendement. **Si les livraisons de phosphore et de potasse ont suivi celles des engrais azotés jusqu'aux années 1990, elles sont néanmoins revenues aujourd'hui à leur niveau des années 1950-1960**<sup>77</sup>.

**Utilisés en « engrais de fond » et généralement apportés sur les têtes de rotation, ces fertilisants restent consommés de façon régulière sur les cultures exigeantes**. Ainsi, maïs grain, lin fibre et pomme de terre sont, dans plus de 60 % des surfaces, amendés en phosphore minéral<sup>78</sup>. Pour la campagne 2020/2021, les livraisons de phosphore ont représenté environ 450 000 tonnes d'engrais<sup>79</sup>. Longtemps importés bruts en France<sup>80</sup>, les phosphates naturels sont aujourd'hui transformés sur place par les pays producteurs produisant eux-mêmes les différents engrais phosphatés. Les fournisseurs de la France sont principalement le Maroc (les gisements étant situés au Sahara occidental), abritant 70 % des réserves mondiales, et la Tunisie.

Selon certains travaux<sup>81</sup>, la moitié de la fertilité actuelle des sols en phosphore provient du recours aux engrais minéraux, suggérant la difficulté des systèmes agricoles contemporains à s'affranchir de cette ressource. **Or le phosphate et les roches phosphatées, dont le marché des engrais constitue à hauteur de 90 % le principal débouché, font depuis 2014 partie de la liste de matières premières critiques de l'Union européenne**<sup>82</sup>. Le moment où les ressources mondiales en phosphore seraient épuisées, pour certains estimé à l'échéance d'un siècle, fait l'objet de débat<sup>83</sup>. Par ailleurs l'extraction minière des roches phosphatées est source d'impacts environnementaux conséquents<sup>84</sup>.

**Pour une gestion plus durable de la ressource, le recyclage plus efficace des matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR), telles que les effluents d'élevage et les boues de station d'épuration, est une piste majeure à travailler**<sup>85</sup>. Les quantités de phosphore présentes dans les MAFOR pourraient en effet couvrir l'ensemble des prélèvements annuels de phosphore par la production agricole et permettre de s'affranchir du recours aux engrais phosphatés minéraux<sup>86</sup>.

**Cet exemple du phosphore illustre la fracture métabolique qui s'est instaurée entre lieux de production et lieux de consommation de la biomasse agricole, notamment alimentaire. Jusqu'au**

<sup>76</sup> [https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8111/PTS\\_Ammoniac\\_synthese.pdf](https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8111/PTS_Ammoniac_synthese.pdf).

<sup>77</sup> <https://agriculture.gouv.fr/geographie-economique-des-secteurs-agricole-et-agroalimentaire-francais-quelques-grandes-tendances>

<sup>78</sup> [https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2009/cd2020-9\\_%20PK%20\\_GC2017b.pdf](https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2009/cd2020-9_%20PK%20_GC2017b.pdf)

<sup>79</sup> [https://www.unifa.fr/sites/default/files/2022-09/livraisons-des-engrais-en-france-metropolitaine\\_2020-2021-regions\\_0.pdf](https://www.unifa.fr/sites/default/files/2022-09/livraisons-des-engrais-en-france-metropolitaine_2020-2021-regions_0.pdf)

<sup>80</sup> <https://lelementarium.fr/product/acide-phosphorique/>

<sup>81</sup> Demay J., Ringeval B., Pellerin S et al. (2023). Half of global agricultural soil phosphorus fertility derived from anthropogenic sources. *Nature Geoscience*. 5 January 2023

<sup>82</sup> Danino-Perraud R., « Phosphates et agriculture : de la géologie à la géopolitique », Sébastien Abis éd., *Le Déméter 2021*. IRIS éditions, 2021, pp. 95-113

<sup>83</sup> <https://agriculture.gouv.fr/vers-une-gestion-durable-du-phosphore-ressource-critique-pour-lagriculture-analyse-ndeg-93>

<sup>84</sup> Ibid.

<sup>85</sup> <https://agriculture.gouv.fr/prospective-des-matieres-fertilisantes-dorigine-residuaire-mafor-lhorizon-2035-analyse-ndeg-176>

<sup>86</sup> <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/mafor-synthese-vf-oct2014.pdf>

XIX<sup>ème</sup> siècle, le retour des nutriments au sol était assuré par le transfert des déjections humaines et animales et des résidus des abattoirs et des activités industrielles des villes vers les campagnes, dans cette « *quête incessante d'engrais pouvant compléter les fumiers de ferme jugés insuffisants* »<sup>87</sup>. **L'éloignement des zones de consommation alimentaire des zones d'épandage possibles, du fait de l'urbanisation, et l'invention du tout-à-l'égout pour le traitement des eaux usées ont accru les besoins de fertilisation minérale par le non-retour au sol des déchets organiques, tandis que les nutriments sont en partie perdus dans les rivières et océans.** L'obligation de collecte des biodéchets depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2024 laisse toutefois présager d'un meilleur recyclage dans les prochaines années.

## C. Une dépendance aux importations de soja pour l'alimentation animale

**Le système agricole français est soumis à la forte dépendance d'importations de protéines végétales, en provenance du continent américain, à destination des animaux d'élevage. Cette dépendance est la conséquence directe de choix politiques passés :** dans le contexte de la décolonisation qui modifie les flux de graines oléagineuses à l'échelle mondiale, des accords commerciaux laissent à l'Europe le libre accès au soja des États-Unis en échange de la protection des marchés céréaliers européens, puis de la limitation de la production d'oléagineux<sup>88</sup>. La modernisation de l'élevage européen se développe alors en partie sur la base du modèle américain dit « maïs-soja », qui associe l'apport énergétique du maïs aux apports protéiques<sup>89</sup> du soja dans la ration des vaches laitières. L'apport protéique pour les élevages de monogastriques devient également rapidement (le plus) dépendant du soja importé (voir plus bas).

**Malgré des politiques de soutien successives via des « Plans Protéines »<sup>90</sup> et une baisse de la consommation depuis les années 2000, la France reste toujours déficitaire en protéines végétales** et a importé en 2023 environ 2,7 millions de tonnes de tourteaux de soja et près de 400 000 tonnes de graines de soja, les deux tiers environ provenant désormais du Brésil<sup>91</sup>. **Ce soja est issu dans certains cas de cultures résultant de la déforestation**, et utilisant de grandes quantités d'herbicides. Les estimations montrent qu'environ 1,5 % du soja annuellement produit au Brésil serait issu de la conversion directe d'écosystèmes naturels dans les cinq années précédentes (hors conversion indirecte, c'est-à-dire le fait que la conversion de pâturages en culture de soja puisse repousser les activités d'élevage extensif vers d'autres lieux où les zones de végétation naturelle sont converties en pâturages), ce qui représente une faible proportion de la production totale mais un impact environnemental absolu fort puisque le soja brésilien utilise 34 millions d'hectares. Par ailleurs, **près de 50 % des approvisionnements de soja vers la France présenteraient un risque de contenir du soja issu de la conversion**<sup>92</sup> (pour la majorité de ces volumes, les risques seraient faibles). **Du fait de ces tonnages conséquents, le soja est la denrée agricole importée qui pèse le plus lourd dans l'empreinte surface (ou empreinte terre : surface nécessaire dans les pays producteurs pour satisfaire les importations) du système agroalimentaire**<sup>93</sup>, et pour plus de 40 %<sup>94</sup> de l'empreinte des matières premières à risque de déforestation.

Sur les cinq dernières années, la production française de soja tourne autour de 400 000 tonnes, avec un rendement de l'ordre de 25 quintaux/hectare sur une surface de 154 à 187 000 hectares<sup>95</sup>. En 2015, les

---

<sup>87</sup> <https://www.cairn.info/revue-pour-2018-4-page-49.htm>

<sup>88</sup> Berlan J.-P., Bertrand J.-P., Lebas L., Marlene M, 1976. Les conditions de la concurrence internationale entre soja, arachide et colza. In : Économie rurale. N°11, Les produits alimentaires stratégiques - deuxième partie, pp. 10-22

<sup>89</sup> Avec 35 % de protéines dans la graine à maturité, le soja est la plante la plus riche en protéines.

<sup>90</sup> <https://www.terresunivia.fr/decouvrir-terres-univia/l-interprofession/historique>

<sup>91</sup> <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/72952/document/MOL-0124.pdf?version=1>

<sup>92</sup> CST Forêt (Trase, Canopée, IDDRI), <https://www.deforestationimportee.ecologie.gouv.fr/>

<sup>93</sup> SOLAGRO, 2022. La face cachée de nos consommations, Quelles surfaces agricoles et forestières importées ?

<sup>94</sup> [https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2023-12/etudes\\_1\\_importations\\_sndi\\_decembre%202023\\_0.pdf](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2023-12/etudes_1_importations_sndi_decembre%202023_0.pdf)

<sup>95</sup> <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/72952/document/MOL-0124.pdf?version=1>.

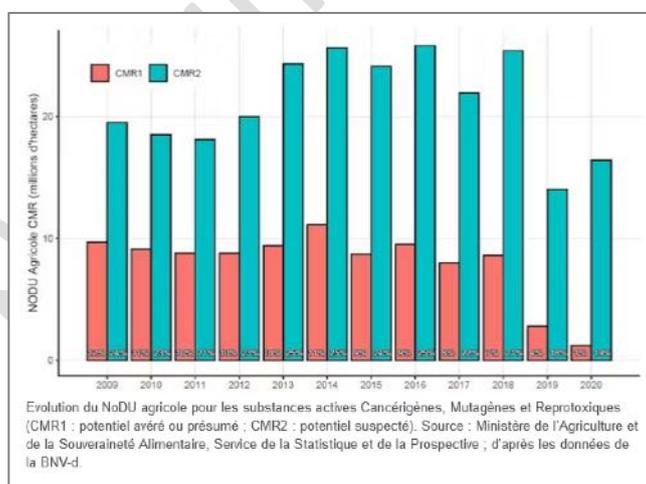
animaux les plus consommateurs de soja sont les volailles (43 % des tonnages), les bovins laitiers et mixtes (35 %), les bovins viande (7 %) et les porcs (6 %) <sup>96</sup>.

**A compléter :** Traiter la question de l'approvisionnement en lysine pour l'alimentation animale ?

## D. Une dépendance à l'usage de produits phytosanitaires

**La protection des cultures est une préoccupation historique de l'agriculture.** On retrouve ainsi la trace de pratiques comme l'échenillage, l'échardonnage, ou le hannetonage dans des manuels agricoles, édits et autres documents administratifs des XVIII<sup>ème</sup> et XIX<sup>ème</sup> siècles. <sup>97</sup> Avec les progrès de la chimie et des sciences agronomiques, les produits phytosanitaires de synthèse se sont petit à petit généralisés tout au long de la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. **Faciles d'utilisation, efficaces face aux problèmes rencontrés (champignons, insectes ravageurs, adventices concurrentes, etc.), réduisant les besoins en main d'œuvre et à coût accessible, ils ont contribué significativement à la hausse de la production agricole française,** accompagnant la sélection de variétés à hauts rendements en mesure de mieux valoriser les apports d'engrais azotés.

**Cependant, ces produits phytosanitaires peuvent aussi être à l'origine d'effets délétères sur l'environnement (effets biocides sur des espèces non-cibles, contamination des milieux, érosion des ressources alimentaires pour la faune sauvage et particulièrement les insectes, etc.) et sur la santé humaine.** Pour ces deux motifs, de nombreuses substances aux effets particulièrement néfastes ont été retirées du marché. Entre 2008 et 2020, le nombre de substances actives contenues dans au moins un produit phytosanitaire est ainsi passé de 425 à 323 <sup>98</sup>. Les substances actives les plus dangereuses pour la santé (CMR1 : cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques de catégorie 1, avérées ou présumées) ont progressivement été retirées du marché et leurs ventes ont diminué de 95 % depuis 2015 <sup>99</sup>.



**Figure 19 : Evolution du NoDU agricole pour les substances actives Cancérigènes, Mutagènes et Reprotoxiques**

Source : Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Service de la Statistique et de la Prospective

- **Consommation actuelle de produits phytosanitaires**

Sur la période 2014-2021, la consommation moyenne de substances actives, toutes substances confondues, s'élève à environ 68 000 tonnes, selon la Base Nationale des Ventes des Distributeurs de produits

<sup>96</sup> <https://hal.inrae.fr/hal-03128009v1>

<sup>97</sup> <https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/sections/fichiers-privés/methodesanciennes-jean-louisbernard.pdf>

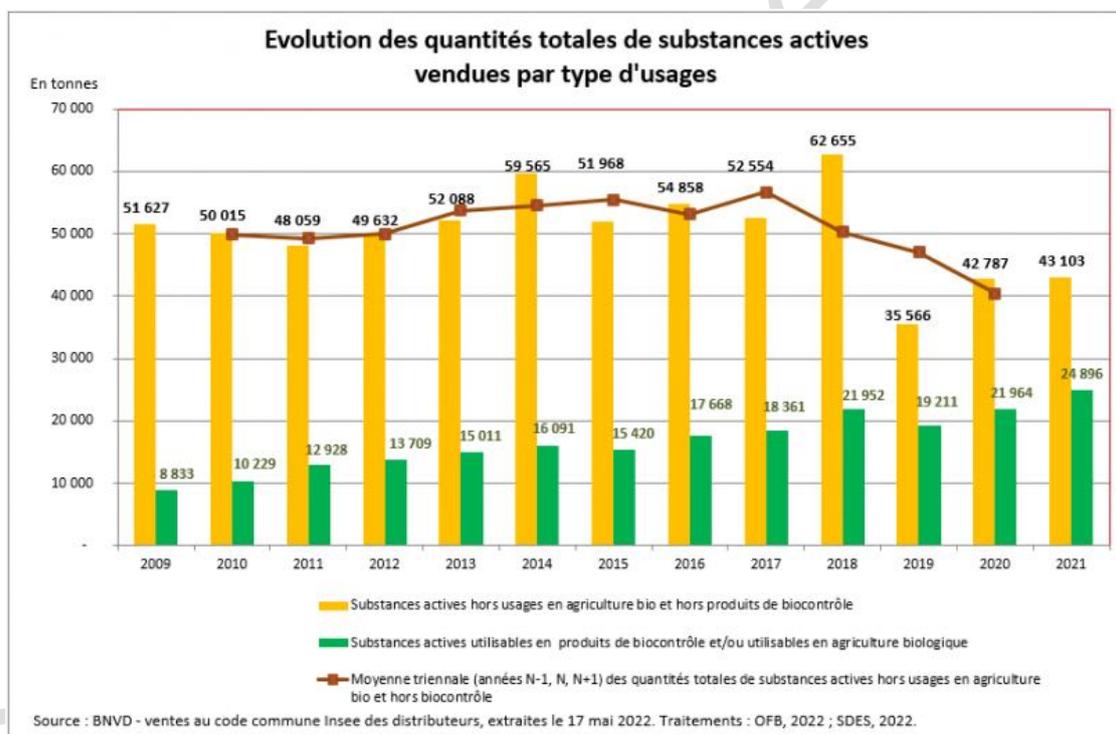
<sup>98</sup> <https://www.agra.fr/agra-presse/le-nombre-de-pesticides-autorises-divise-par-deux-en-dix-ans>

<sup>99</sup> <https://agriculture.gouv.fr/strategie-ecophyto-2030>

phytosanitaires, ou BNVD. Parmi ceux-ci, le soufre (également utilisé en agriculture biologique) est en tonnage le produit le plus massivement vendu pour ses propriétés antifongiques, suivi par le glyphosate et le prosulfocarbe qui sont des herbicides (le soufre utilisé comme fertilisant n'est normalement pas pris en compte dans la BNVD).

**Les quantités de substances actives achetées en France étaient restées relativement stables ces dix dernières années**, mise à part une faible variabilité annuelle dépendant des conditions météorologiques et des politiques publiques. En 2018 par exemple, de fortes pluies au printemps combinées à la prévision de la hausse de la RPD (Redevance Pollution Diffuse) l'année suivante ont entraîné davantage d'achats anticipés en fin d'année, expliquant une partie de la baisse des ventes en 2019. **Le bilan présenté à l'occasion de la présentation de la nouvelle stratégie Ecophyto 2030 publiée en mai 2024<sup>100</sup> met en avant une baisse de l'usage des produits phytosanitaires :**

- dynamique de baisse sur les ventes de substances actives (hors agriculture biologique et biocontrôle) avec un retrait de 20 % en 2022 par rapport à la moyenne 2015-2017 ;
- hausse continue sur les ventes de substances autorisées en agriculture biologique ou de biocontrôle avec une augmentation de 55 % par rapport à la moyenne 2015-2017.



**Figure 20 : Evolution des quantités totales de substances actives vendues par type d'usages**

Source : BNVD – ventes au code commune Insee des distributeurs, extraites le 17 mai 2022. Traitements : OFB, 2022 ; SDES, 2022.

Le suivi de la consommation de produits phytosanitaires pose la **question des indicateurs quantitatifs** utilisés<sup>101</sup> (QSA - Quantité de Substance Active, NoDU - Nombre de Dose Unité, Harmonized Risk Indicator - HRI-1 et 2, ...), qui doivent représenter les volumes utilisés comme leur toxicité, sachant que les doses d'utilisation sont très variables d'une substance active à une autre.

**A compléter : Expliquer les controverses et actualités concernant le choix des indicateurs sur le sujet des produits phytosanitaires (source)**

<sup>100</sup> <https://agriculture.gouv.fr/strategie-ecophyto-2030>

<sup>101</sup> <https://theconversation.com/plan-ecophyto-tout-comprendre-aux-annonces-du-gouvernement-223571>

- **Différentiel de productivité entre traité et non traité**

Les produits phytosanitaires sont utilisés pour sécuriser les rendements et la qualité sanitaire des productions, en empêchant la destruction des cultures par des organismes indésirables ou en limitant la concurrence de plantes adventives. Ils contribuent à stabiliser la production et donc le revenu agricole. En revanche, ils peuvent entraîner la présence de résidus de molécules dans les produits agricoles.

Le différentiel de productivité entre des cultures traitées ou non traitées par des produits phytosanitaires n'est pas estimable de façon globale, puisqu'il dépend d'un grand nombre de facteurs : des espèces végétales, des variétés utilisées, des conditions météorologiques de l'année, du contexte pédoclimatique, des techniques culturales...

Par ailleurs, dans la mesure où les systèmes culturaux conventionnels se sont en partie structurés avec l'utilisation des produits phytosanitaires (sélection génétique, itinéraires techniques, etc.), il n'est pas facile de comparer les systèmes avec et sans produits phytosanitaires, toutes choses égales par ailleurs. La comparaison avec les rendements obtenus par l'agriculture biologique ne permet pas d'isoler la part de gain apportée par les produits phytosanitaires, car l'agriculture biologique exclut également la fertilisation azotée de synthèse et repose sur des rotations de culture différentes et souvent plus longues. À titre d'exemple néanmoins, concernant le blé tendre, un indicateur donne une estimation des différences de rendement avec ou sans traitement fongicide pour lutter contre les maladies du feuillage au printemps : l'écart « traité-non traité » estime la nuisibilité des maladies foliaires entre 10 et plus de 30 quintaux par hectare (pour un rendement moyen de 72 qx/ha) selon la rusticité des variétés<sup>102</sup>, généralement inversement proportionnelle à leur productivité.

- **Le développement de résistances**

**L'apparition continue de résistances aux produits phytosanitaires chez les organismes cibles réduit progressivement leur efficacité.** Les résistances apparaissent en moyenne au bout de 7 ans après la mise sur le marché du produit, mais elles peuvent être plus rapides pour certaines molécules (par exemple les sulfonilurées)<sup>103</sup>. Comme pour les antibiotiques, les résistances se généralisent rapidement chez les populations de nuisibles lorsque le produit est utilisé souvent (peu de rotation des cultures par exemple). Le nombre de substances phytosanitaires autorisées ayant tendance à se réduire, les résistances des bioagresseurs aux produits phytosanitaires risquent d'augmenter si cette évolution se poursuit.

**Ces effets peuvent être accrus en contexte de changements climatiques, phénomène déjà avéré pour certaines graminées problématiques en cultures céréalières** comme par exemple les vulpins. « Les hivers moins rigoureux favorisent des levées beaucoup plus échelonnées qu'autrefois », ainsi « la persistance d'action des herbicides d'automne ne couvre plus la période de levée des vulpins. »<sup>104</sup>

- **Les difficultés et les impasses techniques à la suppression de certains produits phytosanitaires**

Face aux enjeux techniques, environnementaux et sociétaux liés à leur utilisation, des objectifs de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires ont été fixés par les pouvoirs publics via des plans d'actions successifs. Initialement lancés en 2008, ces plans "Ecophyto", qui visaient une réduction de 50 % des utilisations en 2018, échéance ensuite reculée à 2025, n'ont pas atteint leurs objectifs.

Fin 2023, les pouvoirs publics ont souhaité se doter d'un nouveau programme, le Plan d'action stratégique pour l'anticipation du potentiel retrait européen des substances actives et le développement de techniques

---

<sup>102</sup> <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/une-resistance-varietale-exploiter-pleinement>

<sup>103</sup> Christian Huyghe, directeur scientifique agriculture à l'INRAE, Commission d'enquête parlementaire, 12 juillet 2023

<sup>104</sup> <https://www.terre-net.fr/desherbages/article/859619/des-levees-de-vulpin-qui-s-echelonnent-de-plus-en-plus>

alternatives pour la protection des cultures (PARSADA)<sup>105</sup>. Il s'agit de donner de la visibilité aux agriculteurs pour les usages sous tension, reposant sur des produits phytopharmaceutiques en risque d'être retirés du marché dans les années à venir, et d'identifier de nouveaux leviers pour protéger les récoltes, tout en préservant la santé et l'environnement. Il identifie un certain nombre de fragilités et d'impasses technico-économiques en cas de suppression européenne de substances actives clés, telles que la gestion des graminées en grandes cultures, la gestion des insectes ravageurs de la famille des coléoptères en semences et en plants, ainsi que lors du stockage des grains, mais aussi le mildiou et le black-rot en viticulture, la gestion des adventices mais aussi des lépidoptères en horticulture et en fruits et légumes, etc. Un plan d'action national est également prévu contre *Drosophila Suzukii*, ravageur arrivé en Europe en 2008 et provoquant des dégâts significatifs dans la filière cerise depuis l'interdiction d'une matière active, le diméthoate, utilisé à cet effet jusqu'en 2016. En agriculture biologique, une attention particulière est portée à la gestion des maladies fongiques par l'utilisation du cuivre qui peut s'accumuler dans les sols.

- **Protection intégrée et agroécologie : une réponse technique permettant de réduire l'usage des phytosanitaires**

**Un certain nombre de pratiques agricoles et agronomiques, regroupées sous les termes de protection intégrée des cultures et d'agroécologie, visent à combiner différents leviers pour prévenir l'usage des phytosanitaires** : la lutte ou protection intégrée, officiellement recommandée par le Règlement européen de 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques<sup>106</sup>.

**Mais elle reste insuffisamment déployée** en raison de nombreux freins techniques (protection des rendements), économiques (surcoûts, manques à gagner), et sociaux (acceptabilité, changements de pratiques, charge de travail, etc.). Ainsi, une étude française publiée en 2014<sup>107</sup> a estimé que les pertes de rendements de blé français résultant d'une baisse de moitié de l'IFT (Indice de Fréquence de Traitement) et d'une redirection vers des systèmes de culture à protection intégrée se situeraient entre 5 % et 13 %. L'étude précise en outre que ce choix induirait une perte financière pour les producteurs agricoles, à prix du blé et des produits phytosanitaires constants, et ce malgré l'économie réalisée sur les achats de produits phytosanitaires. Cette étude, mais aussi le principe de prix plus élevé des aliments issus de l'agriculture biologique, illustrent qu'une partie importante des réponses aux enjeux de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires se situe autour des questions liées à la rémunération des agriculteurs, et pose ainsi de nombreuses questions sociétales plus larges : arbitrages de consommation des foyers, gestion du risque, sécurité alimentaire.

Selon les cultures, l'amélioration des techniques de biocontrôle peut permettre le déploiement de méthodes alternatives de protection des végétaux : basées sur l'étude des interactions entre espèces dans le milieu naturel, elles utilisent des organismes vivants, des médiateurs chimiques tels que des phéromones ou encore des substances naturelles d'origine minérale, animale ou végétale. Ces méthodes de biocontrôle peuvent notamment être mobilisées de manière combinée à d'autres leviers (prophylaxie, moyens mécaniques ou chimiques) dans le cadre d'une reconception des itinéraires techniques.

- **Les effets possibles des changements climatiques sur la santé des plantes**

**Avec l'évolution du climat, et particulièrement en raison du réchauffement global, apparaissent des risques d'émergence de nouveaux ravageurs ou des modifications non linéaires des cycles biologiques de bioagresseurs** (les insectes se développent plus rapidement quand les températures moyennes journalières augmentent), **ainsi que l'extension de leurs habitats** (remontée vers le Nord). La réduction des gels hivernaux, qui contribuent à la régulation de certaines adventices ou certains insectes et

---

<sup>105</sup> <https://agriculture.gouv.fr/plan-daction-strategique-pour-lanticipation-du-potentiel-retrait-europeen-des-substances-actives-et>

<sup>106</sup> <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0001:0050:FR:PDF>

<sup>107</sup> Hossard, L., Philibert, A., Bertrand, M. *et al.* Effects of halving pesticide use on wheat production. *Sci Rep* 4, 4405 (2014)

animaux, est susceptible d'accroître significativement leur capacité de nuisance sur les cultures. Les alternances de chaleur et d'humidité sont également des conditions propices au développement de certaines maladies fongiques.

Ces phénomènes sont susceptibles de faire peser des pressions d'autant plus grandes sur l'agriculture française que les substances les plus efficaces sont de moins en moins nombreuses en raison de leur toxicité.

À l'inverse, le changement climatique pourrait, certaines années, atténuer certaines pressions fongiques liées aux paramètres humidité/température, notamment durant la saison estivale. Le risque sera toujours présent (certains scénarios le renforcent même) au printemps et à l'automne.

Rapport intermédiaire

## L'usage des antibiotiques en élevage : une consommation en forte baisse depuis 10 ans

La modernisation agricole de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle s'était également accompagnée de l'utilisation croissante de molécules de synthèse en santé animale, en particulier d'antibiotiques. Cet usage qui s'était généralisé dans les élevages a fortement reculé depuis le succès des plans EcoAntiBio<sup>108</sup> qui visent à en réduire la consommation et à en préserver l'efficacité thérapeutique tout en prévenant l'antibiorésistance, qui menace l'ensemble du vivant, des écosystèmes aux populations humaines<sup>109</sup>. Ces démarches s'inscrivent dans le concept One Health<sup>110</sup> (Une seule santé), qui reconnaît l'interdépendance entre santé humaine, santé animale et santé environnementale, et promeut une approche intégrée des problématiques de gestion des maladies infectieuses, émergentes ou à risque pandémique.

Depuis 2011, l'exposition aux antibiotiques a ainsi diminué en moyenne de 52 %, et notamment de 23 % pour les bovins, 67 % pour les porcs, 72 % pour les volailles (et seulement 3 % pour les chiens et chats, sur lesquels se focalise le 3<sup>ème</sup> Plan 2023-2028), avec de fortes baisses concernant l'exposition aux antibiotiques les plus critiques<sup>111</sup>. En 2022, la baisse importante des ventes d'aliments médicamenteux contenant des antibiotiques, désormais interdits à titre préventif, ne s'est pas accompagnée de report vers d'autres types d'antibiotiques. Globalement, l'ANSES témoigne d'une diminution générale de l'antibiorésistance, à une exception : l'augmentation, depuis 2018, des bactéries résistantes chez les chevaux. En 2020, sur 31 pays participants, la France était au 14<sup>ème</sup> rang des pays consommateurs d'antibiotiques vétérinaires, avec une consommation très inférieure à la moyenne européenne (56,6 mg/kg vs 89,0 mg/kg)<sup>112</sup>.

Différents moyens (biosécurité dans les élevages, bonnes pratiques d'hygiène dans les cliniques vétérinaires...) permettent de contrôler la transmission des résistances bactériennes entre les animaux et les humains. Depuis 2022, une attention supplémentaire est également portée au suivi des bactéries isolées de viandes importées des pays en dehors de l'Union européenne (Décision de la Commission européenne 2020/1729<sup>113</sup>), l'importation d'aliments et d'animaux pouvant favoriser l'introduction sur le territoire de bactéries portant de nouveaux gènes de résistance ou de bactéries multirésistantes.

Par ailleurs, la lutte contre les épizooties reste d'une grande actualité : influenza aviaire, fièvre catarrhale ovine, tuberculose bovine, maladie hémorragique épizootique, engendrent des crises sanitaires de grande ampleur dans les différents cheptels. Le manque d'anticipation et de détection précoce des foyers a pu nuire à la gestion de ces crises<sup>114</sup>.

**À compléter : Traiter la question de l'origine du soufre et du cuivre (très utilisés en AB, mais aussi en alternative aux fongicides de synthèse en agriculture conventionnelle)**

<sup>108</sup> <https://agriculture.gouv.fr/lutte-contre-lantibioresistance-le-plan-ecoantibio-3-poursuivra-la-dynamique-positive-engagee-et>

<sup>109</sup> <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/les-antibiotiques-des-medicaments-essentiels-a-preserver/des-antibiotiques-a-l-antibioresistance/article/l-antibioresistance-pourquoi-est-ce-si-grave>

<sup>110</sup> <https://www.inrae.fr/alimentation-sante-globale/one-health-seule-sante>

<sup>111</sup> <https://www.anses.fr/fr/system/files/Press2023DPA01.pdf>

<sup>112</sup> <https://www.anses.fr/fr/content/suivi-des-ventes-antibiotiques-veterinaires>

<sup>113</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020D1729&from=DA>

<sup>114</sup> <https://agriculture.gouv.fr/tirer-les-lecons-des-crisis-dinfluenza-aviaire-quelle-organisation-de-letat-pour-gerer-les-crisis>

## E. Une diversité domestique à la base génétique restreinte

L'agriculture contemporaine repose sur un nombre restreint de plantes cultivées et de races animales. Les gains de production agricole du XX<sup>ème</sup> siècle ont en effet reposé sur la sélection génétique de plantes cultivées et de races animales les plus productives dans le contexte technique de l'époque : variétés de plantes à haut rendement répondant efficacement à l'intensification de la fertilisation et de la protection phytosanitaire, races animales issues de schémas de sélection exigeants via le recours à des reproducteurs d'élite. Outre les gains de productivité obtenus, ce travail de sélection a permis de s'affranchir de certaines maladies autrefois très préjudiciables aux récoltes, par exemple l'antracnose sur haricots, ou de proposer des variétés plus résistantes à des maladies fréquentes, telles que la septoriose et les fusarioses en céréales, et garantir ainsi plus facilement la qualité sanitaire des récoltes.

Mais le revers de la médaille a été l'érosion de la diversité des plantes cultivées et des races animales, dont la base génétique est devenue plus étroite. En céréales, les variétés populations ont laissé la place aux lignées pures modernes qui conservent entre elles une grande proximité génétique. Une étude de cas menée sur le blé tendre<sup>115</sup> montre par exemple que, malgré l'effort de création variétale et la multiplication du nombre de variétés disponibles, cette augmentation n'a pas empêché l'homogénéisation de la diversité génétique cultivée dans les champs (sans présager d'une érosion au sens strict, au sens d'une perte d'allèles).

En 2023, alors qu'il en existe plus de 400 variétés inscrites sur les listes du catalogue officiel français<sup>116</sup>, dont 43 nouvelles en 2022 (flux de nouveauté assez récurrent d'une année sur l'autre), seulement cinq variétés de blé tendre cultivées en semis pur ont représenté 34 % des surfaces nationales, 10 variétés ont représenté plus de 40 %, la variété Chevignon occupant à elle seule 16 % des surfaces nationales<sup>117</sup>. Cependant, les agriculteurs recourent de plus en plus aux mélanges variétaux, sur presque 20 % des surfaces aujourd'hui. Autre exemple en fruits et légumes : selon le Groupe d'Étude et de contrôle des Variétés et des Semences (GEVES), 384 variétés végétales sont considérées comme sous-utilisées<sup>118</sup> (parmi les 3259 inscrites sur les listes du catalogue officiel en 2022).

En élevage, les filières se sont concentrées sur un nombre réduit de races par rapport à la diversité initiale, fortement corrélée à la diversité des agroécosystèmes français. Sur 200 races locales identifiées en France pour 12 espèces (cheval, âne, bovin, mouton, chèvre, porc, poule, dinde, pintade, oie, canard commun et canard de Barbarie), 168 (84 %) sont aujourd'hui considérées comme menacées d'abandon<sup>119</sup>.

Chez les races les plus compétitives comme par exemple la Prim'Holstein en élevage bovin, les schémas de sélection et de reproduction, accélérés par les techniques de génomique, entraînent aujourd'hui une perte préoccupante de diversité génétique et des conséquences directes sur la productivité des animaux par consanguinité<sup>120</sup>. Ceci n'est pas vrai cependant pour d'autres races comme la Normande ou la Montbéliarde pour lesquelles la génomique est utilisée avec plus de prudence. Les pratiques de sélection se distinguent d'ailleurs entre élevage bovin viande et bovin lait où l'insémination artificielle est beaucoup plus répandue.

Cette tendance à l'homogénéisation génétique pose la question de la fragilité des systèmes agricoles actuels, reposant principalement sur un nombre restreint de plantes et de races animales, et de leur faculté de résilience et d'adaptation aux changements globaux à affronter simultanément (pathogènes, conditions climatiques, etc.).

### À compléter :

- Evoquer la diversité génétique en élevage de volailles (5 souches génétiques principales)
- Mentionner la place de la France en génétique animale

<sup>115</sup> [https://www.fondationbiodiversite.fr/wp-content/uploads/2019/05/frb\\_etude\\_bl\\_web.pdf](https://www.fondationbiodiversite.fr/wp-content/uploads/2019/05/frb_etude_bl_web.pdf)

<sup>116</sup> <https://www.geves.fr/catalogue/>

<sup>117</sup> <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/repartition-des-varietes-de-cereales-paille-les-resultats-de-lenquete-2023-sont>

<sup>118</sup> <https://www.geves.fr/wp-content/uploads/Rapport-RPG-v23-Juin-2023.pdf>

<sup>119</sup> <https://agriculture.gouv.fr/races-menacees-dabandon-pour-lagriculture>

<sup>120</sup> <https://www.web-agri.fr/holstein/article/859795/prim-holstein-on-va-tuer-la-race-si-on-n-y-prend-pas-garde>, consulté le 06/02/2024

## F. Des conditions pédoclimatiques nouvelles : vulnérabilités supplémentaires et besoin d'adaptation rapide

Historiquement, les systèmes agricoles se sont développés selon les spécificités locales des territoires, mettant en valeur des ressources biologiques fonctions du contexte pédoclimatique. Avec l'industrialisation de l'agriculture au XX<sup>ème</sup> siècle, le recours aux engrais de synthèse a pu permettre de s'affranchir des limites de fertilité de certains sols, tandis que le machinisme permettait d'intensifier le travail mécanique du sol. Durant cette période, ces évolutions ont fragilisé la qualité et la santé des sols, rendus plus vulnérables aux aléas climatiques qui s'accumulent désormais.

### • Fragilisation biologique, physique et chimique des sols

Le taux de matière organique (MO) est un paramètre couramment utilisé dans les analyses de sol car il est le reflet, pour une texture de sol donné, de la capacité du sol à fonctionner correctement : bonne structure, résistance à l'érosion, capacité de stockage de l'eau, bonne activité biologique, etc. **Globalement, les teneurs en matière organique des sols ont eu tendance à baisser durant les décennies passées** (GIS SOL, 2011), pour différentes raisons selon les régions : abandon de la fertilisation organique au profit des engrais azotés de synthèse dans les zones de grandes cultures, retournement des prairies permanentes au profit de cultures annuelles dans les zones d'élevage, travail plus intensif des sols. Les baisses observées ont en général été d'autant plus grandes que le taux de MO initial était important. **Cependant, les taux ont actuellement tendance à se stabiliser, voire à remonter, dans certaines régions, sous l'effet de meilleures pratiques agricoles qui augmentent le retour au sol (couverts végétaux, fertilisants organiques, ...).**

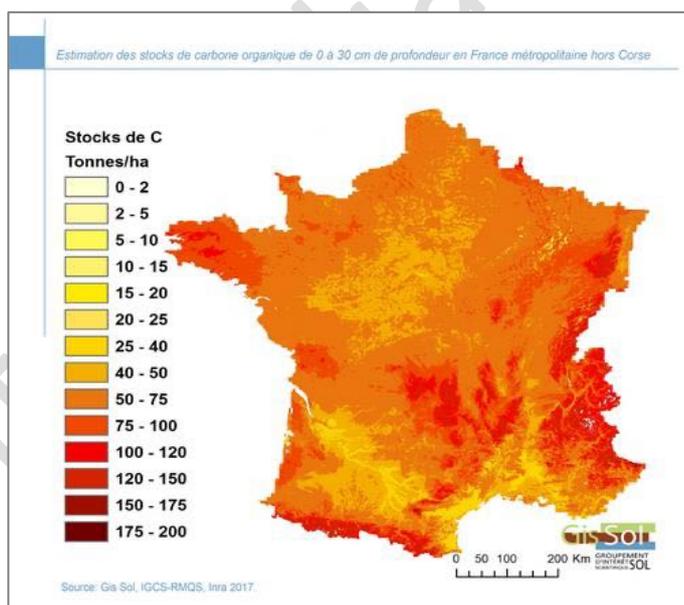


Figure 21 : Estimation des stocks de carbone organique de 0 à 30 cm de profondeur en France métropolitaine hors Corse  
Source : Gis Sol, IGCS-RMQS, Inra 2017

**L'aléa d'érosion physique, sous l'effet des fortes précipitations, du vent ou encore des mouvements de terrain, est un autre facteur de risque majeur pour les sols français** : on estime qu'environ un quart<sup>121</sup> présente une susceptibilité à l'érosion, notamment dans les régions du Nord, de la Bretagne, du Sud-Ouest et des Alpes. Les pertes peuvent aller jusqu'à 20 tonnes de terre par hectare et par an<sup>122</sup>. On mesure ainsi l'intérêt de la couverture végétale des sols et des prairies.

### • Augmentation des aléas climatiques et de leurs impacts sur les sols et les systèmes agricoles

**Combinant des phénomènes aigus et une évolution chronique des paramètres climatiques (température, pluviométrie, etc.), les conséquences du changement climatique affectent déjà**

<sup>121</sup> <https://www.gissol.fr/donnees/cartes/lalea-derosion-des-sols-par-petite-region-agricole-1133>

<sup>122</sup> [https://geoidd.developpement-durable.gouv.fr/#c=indicateur&f=per\\_terplus20&i=erosion\\_terhydri.per\\_terrehydrique&i2=sol\\_erosion\\_an.alea\\_erosion\\_an&s=2010&t=A08&t2=A08&view=map19](https://geoidd.developpement-durable.gouv.fr/#c=indicateur&f=per_terplus20&i=erosion_terhydri.per_terrehydrique&i2=sol_erosion_an.alea_erosion_an&s=2010&t=A08&t2=A08&view=map19)

**directement les systèmes agricoles français, et vont continuer à s'amplifier.** Les sécheresses (2022), les inondations ou excès d'eau notamment pendant les récoltes et les semis (2016, 2023-2024), les vagues de chaleur (2022) et les gels tardifs au printemps (2021, 2024) survenus au cours des dernières années ont eu des impacts directs sur la production agricole (baisse de rendements, dégâts matériels, perte d'animaux). La récurrence des sécheresses est l'un des effets les plus perceptibles du changement climatique sur l'agriculture hexagonale, en grande majorité non irriguée (93 % des surfaces).

**Or, ces aléas peuvent contribuer dans le même temps à l'altération de la santé des sols** : les variations de conditions de température et d'humidité affectent la capacité des sols à dégrader et à stocker la matière organique, essentielle pour la productivité, la rétention de l'eau et la biodiversité, et font peser un risque plus particulier sur les sols qui présentent un faible taux de MO (vignobles, vergers, cultures intensives) ou de faible épaisseur<sup>123</sup>.

**Chaque fraction de degré de réchauffement entraîne une intensification des extrêmes climatiques.**

En France, le réchauffement sur la dernière décennie (1,9 °C par rapport à la période 1900-1930) est plus élevé que la moyenne mondiale (1,15 °C). Un réchauffement de 4 °C y est possible à l'horizon 2100 si la neutralité carbone n'est pas atteinte rapidement<sup>124</sup>. **Cette augmentation des températures altère le cycle de l'eau et le régime des pluies**, en intensité comme en répartition au cours de l'année. De potentielles pluies quotidiennes extrêmes augmentent le risque d'inondations.

**Au-delà de son impact direct sur la physiologie des animaux, le changement climatique influe sur les dynamiques épidémiologiques des maladies animales**<sup>125</sup>, dans le contexte d'une altération des milieux (artificialisation, déforestation) et de l'intensification des élevages et du commerce international. Cet impact peut se répercuter sur les populations sauvages, avec des effets sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes, dont dépendent en retour les systèmes agricoles.

**Les modes de production agricole français sont déjà en voie d'adaptation** pour faire face aux aléas climatiques : décalage des dates de semis, modification des itinéraires techniques (notamment par la protection du sol avec des couverts végétaux et moins de travail mécanique), changement des variétés ou des espèces utilisées, évolution des pratiques de taille des fruitiers et de la vigne, constitution de stocks de fourrages, outils numériques d'aide à la décision etc. **Cependant, la superposition des facteurs d'impact susceptibles de survenir questionne la résilience des systèmes actuels et leur niveau de préparation.** Si toutes les fermes de l'hexagone étaient assurées, le niveau de 2,6 milliards d'euros de dommages liés à la sécheresse serait désormais dépassé tous les dix ans en moyenne<sup>126</sup>.

**L'évolution des variables climatiques entraîne une évolution des zones biogéographiques** (i.e. aire de répartition des cultures) : si ces changements créent de nouvelles opportunités pour l'agriculture, par l'implantation possible de nouvelles cultures dans des régions plus septentrionales (tournesol, vigne, maraîchage, certains fruitiers...) ou en plus haute altitude (maïs fourrage), et si les cultures annuelles offrent plus de possibilités d'adaptation, ils sont en revanche **un défi majeur à affronter pour les cultures pérennes du Sud de la France et pour les prairies permanentes. Ces évolutions biogéographiques nécessitent d'anticiper la création de nouvelles filières et les investissements à prévoir en conséquence. Elles impliquent tout particulièrement de sécuriser et repenser les zones de production de semences**, dont 60 % des surfaces seraient soumis à fort risque climatique en 2050 en l'état actuel de leur répartition géographique, des pratiques agronomiques et des capacités de résilience des variétés actuelles<sup>127</sup>. À noter : en 2050 comme aujourd'hui, plus de la moitié du risque correspond à des risques de manque d'eau.

---

<sup>123</sup> Pellerin et al., 2019. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France)

<sup>124</sup> Haut Conseil pour le Climat, 2024. Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste

<sup>125</sup> <https://agriculture.gouv.fr/la-lutte-contre-les-maladies-animales-dans-le-contexte-du-changement-climatique>

<sup>126</sup> Haut Conseil pour le Climat, 2024. Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste

<sup>127</sup> <https://climate.axa/axa-climate-sem-ae-etude-changement-climatique-semences/>

Dans un contexte climatique et géopolitique en mutation, les systèmes agricoles français, vulnérables et dépendants, font face à des défis d'adaptation de grande ampleur. La diversité des chocs qui peuvent se cumuler sur un territoire donné, ou encore se répéter dans le temps, questionne leur résilience et soulève le risque de ruptures futures dans la capacité productive du système agricole.

**À compléter :**

- Intégrer les cartes d'évolution des aires biogéographiques de quelques grandes espèces cultivées (études en cours).

Rapport intermédiaire

### 3. Les impacts et contributions climatiques de l'agriculture

#### A. Les émissions directes de GES du secteur agricole français

Les activités agricoles sont sources d'émissions de gaz à effet de serre (GES) de différentes natures, dont les principaux sont le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et, dans une moindre mesure, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). **Contrairement à celles des autres secteurs économiques, les émissions du secteur ont en effet la spécificité d'être majoritairement d'origine non énergétique. Elles sont contrôlées par des processus biologiques dont le caractère diffus et la complexité rendent parfois difficile leur quantification** qui est donc associée à de fortes incertitudes.

Nous reprenons ici les données au format SECTEN<sup>128</sup> de l'inventaire 2023<sup>129</sup> établi officiellement par le CITEPA<sup>130</sup>, selon les nomenclatures et règles de comptabilisation internationales élaborées par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), dont les lignes directrices ont été révisées en 2019<sup>131</sup>.

- **La comptabilité des GES en agriculture**

Les émissions incluses dans le secteur « Agriculture » de l'inventaire sont réparties en trois sous-secteurs :

- **Élevage** : émissions liées à la fermentation entérique des animaux d'élevage (CH<sub>4</sub>) et à la gestion des déjections au bâtiment et au stockage (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O), émissions indirectes de N<sub>2</sub>O (lessivage, redéposition) ;
- **Cultures** : émissions des sols cultivés liées à la fertilisation azotée minérale et organique<sup>132</sup> – engrais minéraux, boues, composts, déjections animales, digestats – (N<sub>2</sub>O), aux déjections déposées à la pâture (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O), à l'apport d'amendements basiques (calcaire, dolomie) et d'urée (CO<sub>2</sub>), à la riziculture (CH<sub>4</sub>) et au brûlage des résidus agricoles (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) ;
- **Engins, moteurs et chaudières en agriculture et sylviculture**<sup>133</sup> : émissions de CO<sub>2</sub> liées à la combustion dans les engins, moteurs et chaudières des secteurs agricoles et sylvicoles.

La méthode et les bases de données utilisées pour la quantification des différents postes d'émissions sont détaillées, pour chaque secteur, dans le rapport OMINEA<sup>134</sup> (Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques) qui en précise également les hypothèses et les incertitudes. Les sources scientifiques de référence y sont listées pour chaque poste d'émission.

Concernant l'estimation des émissions liées à l'élevage, le CITEPA s'appuie sur un système de compilation de multiples sources de données, le système PACRETE (Programme Access pour le Calcul Régionalisé des Emissions Atmosphériques de l'Élevage), qui permet de rassembler des données régionales sur les effectifs animaux, l'alimentation, les types de bâtiments d'élevage, les pratiques d'épandage des effluents (y compris

---

<sup>128</sup> SECTeurs économiques et ENergie

<sup>129</sup> [https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/2023/Citepa\\_Secten\\_ed2023\\_v1.pdf](https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/2023/Citepa_Secten_ed2023_v1.pdf),

<sup>130</sup> Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

<sup>131</sup> <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>

<sup>132</sup> En lien avec les processus biologiques de nitrification / dénitrification par les microorganismes du sol

<sup>133</sup> Les émissions liées à la combustion dans les engins, moteurs et chaudières de la sylviculture ne représentent qu'une très faible part du total (0.5 MtCO<sub>2</sub>e environ sur 11 MtCO<sub>2</sub>e).

<sup>134</sup> [https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/omineia/OMINEA\\_2023.pdf](https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/omineia/OMINEA_2023.pdf)

via la méthanisation), le temps passé au pâturage, etc. Il offre ainsi une vision représentative de la situation française.

**Il faut préciser que les émissions et les absorptions de carbone liées à l'usage des terres agricoles et au changement d'affectation des terres ne sont pas comptabilisées ici, mais dans le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et de la Forêt).** Nous détaillerons cette partie dans le paragraphe 3 suivant.

De même, sont comptabilisées dans d'autres secteurs :

- la consommation d'électricité, comptabilisée dans le secteur « Industrie de l'énergie »,
- les émissions de polluants par les feux de forêts et de végétation, comptabilisées dans le secteur « Naturel »,
- les émissions de l'industrie agroalimentaire, comptabilisées dans le secteur « Industrie manufacturière et construction »,
- les émissions des transports de récoltes, de bétail, d'alimentation animale, de produits alimentaires, etc. comptabilisées dans le secteur « Transport »,
- les émissions liées à l'incinération de carcasses animales, comptabilisées dans le secteur « Traitement centralisé des Déchets ».

### Comptabilité des gaz à effet de serre – Potentiel de Réchauffement Global

Afin de pouvoir additionner des émissions de GES de différentes natures dans les comptabilités nationales, le GIEC a mis au point un indice représentant l'impact de chaque gaz sur le climat en comparaison de celui du CO<sub>2</sub>, le Potentiel de Réchauffement Global ou PRG.

Le PRG du CO<sub>2</sub> est fixé arbitrairement à 1. Les émissions des autres gaz sont converties en « équivalent CO<sub>2</sub> » (CO<sub>2</sub>e) selon leur capacité, comparée à celle du CO<sub>2</sub>, à participer au réchauffement global par le forçage radiatif, équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère, cumulé sur une période donnée.

La période de référence a été fixée à 100 ans dans le cadre de la CCNUCC<sup>135</sup> et du Protocole de Kyoto. Les valeurs de PRG utilisés dans les inventaires CITEPA sont ceux du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC, conformément aux exigences de la CCNUCC et parce qu'il n'a pas encore été décidé au niveau international d'utiliser ceux du 6<sup>e</sup> rapport du GIEC.

Les valeurs de PRG100 sont de 28 pour le méthane et de 265 pour le protoxyde d'azote.

Le choix de la période de référence pour le PRG et donc de la métrique utilisée pour les calculs est source de débats nombreux entre spécialistes. En effet, les GES ayant des durées de vie dans l'atmosphère variables, la valeur du PRG diffèrera fortement selon la période considérée. C'est le cas en particulier des gaz à courte durée de vie, comme le méthane, au fort pouvoir réchauffant à court terme, mais dont l'impact diminue rapidement après quelques décennies. En revanche, le CO<sub>2</sub>, à plus longue durée de vie, exercera un impact plus durable sur le long terme. Les poids relatifs des effets de ces deux gaz sont donc très dépendants de l'horizon temporel retenu.

**À compléter : Préciser les différentes métriques et débats actuels, et notamment autour du PRG\***

<sup>135</sup> Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique

- **Les émissions directes de GES de l'agriculture française**

**En 2021, les émissions directes de l'agriculture française ont représenté un total de 76.5 MtCO<sub>2</sub>e/an, soit 18.4 % des émissions nationales (hors UTCATF), qui se répartissent ainsi :**

- **56 % de méthane (CH<sub>4</sub>), soit environ 42 MtCO<sub>2</sub>e,**
- **29 % de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), soit environ 22 MtCO<sub>2</sub>e,**
- **15 % de CO<sub>2</sub>, soit environ 11 MtCO<sub>2</sub>e.**

En raison de l'utilisation de valeurs de PRG actualisées et d'un changement méthodologique important pour la comptabilité des émissions de N<sub>2</sub>O des sols agricoles (modification des facteurs d'émissions), en lien avec l'application des lignes directrices 2019 du GIEC, la part relative de méthane et de protoxyde d'azote dans le total des GES d'origine agricole est modifiée de façon significative pour ce dernier inventaire par rapport aux précédents. Ainsi, l'inventaire 2022<sup>136</sup> rapportant les émissions de l'année 2020 faisait état de 46 % d'émissions de CH<sub>4</sub>, 40 % d'émissions de N<sub>2</sub>O et d'environ 13 % d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Les émissions de N<sub>2</sub>O par les sols cultivés sont le résultat de leur fonctionnement biologique et de l'itinéraire technique choisi par l'agriculteur, et sont directement liées aux quantités d'azote épandues pour leur fertilisation. Les calculs tiennent compte des apports de fertilisants minéraux, des résidus de cultures, des déjections animales (y compris les imports de pays frontaliers), des boues de stations de traitement des eaux usées, des composts et des digestats de méthanisation. Le secteur agricole constitue le principal contributeur aux émissions nationales de N<sub>2</sub>O (à 87 %), qui provient par ailleurs d'autres sources anthropiques (quelques procédés industriels, véhicules équipés de pots catalytiques) et de sources naturelles (transformation de l'azote réactif par les microorganismes du sol).

Le secteur agricole est aussi un contributeur majeur aux émissions nationales de CH<sub>4</sub>, issu principalement de la fermentation entérique des ruminants, de la gestion des déjections animales et du brûlage des résidus agricoles, avec 69 % des émissions totales hors UTCATF. D'autres sources importantes de méthane proviennent des décharges et du traitement des déchets (22 % hors UTCATF), ainsi que du transport et de la distribution de gaz naturel. Il existe également des sources naturelles de méthane, en particulier dans les zones humides telles que rizières<sup>137</sup>, marais et tourbières.

- **L'évolution des émissions agricoles directes et les objectifs de réduction**

**Globalement, les émissions annuelles de CO<sub>2</sub>e du secteur agricole ont baissé de 13 % depuis 1990, principalement du fait de la diminution des effectifs du cheptel bovin, et donc des émissions de méthane, et de la baisse de fertilisation azotée des cultures, et donc des émissions de protoxyde d'azote. Les émissions annuelles directes de CO<sub>2</sub> restent relativement stables depuis 1990, autour de 10 à 12 MtCO<sub>2</sub>.**

**Sur les 5 dernières années (2016-2021), la baisse annuelle moyenne est de l'ordre de - 1.3 % par an, en phase avec les budgets de la Stratégie Nationale Bas Carbone SNBC2 à l'horizon 2030, stratégie dont les budgets étaient cependant basés sur des modes de calcul des émissions de N<sub>2</sub>O qui ont depuis été affinés<sup>138</sup>.**

---

<sup>136</sup> Citepa\_Rapport-Secten-2022\_Rapport-complet\_v1.8

<sup>137</sup> Un facteur d'émission de 106 kg CH<sub>4</sub>/ha/an a été calculé pour la Camargue – OMINEA, 2023, page 873

<sup>138</sup> Les budgets carbone de la SNBC-2 étaient définis sur la base de PRG issus de l'AR4 du GIEC, alors que ce sont désormais les PRG de l'AR5 qui sont utilisés, depuis l'édition 2023, pour l'inventaire Secten du CITEPA. Cela a conduit à des recalculs importants des émissions historiques et à des budgets carbone pouvant se retrouver en décalage avec les émissions actuelles.

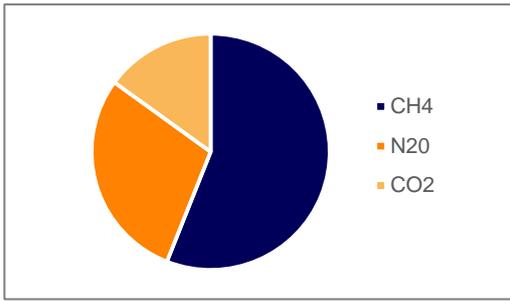


Figure 23 : Émissions GES directes de l'agriculture, 2021  
Source : CITEPA 2023

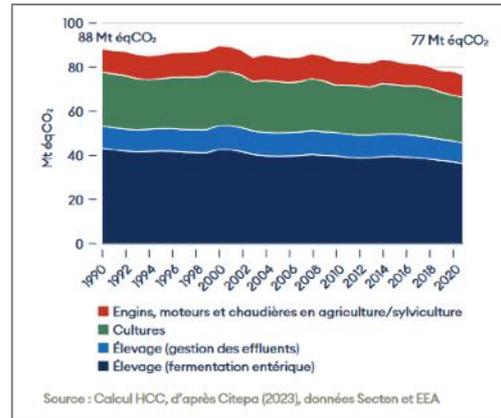


Figure 22 : Évolution des émissions de GES du secteur de l'agriculture en France entre 1990 et 2021  
Source : HCC, 2024

### Les objectifs de réduction assignés au secteur agricole dans la Stratégie Nationale Bas Carbone

Comme les autres secteurs économiques, l'agriculture est appelée à contribuer à l'effort général de réduction des émissions de GES. **La SNBC2 actuellement en vigueur vise une réduction de 18 % des émissions du secteur en 2030 par rapport à 2015, soit un objectif de 68 MtCO<sub>2</sub>e, et de 46 % à l'horizon 2050 (hors UTCATF), soit un objectif total de 48 MtCO<sub>2</sub>e alloué à l'agriculture en 2050.** Cela représente un effort de baisse de l'ordre de 1,5 % par an pendant 30 ans. À cette échéance, l'agriculture représenterait alors 60 % des émissions résiduelles nationales.

Concernant les émissions agricoles de N<sub>2</sub>O, la définition d'une trajectoire annuelle de réduction est prévue par la loi Climat et Résilience<sup>139</sup> avec un objectif de - 15 % en 2030 par rapport à 2020. Les objectifs de réduction des émissions nationales s'inscrivent par ailleurs dans les engagements climatiques internationaux de la France.

Concernant le méthane, la France est signataire du « Global Methane Pledge »<sup>140</sup> élaboré dans le cadre de la COP26 : avec plus de 150 autres pays, l'engagement a été pris de réduire de plus de 30 % les émissions de méthane d'ici à 2030 par rapport au niveau de 2020, toutes sources d'émissions confondues. Il est à noter qu'il s'agit d'un engagement collectif, ne fixant pas d'objectif au niveau de chaque Etat signataire ni pour chaque secteur, l'objectif de -30 % n'est donc pas à considérer comme un objectif de réduction des émissions de méthane en France, ni spécifiquement pour le secteur agricole.

**Un certain niveau d'émissions agricoles paraît cependant incompressible**, même en agriculture biologique. L'apport d'engrais azoté sur les sols, qu'il soit d'origine organique ou minérale, s'accompagne inévitablement d'émissions de N<sub>2</sub>O, même en optimisant les pratiques de fertilisation, et il semble difficilement concevable de s'en affranchir complètement, à moins d'une réduction drastique des productions agricoles difficilement compatible avec les impératifs de sécurité alimentaire, réduction qui entraînerait paradoxalement dans le même temps une diminution de la captation de carbone via la photosynthèse (voir partie C ci-après). De même, les émissions de méthane par la rumination des animaux d'élevage ne peuvent, en l'état actuel des connaissances, être évitées totalement. Cependant les terres agricoles sont des puits de carbone potentiels, la production de végétaux ou d'animaux y permettant l'absorption du CO<sub>2</sub>, via la photosynthèse, et le stockage de carbone dans les sols et pouvant contribuer en partie à la compensation

<sup>139</sup> Loi n°2021-1104 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets - <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924>

<sup>140</sup> <https://www.globalmethanepledge.org/>

des émissions directes de GES (voir partie C.3). De plus, les productions agricoles peuvent contribuer à la réduction des émissions des autres secteurs économiques par la fourniture d'énergie et de matériaux moins carbonés.

#### **À envisager :**

- Synthétiser les travaux existants sur la quantification des émissions de GES de l'agriculture biologique (/ha, /kg)

## **B. Les émissions indirectes du secteur agricole hexagonal**

Aux émissions directes des activités agricoles s'ajoutent des émissions indirectes qui sont essentiellement liées à la fabrication des fertilisants azotés et des autres intrants (autres engrais, produits phytosanitaires, fabrication du matériel, construction des bâtiments agricoles), à la fabrication des aliments pour animaux importés (émissions usuellement comptabilisées dans le pays producteur), au transport des marchandises et aux émissions du secteur énergétique induites par les consommations finales de l'agriculture (raffineries, etc.).

Fabrication des engrais azotés <i>Dont fabrication en France (Données 2019)</i>	10 Mt 2.6 Mt
Fabrication des autres intrants (autres fertilisants, produits phytosanitaires, matériel, bâtiments)	5 Mt
Production d'énergie	1 Mt
Alimentation animale / Déforestation importée	4 Mt

**Tableau 3 : Ordre de grandeur des émissions indirectes sur l'agriculture française en 2021 (MtCO<sub>2</sub>e)**

Source : SGPE, CLIMAGRI®, ADEME

Par ailleurs, la transformation des produits agricoles via l'industrie agroalimentaire française (sucreries, transformation des céréales, industries laitières...) génère des émissions estimées à environ 8,4 Mt CO<sub>2</sub>e en 2022<sup>141</sup>. Ces filières seront plus particulièrement étudiées lors de la deuxième phase du projet.

### **• Les émissions liées à la fabrication des engrais azotés**

**La fabrication des engrais azotés de synthèse produit des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation de gaz fossile, à la fois comme matière première et comme combustible, ainsi que des émissions de N<sub>2</sub>O.** Elle constitue ainsi une part significative des émissions de GES de l'industrie de la chimie française, avec 14 % des émissions de la filière, en seconde place derrière la pétrochimie (27 %), pour un total de l'ordre de **2,6 MtCO<sub>2</sub>e en 2019**<sup>142</sup>. Soit, pour un volume de fabrication d'environ 0,8 Mt d'azote, **environ 3,5 kg CO<sub>2</sub>e par kg N.**

Des progrès importants ont été réalisés ces dernières années par les usines de production d'ammonitrate en France et en Europe, via un nouveau procédé de catalyse qui a permis de réduire de plus de 90 % les émissions de N<sub>2</sub>O, et une réduction de moitié des émissions de GES des engrais fabriqués en Europe depuis le début des années 2000<sup>143</sup>.

Au total, en tenant compte également des importations d'engrais (75 % de la consommation), **les émissions liées à la fabrication des engrais azotés utilisés par l'agriculture métropolitaine avoisinent les 10**

<sup>141</sup> CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten éd. 2023

<sup>142</sup> Secrétariat Général à la Planification Ecologique, 2023a. La planification écologique dans l'agriculture - 9 juin 2023 – Point d'étape

<sup>143</sup> <https://www.unifa.fr/sites/default/files/2021-11/dossier-de-presse-unifa-2021-vf.pdf>

**MtCO<sub>2</sub>e**<sup>144</sup>. Par ailleurs, les émissions évitées par l'utilisation de fertilisants organiques à la place d'engrais de synthèse représenteraient 4,5 millions tonnes CO<sub>2</sub>e<sup>145</sup>. **À valider**  
Une réduction très ambitieuse de 9 Mt CO<sub>2</sub>e des émissions indirectes liées à l'azote est envisagée à l'échéance 2030<sup>146</sup>, via notamment la baisse des émissions de la production locale d'engrais.

- **Les émissions liées à la fabrication des aliments pour animaux importés**

Concernant les graines et tourteaux de soja importés pour l'alimentation animale, les émissions liées à la déforestation pour la culture du soja en Amérique du Sud sont estimées à 4 MtCO<sub>2</sub>e (source SGPE **à compléter**). Selon les filières animales, la part de ces émissions dans le bilan global varie : elle est logiquement plus significative lorsque la part des aliments importés dans l'alimentation des animaux est plus importante.

Une réduction de **XX** Mt CO<sub>2</sub>e des émissions indirectes liées à l'élevage est envisagée à l'échéance 2030<sup>147</sup>, via notamment la baisse de moitié des importations de soja.

- **Les émissions liées à la fabrication des produits phytosanitaires**

À partir de la base Ecoinvent<sup>148</sup>, seule base de facteurs d'émissions disponibles pour l'industrie phytosanitaire, avec plus d'une centaine de substances actives étudiées, le guide GES'TIM+<sup>149</sup> fournit des valeurs moyennes d'émissions par poids de substance active, en prenant en compte la fabrication et le transport. **Les émissions liées à la fabrication des produits phytosanitaires sont néanmoins marginales par rapport aux autres sources d'émissions, de l'ordre de 8 kgCO<sub>2</sub>e par kg de substance active**, soit environ **XXX** tCO<sub>2</sub>e pour l'année 2022.

- **Les émissions liées au transport des productions et des intrants**

La distribution des intrants, la collecte des productions dans les fermes, l'expédition des marchandises vers les sites de première transformation, génèrent des flux logistiques conséquents, variables selon les types de productions et leur massification possible, fonction des volumes, de la périssabilité, de la saisonnalité. Nous ne disposons pas à ce stade de données agrégées sur ces émissions.

Des travaux<sup>150</sup> sur l'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France montrent que le transport des aliments pour animaux représenterait un tiers du trafic total, en majorité pour des tourteaux, et presque un cinquième des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur. Avec un tiers des émissions liées au transport, ce sont les fruits et légumes qui représenteraient la plus grosse part en tonnage, pour un quart du trafic total. Si l'on considère toute la chaîne de la production à la distribution, les produits agricoles et agroalimentaires représentent presque un tiers des marchandises transportées<sup>151</sup> en tonnes-kilomètres en 2019. L'analyse de l'impact de cette géographie logistique du système agroalimentaire sera approfondie lors de la deuxième phase du projet.

---

<sup>144</sup> Secrétariat Général à la Planification Ecologique, 2023a. La planification écologique dans l'agriculture - 9 juin 2023 – Point d'étape

<sup>145</sup> [https://www.interbev.fr/wp-content/uploads/2023/09/lessentiel-bovins-2023\\_web.pdf](https://www.interbev.fr/wp-content/uploads/2023/09/lessentiel-bovins-2023_web.pdf)

<sup>146</sup> Secrétariat Général à la Planification Ecologique, 2023a. La planification écologique dans l'agriculture - 9 juin 2023 - Point d'étape.

<sup>147</sup> Ibid.

<sup>148</sup> <https://ecoinvent.org/>

<sup>149</sup> Guide GES'TIM+, Référentiel méthodologique d'estimation des impacts environnementaux des activités agricoles sur le changement climatique, la consommation d'énergie non renouvelable et la qualité de l'air, 2020 p391

<sup>150</sup>

<sup>151</sup> [https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-02/datalab\\_82\\_bilan\\_transports\\_2019\\_decembre2020.pdf](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-02/datalab_82_bilan_transports_2019_decembre2020.pdf)

## L'inventaire Floréal du CITEPA : les émissions par type de production agricole

Parallèlement à la diffusion des résultats de comptabilité d'émissions au format SECTEN, le CITEPA propose un autre format de rapportage des émissions des secteurs Agriculture, Forêt et Usage des terres, l'inventaire Floréal. Celui-ci reprend les résultats d'émissions des inventaires nationaux et les répartit différemment en s'appuyant sur des facteurs d'allocation pour mieux cerner l'ensemble de l'activité agricole. Il intègre notamment les émissions liées à la production des intrants et à la fabrication des aliments du bétail, ainsi qu'à la transformation des produits agricoles. Ces allocations plus fines permettent de traiter avec plus d'attention l'interdépendance entre les filières animales et végétales.

En France métropolitaine, selon l'inventaire 2022<sup>152</sup>, **les émissions de GES des sols agricoles se répartissent principalement entre les céréales (49 %), les prairies (18 %), les oléagineux (10 %) et les cultures industrielles (10 %)**. Les cultures permanentes (vignes, vergers, autres cultures permanentes) représentent environ 7 % des émissions, les cultures fourragères annuelles et les autres protéagineux 7 % également. Les céréales représentent des surfaces cultivées importantes et notablement fertilisées, alors que les prairies le sont globalement beaucoup moins.

**Les émissions de GES des élevages français se répartissent entre les bovins laitiers (42 %), les bovins viande (40 %), les porcins (6 %), les volailles (5 %) et les autres élevages (8 %)**. Pour rappel, ces différents décomptes n'intègrent pas les émissions importées, et en l'occurrence celles de l'alimentation animale importée.

Concernant les élevages, des calculs complémentaires pourraient être menés qui tiennent compte d'allocations d'émissions les répartissant entre les différents produits issus des filières, distinguant viande, cuir, engrais organiques, etc. Un "biais alimentaire"<sup>153</sup> restreint la fonction de l'élevage à la fourniture de denrées alimentaires alors qu'il remplit d'autres fonctions et contribue à des services écosystémiques.

### Complément : estimation du solde import / export en termes d'émissions de GES

Une partie des émissions de GES attribuées à l'agriculture française correspond à des productions exportées, notamment des céréales, des bovins, du lait... Inversement, la France importe des produits agricoles tels que des fruits et légumes, des tourteaux de soja, de la viande, du poisson... Malgré les difficultés liées à la compilation de données internationales sur les empreintes carbone, **une estimation du bilan de ces échanges internationaux<sup>154</sup> générerait un solde positif d'émissions de GES de 9,3 MtCO<sub>2</sub>e au stade de la production agricole, soit un peu plus de 10 % des émissions françaises**. En d'autres termes, les émissions des produits exportés excèdent les émissions des produits importés.

---

<sup>152</sup> Citepa, 2022. Rapport d'inventaire Floréal – Edition 2022

<sup>153</sup> Daviron B., 2019. Biomasse : une histoire de richesse et de puissance. Versailles, Éditions Quæ, 392 p. (coll. Synthèses)

<sup>154</sup> Barbier et al., 2019, L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France, Club Ingénierie Prospective Energie et Environnement, Paris, IDDRI

## C. Le stockage de carbone dans les sols, un puits vulnérable

Si le secteur agricole est émetteur de GES, il se pratique sur les sols qui, d'une part, constituent des stocks de carbone importants, d'autre part peuvent permettre le stockage additionnel de carbone atmosphérique via le processus biologique de la photosynthèse opéré par les végétaux chlorophylliens. Avec les espaces forestiers et les océans, les sols agricoles sont des puits de carbone naturels potentiels.

La comptabilité du secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et de la Forêt) utilisée dans le rapport SECTEN permet de suivre, par unités géographiques (forêts, terres cultivées, prairies, zones humides, zones urbanisées...), les flux d'émissions et d'absorptions de carbone entre les sols et l'atmosphère, en tenant compte des différents compartiments de carbone (biomasse morte, biomasse vivante, sol).

Contrairement aux inventaires des autres secteurs, les émissions du secteur UTCATF ne sont pas estimées sur la base des activités, mais sur la base des surfaces d'utilisation des terres. Elles sont donc basées sur une matrice de changement d'affectation des sols (artificialisation, boisement de terres agricoles, conversion de prairies en terres cultivées...) pour l'année considérée.

**Le secteur des terres est aujourd'hui un puits net de carbone, estimé pour l'année 2021 à - 17 MtCO<sub>2e</sub>, grâce à une croissance de la biomasse forestière et non forestière plus importante que les émissions du secteur qui sont liées à la mortalité des arbres, aux feux de forêt et à l'artificialisation des sols (dont retournement des prairies). Cela représente seulement 4 % du total des émissions nationales.**

Le puits de carbone des terres était encore estimé à environ - 40 MtCO<sub>2e</sub> au début des années 2010 et constituait un élément central de la SNBC, remise en cause notamment par l'effondrement du puits forestier ces dernières années lié à la hausse de mortalité des arbres (sécheresses à répétition, crises sanitaires), au ralentissement de la croissance des peuplements et à la hausse des prélèvements).

Concernant les terres agricoles, **pour le dernier inventaire, seules les prairies constituent un puits de carbone** (- 1,3 MtCO<sub>2e</sub>), alors que le secteur des terres cultivées est émetteur de 7,7 MtCO<sub>2e</sub><sup>155</sup>, essentiellement du fait des variations du stock de carbone dans le sol du fait des pratiques agricoles. Le secteur est donc globalement émetteur de 6,4 MtCO<sub>2e</sub>.

Remarque : les émissions liées au changement d'affectation des terres (CATF) sont allouées aux unités géographiques d'origine. Ainsi, les émissions de GES liées à l'artificialisation des sols agricoles sont comptabilisées dans le secteur agricole, alors qu'elles correspondent à l'arrêt de l'activité agricole sur ces surfaces.

Si l'on tente de distinguer UT et CATF dans la présentation des chiffres, l'Inventaire Floréal 2022 (données 2020) fournit les données significatives suivantes :

- Bilan biomasse des prairies restées prairies = - 1,2 MtCO<sub>2e</sub>
- Bilan biomasse des prairies devenues cultures = + 1,1 MtCO<sub>2e</sub>
- Conversion des prairies en cultures = +13 MtCO<sub>2e</sub>
- Conversion des cultures en prairies = - 6 MtCO<sub>2e</sub>
- Boisement des prairies = - 4 MtCO<sub>2e</sub>

La conversion de cultures en prairies permet de stocker du carbone, l'inverse en déstocke massivement.

### À compléter :

- Expliciter les liens (et différentiels constatés) entre les données Secten et Floréal

### À approfondir :

- Etudier la quantification du potentiel de stockage de carbone (en prenant en compte sa dynamique temporelle)

---

<sup>155</sup> CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten éd. 2023

## Carbone, CO<sub>2</sub> et Matière Organique des sols

Les sols, mince couche superficielle générée à l'interface du sous-sol et de l'atmosphère, sont composés d'une fraction minérale issue de l'altération de la roche-mère (90 à 99 %), et d'une fraction organique (1 à 10 %). Cette Matière Organique (MO) provient de la décomposition et du métabolisme d'êtres vivants (végétaux, animaux ou microbiens), et donc directement ou indirectement de la fabrication photosynthétique de composés carbonés par les végétaux : elle est constituée, en moyenne, d'environ 50 % de carbone<sup>156</sup>, qui provient du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Sous l'action des micro-organismes du sol, les MO peuvent ensuite être dégradées plus ou moins rapidement selon les conditions pédoclimatiques locales (texture du sol, température, humidité, oxygénation) et les pratiques agricoles, produisant du CO<sub>2</sub> émis en retour dans l'atmosphère : c'est la minéralisation. Ainsi le stock en carbone du sol est fonction de la balance<sup>157</sup> entre les apports de MO (résidus de cultures ou apports exogènes tels que effluents d'élevage et composts) et la vitesse de minéralisation : les sols agricoles peuvent donc être des puits de carbone, des sources, ou se trouver à l'équilibre. Certains changements d'affectation des sols comme le déboisement ou le retournement de prairies au profit de cultures annuelles, accélérant la minéralisation, sont très émetteurs de carbone. À l'inverse, l'insertion de couverts végétaux d'interculture dans les rotations augmente les apports en MO et permet l'augmentation de la teneur en carbone du sol. De même, les cultures laissant plus de résidus au sol sont plus favorables à l'augmentation du taux de MO que celles en restituant peu.

La teneur en MO, dont l'optimum dépend de la texture des sols (notamment sa teneur en argiles), est un bon indicateur de qualité, gage de fertilité, d'un bon fonctionnement biologique et d'une bonne stabilité structurale, notamment face aux risques d'érosion.

Le stock de carbone organique dans les 30 premiers centimètres des sols français est estimé à 3 580 Mt de C, équivalent à 13 400 Mt de CO<sub>2</sub>e<sup>158</sup>, hors surfaces artificialisées, dont 1 736 Mt de C, soit 48,5 % sous les sols agricoles (22 % sous prairies et 26,5 % sous terres arables) et 38 % sous les sols forestiers<sup>159</sup>. À l'hectare, ces stocks sont en moyenne plus importants, mais aussi plus variables, pour les prairies permanentes (84,6 tC/ha) et les sols forestiers (81 tC/ha) que pour les terres arables (51,6 tC/ha). Pour ces dernières, ce niveau moyen de stock correspond approximativement à une teneur de 1,3 % de C et de 2,3 % de MO (pour une densité apparente de 1,3).

À l'échelle planétaire, le stock de carbone organique dans les sols est estimé à 2 400 000 MtC (2400 GtC, Giga tonnes de C), soit le triple de la quantité de carbone contenue dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub> (860 GtC). Sachant que les émissions anthropiques mondiales sont estimées à environ 10 GtC par an, un calcul simple suggère qu'une hausse annuelle de 0,4 %, soit 4 pour 1000, du stock de C dans les sols pourrait théoriquement les compenser : c'est la base de l'Initiative internationale 4p1000<sup>160</sup> portée par la France à l'occasion de la COP21, qui vise à montrer que l'agriculture, et en particulier les sols agricoles, peut jouer un rôle essentiel en matière de changement climatique en tant que puits de carbone.

*Proposer un ordre de grandeur : peut-on compenser les émissions de GES par un stockage additionnel de C dans les sols ? Il faudrait une augmentation annuelle d'environ 6,5 % du stock dans les sols agricoles pour compenser les émissions annuelles nationales (415 MtCO<sub>2</sub>e, 112 MtC), soit une augmentation moyenne de X en % de la teneur*

<sup>156</sup> Les analyses de sol mesurent précisément la teneur en C organique, puis la multiplient par un coefficient fixe de 1.724 pour en estimer la teneur en MO.

<sup>157</sup> Calculée pour les sols agricoles via le "bilan humique"

<sup>158</sup> 1t C = 44/12 t CO<sub>2</sub> = 3.67 t CO<sub>2</sub>

<sup>159</sup> <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4pM-Synth%C3%A8se-Novembre2020.pdf>

<sup>160</sup> <https://4p1000.org/>

en MO dans les 30 premiers centimètres de tous les sols agricoles français, à surface constante. Est-ce possible dans la durée ? Approfondir les travaux (notamment Pellerin et al.)

+ Existence d'une teneur plafond

+ Difficulté : puisque la MO du sol contient 5 % d'azote organique (rapport C/N de 10 environ), le stockage additionnel de C implique de stocker de l'azote dans le même temps. Si cet azote provient d'apports de fertilisants supplémentaires, il en résulte aussi des émissions additionnelles de N<sub>2</sub>O et de CO<sub>2</sub> liées à la fabrication des engrais, ou de CH<sub>4</sub> liées à l'élevage. Et une augmentation de la teneur en MO du sol risque d'entraîner des pertes plus importantes de N<sub>2</sub>O, par accroissement du flux d'azote minéralisé dans le sol.

## D. Contribution de l'agriculture à la décarbonation des autres secteurs

Les émissions des GES évitées par les autres secteurs économiques par l'usage des biocarburants et de biogaz sont estimées à 7 MtCO<sub>2</sub>e, correspondant à 40 TWh<sup>161</sup>. Les stratégies de décarbonation en cours visent un objectif additionnel de 3 MtCO<sub>2</sub>e évitées grâce aux biocarburants. Pour atteindre la neutralité carbone au niveau national, de grands espoirs sont portés sur les ressources agricoles qui deviendraient majoritaires par rapport aux ressources forestières. Les axes identifiés sont la hausse des effluents d'élevage utilisés en méthanisation, le triplement des couverts intermédiaires, en particulier des CIVE, l'agroforesterie et les haies. Les agriculteurs seraient aussi fortement incités à mobiliser des surfaces pour produire des cultures lignocellulosiques, comme le miscanthus, pour la fabrication de carburants de deuxième génération<sup>162</sup>. Un scénario de 15 % de biogaz, correspondant à 50 TWh, est envisagé, en 2030.

Les autres formes de production d'énergie renouvelable à la ferme ou aux champs comme l'agrivoltaïsme sont par ailleurs en plein développement, assurant des revenus bien supérieurs aux revenus agricoles. L'emprise au sol de ces installations reste à considérer, et fait l'objet de débats concernant le taux de couverture de sol acceptable.

### À approfondir :

- Proposer une quantification de la contribution du secteur agricole à d'autres secteurs économiques utilisant la biomasse agricole pour leur décarbonation (textile, construction, ...)

### Le développement de l'agri-voltaïsme en France

Aujourd'hui, il existe peu de projets démonstrateurs combinant agriculture et production photovoltaïque, et globalement très peu de références bibliographiques sur l'impact des installations agrivoltaïques sur la photosynthèse et la croissance des plantes (donc les phénomènes de concurrence pour la ressource solaire).

Filière relativement récente, l'agrivoltaïsme est encore en phase de structuration. Les résultats agronomiques sur des cultures indiquent une diminution de la température en période caniculaire (jusqu'à 5°C), une augmentation de la température en période de gel (jusqu'à 2°C), une diminution de l'évapotranspiration de 40 % et une diminution des besoins en irrigation de 30 %. Les projets d'agrivoltaïsme fournissent également des zones d'ombrage aux élevages, pouvant contribuer ainsi à

<sup>161</sup> Secrétariat Général à la Planification Ecologique, 2023a. La planification écologique dans l'agriculture - 9 juin 2023 – Point d'étape

<sup>162</sup> Secrétariat Général à la Planification Ecologique, 2023b. La planification écologique dans l'énergie - 12 juin 2023 – Document de travail

l'amélioration du bien-être animal. Des questions se posent néanmoins sur les risques de blessures des animaux, ainsi que plus globalement sur l'adaptation des structures à l'activité de l'agriculteur.

Il est à noter que ces résultats dépendent grandement des lieux où les expérimentations ont été réalisées. En effet, les résultats positifs de l'impact des panneaux solaires sur les cultures sont surtout observés dans les régions soumises à la sécheresse, à de hauts taux d'ensoleillement et où l'on observe des stress hydriques importants. Dans ces régions, l'ombrage apporté par le parc photovoltaïque, la création d'un micro-climat plus tempéré et humide vont apporter une véritable protection à la plante.

De façon générale, il est quasiment impossible de conclure aujourd'hui sur l'intérêt mutuel de projets agrivoltaïques. Les premières conclusions de Christian Dupraz, chercheur à l'INRAE, conduisent aux assertions suivantes :

Les projets ne devraient pas dépasser des surfaces au sol de 3 à 5 ha.

Le GCR (Ground Coverage Ratio, rapport entre la surface des panneaux et la surface du terrain) ne devrait pas dépasser 25 %, en conditions « normales », sous peine de pénaliser le rendement agricole (les producteurs d'énergie cherchent aujourd'hui à atteindre des CGR de 45 %). Toutefois cette valeur est à nuancer selon le projet (localisation, type de plante...) Le GRC ne devrait pas être imposé car il doit s'adapter au type de culture et au contexte pédo-climatique. Certains hauts GRC sont plus à même de rendre un service à la plante (région aride et plante aimant l'ombrage par exemple).

La rémunération des agriculteurs et les relations entre le promoteur et l'agriculteur ne sont pas réglementées que ce soit en matière de loyer, de vente de l'électricité produite, de propriété de l'installation. Mais, en particulier pour des cultures spécialisées, en zone climatique chaude et sèche, les bénéfices pour les cultures comme la vigne, les fruitiers, le maraîchage pourraient être significatifs (moindre consommation d'eau, baisse des températures extrêmes, moindre évapotranspiration).

Les projets sont donc pertinents sous certaines conditions seulement.

## 4. D'autres impacts environnementaux

Avec la modernisation des pratiques et notamment le recours à des molécules de synthèse, les activités agricoles sont devenues la source d'impacts environnementaux significatifs dans les différents compartiments des écosystèmes. S'exerçant en milieu ouvert, elles peuvent être la source de pollutions diffuses moins facilement maîtrisables que des pollutions localisées. Ces contaminations diffèrent selon la sensibilité du milieu et le degré d'intensification des pratiques. Du fait de la persistance de certaines molécules, ou du temps de transfert entre la surface et les eaux souterraines, certaines pollutions peuvent être la conséquence de pratiques passées.

**Ce rapport n'a pas vocation à proposer une présentation détaillée de ces problématiques, mais souhaite en tenir compte dans ses analyses et propositions. Voici un rappel des principaux enjeux.**

- **Impacts sur la qualité de l'eau : contamination des eaux souterraines et superficielles par des polluants d'origine agricole**

### **Pollution des eaux souterraines par les nitrates, dérivés des engrais azotés (mais aussi issus du retournement de prairies)**

La pollution par les nitrates est la première cause de déclassement des masses d'eau souterraines françaises<sup>163</sup>. Si l'amélioration des pratiques a permis une augmentation progressive de l'efficacité de la fertilisation azotée, il est difficile de réduire à zéro les pertes dans le milieu. D'autant qu'il peut exister une forte vulnérabilité intrinsèque du milieu au transfert d'azote dans les eaux souterraines<sup>164</sup>. Cependant, sur la dernière décennie, les actions engagées dans le cadre de la Directive Nitrates ont permis d'améliorer globalement la situation<sup>165</sup>.

### **Pollution des eaux par les produits phytosanitaires**

De nombreuses molécules restent détectées dans les eaux superficielles. Cependant leur présence a baissé d'environ 20 % depuis 2008, principalement du fait de la baisse des herbicides, dont certains ont été interdits. Concernant les eaux souterraines, en 2018, 35 % des points de mesure des réseaux de surveillance montrent une concentration totale dépassant la norme de 0,5 µg/l pour le total des substances, contre 14 % en 2010.

- **Impacts quantitatifs sur les "ressources" en eau**

En raison de son cycle naturel, l'eau est, à la différence des ressources minérales, en grande partie renouvelable, et retourne pour partie dans le milieu après utilisation. Pour en mesurer les principales utilisations par les activités humaines, on distingue la comptabilité des prélèvements de celle des consommations, représentant la part qui ne revient pas au cycle continental de l'eau douce.

L'agriculture ne représente que **9 % des prélèvements annuels d'eau douce** dans les eaux souterraines ou de surface, estimés au total à environ 33 milliards de m<sup>3</sup> (hors hydroélectricité), après le refroidissement des centrales électriques (51 %), les canaux de navigation (16 %), la production d'eau potable (16 %) et avant les autres activités dont l'industrie (8 %)<sup>166</sup>.

Mais une partie de l'eau prélevée étant évaporée ou incorporée dans le sol, les plantes ou les productions, les usages agricoles représentent **58 % des consommations (principalement en période estivale, où la ressource est plus rare)**, estimées au total à 4,1 milliards de m<sup>3</sup> par an, soit 12 % des prélèvements, devant

<sup>163</sup> [https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-02/datalab\\_80\\_chiffres\\_cles\\_eau\\_edition\\_2020\\_decembre2020v2.pdf](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-02/datalab_80_chiffres_cles_eau_edition_2020_decembre2020v2.pdf)

<sup>164</sup> <https://hal.inrae.fr/POLITIQUES-PUBLIQUES/hal-04352869v1>

<sup>165</sup> [https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-02/datalab\\_80\\_chiffres\\_cles\\_eau\\_edition\\_2020\\_decembre2020v2.pdf](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-02/datalab_80_chiffres_cles_eau_edition_2020_decembre2020v2.pdf)

<sup>166</sup> <https://www.notre-environnement.gouv.fr/actualites/breves/article/prelevee-ou-consommee-comment-compter-sur-l-eau?>

l'approvisionnement en eau potable (26 %), le refroidissement des centrales (12 %), les usages industriels et autres (4 %).

Le recours à l'irrigation, qui ne concerne aujourd'hui que 7 % des surfaces agricoles (voir A.3), varie selon les régions et les années, mais semble devoir augmenter avec l'évolution du volume annuel de précipitations, l'évolution attendue de leur saisonnalité (déficits de pluie en été, excédents en période froide) et l'évolution des températures et donc de l'évapotranspiration des plantes. Si l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère peut avoir, dans une certaine mesure, un effet "antitranspirant"<sup>167</sup> pour les plantes, la "méditerranéisation"<sup>168</sup> attendue du climat hexagonal soulève la question de la viabilité de certaines productions agricoles dans la moitié Sud de la France sans sécurisation, si cela est compatible avec les autres usages de l'eau locaux, par des systèmes d'irrigation. La question se pose tout particulièrement pour la production de végétaux très riches en eau tels que fruits et légumes frais. L'irrigation permet aussi parfois de se prémunir contre le gel tardif de printemps sur des cultures en avance de végétation (arboriculture, viticulture).

**À compléter** : Préciser les notions d'eau bleue / eau verte

- **Impacts sur la qualité de l'air : ammoniac et particules en suspension**

L'agriculture est le principal secteur contribuant aux émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) dans l'air, avec 94 % des émissions<sup>169</sup>. L'ammoniac est à l'origine de l'acidification des sols, mais aussi de particules en suspension dégradant la qualité de l'air. La volatilisation de l'ammoniac survient essentiellement au moment de l'épandage des engrais azotés organiques et minéraux et lors de la gestion des déjections animales. Les émissions agricoles ont baissé de 20 % entre 1990 et 2021 et devraient poursuivre cette trajectoire avec l'adoption de meilleures pratiques d'élevage<sup>170</sup> et de pratiques culturales et d'un plan d'action visant à supprimer l'utilisation des matériels d'épandage les plus émissifs en 2025.

- **Impacts sur la biodiversité**

**Les systèmes agricoles ont façonné les paysages français, source d'une grande diversité d'agroécosystèmes et de biodiversité associée, mais les techniques agricoles modernes ont pu altérer les équilibres biologiques des milieux.**

Les principales sources d'impacts de l'agriculture sur la biodiversité sont liées :

- à l'utilisation de produits phytosanitaires, avec des effets différents selon les molécules et les usages,
- à l'utilisation d'engrais préjudiciable selon les milieux et les territoires (effets sur la flore des prairies, sur les milieux aquatiques, etc.),
- aux effets des systèmes agricoles sur la diversité des paysages agricoles (diversité des assolements, taille des parcelles, présence d'infrastructures agroécologiques - haies, arbres, bandes fleuries, etc.),
- au changement d'usage des terres (prairies permanentes et espaces bocagers étant des habitats particulièrement favorables à la biodiversité, malgré des évolutions de pratiques d'élevage parfois inscrites dans une tendance à la simplification).

La biodiversité comprend aussi la diversité cultivée, évoquée ci-dessus (voir 2.E).

---

<sup>167</sup> <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14557864/>

<sup>168</sup> <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/displayMenu/192?secondLevel=300>

<sup>169</sup> CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten éd. 2023

<sup>170</sup> <https://www.web-agri.fr/previsions-meteo/article/859595/les-solutions-pour-limiter-les-emissions-d-ammoniac-en-elevage>

## Biodiversité, facteur de stabilité et de productivité pour les agroécosystèmes

Depuis quelques années, un nouveau front de recherche et d'expérimentation tend à se dessiner en matière de biodiversité. Celle-ci n'est plus seulement envisagée comme une somme de taxons mis en péril par des activités agricoles en expansion et souvent en quête d'intensification, mais plutôt comme un levier majeur de stabilité et de productivité pour les agroécosystèmes. De nombreuses études récentes<sup>171172173174175</sup> établissent en effet la nécessité de préserver et de stimuler la biodiversité agricole, à différentes échelles (parcelle, ferme, paysage) et sous différentes formes (génétique, interspécifique), pour maintenir un haut niveau de productivité tout comme de résilience des systèmes agricoles, faisant face à de nombreuses perturbations d'ordre biotique (e.g. pathogène) et abiotique (e.g. pressions climatiques). Ces publications appellent ainsi à une vigilance accrue en ce qui concerne l'état et la dynamique de la biodiversité au sein même des systèmes agricoles, et pas seulement en dehors. Cela fait lien avec la controverse *land sparing vs land sharing* avec l'opposition entre les défenseurs de réservoirs de biodiversité aménagés à l'extérieur des systèmes agricoles, rendus alors plus intensifs, et ceux encourageant à stimuler la biodiversité au sein des agroécosystèmes<sup>176</sup>. Par-delà ces clivages, la littérature a établi aujourd'hui que la richesse spécifique et l'abondance des organismes vivants conditionnent la propension des systèmes agricoles à assurer des services écosystémiques, dont la contribution à la sécurité alimentaire<sup>177</sup>. En cela, la biodiversité constitue une clef d'entrée, et pas uniquement de sortie, pour apprécier la productivité et la résilience d'un modèle agricole.

Pour aider à penser la biodiversité comme un facteur de production, les chercheurs mettent en avant des données chiffrées pointant l'influence de l'état de la biodiversité sur les rendements agricoles. En France, plusieurs travaux corréleront ainsi la stagnation de la productivité en grandes cultures à une baisse de la fertilité des sols, liée certes à des carences en nutriments (azote minéral, phosphore), mais également à une moindre diversité de communautés microbiennes du sol, des réseaux de champignons mycorrhiziens ainsi que des populations d'insectes et de mammifères. L'érosion subie par ces différents taxons affectent très sensiblement le potentiel productif des sols français<sup>178</sup>. Par ailleurs, d'autres modalités d'intensification de l'agriculture, telles que le recours accru aux phytosanitaires, aurait un impact néfaste sur l'entomofaune, dont la richesse spécifique aurait chuté de 44 % sur le siècle passé<sup>179</sup>. Sur une tonalité plus positive, la méta-analyse de Van Groenigen et al., publiée en 2014, pointe l'influence des vers de terre sur la productivité globale d'un système agricole. En cas de pratiques favorables à ces organismes ingénieurs du sol, les rendements pourraient être rehaussés de 25 % et la production de biomasse souterraine de près de 23 %, principalement grâce au recyclage des nutriments et de la matière organique<sup>180</sup>. On perçoit ainsi un effet direct entre la vitalité et la richesse spécifique de ces organismes vivants, et la productivité d'un agroécosystème donné. Dans cette optique, le non-labour et les techniques culturales simplifiées sont intéressantes pour dynamiser l'activité biologique des sols et améliorer sensiblement leur santé (teneur en matière organique, stabilité structurale, ...). A l'inverse, certaines pratiques observées en systèmes conventionnels (e.g. application de phytosanitaires), peuvent nuire à ces organismes du sol pourtant non ciblés, et causer des stress aux sols, ayant pour

<sup>171</sup> [Ceballos et al., 2015](#), Accelerated modern human-induced species losses : Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1 (5).

<sup>172</sup> [Newbold et al., 2016a](#), Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 353(6296), pp.288-291.

<sup>173</sup> [Beckmann et al., 2019](#), Conventional land-use intensification reduces species richness and increases production: A global meta-analysis. *Global Change Biology*, 25(6), pp.1941-1956.

<sup>174</sup> [Sánchez-Bayo et al., 2019](#), Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, pp.8-27.

<sup>175</sup> [Diego Garcia-Vega, 2024](#), Should we value biodiversity in agriculture? The case for biodiversity as a production factor. *Sciences Po*.

<sup>176</sup> Ibid

<sup>177</sup> [Cardinale et al., 2012](#), Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), pp.59-67.

<sup>178</sup> [Mueller et al., 2012](#), Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419), pp.254-257.

<sup>179</sup> [Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019](#), Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, pp.8-27.

<sup>180</sup> [van Groenigen et al., 2014](#), Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 4(1).

conséquence une contraction des populations de vers de terre et de champignons mycorhiziens ; ces derniers étant très précieux pour la solubilisation du phosphore souterrain<sup>181</sup>.

Sur le front de la résilience, plusieurs publications établissent une corrélation positive entre la diversité des communautés microbiennes du sol et la fourniture de services de régulation visant à contrer les pathogènes du sol (soil-borne pathogens)<sup>182</sup>. De même, la diversité génétique des espèces végétales cultivées et la variabilité des traits agissent comme un puissant frein à la circulation des bioagresseurs<sup>183</sup>.

D'autre part, la biodiversité à l'échelle des paysages est également vectrice de protections, de régulations biologiques et de résilience face au réchauffement climatique. A cet égard, de nombreuses publications appellent à accroître la diversité des espèces cultivées, et notamment d'inclure des dispositifs agroforestiers dans les rotations afin d'atteindre un haut degré de complexité structurale et écologique, contribuant à mitiger l'impact des variations climatiques comme à améliorer la résilience des productions agricoles<sup>184</sup>.

## • Impacts sur la santé des sols

Un travail du sol trop intensif en altère les qualités physiques, pouvant entraîner des phénomènes d'érosion hydrique ou éolienne (voir B.6). Les surfaces maintenues toujours en herbe et les itinéraires maximisant la couverture des sols permettent en revanche de lutter contre ce risque.

C'est le cas des **pratiques de l'Agriculture de Conservation des Sols**, favorisant une perturbation mécanique minimale des sols. Officiellement définie par la FAO<sup>185</sup> en 2001, elle repose sur trois grands principes :

- couverture organique permanente des sols, par des résidus de culture ou des cultures principales ou intermédiaires ;
- réduction maximale de travail du sol, grâce au recours au semis direct ;
- diversification des espèces cultivées (rotations longues et cultures associées).

### À compléter :

- Développement de l'ACS en France
- Détail des itinéraires techniques
- Présenter les avantages (santé des sols, consommation carburant, temps de travail) et limites (matériel spécifique, débats sur le glyphosate)

<sup>181</sup> [Mueller](#) et al., 2012, Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419), pp.254-257.

<sup>182</sup> [Schlatter](#) et al., 2017, Disease Suppressive Soils: New Insights from the Soil Microbiome. *Phytopathology*, 107(11), pp.1284-1297.

<sup>183</sup> [Wetzel](#) et al., 2016, Variability in plant nutrients reduces insect herbivore performance. *Nature*, 539(7629), pp.425-427.

<sup>184</sup> [Lin](#) et al., 2011, Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive Management for Environmental Change. *Bioscience* 61, pp. 183–193.

<sup>185</sup> <https://www.fao.org/conservation-agriculture/fr/Barbier> et al., 2019, L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France, Club Ingénierie Prospective Energie et Environnement, Paris, IDDRI

## 5. Un contexte socio-économique déterminant

Si les productions agricoles se basent sur les contraintes physiques et naturelles du milieu, elles sont également conditionnées par des paramètres socio-économiques qui se jouent à des échelles territoriales, nationales et internationales comme au niveau des fermes elles-mêmes.

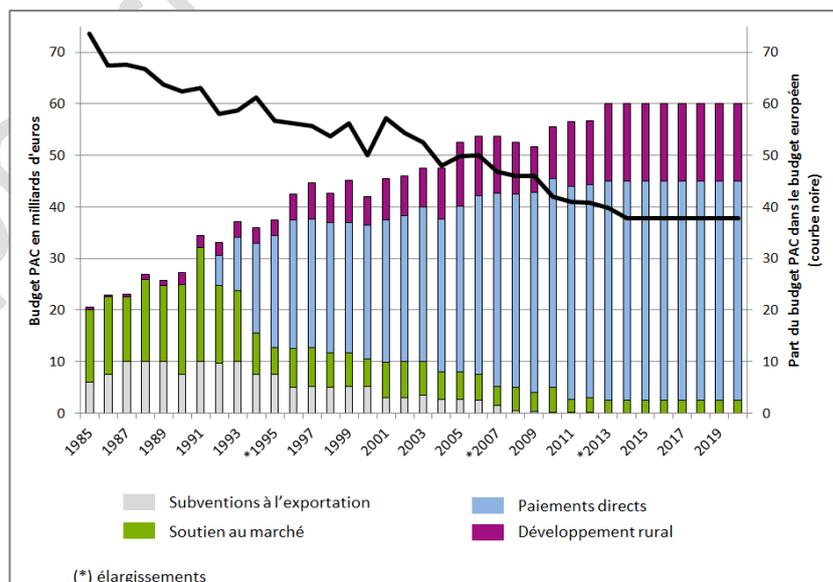
### A. Le cadre structurant de la Politique Agricole Commune

- Des logiques successives contrastées

Après la Seconde Guerre Mondiale, l'Europe cherche à se reconstruire et à accroître sa capacité nourricière. La Politique Agricole Commune est mise en œuvre en 1962, avec une logique de création d'un marché commun agricole, à l'échelle de l'UE, déconnecté du marché mondial grâce à des taxes aux frontières visant à favoriser la production agricole européenne : c'est la préférence communautaire. En passant par un budget commun au sein de l'UE, la solidarité financière assure une redistribution au sein des États membres.

Ces logiques visaient à accroître la productivité de l'agriculture et à assurer la rémunération des agriculteurs en s'adossant à des mécanismes de stabilisation des marchés, contribuant ainsi à garantir la sécurité des approvisionnements, tout en assurant des prix raisonnables aux consommateurs. Des négociations internationales, notamment avec les États-Unis, ont « autorisé » cette structuration des marchés malgré les règles commerciales internationales, moyennant une absence de taxes douanières sur les protéagineux, créant de fait une absence d'autonomie encore en cours aujourd'hui sur ces protéines végétales, importées depuis le continent américain.<sup>186</sup>

Au fil des réformes successives, cette Politique agricole commune est passée d'une politique de maîtrise des prix à une politique de soutien des revenus, marquée notamment par l'introduction d'aides découplées des productions, et, avec ses dernières réformes, à une orientation progressive vers une approche prenant en compte les enjeux environnementaux.



**Figure 24 : Evolution de la répartition du budget européen de la PAC de 1985 à 2020.**

On y observe le passage de la politique de structuration du marché à l'export vers des paiements directs et des aides au développement rural. Source : <https://capeye.fr/histoire-de-la-pac/>

<sup>186</sup> Sophie Thoyer, « La régulation du commerce international et la PAC » (cours) <https://capeye.fr/wp-content/uploads/Cours/Cours-commerce-OMC-PAC.pdf>

- **Des instruments de soutien économique et d'action environnementale**

La PAC actuelle s'appuie sur un mécanisme de soutien économique des agriculteurs via les paiements directs : ces derniers, proportionnels aux surfaces (droits à paiement de base, DPB) ou aux productions (aides couplées) doivent **permettre aux agriculteurs de s'aligner sur les prix des marchés mondiaux, en compensant des coûts de production supérieurs au reste du monde** (ex : droit du travail, coût de la main d'œuvre, niveau de vie, exigences en matière environnementale et de bien être animal, ...). Ce soutien est également associé à un Fonds pour le développement rural, qui bénéficie également aux agriculteurs via des aides directes (indemnité compensatoire de handicap naturel - ICHN) et indirectes (aides à l'investissement, à l'animation du territoire, etc.).

La PAC prévoit également des mesures de régulation des marchés en cas de crise. Ainsi, en période de déséquilibres graves sur les marchés, ou de crises diverses, le règlement prévoit la capacité d'intervenir pour éviter une baisse soudaine des prix ou en atténuer les conséquences.

La capacité d'action environnementale de la PAC repose sur trois volets.

- La conditionnalité des aides s'appuie sur la mise en œuvre des directives européennes pour proposer un socle commun environnemental minimum à tous les agriculteurs. Si ces obligations minimales ne sont pas respectées, les agriculteurs sont susceptibles de se voir supprimer une partie de leurs aides PAC.
- Le verdissement des pratiques agricoles, ou éco-régime, est présenté comme un paiement supplémentaire, éligible à tous les agriculteurs qui répondent à des exigences supérieures, sur la base de plusieurs critères substituables les uns aux autres, dont les orientations des exploitations (prairies permanentes pour les éleveurs, diversité des assolements en grandes cultures, etc.), ou encore des certifications (AB, HVE...).
- Enfin, des mesures contractuelles répondant à des contextes et à des enjeux spécifiques peuvent être mises en œuvre : les Mesures agroenvironnementales et climatiques (MAEC). Ces dernières permettent de cibler des enjeux ou des pratiques particulières (protection ou reconquête d'habitats ou d'espèces, protection de l'eau, transition à l'échelle de l'exploitation, etc.).

- **Des défis à affronter : prospérité des producteurs et règles de soutien au secteur**

Malgré l'importance de la production alimentaire, les revenus de la plupart des agriculteurs sont significativement inférieurs aux revenus du reste de la population. La poursuite simultanée de plusieurs objectifs contradictoires via les politiques publiques agricoles conduit en effet à mettre les agriculteurs au cœur d'injonctions paradoxales.

- D'un côté, la logique de libre circulation des biens et des marchandises, au sein de l'Union européenne et avec les pays tiers dans le cadre de traités de libre-échange, pousse les agriculteurs dans un mécanisme de compétitivité : ils doivent pouvoir aligner leurs coûts de production sur ceux des autres pays, dans un marché de commodités.
- De l'autre côté, les exigences sociales et environnementales européennes et nationales font peser des contraintes sur les moyens de production, qui ne s'imposent pas aux autres pays avec lesquels ils sont mis en concurrence. Ainsi, outre un cadre social et normatif général (salaire minimum, droit du travail, cotisations sociales, etc.) variable d'un État à l'autre, le droit environnemental (autorisation de substances phytosanitaires, surfaces d'intérêt écologique, etc.) est également dépendant des mises en œuvre réglementaires nationales.
- L'absence d'obligation d'indication de la provenance pour certains produits, ou le non-respect de cette obligation, ne permettent pas, en outre, aux consommateurs d'être suffisamment informés.

Les politiques nationales pour l'agriculture sont également très contraintes sous l'angle économique, notamment par la notion d'aide d'État. Le Traité sur le Fonctionnement de l'Union européenne (TFUE) dispose en effet que « sont incompatibles avec le marché intérieur, dans la mesure où elles affectent les échanges entre États membres, les aides accordées par les États ou au moyen de ressources d'État sous

quelque forme que ce soit qui faussent ou menacent de fausser la concurrence en favorisant certaines entreprises ou certaines productions. »<sup>187</sup>

Le dialogue stratégique sur l'avenir de l'agriculture européenne, lancé en janvier 2024, doit permettre d'« écouter les préoccupations de l'ensemble de la chaîne agroalimentaire » et de « forger une vision commune » de l'avenir du secteur. Quatre grandes problématiques sont identifiées par la Commission européenne : le revenu des agriculteurs, la durabilité de leurs pratiques, la compétitivité du secteur et l'innovation technologique.

**À compléter** : suivi de l'actualité sur la Politique Agricole Commune et mise à jour

## B. Une rentabilité économique aléatoire et très hétérogène

C'est l'un des objectifs explicites de la PAC : « assurer un niveau de vie équitable à la population agricole, notamment par le relèvement du revenu individuel de ceux qui travaillent dans l'agriculture » (article 39 du TFUE). Or **il existe une très forte hétérogénéité des revenus agricoles** selon les orientations technico-économiques des exploitations, leur taille et les circuits de commercialisation utilisés, cette variabilité s'observant également entre fermes d'une même catégorie, et selon les marchés dont la volatilité complexifie la commercialisation des productions.

Il est d'ailleurs devenu **plus difficile de définir les contours du revenu agricole** : la forme traditionnelle de l'exploitation familiale où travaillent les deux conjoints est de plus en plus remplacée par des formes sociétaires, les activités agricoles se diversifient vers de nouvelles sources de revenus (production d'énergie renouvelable, transformation, etc.), la multiplicité des statuts possibles interrogeant la notion même d'agriculteur actif.

En croisant différents indicateurs et sources statistiques, le CGAAER<sup>188</sup> donne une lecture du revenu agricole moyen par le ratio Excédent Brut d'Exploitation par Unité de Travail Annuel, pour les non-salariés agricoles (exploitants et co-exploitants) : « En 2020, **en moyenne, l'EBE/UTANS s'est élevé à 52 120 euros. Il a permis de rembourser des emprunts à hauteur de 20 480 euros, de payer 8 160 euros de cotisations sociales des actifs non-salariés, 2 130 euros de charges financières et de dégager un [revenu] disponible de 21 350 euros** ». A noter que ce revenu disponible n'est pas équivalent à un revenu (étant régulièrement utilisé pour l'auto-financement).

L'augmentation moyenne de ce revenu par actif non salarié masque une volatilité croissante depuis 2005 et la **baisse de plus de 20 % du résultat brut de la branche agricole** en euros constants, malgré la hausse des volumes produits.

---

<sup>187</sup> [https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\\_services/daj/publications/Vade-mecum-aides-Etat-2020/Fiche-1.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/publications/Vade-mecum-aides-Etat-2020/Fiche-1.pdf)

<sup>188</sup> <https://agriculture.gouv.fr/evolution-du-revenu-agricole-en-france-depuis-30-ans-facteurs-devolution-dici-2030-et-lecons-en>

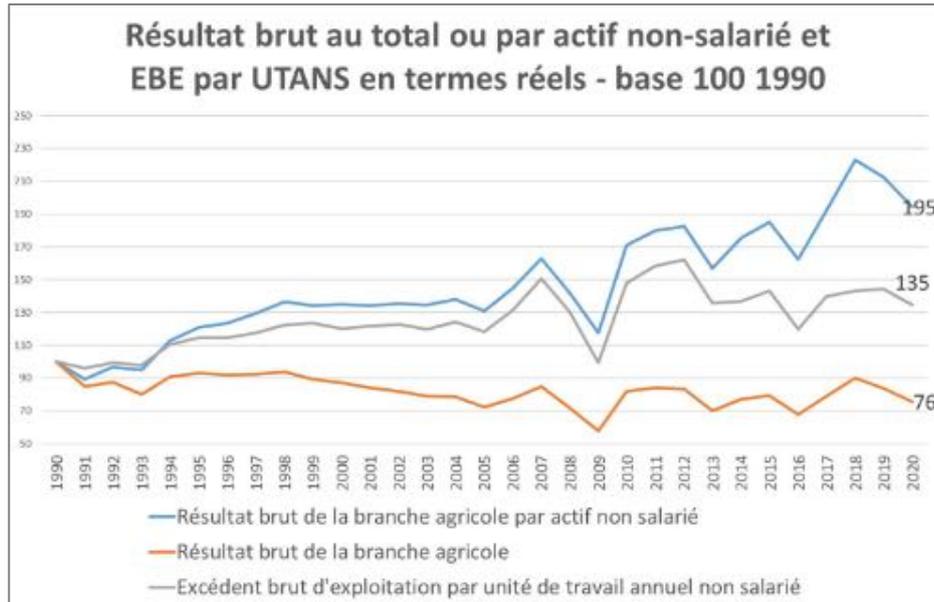


Figure 25 : Résultat brut au total ou par actif non-salarié et EBE par UTANS en termes réels – base 100 1990

Source : CGAAER

Ces chiffres moyens cachent de grandes disparités entre les orientations des exploitations, en termes de revenu comme en intensité capitalistique, de plus en plus élevée. Ces disparités se retrouvent dans les derniers résultats économiques disponibles, ceux de l'année 2022, qui affichent par ailleurs une forte progression<sup>189</sup>. Celle-ci s'explique essentiellement par la hausse globale des prix agricoles durant l'exercice, dans le contexte de la guerre en Ukraine, et malgré la hausse des charges. Néanmoins les filières fruitières, horticoles et les élevages ovins et caprins voient leurs résultats baisser sur cette période.

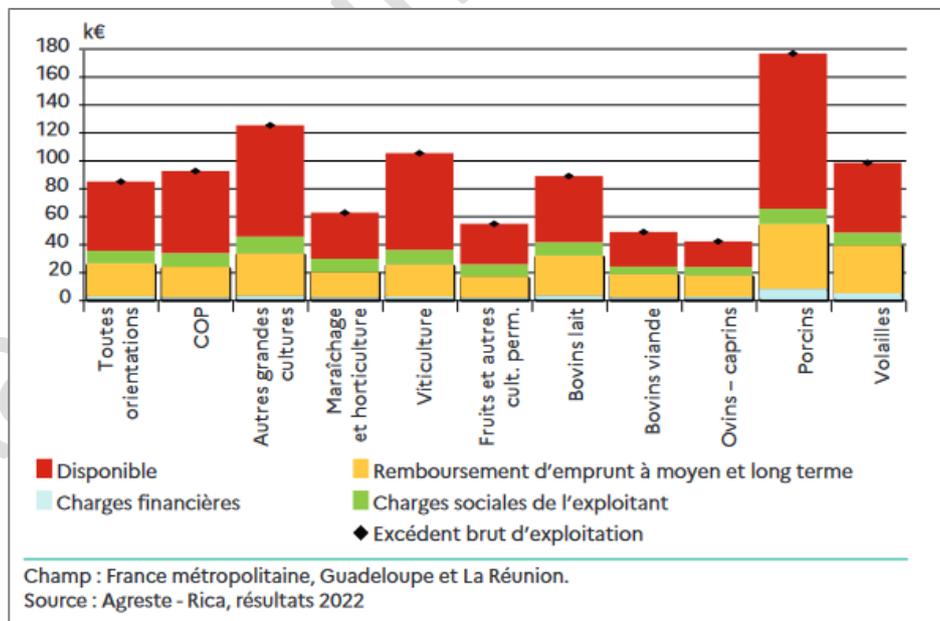


Figure 26 : Solde disponible par exploitant en 2022 par Otex

Source : Agreste – Rica, résultats 2022

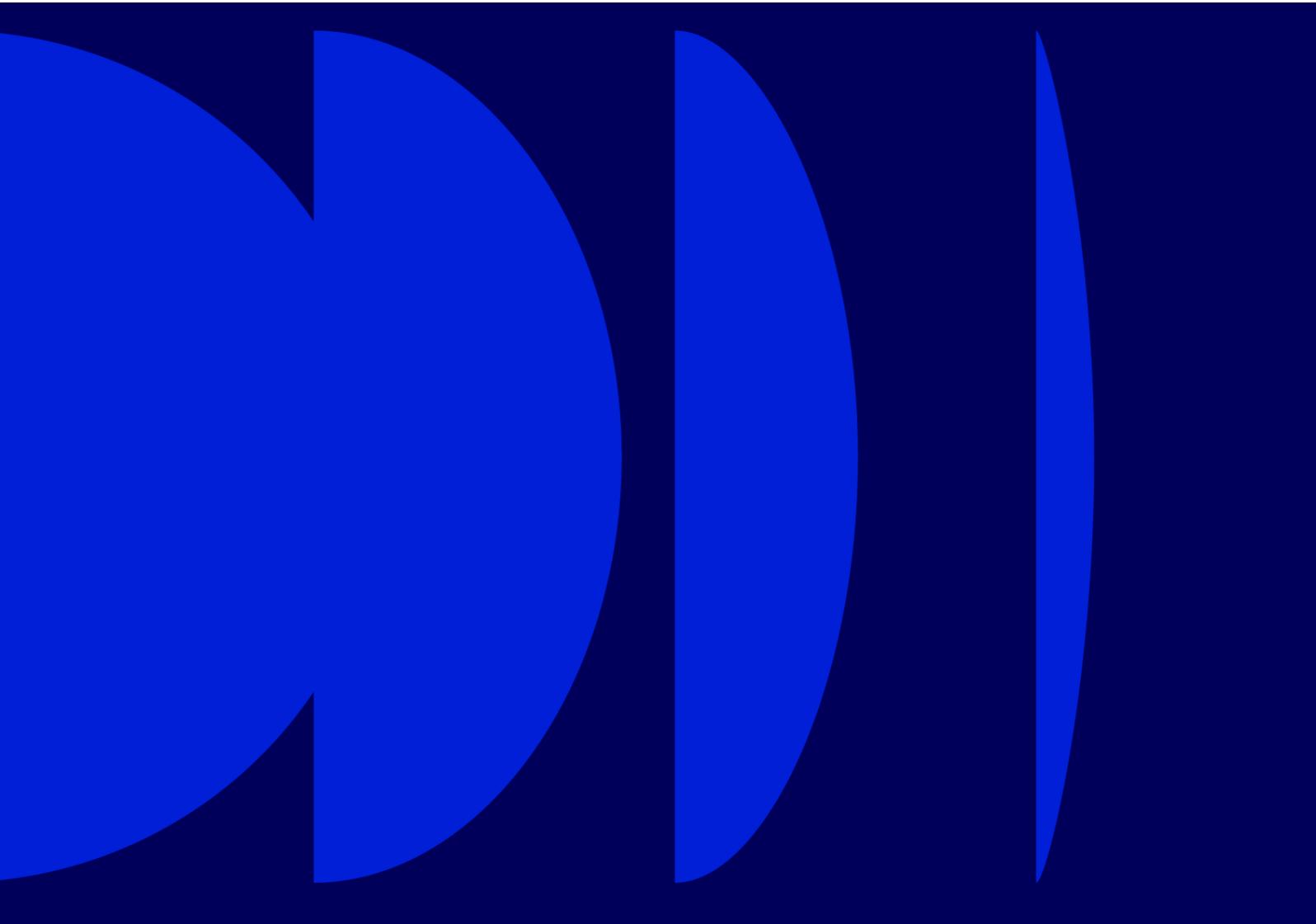
<sup>189</sup> [https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Pri2314/Primeur2023-14\\_Rica2022.pdf](https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Pri2314/Primeur2023-14_Rica2022.pdf)

De façon globale, les subventions diminuent depuis le début des années 2000, mais les soutiens publics restent, avec les marchés et les prix des intrants, un déterminant essentiel de la viabilité économique des exploitations. Malgré tout, les gains de productivité et les aides publiques ne garantissent pas pour autant le maintien des résultats économiques, et n'ont ainsi par exemple pas bénéficié aux éleveurs bovins durant la période 1990-2020.

Alors que les prix garantis des premières décennies de la PAC mettaient les producteurs à l'abri des fluctuations du marché, les subventions aujourd'hui directement allouées aux exploitations ne permettent plus, par construction, d'y faire face. Et les modalités de répartition de la valeur tout au long de la filière agroalimentaire ne permettent pas, malgré les lois EGAlim, d'affronter les variations des coûts de production.

**A compléter :**

- Documenter la question de l'image des agriculteurs et de l'agriculture, des tensions entre agriculteurs et société, des antagonismes liés aux souhaits de la société. Différencier la vision de la société sur les agriculteurs et la perception subjective de cette vision par les agriculteurs eux-mêmes.
- Détailler la problématique de la répartition de la valeur dans la filière (point à date sur EGAlim notamment)
- Mentionner les freins liés à l'administration et à la réglementation



# Leviers et projections de transformation du système agricole

# Leviers et projections de transformation du système agricole - Travaux en cours

Pour répondre aux multiples défis qu'ils doivent affronter simultanément, les systèmes de production agricoles disposent de différents leviers de transformation qui visent à réduire leur dépendance aux énergies fossiles, atténuer leurs émissions de GES, les adapter aux nouvelles conditions climatiques et contribuer à la préservation de la biodiversité. **Nous les présentons ici de façon thématique, sachant que certains leviers combinent à la fois des effets d'atténuation, d'adaptation et de résilience.** Un tableau récapitulatif de ces leviers est fourni en Annexe 4, avec les références bibliographiques associées. Dans le cadre de nos travaux, nous chercherons ensuite à combiner ces leviers dans des projections de transformation du secteur, en fonction de différentes hypothèses d'évolution et de priorités assignées aux fonctionnalités de l'agriculture à horizon 2050.

## 1. Des leviers d'atténuation et de résilience à actionner à différentes échelles

### A. Leviers à actionner à l'échelle des fermes : réduire les émissions directes, stocker du carbone, s'adapter et préserver la biodiversité

L'atténuation des émissions de GES du secteur agricole peut passer scientifiquement par deux grands modes d'action : réduire les émissions de GES d'une part, accroître le stockage de carbone dans les sols agricoles d'autre part. À noter cependant que **le stockage de carbone dans les sols agricoles n'est pas intégré directement dans les comptabilités carbone nationales** et que l'accroissement de ce stock de carbone vise à compenser les émissions résiduelles liées à l'ensemble des activités humaines - non spécifiquement celles de l'agriculture.

La réduction des émissions repose sur un ensemble de solutions techniques, en productions végétales comme en productions animales, se basant notamment sur des gains d'efficacité, la substitution d'intrants, la substitution d'énergie ou encore la modulation de l'intensité de production. De même, l'augmentation du stockage de carbone dans les parcelles agricoles repose sur le déploiement de pratiques stockantes connues qui permettent d'augmenter le stock agricole de carbone. Des leviers plus spécifiquement dédiés à la résilience et à l'adaptation au changement climatique, notamment par la gestion des ressources en eau et la préservation de la biodiversité peuvent également être activés.

#### À approfondir :

- Préciser/ Modifier la sémantique choisie pour ces leviers : leviers d'optimisation (ou d'efficacité)

- **Fertilisation azotée optimisée : réduire les émissions de N<sub>2</sub>O et limiter les pertes d'azote dans les milieux**

Une partie de l'azote apporté sur les sols agricoles via la fertilisation, qu'elle soit organique ou minérale, est perdue par volatilisation de l'ammoniac dans l'air et par lixiviation sous forme de nitrates vers les eaux souterraines, avec une efficacité estimée à une échelle globale de l'ordre de 50 % à 70 % environ selon les

sources (Inrae, Graph'Agri)<sup>190</sup>. **Des marges de manœuvre existent pour réduire et optimiser cette fertilisation azotée**<sup>191</sup> et donc les émissions de N<sub>2</sub>O, malgré la difficulté d'un pilotage précis en conditions réelles, à rendements constants :

- optimisation de l'utilisation des engrais azotés (juste adaptation des doses, utilisation des formes d'engrais les moins émettrices de GES, fractionnement des apports, modulation intra-parcellaire, meilleure précision du matériel d'épandage, enfouissement rapide des apports) ;
- augmentation des couverts végétaux de type CIPAN (cultures intermédiaires pièges à nitrates) ;
- augmentation de la surface en légumineuses dans la rotation (pois, féverole, soja, luzerne...), en culture principale, dans les couverts végétaux ou en plantes associées ;
- augmentation de la surface en cultures à bas niveau d'intrants dans la rotation (chanvre, tournesol...) ;
- optimisation de la gestion des prairies (allongement de la durée de pâturage, accroissement de la durée de vie des prairies temporaires, réduction de la fertilisation des prairies permanentes et temporaires les plus intensives) – ces leviers contribuant également à la baisse des émissions de CO<sub>2</sub>.

S'ils peuvent être massifiés, ces leviers sont déjà pour partie en action. Globalement la consommation d'engrais azotés de synthèse a tendance à stagner, voire à baisser (voir B.1). La pratique des couverts végétaux, d'abord rendus obligatoires par l'obligation de couverture des sols en zone vulnérable (Directive Nitrates), fait l'objet d'un déploiement notable, notamment dans une grande moitié Nord de la France<sup>192</sup>. Cependant la pratique n'est pas généralisable à toutes les rotations et trouve ses limites techniques dans la capacité à semer à bon escient selon les conditions météorologiques estivales. L'extension des cultures de légumineuses est en revanche aujourd'hui limitée par leur faible rentabilité en culture pure (prix insuffisamment attractifs, débouchés limités) face à des rendements très aléatoires, ainsi que par des difficultés techniques ou agronomiques pour les cultiver en tant que plantes compagnes. Les externalités positives (limitation de la fertilisation, de l'érosion, amélioration de la dynamique de stockage) des couverts sont également fortement dépendantes du facteur-clé qu'est le niveau de production de biomasse (densité et hauteur du couvert).

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	++	+	+

**À compléter : Affiner les estimations concernant l'efficacité de la fertilisation azotée**

- **Élevages durables : réduire les émissions de GES et accroître la résilience des systèmes**

**Si la diminution des effectifs des différents cheptels ruminants est un levier couramment admis pour réduire les émissions de méthane, elle doit cependant se réfléchir dans une prise en compte globale des services écosystémiques rendus par certaines formes d'élevage, en particulier en matière de protection des sols et des eaux souterraines, de stockage de carbone, de biodiversité et plus largement d'entretien des paysages et de valorisation de surfaces non arables.** Elle doit également se réfléchir en prenant en compte les échanges commerciaux puisque la diminution du cheptel national (tendance en cours, de manière subie) pourrait entraîner une hausse des importations, donc n'avoir pas d'impact positif sur les émissions de GES globales et affaiblir l'élevage français. L'élevage est de plus un

<sup>190</sup> Jarvis S., Hutchings N. et al., 2011. Nitrogen flows in farming systems across Europe. In Sutton M.A., Howard C.M. et al. (ed.), The European Nitrogen Assessment, Cambridge University Press, 211-227. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988.013>

<sup>191</sup> <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Hypoth%C3%A8ses%20AMS%20SNBC3%20INRAE%20Avril%202023.pdf>

<sup>192</sup> <https://agronomie.asso.fr/aes-12-1-3>

moyen de transférer des nutriments sous forme de fertilisants organiques indispensables en agriculture biologique et, plus globalement, substituables aux engrais azotés de synthèse eux-mêmes générateurs de GES, tout en étant potentiellement produits à la ferme ou dans les territoires avoisinants. **Un compromis est donc à trouver, pour les systèmes d'élevage présentant des externalités positives, entre la baisse du nombre d'animaux (sans que celle-ci ne soit compensée par des importations), la préservation de ces externalités positives et la limitation des émissions importées**, ce que les pouvoirs publics visent en particulier avec les règles de préservation des prairies permanentes (BCAE<sup>193</sup> 1 et 9 de la PAC) et via le soutien à l'agriculture biologique dont la productivité repose exclusivement sur les engrais organiques.

**Au-delà de la gestion des effectifs existent différents leviers techniques<sup>194</sup> permettant de réduire les émissions de méthane des élevages ruminants**, à production constante :

- optimisation de la conduite des troupeaux (réduction du format des animaux, en particulier des vaches laitières, diminution des périodes improductives via la baisse de l'âge au premier vêlage et la diminution de la mortalité, allongement des carrières des animaux) ;
- adaptation de l'alimentation des ruminants diminuant la fermentation entérique : incorporation de graines de lin extrudées, de compléments alimentaires ou d'algues ;
- sélection génétique "bas méthane" des troupeaux laitiers et allaitants ;
- amélioration de la gestion des effluents d'élevage (couverture des fosses et torchères, méthanisation).

La réduction des émissions de méthane, qui représentent une part majoritaire des GES agricoles, concerne les cheptels ruminants, sur lesquels se focalisent donc l'attention et les objectifs de réduction d'émissions. Néanmoins, ces objectifs doivent être nuancés selon le mode d'élevage concerné, le critère "émissions de GES" pris isolément étant trop restrictif pour juger de la performance environnementale globale d'un système, de sa résilience et des externalités positives associées. La comptabilité carbone stricte est ainsi plus favorable aux modes de production intensifs (en émissions de CO<sub>2</sub>e/kg de viande ou de lait produit), mais ne tient pas compte d'autres paramètres tels que la sécurité alimentaire, la possibilité de stockage de carbone dans les parcelles, la biodiversité spécifique des prairies, ou encore la préservation physique des sols.

A titre d'exemple, un calcul des empreintes carbone du lait issu de systèmes contrastés<sup>195</sup> montre que **les systèmes laitiers herbagers, moins bien placés en émissions brutes (0.89 kg CO<sub>2</sub>e/kg de lait) que les systèmes à base de maïs (0.86 kg CO<sub>2</sub>e/kg de lait) sont en revanche significativement plus intéressants en empreinte nette** c'est-à-dire intégrant le stockage de carbone lié aux prairies **(0.53 kg CO<sub>2</sub>e/kg de lait contre 0.76 kg CO<sub>2</sub>e/kg de lait)**.

Certaines formes d'élevage ont notamment développé des systèmes de production autonomes en intrants<sup>196</sup>, offrant à la fois une meilleure résilience économique et des performances sociales et écologiques élevées. Fondés sur le pâturage de prairies temporaires associant graminées et légumineuses, ils nécessitent une gestion fine des prairies et de la conduite du troupeau au pâturage, et garantissent une meilleure valeur ajoutée que les systèmes plus intensifs en intrants et achats extérieurs. Outre le bilan des émissions GES, ces élevages sont généralement moins dépendants des énergies fossiles, et plus économes en énergie de façon globale.

**En élevage de monogastriques (volailles et porcs), la notation environnementale classique via des analyses de cycle de vie (ACV) avantage également les élevages les plus intensifs (en kg CO<sub>2</sub>e par kg produit), sans tenir compte pour autant de certaines externalités négatives de ces modes de production et de la capacité des écosystèmes à les supporter.** De même, en stimulant la productivité

<sup>193</sup> Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales, <https://agriculture.gouv.fr/la-conditionnalite-des-aides-pac>

<sup>194</sup> <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Hypoth%C3%AAses%20AMS%20SNBC3%20INRAE%20Avril%202023.pdf>

<sup>195</sup> [https://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/IE\\_\\_Elevage\\_ruminants\\_et\\_changement\\_climatique\\_juin\\_2015\\_BD.pdf](https://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/IE__Elevage_ruminants_et_changement_climatique_juin_2015_BD.pdf)

<sup>196</sup> <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Ana126/analyse1261808.pdf>

par kg de produit, les ACV poussent à la compétition entre alimentation pour l'homme et pour l'animal<sup>197</sup>, tout particulièrement pour les monogastriques, grands consommateurs de céréales. Par ailleurs, ces approches ne prennent pas en compte les risques de contraction énergétique<sup>198</sup> qui peuvent peser à l'avenir sur des filières dépendant de procédés énergivores (notamment la plus forte vulnérabilité face à ces risques des systèmes d'élevage dépendant de terres arables), du transport des matières premières à leur transformation sous forme d'aliment et au transport des animaux.

**À compléter :** note séparée à intégrer (comparaison de l'efficacité GES de différents cahiers des charges d'élevages de monogastriques)

**À approfondir :**

- Détailler les métriques des GES notamment CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub> (notion de carbone biogénique, de flux additionnels, de transfert de fertilité)
- Proposer une synthèse de la performance environnementale des différents types d'élevage et produits animaux (tableau comparatif présentant les niveaux de production, les consommations d'énergie et émissions de GES, le stockage de carbone possible, le niveau de pression sur les terres arables, les impacts sur la biodiversité, l'eau...)
- Détailler les résultats économiques des différents systèmes d'élevage (notamment valeur ajoutée)
- Préciser les arbitrages et les enjeux de prise en compte des objectifs de réduction des cheptels (réduction des émissions de GES, concurrence alimentation humaine/animale, services écosystémiques, baisse tendancielle subie, enjeux en termes d'emplois).

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	++	+/-	+/-

- **Sobriété énergétique et énergies renouvelables : réduire les émissions de CO<sub>2</sub>**

**Réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur agricole repose sur la combinaison de mesures de sobriété et de substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables :**

- baisse de la consommation de carburants d'origine fossile (itinéraires techniques simplifiés, optimisation des rendements des tracteurs, efficacité des usages, juste dimensionnement du parc matériel, regroupement parcellaire) ;
- baisse de la consommation de combustibles d'origine fossile pour le chauffage des bâtiments et des serres, le séchage des productions (meilleure isolation des installations) ;
- substitution des énergies pour les moteurs des engins agricoles, le chauffage, le séchage (électrification - notamment pour des engins de faible puissance, biocarburants liquides, e-fuel, bioGNV, hydrogène).

Des travaux<sup>199</sup> ont estimé à 15 % les économies d'énergie possibles par rapport à la consommation actuelle d'une part, et le remplacement de la totalité des usages énergies fossiles par des énergies renouvelables à l'horizon 2050 d'autre part. **Il est plausible en effet d'imaginer à terme l'autonomie énergétique des fermes à partir d'énergies renouvelables** (photovoltaïsme et agrivoltaïsme, biomasse méthanisée, biocarburants, éoliennes), garantissant dans le même temps une moindre exposition aux variations du prix de l'énergie et une amélioration potentielle du revenu agricole. **Cependant, il importe de tenir compte des**

<sup>197</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619303622>

<sup>198</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X22002219>

<sup>199</sup> <https://agriculture.gouv.fr/decarbonation-de-lenergie-utilisee-en-agriculture-lhorizon-2050>

conflits d'usages qui se posent sur ces ressources énergétiques renouvelables, convoitées par de nombreux autres secteurs pour la décarbonation de leurs propres activités, et de la nécessité d'une capacité d'investissement importante de la part du secteur agricole.

### Cas particulier des micro-fermes

En maraîchage diversifié, les modèles de fermes organisés selon les concepts de la permaculture<sup>200</sup> repose sur un très faible niveau de motorisation en organisant la production de façon intense sur de petites surfaces : une fois installés (avec souvent un apport initial massif de MO en provenance d'autres fermes pour aggrader rapidement le sol), ils fonctionnent avec très peu d'énergie fossile, sans intrant de synthèse et avec une consommation d'eau économe grâce au paillage.

Basés sur une très grande diversité cultivée, ils profitent à la biodiversité et font preuve d'une grande résilience. Positionnés sur des circuits courts, leur rentabilité économique est cependant conditionnée aux débouchés locaux et à une commercialisation efficace.

À compléter

#### À compléter :

- Mentionner les antagonismes potentiels entre GES et biodiversité, notamment sur le travail du sol ou la taille des parcelles (cf tableau synthétique)
- Détailler les controverses sur la méthanisation<sup>201</sup>
- Donner plus de détails sur la permaculture (définition, résilience, biodiversité, potentiel de déploiement; enjeux)

#### À approfondir :

- Proposer un bilan des leviers 1a+1b+1c : calcul d'un potentiel d'atténuation total avec ces trois familles de leviers (fertilisation azotée optimisée, élevage durable, sobriété et ENR), à partir de la littérature et des estimations SGPE

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	++	/	++

- **Pratiques stockantes : augmenter le stock agricole de carbone et favoriser la résilience des systèmes**

Si la production agricole émet des gaz à effet de serre, c'est aussi l'un des rares secteurs à pouvoir stocker naturellement du carbone via le processus naturel de la photosynthèse, à condition d'en préserver les sols pour y maintenir les stocks existants et d'y développer les pratiques adéquates pour accroître les puits de carbone. Le stockage de carbone additionnel dans les sols agricoles est en effet réversible (et sensible aux évolutions climatiques) et temporaire (jusqu'à l'atteinte d'un nouvel état d'équilibre). Ces pratiques peuvent dans le même temps accroître la fertilité des sols, la biodiversité des espaces cultivés et, plus globalement, la résilience des systèmes. La préservation de sols fertiles et / ou leur régénération doit constituer une priorité.

<sup>200</sup> <https://hal.science/tel-02801554/>

<sup>201</sup> <https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20iddri/D%C3%A9cryptage/202404-IB0224FR-biomethane.pdf>

- Maintien des stocks de carbone existants : lutte contre l'artificialisation des sols, préservation des prairies permanentes, enherbement des cultures pérennes, maintien des linéaires de haies, des arbres isolés sur parcelles agricoles.
- Augmentation du puits de carbone agricole : généralisation des couverts végétaux et, plus généralement de l'agriculture de conservation des sols, déploiement de l'agroforesterie (plantation de végétaux ligneux, arbres et haies), augmentation de l'utilisation de ressources fertilisantes organiques, introduction de prairies temporaires dans les rotations de cultures annuelles.

#### À approfondir :

- Documenter les contradictions potentielles entre préservation des prairies permanentes, transmission des fermes, structuration de filières nourricières et diminution du cheptel.

#### Potentiel total de stockage de carbone

Des travaux<sup>202</sup> montrent **un potentiel de stockage de carbone conséquent dans les sols et la biomasse de 36 à 53,5 MtCO<sub>2</sub>e par an** sur une période de 30 ans par la généralisation de ces pratiques, en particulier l'agroforesterie et la plantation de haies, la généralisation des couverts végétaux et l'introduction ou l'extension des prairies temporaires dans les rotations de cultures. Ces calculs remettent en question les objectifs de seulement 10 MtCO<sub>2</sub>e retenus pour le puits de carbone agricole dans la SNBC, les scénarios de déploiement des pratiques stockantes retenus dans ces différentes études étant différents. Au-delà des leviers techniques de stockage de carbone mentionnés ci-dessus, des travaux sont également en cours pour estimer l'effet d'atténuation par l'albedo de la couverture du sol (prairies et couverts végétaux).

#### À approfondir :

- Expliciter le différentiel d'estimation du stockage carbone dans les différents travaux (assiettes de déploiement différentes a priori, quid des leviers considérés ?)
- Détailler les nouveaux leviers non quantifiés à date (ex : albedo)

#### À envisager :

- Quantifier un potentiel "réel" de stockage de carbone, prenant notamment en compte les paramètres économiques (à intégrer dans les projections) ?

**La pérennité du stockage de carbone dans les sols fait l'objet de débats, notamment concernant la cinétique de minéralisation à court terme de matière organique fraîche ajoutée aux sols**<sup>203</sup>. Par ailleurs, la capacité de stabilisation du carbone organique dans les sols dépend en partie de leurs propriétés intrinsèques et en particulier de leur teneur en argile. La capacité de stockage additionnel en dépend donc également et ce ne sont pas obligatoirement les sols présentant les plus faibles teneurs qui offrent le meilleur potentiel additionnel de stockage de carbone<sup>204</sup>.

#### À envisager :

- Proposer une estimation d'une empreinte carbone nette potentielle à échéance 2050 ? Calcul des émissions résiduelles moins puits de carbone potentiels, sans changements structurels majeurs

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	/ (sauf ACS)	++	++

<sup>202</sup> <https://hal.inrae.fr/hal-03899905/document>

<sup>203</sup> [https://www.researchgate.net/publication/358318232\\_Traduction\\_francaise\\_de\\_l'article\\_de\\_EJSS\\_Janvier\\_2022pdf](https://www.researchgate.net/publication/358318232_Traduction_francaise_de_l'article_de_EJSS_Janvier_2022pdf)

<sup>204</sup> GIS Sol, 2011. L'état des sols de France

- **Leviers de résilience**
- **Leviers en faveur de la biodiversité**

Au sein des pratiques agroécologiques, et au-delà des leviers déjà présentés ci-dessus qui ont pour la plupart des impacts en faveur de la biodiversité, des **leviers spécifiques** permettent de la favoriser tout particulièrement et de **faire profiter les systèmes agricoles de certaines interactions biologiques et des services écosystémiques associés (pollinisation, lutte contre certains ravageurs...)**.

Citons par exemple : retarder la fauche, faire pâturer les intercultures, implanter des bandes fleuries, etc. (voir tableau en annexe 4).

- **Leviers d'adaptation par la gestion de l'eau : stockage de l'eau dans les sols et irrigation de résilience**

La résilience des sols agricoles peut être favorisée par leur **capacité à stocker l'eau**<sup>205</sup> pour la restituer aux plantes cultivées en fonction de leurs besoins. Le Réservoir en Eau Utilisable d'un sol (RU), ou Réserve Utile, dépend en premier lieu des caractéristiques du sol (texture, teneur en cailloux et surtout profondeur), mais peut être amélioré par l'apport de MO (plus particulièrement en sols sableux). Les **pratiques agricoles améliorant la structure du sol, limitant le ruissellement de l'eau ou les pertes en eau par évaporation** (notamment certaines successions culturales avec semis sous couvert, gestion des résidus de cultures) et la culture de plantes à enracinement profond permettent d'optimiser l'utilisation de l'eau par les cultures et valorisent toute la profondeur du RU.

Cependant, dans les zones géographiques les plus problématiques, ou pour les productions agricoles très dépendantes de la disponibilité en eau, les variations attendues des précipitations, en volume comme en répartition au cours de l'année, nécessitent d'**organiser la gestion de la ressource en eau**, avec toutes les précautions qui s'imposent en termes de juste répartition de la ressource et de gouvernance.

**Différents leviers sont activables**<sup>206</sup> (voir tableau en annexe 4) : **systèmes permettant d'améliorer l'efficacité d'irrigation, création de nouvelles retenues d'eau en les conditionnant à des objectifs de sobriété des usages, etc.** Une irrigation de résilience devrait pouvoir être réservée aux cultures indispensables les plus vulnérables ou, selon les contextes, à des stades précis des cultures (semis des cultures de printemps, couverts d'été, semis de cultures plus sobres en eau à l'image du sorgho ou du millet).

**À approfondir** : Expliciter les modalités plus globales de résilience pour la gestion de l'eau (éviter le retour à l'océan des eaux vertes et bleues par une non-interruption du cycle de l'évapotranspiration : couvert végétal permanent via une irrigation raisonnée)

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	/	+/-	++	++

<sup>205</sup> <https://hal.inrae.fr/hal-02785139/document>

<sup>206</sup> <https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/285442.pdf>

## B. Leviers à actionner à l'échelle nationale : réduire les émissions indirectes, repenser les systèmes et les flux agricoles

Les leviers présentés ci-dessus sont activables à court ou moyen terme, avec des effets immédiats sur l'empreinte carbone et la résilience du système agricole, et peuvent être adoptés assez rapidement à l'échelle des fermes si le contexte économique et politique le permet ou le décide. Nos premiers travaux de chiffrage semblent montrer cependant qu'ils ne sont pas suffisants pour atteindre les objectifs d'atténuation nationaux à échéance 2050 et garantir la résilience du système. Dans un monde aux ressources physiques et énergétiques contraintes où il importe de sauvegarder notre capacité à nous nourrir, il nous faut aussi explorer des leviers plus systémiques, à une échelle nationale, qui impliqueraient notamment une transformation plus ambitieuse du secteur agricole par la recombinaison des systèmes de production, une nouvelle répartition territoriale des productions, la reconnexion des filières animales et végétales et le retour au sol accru des déchets organiques urbains, en lien avec une évolution des utilisations de la biomasse agricole et notamment des régimes alimentaires.

Il s'agira en particulier de s'assurer de la cohérence des feuilles de route de décarbonation aujourd'hui élaborées par filière de production, et de rendre compte des controverses liées à des enjeux clés : usage énergétique de la biomasse agricole, pérennisation et comptabilité du stockage de carbone dans les sols...

**À approfondir** : Préciser/Modifier la sémantique choisie pour ces leviers : leviers de reconception (ou de transformation)

**À envisager** : Préciser le rôle de l'échelle territoriale dans la mise en œuvre de certains leviers (ex : relocalisation de la production de l'alimentation animale, reconnexion des productions végétales et animales).

- **Relocalisation de la production de l'alimentation animale**

Les importations de soja en provenance d'Amérique du Sud pour l'alimentation animale (volailles et bovins laitiers essentiellement) sont la source d'émissions de GES conséquentes (4 MtCO<sub>2e</sub>), notamment du fait de la déforestation associée à cette culture.

Or des travaux récents<sup>207</sup> suggèrent que l'élevage français pourrait se passer du soja importé, en augmentant les surfaces nationales, en réservant ce soja aux seuls élevages de volailles et en redéployant des surfaces de légumineuses prairiales pour les élevages bovins.

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	+	+/-	++

- **Décarbonation de la fabrication des engrais azotés de synthèse**

Avec environ 10 MtCO<sub>2e</sub> en 2021, la fabrication des engrais azotés de synthèse, et notamment l'étape préalable de production de l'ammoniac (voir page 21), représente une part essentielle des émissions indirectes de GES du système agricole. Or **les industriels envisagent aujourd'hui de nouveaux procédés<sup>208</sup> permettant de décarboner cette production, soit en produisant l'ammoniac par électrolyse de l'eau et énergies renouvelables (ammoniac dit "vert"), soit en capturant le CO<sub>2</sub> émis lors de la fabrication (ammoniac dit "bleu")**. Une réduction de 90 % de l'empreinte carbone de fabrication

<sup>207</sup> <https://idele.fr/detail-article/lelevage-peut-il-se-passer-du-soja-importe>

<sup>208</sup> [https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8111/PTS\\_Ammoniac\\_synthese.pdf](https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/8111/PTS_Ammoniac_synthese.pdf)

des engrais de type ammonitrate est ainsi espérée<sup>209</sup>. Cependant les coûts de production de ces engrais décarbonés seraient aujourd'hui inaccessibles aux agriculteurs.

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	++	/	+

- **Reconnexion des productions végétales et animales : moindre spécialisation des régions agricoles et renouveau de la polyculture-élevage**

La disponibilité en engrais azotés de synthèse d'une part, en carburants bon marché d'autre part, a permis de dissocier les zones de cultures des zones d'élevage. **Une redistribution des élevages sur le territoire permettrait un meilleur usage des fertilisants organiques en zones céréalières, tout en limitant les impacts environnementaux dans les zones d'élevage très spécialisées sans surfaces d'épandage suffisantes pour absorber durablement les effluents, notamment en milieu vulnérable.**

Cette perspective pose la question du besoin d'outils d'abattage et de transformation de proximité, ainsi que des compétences et métiers autour de l'élevage (vétérinaires, inséminateurs, conseillers et techniciens, vendeurs de matériel...). Elle fait écho également à l'évolution de la réglementation sur le transport des animaux d'élevage. Elle soulèverait par ailleurs la question de l'acceptabilité de l'élevage par les riverains et l'attractivité de ses métiers par la nouvelle génération d'agriculteurs.

#### À approfondir

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	++	++	++

- **Rebouclage du cycle des minéraux et matières organiques par la gestion des excréta humains et des biodéchets urbains**

Le rebouclage du cycle des nutriments constitue un gros enjeu : alors que la fabrication et l'usage des engrais azotés de synthèse contribuent de façon importante aux émissions de GES du secteur, aujourd'hui 90 % de l'azote minéral excrété par les humains est perdu<sup>210</sup>. Le retour au sol des biodéchets urbains, en maîtrisant les risques sanitaires, pourrait également contribuer de façon significative à la fertilisation et au maintien de la productivité agricole.

#### À approfondir (et notamment sur les moyens, au-delà du recyclage, d'incorporer de l'azote dans les cycles agricoles)

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	++	+	++

- **Sélection de variétés et d'espèces plus résistantes aux stress biotiques et abiotiques**

<sup>209</sup> <https://www.yara.fr/fertilisation/blog/les-engrais-mineraux-azotes-decarbones-en-6-questions/>

<sup>210</sup> <https://hal.science/hal-04232722>

**La poursuite de la sélection de variétés et d'espèces mieux adaptées aux nouveaux contextes pédoclimatiques nationaux (stress hydrique, chaleur...), ainsi qu'aux pathogènes ou ravageurs, facilitera l'adaptation des systèmes agricoles.** Ce levier concerne les semenciers, mais aussi les agriculteurs qui pourraient être incités, dans les différents contextes français, à contribuer de façon plus importante à la sélection ou à la conservation dynamique des ressources biologiques.

Les recherches sur les biostimulants semblent offrir également des perspectives notables (sources à ajouter) : en stimulant les processus de nutrition des plantes, ils pourraient améliorer l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs et leur tolérance aux stress abiotiques, tout en garantissant les caractéristiques qualitatives des récoltes.

**Outre la sélection végétale doit être également anticipé le déplacement attendu des zones biogéographiques** (aires de répartition des cultures) sur le territoire national, par l'organisation des filières correspondantes en matière de collecte et transformation des productions.

**À approfondir, selon disponibilités de données cartographiques**

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	/	/	+	++

- **Flux logistiques plus résilients**

La contraction de la disponibilité en énergie affectera le transport national et international des intrants et denrées agricoles et des animaux d'élevage. Elle pèsera également sur le coût du stockage des productions, pouvant être soumis par ailleurs à des difficultés liées aux nouvelles conditions climatiques (besoin de froid en hiver pour le stockage à long terme des grains, ou inversement besoin en été de réfrigération pour certaines productions périssables). **Outre la décarbonation des usages, imaginer des flux plus courts et plus sobres peut s'envisager par une nouvelle répartition et/ou la relocalisation des productions lorsqu'elle est possible, et notamment à plus grande proximité des centres urbains.** Ces questions seront particulièrement cruciales pour les productions les plus fragiles telles que les fruits et légumes, par nature très périssables et transportés principalement par la route<sup>211</sup> (90 % des volumes intérieurs et 2/3 de flux intrarégionaux). En matière logistique, les possibilités d'optimisation sont évidemment très variables selon les productions et les volumes concernés<sup>212</sup>.

Objectif	Réduction gaz à effet de serre	Réduction énergie	Préservation biodiversité	Amélioration résilience
Effet	++	++	+	++

<sup>211</sup> <https://www.interfel.com/services/documentation/transport-fruits-et-legumes-frais-pratiques-et-enjeux-pour-la-filiere/>

<sup>212</sup> <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/65410/document/SYN-CER-Evaluation%20couts%20de%20la%20chaîne%20logistique%20cerealière%20française-2020%20.pdf?version=2>

## 2. Quelles projections de transformation pour l'agriculture française à horizon 2050 ?

À partir des possibilités offertes par les leviers de décarbonation et de résilience présentés ci-dessus, nous cherchons à imaginer des projections possibles de transformation du système agricole qui, tout en préservant sa fonction nourricière, contribueraient à l'atteinte des objectifs environnementaux français : atténuation des émissions de GES avec augmentation du stockage de carbone dans les sols, diminution de la dépendance aux énergies fossiles et résilience des productions aux crises (climatiques, énergétiques, etc.) à venir, tout en assurant la préservation des écosystèmes. De plus, au regard des multiples fonctionnalités de l'agriculture et des usages concurrents de la biomasse agricole, il semble important d'explicitier pour chaque priorité les arbitrages retenus et les coûts et bénéfices associés, et ainsi s'accorder sur le cap à donner au système.

**Nous ne présumons pas à ce stade d'un régime alimentaire optimal, ou encore d'une allocation optimale de la biomasse agricole. Nous essayons d'imaginer des modalités d'organisation des systèmes agricoles, c'est-à-dire une répartition relative des cultures et des cheptels, qui permettraient de répondre à des choix politiques distincts, en fonction des priorités assignées au secteur, tout en essayant d'atteindre les objectifs climatiques fixés au niveau national.**

Par la diversité de ses systèmes, de ses terroirs et de ses contextes pédoclimatiques, en mesure par ailleurs de déplacer certaines productions sensibles dans les nouvelles aires de répartition qui pourraient exister en 2050, l'agriculture française peut en effet être (ré)organisée de diverses manières. L'Histoire montre que les assolements peuvent être adaptés, que les cheptels évoluent, que les pratiques sont transformables.

**À envisager : Calibrer le niveau d'intégration possible de l'échelle territoriale dans la mise en place des leviers et dans les projections**

### A. Quels objectifs donner au système agricole français en 2050 ?

Dans le cadre de ces travaux, les objectifs fixés pour le système agricole français en 2050 sont les suivants :

- **nourrir la population**, et produire les ressources nécessaires au fonctionnement de la société (biomatériaux, biochimie et éventuellement bioénergie) ; des objectifs de sécurité alimentaire devraient ainsi traduire la capacité du secteur à répondre aux besoins en alimentation de la population nationale ;
- **atténuer l'empreinte GES** du système avec, en alignement avec les objectifs de la SNBC2, une baisse des émissions de 46 % par rapport à 2015, soit un objectif total de 48 MtCO<sub>2e</sub><sup>213</sup> alloué à l'agriculture en 2050, et une augmentation du stockage de carbone dans les sols à hauteur de ces émissions ;
- garantir la **résilience du système** face aux changements climatiques et aux crises climatiques ou énergétiques potentielles, en prenant en compte les questions énergétiques, des enjeux de fertilité ainsi que la disponibilité des sols cultivables, afin que ce système soit compatible avec la transition de l'économie française dans son ensemble (bouclage énergétique, ressources et sols) ;
- **préserver et restaurer la biodiversité agricole.**

Dans le même temps devraient être assurés des objectifs de prospérité économique des fermes, préalable à la transformation du secteur. Cette notion de prospérité justifie de réfléchir collectivement à des indicateurs pertinents.

<sup>213</sup> La SNBC 2 fait la répartition comme suit : 20,32 MtCO<sub>2e</sub> de N<sub>2</sub>O, 26,15 MtCO<sub>2e</sub> de CH<sub>4</sub> et 1,45 MtCO<sub>2e</sub> de CO<sub>2</sub>.

Concernant la place de l'innovation dans la transition du secteur, l'étude des domaines de pertinence des différentes technologies fait l'objet d'une note séparée, jointe à la fin de ce rapport.

#### **À compléter :**

- Mentionner les potentielles contradictions en cas d'objectifs antagonistes assignés à l'amont vs. à l'aval (rappel : périmètre de ce projet limité à l'agriculture)
- Mentionner les autres potentiels objectifs pour (ou dans lequel s'inscrit) le système agricole français, tels que la santé environnementale et humaine (approche "One Health")

#### **À approfondir :**

- Interroger les besoins en matière de souveraineté alimentaire (par filière)
- Proposer des indicateurs de prospérité économique des fermes pertinents à retenir

### **Autres travaux prospectifs en matière de transition agricole**

Il existe de nombreux travaux relatifs à la transition agricole, conduits notamment par l'INRAE<sup>214</sup>, l'IDDRI<sup>215</sup>, SOLAGRO<sup>216</sup>, l'ADEME<sup>217</sup>... Ces recherches s'adressent soit plutôt au monde agricole, avec de nombreuses références techniques, soit plutôt aux institutions et à la société civile, avec une volonté de narration et de scénarisation des transitions possibles.

Outre le cadre géographique de référence (France / Europe), les propositions de ces travaux se distinguent par :

- la priorité accordée aux questions énergétiques ou à la préservation de la biodiversité,
- une radicalité plus ou moins affirmée dans le choix des modes de production, en particulier concernant la place de l'agriculture biologique, et donc l'intensité en utilisation d'engrais azotés de synthèse et de produits phytosanitaires,
- la place des différents types d'élevage, en distinguant ruminants et monogastriques,
- la place des débouchés énergétiques de la biomasse agricole.

Concernant les engrais azotés de synthèse, les objectifs varient aussi selon le crédit accordé à la possibilité d'en décarboner la fabrication à l'avenir<sup>218</sup>.

Tous ces travaux ont en commun d'imaginer la reconception plus ou moins forte des systèmes agricoles et mettent en évidence la corrélation entre production agricole et régimes alimentaires. Cette question sera approfondie lors de la deuxième phase de notre projet : nous faisons dans un premier temps le choix de considérer d'abord le potentiel agricole physique du territoire, en termes de production de biomasse globale.

**À compléter :** Proposer un tableau synthétisant les options des différentes prospectives donnant à voir des évolutions de l'agriculture française. (Travaux en cours)

**À approfondir :** Préciser les différences de la présente approche par rapport aux scénarios existants (objectifs, leviers actionnés, cadre physique et/ou économique de référence)

**À envisager :** Affiner les projections présentées dans le rapport en utilisant des hypothèses chiffrées sur les contraintes physiques (énergie, azote, etc) ?

<sup>214</sup> <https://www.inrae.fr/actualites/agriculture-europeenne-pesticides-2050>

<sup>215</sup> <https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20iddri/Etude/201809-ST0918EN-tyfa.pdf>

<sup>216</sup> [https://afterres2050.solagro.org/wp-content/uploads/2015/11/solagro\\_afterres2050\\_version2016.pdf](https://afterres2050.solagro.org/wp-content/uploads/2015/11/solagro_afterres2050_version2016.pdf)

<sup>217</sup> <https://librairie.ademe.fr/ged/6531/transitions2050-rapport-compress2.pdf>

<sup>218</sup> ADEME, A. Deswaziere, S. Sourisseau, A. Pillet, C. Borde, S. Padilla, 2023. Plan de Transition Sectoriel de l'industrie de l'ammoniac en France : Rapport de synthèse. 48 pages.

## B. Première phase prospective : tests préliminaires de trois projections contrastées

- **Choix de projections à tester**

Pour orienter notre recherche, nous avons choisi d'explorer dans un premier temps les conséquences de trois grandes priorités qui pourraient être données au système agricole national à horizon 2050, selon que l'on viserait en priorité :

- une meilleure autonomie agricole et alimentaire nationale,
- une moindre dépendance énergétique nationale,
- le maintien de capacités exportatrices dans un potentiel objectif de contribution à une sécurité alimentaire internationale

Ces priorités sont fréquemment mises en avant par les acteurs économiques et décideurs politiques, sans que leur hiérarchisation soit claire. Nous avons cherché à mettre en évidence les effets d'une priorisation de ces enjeux les uns par rapport aux autres et en explorer les conséquences, et d'en évaluer les enjeux physiques sous-jacents.

Cet exercice a vocation à susciter le débat et les hypothèses testées ont été volontairement construites avec des orientations assez marquées, mais suffisamment réalistes pour ressembler au système agricole actuel. **L'approche vise à mettre en évidence les modalités d'arbitrage des usages des sols et des usages de la production agricole en conséquence** (usages des biomasses).

En outre, avec l'augmentation des aléas climatiques, la production de biomasse agricole souffrira des mêmes problématiques de fiabilité que les énergies intermittentes en 2050<sup>219</sup> et les volumes disponibles ne seront pas garantis tous les ans. Ces effets de variation des rendements seront explorés dans le rapport final.

**À approfondir** : Documenter les liens et antagonismes éventuels entre capacité exportatrice et sécurité alimentaire internationale (mise en concurrence entre pays, création de situations de dépendance alimentaire)

- **Présentation de l'outil utilisé**

Pour tester ces projections, nous avons utilisé l'**outil de calcul ClimAgri®**<sup>220</sup> développé par Solagro pour le compte de l'ADEME, utilisé dans de nombreux travaux de recherche, accessible dans son utilisation et ayant l'avantage d'avoir été mis à jour en septembre 2023. Les coefficients d'émissions utilisés et les formules de calcul sont par ailleurs validés par l'ensemble des instituts techniques agricoles.

À partir d'un jeu de données d'entrée caractérisant un système agricole à l'échelle d'un territoire (surfaces, cultures, rendements, nombre d'animaux, mode d'élevage, part de biomasse allouée à des usages énergétiques, importations...), ClimAgri® propose :

- un bilan des émissions directes et indirectes de GES du système,
- un bilan énergétique (consommations directes et indirectes),
- un bilan des productions d'énergies renouvelables,
- un "potentiel nourricier" du territoire (production totale estimée en calories et en protéines, et donc en nombre de personnes pouvant être nourries en fonction des besoins moyens quotidiens [BMQ] estimés par la FAO, ou des apports quotidiens réels [AQR] d'un Français aujourd'hui).

---

<sup>219</sup> <https://minesparis-psl.hal.science/hal-04166035v1/document>

<sup>220</sup> <https://solagro.org/travaux-et-productions/outils/ClimAgri®>

Une présentation plus détaillée de l'outil est fournie dans la note méthodologique qui sera publiée avec le rapport final.

- **Utilisation d'une liste de leviers « INRA-GES »<sup>221</sup> mis en œuvre dans l'outil ClimAgri®**

Dans une première approche, et de façon commune aux trois projections testées, nous avons profité de la possibilité de tester directement avec ClimAgri® un panel de leviers d'atténuation automatiquement pris en compte dans les calculs. Ces leviers, listés dans le tableau ci-dessous, ont été retenus lors de l'élaboration de l'outil car ils sont techniquement déployables dans des délais relativement courts à l'échelle des fermes et n'impliquent pas d'impact significatifs sur les rendements ou la structuration de l'agriculture française.

**Ainsi, dans cette phase préliminaire, nous n'avons pas recherché la réduction maximale des émissions de GES concernant les pratiques agricoles au-delà de l'activation de cette liste de leviers de type "amélioration continue" et nous raisonnons ici à rendements constants.** En revanche, les choix volontairement tranchés, concernant les assolements et répartitions des cheptels, retenus pour les trois projections testées relèvent de transformations plus profondes du secteur (voir paragraphe suivant).

---

<sup>221</sup> Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p.

Levier		Coefficient appliqué*	Assiette*
<b>Fertilisation azotée optimisée : réduire les émissions de N2O et limiter les pertes d'azote dans les milieux</b>			
	Ajustement des besoins de la culture à des objectifs de rendement réalistes	11 %	100 %
	Amélioration de la valorisation des engrais organiques	8 %	100 %
	Suppression du premier apport sur céréales à paille et colza	8 %	25 %
	Utilisation d'inhibiteurs	6 %	100 %
	Enfouissement des engrais	7 %	25 %
<b>Gestion des prairies</b>			
	Allongement des durées de pâturage	+20 jours (5 %)	100 %
	Accroissement de la durée des prairies temporaires	-15 % de fioul/ha	100 % des PT
	Désintensification de la gestion des prairies en réduisant la fertilisation azotée	-12 % d'azote minéral	100 % des prairies
<b>Élevages durables : réduire les émissions de GES et accroître la résilience des systèmes</b>			
	Substitution des glucides par des lipides insaturés dans les rations animales	-14 % CH4 entérique	100 % des vaches
	Réduction des apports protéiques dans les rations animales	-22 %	Pour les élevages dans lesquels les apports sont importants (50 %)
<b>Réduction des émissions de méthane des effluents d'élevage</b>			
	Développement de la méthanisation	33 % des effectifs bovins laits et porcins	
	Couverture des fosses et installation de torchère	50 % des autres élevages	
<b>Sobriété énergétique et énergies renouvelables : réduire les consommations d'énergie fossile et les émissions de CO<sub>2</sub> associées</b>			
	Engins agricoles (banc d'essai + écoconduite)	-15 % de consommation	100 %
	Développement des Techniques Culturelles Simplifiées – Semis direct	-38l/ha	100 %
	Chauffage des bâtiments d'élevage avicoles (par isolation, etc.)	-30 % de consommation	80 %
	Chauffage des serres	-10 % de consommation	100 %
<b>Pratiques stockantes : augmenter le stock agricole de carbone et favoriser la résilience des systèmes</b>			
	Développement des cultures intermédiaires dans les systèmes de grandes cultures	45 % des terres arables	
	Développement de l'enherbement des cultures pérennes	100 % en vergers 15 % en vignoble	100 %

**Tableau 4 : Liste de leviers « INRA-GES » mis en œuvre dans l'outil ClimAgri®**

\* La liste de ces leviers est issue d'une publication datant de 2013. Pour la suite de nos travaux, et notamment dans le cadre de la poursuite de la concertation avec les différentes filières, nous souhaitons pouvoir actualiser le potentiel futur d'activation de ces leviers, de 2022 à 2050, aussi bien en termes de coefficient que d'assiette d'application.

De façon commune aux trois jeux d'hypothèses testés, nous avons également tenu compte d'une artificialisation des sols additionnelle en 2050 arrondie à 2 % de la SAU actuelle (évolution tendancielle de - 25 000 hectares par an prolongée sur 20 ans, soit 500 000 hectares de SAU en moins).

## • Description des hypothèses retenues pour les trois projections

### ➤ **Projection 1 : Priorité à une meilleure autonomie agricole et alimentaire nationale**

**Objectif** : assurer en premier lieu l'alimentation de la population française, en dépendant le moins possible d'intrants et d'aliments importés (produire pour répondre à la totalité de la demande en produits agricoles aujourd'hui, sans importation).

Par rapport à la situation actuelle et aux dépendances du système agricole mises en évidence précédemment, cet objectif impliquerait la recherche :

- d'une **autonomie accrue en fertilisants**, organiques ou de synthèse, en particulier les engrais azotés (en cherchant à en réduire la consommation, mais avec la possibilité d'en augmenter la fabrication sur le territoire national sans importation de gaz fossile<sup>222</sup>) ;
- d'une **autonomie accrue en alimentation animale**, notamment en grains et tourteaux riches en protéines, mais aussi en légumineuses prairiales ;
- d'une **autonomie accrue en énergie** (carburants, combustibles, électricité) pour les fermes.

**Cette recherche d'autonomie impliquerait une hausse importante des surfaces de légumineuses**, que ce soit en culture principale, en interculture, via les plantes compagnes ou les couverts permanents, pour diminuer le recours aux engrais azotés de synthèse. **Elle impliquerait également une hausse des surfaces de protéagineux et légumineuses prairiales à destination de l'alimentation animale** afin d'assurer le remplacement des tourteaux et graines importés.

**L'autoconsommation énergétique des fermes pourrait être amplifiée** (photovoltaïsme, énergie bois et biomasse, méthanisation), mais la production de biocarburants et de biogaz ne serait développée qu'en cas d'opportunité et de disponibilité de gisements organiques locaux (pas de cultures dédiées) avec une consommation majoritairement locale.

**Les exportations seraient limitées aux seules productions agricoles excédentaires**, les importations aux seuls fruits et légumes exotiques, riz, café, cacao... La production sur le territoire de fruits et légumes tempérés correspondant à la consommation domestique serait recherchée. La surface de vignes serait considérée comme stable, avec une évolution probable des zones d'implantation de ces dernières sous le coup des changements climatiques.

#### **Hypothèses de calcul retenues pour cette projection 1 :**

**Ce qui n'est pas précisé n'est pour l'instant pas modifié par rapport à 2022.**

Relocalisation des productions et de l'alimentation animale :

- Doublement des surfaces de fruits et légumes, avec réduction d'autant de surfaces de blé tendre ;
- Augmentation du cheptel ovin de l'ordre de 85 % ;
- Augmentation du cheptel de volailles de l'ordre de 20 % ;
- Division par deux des surfaces en maïs ensilage, remplacées par des prairies temporaires et légumineuses fourragères, pour l'alimentation des vaches laitières ;
- Multiplication par quatre des surfaces en légumineuses graines, à la place de surfaces en céréales à pailles et maïs, pour l'alimentation des volailles.

Un travail d'approfondissement est en cours afin de disposer de références consolidées quant à la possibilité d'introduire ces légumineuses dans le cadre de cultures associées et d'en quantifier les impacts environnementaux et physiques (effet fertilisant pour les cultures suivantes, azote évité, bilan des émissions

---

<sup>222</sup> En particulier de façon décarbonée : les premiers travaux du Shift Project sur la décarbonation de l'industrie envisageaient une production maximale de 2Mt d'azote ammoniacal d'origine électrique, et une perspective d'export de l'excédent, [https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2022/01/PTEF-Decarboner-lindustrie\\_-Rapport-final.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2022/01/PTEF-Decarboner-lindustrie_-Rapport-final.pdf)

GES, impact en termes de désherbage pour les cultures associées, richesse protéique supérieure, acquisition facilitée de phosphore pour les céréales compagnes, valeur nutritionnelle, etc.).

Avec l'objectif d'une autonomie protéique nationale, nous avons dû faire l'hypothèse de la récolte ou du pâturage d'une partie importante des couverts végétaux (41 %), couverts composés à 50 % de légumineuses, pour assurer l'équilibre fourrager et protéique des cheptels. Le déploiement des couverts végétaux est aujourd'hui effectif sur 45 % des surfaces en grandes cultures (non retour au sol de ces couverts)<sup>223</sup>, pour un total de 5,8 millions d'ha, et nous avons estimé un rendement moyen des couverts à l'échelle France de l'ordre de 3 tonnes de matière sèche par ha.

*Remarques sur des améliorations possibles de cette projection :*

- Gains tendanciels de productivité par atelier
- Affectation plus fine des productions entre élevage et consommation humaine

**À envisager :** Quantifier les potentiels de déploiement des légumineuses (quelles espèces, quelles surfaces) à l'échelon territorial ?

### Équilibres fourragers et protéiques pour l'élevage dans ClimAgri®

L'outil ClimAgri® permet de vérifier l'équilibre fourrager à destination des cheptels via trois indicateurs distincts :

un indicateur agrégé de demande totale de « fourrages grossiers » (herbe et foin, pailles, maïs ensilage, résidus de cultures, etc.),

un indicateur agrégé de demande « d'aliments concentrés » (blé, grains de maïs, graines de soja, tourteaux, etc.),

un indicateur agrégé de « demande totale en protéines » (part de protéines dans les fourrages et les concentrés).

Une étape nécessaire dans l'élaboration des scénarios consiste donc à s'assurer de l'équilibre entre les offres (incluant les importations) et les demandes en aliments pour animaux, ceci afin de vérifier que les équilibres globaux, et notamment les assolements, sont cohérents.

#### ➤ **Projection 2 : priorité à une meilleure indépendance énergétique nationale**

Objectif : assurer la fourniture maximum de biomasse agricole à des usages énergétiques pour des usages agricoles et non agricoles (mobilité rurale, *sustainable aviation fuels* [SAF]...), après sécurisation des usages alimentaires nationaux (sur la base des BMQ définis par la FAO, voir ci-après section C.)

Par rapport à la situation actuelle, cet objectif impliquerait la recherche, sous conditions de durabilité :

- d'un **développement important de la méthanisation** à partir de gisements de matières organiques, mais aussi de CIVE et de cultures dédiées, voire de luzerne et herbe ;
- d'un **développement important des biocarburants** à partir de biomasse agricole nationale (limitation des importations de biocarburants), y compris des biocarburants de deuxième génération.

Les sous-produits de la fabrication d'huile végétale (tourteaux de colza) seraient toujours valorisés en alimentation animale, en particulier pour les élevages monogastriques.

<sup>223</sup> Surface définie sur la base de l'existant : en 2017, 45 % des surfaces en grandes cultures étaient couvertes, soit par des repousses des précédents, soit par des couverts ou des cultures dérobées. <https://doi.org/10.54800/jut885>

Les exportations seraient limitées aux éventuelles productions agricoles excédentaires, les importations aux fruits et légumes exotiques, riz, café, cacao, ainsi qu'aux éventuels compléments de protéines végétales si cela devait être nécessaire.

### **Hypothèses de calcul retenues pour cette projection 2**

Augmentation des surfaces à vocation énergétique :

- Multiplication par 4 de la surface en colza, avec une utilisation en biodiesel, en remplacement de surfaces en céréales à paille et maïs grain ;
- Remplacement de 1 million d'ha de prairies temporaires au profit de la culture de miscanthus, pour la synthèse d'éthanol de 2<sup>e</sup> génération ;
- Fléchage de 50 % des maïs ensilage vers la méthanisation ;
- Massification des cultures intermédiaires à valorisation énergétique (CIVE) en précédent de 30 % des cultures de printemps ;
- Récolte de 60 % des couverts d'interculture<sup>224</sup> à destination de la méthanisation.

Afin de libérer des surfaces pour ces cultures énergétiques, il a été nécessaire de faire des hypothèses de réduction des productions animales :

- Diminution des cheptels bovins lait et viande de 20 % ;
- Diminution des cheptels monogastriques de l'ordre de 20 %.

Provisoirement, et afin de pouvoir comparer les projections entre elles, nous avons maintenu les importations de tourteaux et graines, en incluant ces importations de graines dans la production de biodiesel (et les tourteaux en protéines animales). Il serait néanmoins tout à fait possible de se passer des importations de tourteaux pour nourrir les cheptels en raison des tourteaux disponibles après trituration des colzas, ce que nous envisageons de tester dans un second temps.

*Remarques sur des améliorations possibles de cette projection :*

- *Maximisation du miscanthus au lieu du colza à explorer*
- *Leviers de réduction plus importante des consommations énergétiques, mise à jour des consommations actuelles (données concernant le séchage et le chauffage des serres manquantes à ce stade)*
- *Améliorer la prise en compte des sous-produits à destination de l'élevage (ex : drèches)*
- *Prise en compte d'une production photovoltaïque et agrivoltaïque (non intégrée actuellement)*

### **➤ Projection 3 : priorité à la contribution à la sécurité alimentaire internationale par le maintien de la capacité exportatrice française**

Objectif : assurer la production maximum de biomasse alimentaire exportable (céréales et oléo-protéagineux) après sécurisation des usages alimentaires nationaux (sur la base des BMQ définis par la FAO, voir ci-après section C.). Assurer un rôle géostratégique à la France, contribuer au maintien de la paix, lutter contre la faim dans le monde dans un contexte de changement climatique affectant la production agricole mondiale.

Par rapport à la situation actuelle, cet objectif impliquerait :

- le **maintien voire l'augmentation des surfaces des cultures exportables les plus productives** (céréales, oléagineux) ;
- la **réduction des productions animales**, en particulier des monogastriques, consommatrices de grains et donc de SAU ;
- le **maintien des échanges commerciaux internationaux** pour les intrants (importation d'engrais azotés et d'aliments pour animaux) ;

---

<sup>224</sup> Les CIVE sont ici estimées à 6t/ha de rendement, les couverts à 3T/ha ; dans ce scénario, la somme des sols couverts représente un total de 8,6 millions d'ha.

- le développement de biocarburants et de biogaz uniquement selon les opportunités et la disponibilité de gisements organiques locaux (pas de cultures dédiées) avec consommation majoritairement locale.

### **Hypothèses de calcul retenues pour cette projection 3**

Augmentation des cultures destinées à l'alimentation humaine :

- Augmentation d'environ 65 % des surfaces en blé tendre (8.3 Mha contre environ 5 Mha aujourd'hui) ;
- Division par deux des surfaces de colza, tournesol, maïs grain, orges, triticales... ;
- Multiplication par quatre des surfaces de légumineuses à graines à vocation alimentaire.

Réduction des élevages monogastriques :

- Réduction du cheptel volailles de chair de 50 % ;
- Réduction du cheptel poules pondeuses de l'ordre de 20 % ;
- Réduction du cheptel porcin de 25 %.

Évolution de l'élevage bovin :

- Réduction des cheptels bovins de 20 %, avec pour idée de ne maintenir que des élevages à l'herbe sur prairies (et donc réduire la part de grain dans la ration) ;
- Hausse des surfaces en luzerne pour le fourrage des vaches laitières, mais diminution importante des surfaces en prairies temporaires au total.

*Remarque sur des améliorations possibles de cette projection :*

- *Hypothèse de récolte des couverts pour une valorisation fourragère*

## C. Résultats issus de ces projections préliminaires

- Bilan en termes d'émissions de GES

Le tableau ci-après présente les résultats des tests des différentes projections en termes d'émissions directes et indirectes de GES. Ces résultats sont à prendre au sein d'une méthode globale de construction de scénarios qui sera poursuivie dans les mois à venir **et ne correspondent qu'à une première étape d'un processus inachevé. Les émissions ainsi calculées ne sauraient donc constituer des valeurs définitives.**

Il faut aussi noter que les modes de calcul utilisés par ClimAgri® diffèrent des modalités de la comptabilité carbone utilisée par le CITEPA présentée en première partie. Ainsi il existe un écart, non négligeable, de montant total d'émissions de GES entre la situation de départ de nos hypothèses saisies en entrée dans ClimAgri® (réalisées à partir du Recensement Agricole 2022) et la comptabilité carbone nationale officielle. Nous avons choisi néanmoins de travailler avec ces données, en gardant en tête d'attacher plus d'importance aux valeurs relatives entre projections qu'aux valeurs absolues. Le sujet sera approfondi dans le rapport final.

Ces projections n'intègrent pas, à ce stade, les impacts d'éventuelles importations de produits alimentaires, mais seulement les importations d'intrants agricoles nécessaires à la production (aliments pour animaux, etc.)

Hypothèses testées	CITEPA 2021	Situation initiale 2022* <sup>225</sup>	INRA-GES seul	P1 Autonomie	P2 Bioénergie	P3 Export
<b>Émissions directes de GES</b>	<b>77</b>	<b>86,48</b>	<b>77,97</b>	<b>78,76</b>	<b>63,47</b>	<b>64,57</b>
<b>Distance à l'objectif SNBC : 48Mt CO2e</b>	<b>+29</b>	<b>+38,48</b>	<b>+29,97</b>	<b>+30,76</b>	<b>+15,47</b>	<b>+16,57</b>
Dont consommation d'énergie	11	7,29	4,88	4,84	5,10	4,73
Dont sols agricoles (N <sub>2</sub> O, lessivage et NH <sub>3</sub> )	22	24,70	22,43	19,83	17,76	18,30
Dont fermentation entérique	42	46,85	43,51	46,62	35,73	35,71
Dont stockage des effluents		7,63	7,15	7,47	4,88	5,83
<b>Émissions indirectes de GES</b>		<b>22,39</b>	<b>20,27</b>	<b>15,01</b>	<b>19,07</b>	<b>19,00</b>
Dont mise à disposition de l'énergie		1,78	1,27	1,27	1,29	1,21
Dont fabrication de l'azote		11,92	10,54	9,06	8,78	9,15
Dont fabrication des autres fertilisants		1,10	1,08	1,06	1,11	1,00
Dont produits phytosanitaires		0,83	0,82	0,79	1,03	0,84
Dont aliments pour animaux importés		3,78	3,65	0,00	3,78	3,78
Dont fabrication du matériel		2,97	2,91	2,83	3,08	3,03
<b>Total brut des émissions</b>		<b>108,87</b>	<b>98,24</b>	<b>93,77</b>	<b>82,54</b>	<b>83,57</b>

Tableau 5 : Estimations d'émissions directes de GES par hypothèse (MtCO<sub>2</sub>e)

\*Valeurs provisoires

<sup>225</sup> Données saisies majoritairement issues du Recensement Agricole 2022

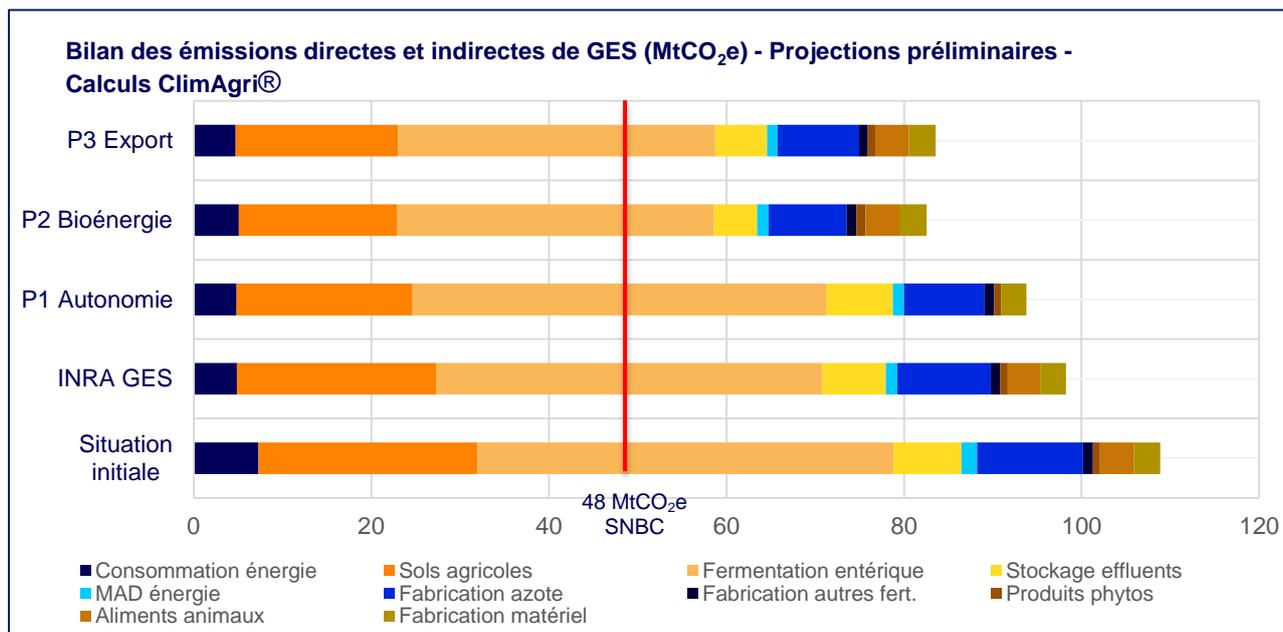


Figure 27 : Bilan des émissions directes et indirectes de GES (MtCO<sub>2</sub>e) – Projections préliminaires

Source : calculs ClimAgri®

Dans cette approche préliminaire, même avec trois modalités de répartition des cultures et des cheptels très contrastées, les hypothèses testées ne permettraient pas d'atteindre les objectifs climatiques. Le delta entre les valeurs ClimAgri® et les données CITEPA interdisent d'en donner une mesure précise, mais l'écart à la cible SNBC pour 2050 (objectif de 48 MtCO<sub>2</sub>e, pour les émissions directes uniquement) reste important. La seule prise en compte d'un progrès continu des pratiques (matérialisé par l'option des leviers INRA-GES) et l'adaptation des flux de biomasse que nous avons imaginés ne seraient pas suffisantes : l'objectif supplémentaire à atteindre implique de mettre en œuvre des moyens plus ambitieux avec une reconfiguration du système agricole (leviers transformatifs) et alimentaire (périmètre qui sera intégré dans la suite du projet).

La priorité Autonomie modifie peu les émissions directes, mais allège logiquement les émissions indirectes liées à l'alimentation animale importée et à la fabrication des engrais. La réduction des cheptels ruminants reste un levier mathématique de réduction des émissions de méthane, ce qu'illustrent les deux projections Bioénergie et Export. Cependant les calculs n'incluent pas à ce stade les possibilités de stockage de carbone correspondantes.

Ces résultats doivent aussi être mis en balance avec le potentiel nourricier des différentes projections.

**À approfondir** : Affiner nos hypothèses pour (exemple : trajectoire SGPE : diminution des GES de 16 % entre 2022 et 2030 (soit - 13 MtCO<sub>2</sub>e))

- **Bilan en termes de potentiel nourricier**

Le tableau ci-après présente les résultats des tests des différentes projections en termes de potentiel nourricier en valeur nette, d'abord selon les besoins moyens quotidiens (BMQ) estimés par la FAO, puis selon les apports quotidiens réels (AQR) moyens des Français (valeurs 2007).

	Besoins moyens quotidiens (BMQ) d'un individu de référence en...	Apports réels moyens quotidiens (ARQ) d'un Français en...
Energies (Kcal/jour/personne)	2700	3500
Besoins quotidiens en protéines (g/jour/personne)	52,5	100
Besoins quotidiens en protéines animales (g/jour/personne)	22,5	69
Sources	Rapport Energy and protein requirements 2008 - FAO	Table de Bilans Alimentaires France 2007 - FAO

**Tableau 6 : Description des Besoins moyens quotidiens et Apports réels moyens quotidiens d'un Français**

Source : FAO

Notons que concernant les apports réels quotidiens des Français, d'autres sources, par exemple les données du CREDOC<sup>226</sup>, donnent des chiffres différents : une consommation de protéines animales de l'ordre de 54 g/j et une consommation quotidienne totale de 82 g/j. Ces valeurs sont donc indicatives, et la différence entre les BMQ et les apports réels illustre que la consommation moyenne quotidienne des français est deux à trois fois supérieure aux besoins moyens quotidiens en protéines d'origine animale tels qu'estimés par la FAO et bien supérieures en termes d'apport énergétique en calories et en protéines totales.

Hypothèses testées	Situation initiale 2022	INRA-GES seul	P1 Autonomie	P2 Bioénergie	P3 Export
<b>Potentiel nourricier (nombre de personnes nourries par an selon les AQR France)</b> Sur la base du <b>solde net</b> (productions moins importations) en ...					
Énergie (kcal)	88 907 780	86 177 946	67 319 309	58 191 435	132 499 202
Protéines végétales et animales	75 528 025	73 868 559	65 301 017	55 340 429	121 693 109
Protéines animales	50 845 129	50 845 129	53 279 006	41 375 193	39 361 534
<b>Potentiel nourricier (nombre de personnes nourries par an selon les BMQ FAO)</b> Sur la base du <b>solde net</b> (productions moins importations) en ...					
Énergie (kcal)	115 250 826	111 712 152	87 265 771	75 433 342	171 758 224
Protéines végétales et animales	143 862 904	140 702 017	124 382 890	105 410 341	231 796 398
Protéines animales	155 925 062	155 925 062	163 388 951	126 883 925	120 708 704

**Tableau 7 : Potentiel nourricier en fonction des différentes projections**

<sup>226</sup> D'après Perraud, Sconda, Six, Hebel, Mariotti. (2020). Evolutions de la consommation de protéines par sources alimentaires entre 2010 et 2019 selon les profils de consommateurs. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4327397>

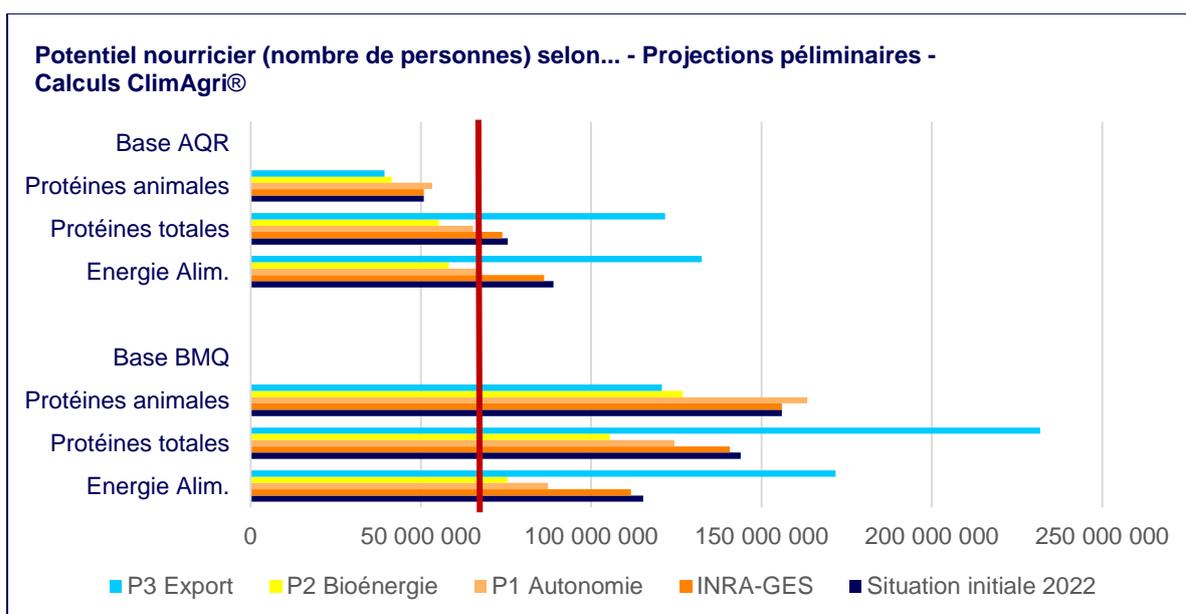


Figure 28 : Potentiel nourricier selon différentes projections (nombre de personnes)

Sur la base des besoins moyens quotidiens définis par la FAO, **les hypothèses prises pour la projection 3 Export permettraient de produire suffisamment de céréales et graines protéagineuses pour apporter les calories et protéines végétales nécessaires à plus de 100 millions de personnes en plus de la population française, contre environ 45 millions aujourd'hui.**

Le scénario 1 Autonomie parvient à maintenir tous les apports nutritionnels à des niveaux proches des valeurs correspondant aux apports réels quotidiens des Français « actuels », pour toute la population, malgré une absence totale d'importations. Cependant, s'il permet de baisser amplement les émissions indirectes, c'est aussi le scénario qui réduit le moins les émissions directes de l'agriculture parmi les projections à 2050 à ce stade.

**À compléter :** Repréciser les niveaux actuels de déficit de potentiel nourricier (ex : sur les protéines animales)

- **Bilan en termes de production d'énergie renouvelable issue de la biomasse agricole**

Les résultats en termes de production d'énergie des différentes projections testées sont présentés ci-dessous.

Hypothèses testées	Production actuelle	INRA-GES seul	P1 Autonomie	P2 Bioénergie	P3 Export
<b>Biocarburants (Milliards de litres)</b>	<b>4</b>			<b>11,2</b>	
Biodiesel Huile Végétale Pure / oléagineux	2,9	2,9	2,5	7,9	1,6
Bioéthanol (dont 2G)	1,1			3,3	
<b>Biogaz (TWh)</b>	<b>12</b>	<b>68</b>	<b>35</b>	<b>119</b>	<b>84</b>
Résidus de cultures (céréales à paille, canne maïs, oléagineux, cultures énergétiques solides, protéagineux, sorgho, cultures industrielles)		22	15,5	40	37
Couverts végétaux (résidus de surface)		31	4,8	49	36
Cultures principales énergétiques (maïs, etc.)				8	
Prairies naturelles		X	X	6	X
Prairies temporaires		X	X	2	x
Méthanisation des effluents d'élevage		15	15	13	11

Tableau 8 : Production d'énergie en fonction des différentes projections

**La projection 2 qui donne la priorité à l'indépendance énergétique permettrait une production totale de biocarburants de l'ordre de 8 milliards de litres de biodiesel (contre 2,9 aujourd'hui) et 3,3 milliards de litres de bioéthanol (contre 1,1 aujourd'hui) ;** cela représente un total de 9,6 millions de tonnes<sup>227</sup> de biocarburants. La projection 2 permettrait également une production totale de biogaz de 105 TWh, dont 50 % issus des couverts végétaux, 40 % des résidus de cultures et 10 % de cultures principales (maïs) et de fauches ponctuelles de prairies.

Déduction faite de la consommation de carburants nécessaires à l'agriculture (passage de 4 millions de TEP aujourd'hui à environ 3 millions de TEP dans nos projections, calculs ClimAgri®<sup>228</sup>), on pourrait estimer un reste disponible de l'ordre de 6,5 millions de TEP de biocarburants pour les autres secteurs de l'économie, et 120 TWh de biogaz (soit environ 10 millions de TEP supplémentaires).

**Cependant, si on tient compte de l'énergie totale nécessaire à l'agriculture** (énergie directe et indirecte sous forme d'intrants, d'achat de matériel agricole, etc.), soit 8,4 millions de TEP sous diverses formes, la contribution de l'agriculture à la consommation énergétique de la société est moins importante qu'il pourrait paraître, avec **un reste disponible après utilisation d'énergie primaire pour la production agricole de l'ordre de 7 millions de TEP**, via des vecteurs efficaces (biogaz, biocarburants).

**Cet exercice met en évidence que les trois priorités testées sont incompatibles les unes avec les autres : il est nécessaire de clarifier le cap que l'on souhaite donner au secteur agricole.** Ces premiers tests de jeux d'hypothèses via ClimAgri® ont permis de rendre compte de la complexité des arbitrages à mener pour répondre dans le même temps aux objectifs de production de biomasse et d'atténuation, arbitrages d'autant plus saillants si on prend en compte un objectif nécessaire de préservation de la biodiversité et de résilience des systèmes face aux aléas. Ils illustrent la palette de choix possibles entre les mains des acteurs économiques et politiques pour orienter la transformation des systèmes agricoles.

**Cet exercice présente à ce stade intermédiaire de nombreuses limites :** les effets du changement climatique sur les rendements et les assolements possibles à horizon 2050 ne sont pas pris en compte et les calculs sur le stockage potentiel de carbone dans les parcelles comme contribution à l'atténuation (et plus globalement à la santé des sols) ne sont pas encore réalisés. La dynamique du stockage de carbone additionnel (et son caractère temporaire) devra notamment être précisée dans les projections. Nous poursuivons nos travaux en ce sens. Les impacts sur d'autres paramètres environnementaux ne sont pas intégrés (ex : biodiversité). Par ailleurs et pour rappel, la modification des régimes alimentaires n'est à ce stade pas réellement prise en compte (sauf à se baser sur les besoins moyens quotidiens tels que définis par la FAO pour s'assurer de répondre à l'objectif de nourrir la population) dans les différentes projections (cf périmètre du projet). Celle-ci apparaît néanmoins suite à nos premiers travaux comme un point central pour déterminer les arbitrages de biomasse, via des leviers plus transformatifs.

Comme la totalité du présent rapport intermédiaire, mais plus encore, parce que ce travail est soumis à beaucoup de choix arbitraires, ces hypothèses sont présentées pour être critiquées et challengées.

Par ailleurs, **notre raisonnement est mené à l'échelle France et il n'est pas possible à ce stade de pousser la réflexion à l'échelle des territoires, et encore moins des fermes**, pour en imaginer une répartition géographique et typologique détaillée. Or la dimension régionale est également nécessaire pour rendre compte de l'impact concret de ces projections sur le territoire.

---

<sup>227</sup> Ceci est dû à la densité du biodiesel (0,88kg/l) et de l'éthanol (0,79kg/l)

<sup>228</sup> grâce à la réduction massive du labour et la massification de l'agriculture de conservation des sols, ainsi qu'une efficacité accrue de la consommation de carburant des tracteurs (écoconduite, banc d'essai, etc).

## D. Seconde phase prospective : développements ultérieurs - travaux en cours

Nos travaux se prolongent désormais selon les axes suivants.

- **Réductions supplémentaires des émissions de GES**

Nous souhaitons travailler, en poursuivant la concertation menée avec les acteurs du secteur agricole, à la définition et l'affinage des choix des leviers à mobiliser afin d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES attendues dans le cadre de la SNBC, objectifs que nos premiers jeux d'hypothèses ne remplissent pas. Globalement, on peut estimer un écart d'émissions qui resterait à combler, après prise en compte de l'amélioration continue des pratiques, entre 10 et 20 MtCO<sub>2e</sub> d'émissions directes. Ou encore, en ramenant le total des émissions à l'hectare de SAU, un écart de l'ordre de 1 tCO<sub>2e</sub>/ha à combler (passer de 77 MtCO<sub>2e</sub> pour une SAU de 26,9 Mha, soit 2,86 tCO<sub>2e</sub>/ha, à 48 MtCO<sub>2e</sub> pour une SAU estimée à environ 26,5 Mha en 2050, soit 1,81 tCO<sub>2e</sub>/ha).

**À approfondir** : Affiner les hypothèses sur l'évolution tendancielle des cheptels (et les limites potentielles en termes alimentaires)

- **Degré d'ambition agroécologique**

Pour aller plus loin dans la réflexion, nous souhaiterions tester des niveaux variables d'optimisation des itinéraires techniques et de déploiement des pratiques agroécologiques (introduction de légumineuses dans la rotation, couverts végétaux, diversification des cultures, réduction du travail du sol, plantation de ligneux...), dans la perspective de parvenir à deux options :

- une modalité **Agroécologie simple** (sémantique à valider) avec application des leviers de rang 1<sup>229</sup> de réduction des émissions de GES, optimisation des rendements, place au maximum de nouvelles technologies durables ;
- une modalité **Agroécologie ambitieuse** (sémantique à valider) avec reconception des systèmes de production à l'échelle nationale (optimisation de l'autonomie des exploitations, limitation des impacts environnementaux, recherche de la réduction des intrants, déspecialisation des zones d'élevage et rebouclage productions végétales/animales, recours accru à la fertilisation organique, développement important de l'agroforesterie et/ou plantation de haies...).

Ces options pourront être testées en partie en adaptant les coefficients des leviers INRA GES de ClimAgri®.

- **Estimation de stockage carbone possible dans les parcelles agricoles (sol et biomasse ligneuse)**

Dans cette seconde phase du projet, nous allons travailler sur des estimations de stockage potentiel de carbone – pour chaque projection testée -, à partir de pratiques stockantes ajoutées à nos premières hypothèses. Il s'agit d'estimer dans quelle mesure ces pratiques pourraient contribuer à compenser les émissions résiduelles du secteur, en essayant de tenir compte des questions de durabilité et de possible réversibilité du stockage, ainsi que des équilibres biogéochimiques (quels échanges sol/atmosphère de GES avec une hausse des taux de matière organique ?) et biogéophysiques (dans quelle mesure un sol plus riche en carbone influe-t-il sur les conditions climatiques locales ?) en jeu.

---

<sup>229</sup> "Leviers de gains d'efficacité sur les émissions GES, applicables à l'échelle des fermes. N'impliquent pas de reconception des systèmes, mise en œuvre non « disruptive ».

- **Test d'une projection spécifique "Bouclage Shift"**

Nous explorerons également une projection supplémentaire se donnant pour objectif une réduction de 5 % par an des émissions de GES jusqu'en 2050 et la réduction de la dépendance aux fossiles, tout en visant une sécurisation minimale de l'alimentation humaine française, et cohérente avec les projections envisagées pour les autres secteurs du PTEF.

- **Stress tests des projections**

Nous souhaitons soumettre les projections à des stress tests portant sur les rendements, la disponibilité en intrants non souverains et les conséquences qu'une crise logistique et organisationnelle feraient porter sur les transports de marchandises agricoles.

- **Stress test sur les rendements face aux aléas climatiques aigus**

Si la diminution des rendements en raison des effets tendanciels du changement climatique est bien documentée à échelle globale par les travaux du GIEC <sup>230</sup>, il faut tenir compte également de ses effets aigus et des possibilités de mauvaises récoltes cumulées lors d'une même année, en raison d'événements climatiques comme les sécheresses. Ces vulnérabilités des productions françaises commencent à être caractérisées de façon approfondie, par exemple pour la production de semences<sup>231</sup>, y compris à l'échelle locale, et nous souhaitons pouvoir illustrer les éventuelles conséquences d'événements climatiques extrêmes à l'échelle France en 2050.

**Méthode possible, à construire :**

*À l'aide d'un modèle mécanistique, reproduisant le comportement des cultures en fonction de données agronomiques, pédologiques et climatiques, nous souhaiterions pouvoir prendre en compte des séries climatiques futures simulées et étudier leurs effets sur les rendements pour les principales cultures, idéalement à l'échelle de petites régions agricoles (PRA).*

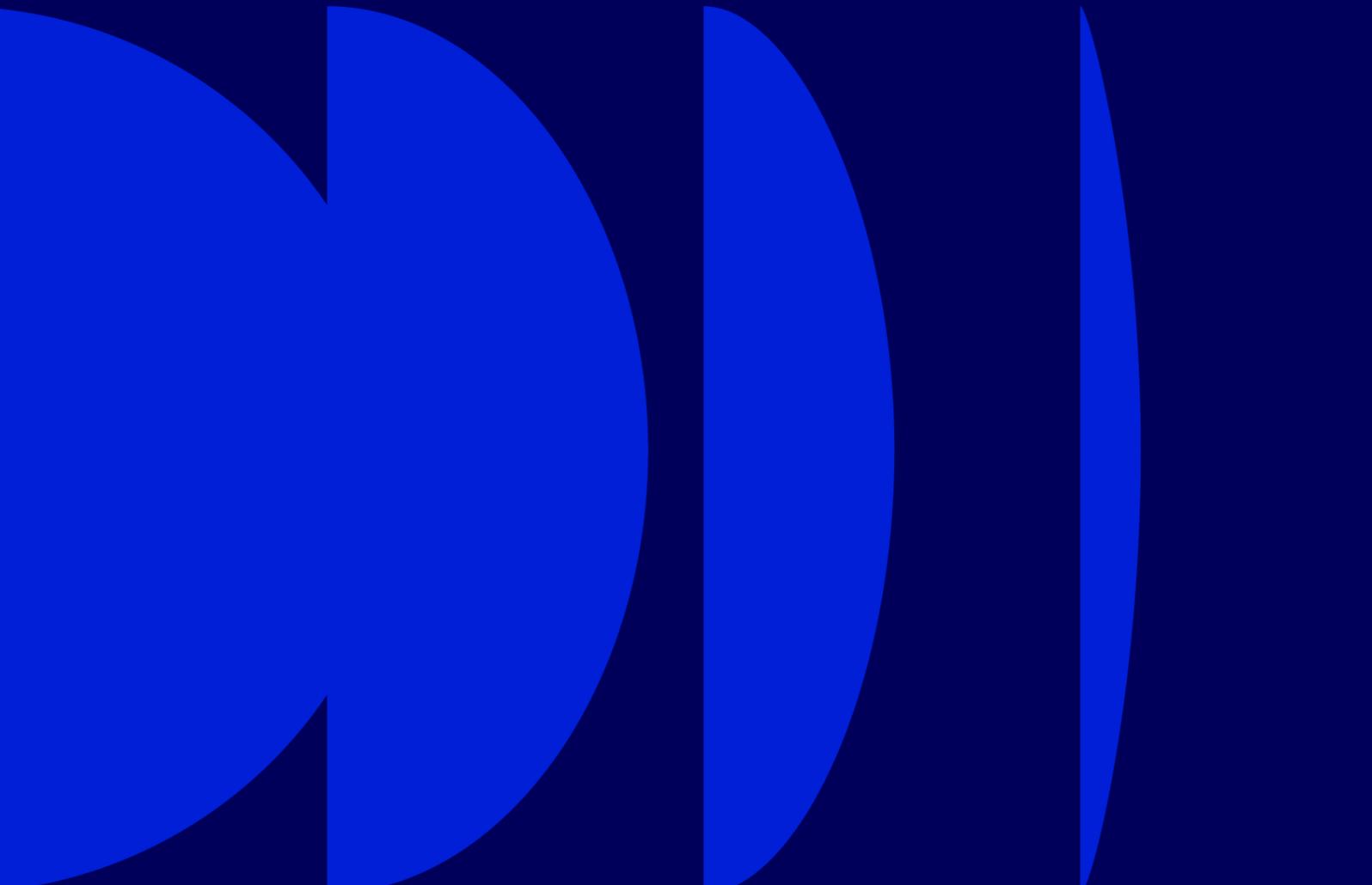
- **Stress test sur les rendements face au risque de rupture de disponibilité en énergie (gaz et pétrole) et en azote de synthèse**

Le système productif actuel étant quasi totalement dépendant de la disponibilité en gaz et en pétrole, nous souhaitons estimer les effets potentiels sur les rendements et sur la logistique du système de ruptures potentielles dans l'approvisionnement en énergies fossiles.

---

<sup>230</sup> [https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf)

<sup>231</sup> <https://climate.axa/axa-climate-sem-ae-etude-changement-climatique-semences/>



**Pistes de  
recommandations  
pour déployer les  
leviers déjà  
identifiés**

# Pistes de recommandations pour déployer les leviers déjà identifiés - Travaux en cours

Nos travaux de recherche consacrés à l'amont des systèmes agricoles doivent se poursuivre jusqu'à l'automne 2024 et vont nous permettre d'approfondir ces premiers résultats. Nous ne présentons ici qu'une première ébauche des principaux points de difficultés et pistes d'action identifiés. Ces recommandations seront revues et précisées dans le rapport final du projet publié en novembre 2024.

Le système agricole doit aujourd'hui affronter un **quintuple défi climatique** :

- s'adapter rapidement à de nouveaux contextes pédoclimatiques et énergétiques,
- atténuer ses émissions de GES,
- s'organiser pour consommer moins d'énergies fossiles,
- augmenter le stockage de carbone dans les sols et les éléments boisés des parcelles agricoles,
- produire de la biomasse en quantité suffisante pour répondre à différents usages et contribuer à la décarbonation des autres secteurs économiques.

Ces objectifs ne pourront être atteints durablement sans assurer la viabilité économique et la prospérité des fermes, en garantissant un revenu suffisant aux producteurs et en les protégeant de la concurrence internationale. Il est difficile en effet de demander aux agriculteurs actuels d'assumer seuls la triple responsabilité des conséquences de choix politiques passés (et l'organisation du système qui va avec), de l'adaptation de leurs pratiques et leurs productions au changement climatique et de la prise de risque financière de ces changements sans leur garantir un niveau de revenu suffisant. De nombreux leviers de transformation des systèmes agricoles existent, dont le déploiement permettrait l'atteinte des objectifs climatiques nationaux et la résilience du secteur. Comment assurer l'extension des pratiques des pionniers au plus grand nombre ?

## Principaux points de blocages identifiés et recommandations

- **Un cap stratégique et politique à clarifier**

**Les difficultés actuelles du secteur incombent pour partie à des incohérences politiques et économiques par rapport aux attentes qui lui sont adressées par la société.** Par exemple, les politiques actuelles de transformation de l'agriculture portent largement sur la production, sans viser à la mettre en adéquation avec la consommation nationale, au risque de priver des filières de débouchés et mettre en péril les exploitations ayant fait le choix d'un modèle plus vertueux (ex : crise du bio face à une faible évolution de la demande, notamment hors domicile). Il existe par ailleurs une antinomie partielle entre la volonté de préservation des prairies permanentes et des objectifs de réduction de l'élevage ruminant qui ne ciblent pas les modes d'élevage, ainsi qu'entre les possibilités d'accès au foncier et la mise en place de pratiques transformatives.

**Recommandation provisoire :**

- Définir une politique claire dotée d'objectifs de long terme avec des jalons afin d'offrir un horizon aux acteurs, établir une stratégie et des plans d'actions cohérents.

- **Des arbitrages à trouver sur les techniques de production**

**Poursuivre des objectifs d'atténuation et de résilience tout en maintenant un certain niveau de productivité agricole ne pourra se faire sans arbitrages.** Quelle perte de rendements, qui résulterait notamment d'une réduction de la consommation d'engrais, serait-on prêts à accepter, planifier et accompagner pour répondre à nos objectifs environnementaux, notamment si les besoins globaux en biomasse augmentent ? Comment arbitrer entre la réduction de consommation de carburants, et donc des émissions énergétiques, via des techniques culturales simplifiées, et l'utilisation d'herbicides, à productivité constante et en contexte météorologique incertain (désherbage mécanique vs désherbage chimique) ? Comment arbitrer entre la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires aux impacts sur la biodiversité et le maintien d'une production de biomasse satisfaisante ? Les controverses sur ces sujets résultent de divergences d'intérêts ou d'idées de la part des différents acteurs en présence, qui empêchent d'avancer sur les réponses techniques nuancées qui permettraient le meilleur compromis entre différents enjeux.

**Recommandations provisoires :**

- Fixer un cap à la consommation d'engrais azotés de synthèse à un certain horizon, définir les modalités pour y répondre, pour planifier et accompagner les évolutions des rendements.
- Accepter d'assumer une part d'incertitude, du besoin d'avancer en recherche sur ces sujets tout en appliquant un principe de précaution nuancé en attendant de meilleures connaissances.

**À envisager : Prévoir une analyse de l'incidence du coût du quota CO<sub>2</sub> sur le marché SEQUE-UE et MACF sur le prix et l'utilisation d'engrais azoté dans les pratiques agricoles actuelles et futures ?**

- **Un manque de perspectives claires pour le monde de l'élevage**

Les politiques publiques composent entre des objectifs de réduction des émissions de GES, en particulier celles liées à l'élevage de ruminants, et de préservation de ses externalités positives (maintien des stocks de carbone des prairies permanentes, biodiversité, protection physique des sols contre l'érosion, fourniture de fertilisants organiques qualitatifs), et plus largement de développement de l'agriculture biologique.

Dans ce contexte, les acteurs du secteur peuvent difficilement se projeter, investir, prendre les bonnes décisions, et les filières manquent de perspectives claires. L'ensemble ne contribue pas à planifier l'avenir de manière constructive. Par ailleurs, les activités d'élevage à l'herbe sont insuffisamment valorisées économiquement, au regard de leurs externalités positives. De même, pour les protéines végétales, les approvisionnements en aliments d'origine française sont contraints par des prix supérieurs aux graines et tourteaux importés.

**Recommandations provisoires :**

- Donner un cap clair à l'élevage, en termes de volumes de production et de modes d'élevage, de répartition sur le territoire, à un horizon clair et avec des modalités d'accompagnement du secteur.
- Créer les conditions pour que les activités d'élevage à l'herbe bénéficient d'une rentabilité attractive (via des mécanismes publics avec des prix garantis et/ou privés)
- Encourager l'approvisionnement français, voire local, pour l'alimentation des animaux.

- **Des freins au déploiement des pratiques agroécologiques**

Les freins à l'adoption de pratiques agroécologiques sont nombreux : prise de risque sur les rendements les premières années, entraînant des risques financiers assumés uniquement par les agriculteurs, coûts liés à l'implantation de couverts végétaux sans garantie de réussite selon les conditions météorologiques, coût des investissements en matériel parfois élevés, manque d'attractivité des cultures de diversification (coûts de production trop élevés face aux prix de vente, manque de débouchés, manque de variétés adaptées). L'implantation d'infrastructures agroécologiques peut être handicapée par un temps de travail conséquent et une réglementation trop contraignante. Le poids des habitudes, en termes de pratiques agricoles comme en

termes d'"apparence" habituelle des champs et des paysages, freine aussi le changement. Or les réussites des pionniers existent et peuvent être davantage valorisées.

#### **Recommandations provisoires :**

- Encourager les pratiques de conservation et régénération des sols.
- Encourager l'agroforesterie.
- Accentuer les efforts de sélection sur les légumineuses en développant notamment les débouchés de la production pour assurer l'attractivité de ces espèces pour les agriculteurs..
- Proposer des dispositifs de financement des risques liés au changement de pratiques (mesures de compensation des surcoûts et manques à gagner type MAEC, ICHN, etc., en veillant à ne pas en freiner le déploiement par des cahiers des charges inopérants).
- Développer des mesures de type « paiements pour services environnementaux » (paiements carbone volontaires : Label Bas Carbone et autres mécanismes similaires),
- Développer des outils permettant de contribuer aux quantifications des pratiques de stockage (ex : suivis satellitaires ou aériens)
- Développer les mécanismes de couverture assurantielle pour la mise en place de pratiques agroécologiques, permettant également de limiter le risque financier lié aux aléas climatiques (via des mécanismes publics avec des prix garantis et/ou privés)
- Simplifier les réglementations relatives à la mise en place d'infrastructures agroécologiques.
- Offrir la possibilité de mener des expérimentations à la ferme avec une souplesse dans les déclarations annuelles d'assolement.
- Permettre la facilitation de la transmission de connaissances entre agriculteurs, en imaginant des modalités de rémunération de leur temps quand ils partagent leurs savoirs et leurs expériences.

**À approfondir :** Analyser plus finement les effets potentiels de mécanismes de paiements carbone (travaux prospectifs ?)

**À envisager :** Préciser de manière plus spécifique les freins à l'adoption de chaque grand type de pratiques agroécologiques ?

- **Des arbitrages à mener sur les usages de la biomasse et des ressources en eau**

**L'intermittence attendue de production de biomasse en contexte climatique variable et soumis à des événements extrêmes récurrents impliquera des arbitrages entre ses différents usages.** A quelle échelle géographique faut-il les déterminer ? Avec quelle gouvernance ? Comment choisir entre les exportations de biomasse agricole et la nécessité de retourner au sol pour en conserver la fertilité et la résilience ? Comment arbitrer la concurrence entre usages des ressources en eau ? Ces sujets difficilement tranchés créent un contexte d'incertitude pour les agriculteurs et les filières et des tensions dans la société qui bloquent l'évolution du système.

#### **Recommandations provisoires :**

- Organiser à la bonne échelle territoriale la gouvernance des usages de la biomasse
- Encourager les cultures d'espèces offrant le meilleur bilan de biomasse produite par hectare sous contraintes énergétiques, hydriques et de disponibilité en azote, en développant des recherches en ce sens.
- Bien documenter l'enjeu Eau à moyen et long terme, définir les priorités d'usages et mettre en place une gouvernance adéquate pour gérer cette problématique qui va aller croissante.

- **Un cadre scientifique à approfondir sur certains sujets clés : hypothèses de rendements et stockage de carbone**

Malgré les recherches en cours, **certains sujets d'importance pour l'horizon 2050 méritent d'être encore plus documentés, notamment les hypothèses d'évolution du rendement de l'agriculture** au regard des aléas climatiques et énergétiques à venir, **et le potentiel puits de carbone agricole à cette échéance**, qui pourrait contribuer à compenser les émissions résiduelles du secteur au sein même des systèmes agricoles. L'étude des échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère (processus biogéochimiques) et les interactions entre les caractéristiques du sol et le climat (processus biogéophysiques) doit être accentuée pour permettre d'établir un cadre scientifique clair et convaincant sur les objectifs à atteindre. Les modalités de monitoring du stockage de carbone sont à approfondir, pour permettre de quantifier et piloter avec plus de précision l'impact des pratiques mises en œuvre par les agriculteurs. L'effet d'atténuation des différents couverts agricoles par effet d'albedo doit également être investigué.

#### **Recommandations provisoires :**

- Financer plus de recherche sur ces sujets.
- Retenir des hypothèses conservatrices concernant le potentiel de stockage dans les sols agricoles.

- **Une volatilité des marchés bloquant les prises de risque**

La viabilité économique des fermes est très aléatoire, d'une année à l'autre et entre systèmes de production. Certains secteurs cumulent conjoncture économique difficile et aléas climatiques récurrents. Dans ce contexte, qui est voué à être de plus en plus instable, **l'adoption de nouvelles pratiques ou de nouvelles productions ne peut s'envisager qu'avec un minimum de garantie de rentabilité** et des risques qui accompagnent ces transformations à l'échelle de la ferme. La volatilité des marchés des matières premières agricoles accroît les incertitudes des producteurs et bloque les initiatives en les exposant à des prix bas qui ne garantissent pas la rentabilité des fermes.

#### **Recommandations provisoires :**

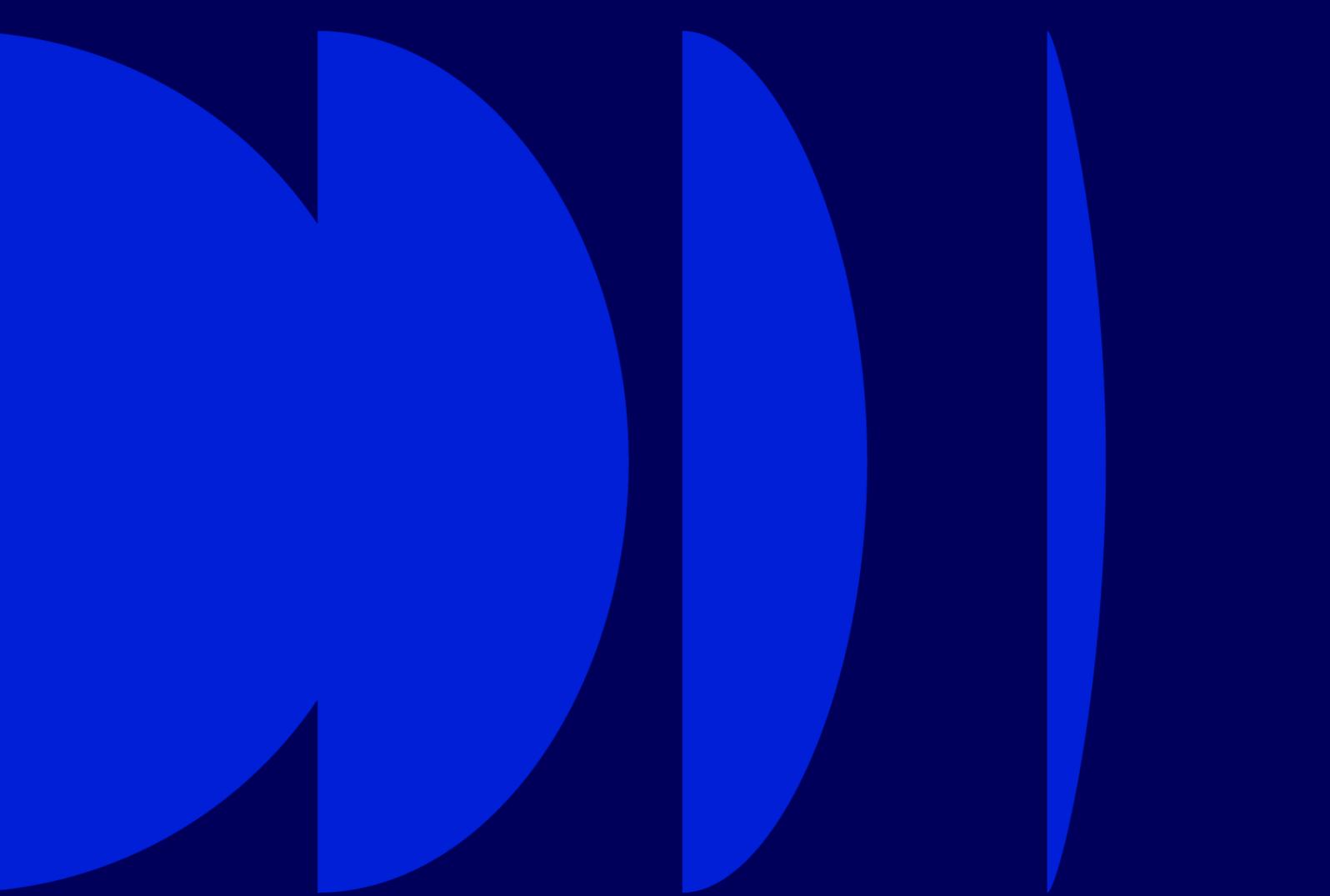
- Imaginer de retirer un certain volume de production, pour la consommation domestique, des marchés ? Autres pistes ? Encadrement des marchés agricoles ?
- Revaloriser les prix (aides couplées liées à la production).
- Accroître la contractualisation pluriannuelle et autres mécanismes de sécurisation des prix

- **Une concurrence internationale**

**Les exigences sociales et environnementales adressées aux producteurs français les placent en situation de distorsion de concurrence évidente vis-à-vis d'autres pays producteurs**, tout particulièrement ceux avec lesquels des accords de libre-échange sont signés (et notamment au sein de l'UE). Or les orientations actuelles vont dans le sens d'une demande accrue d'exigences environnementales aux agriculteurs, sans proposer davantage de protection vis à vis des concurrents qui ne sont pas soumis à ces règles, ni aux mêmes coûts de main d'œuvre.

#### **Recommandation provisoire :**

- Imaginer des mécanismes de protectionnisme : taxer les échanges aux frontières afin de protéger le marché intérieur, mettre en place et garantir le respect de clauses miroir, mettre en place des quotas/normes aux importations, voire interdire les importations de produits aux conditions de production trop défavorables à l'environnement



# La formation et l'emploi dans le secteur agricole

# La Formation agricole

Les notes sur la formation agricole et l'emploi agricole sont le fruit des travaux du Groupe de travail « Emploi & Formation agricole » animé par Marie Garcia, Florence Haynes, Clémence Morant, Vinciane Martin et Clémence Vorreux.

Cette première note propose un état des lieux synthétique de la formation agricole en France.

## 1. La formation agricole en France - Quelques chiffres

### A. La formation agricole initiale

- Les effectifs par niveau et spécialités

L'enseignement agricole en France représente à la rentrée 2023 près de **200 000 élèves qui suivent une formation initiale par la voie scolaire ou par la voie de l'apprentissage dans les établissements agricoles**. Les formations vont de la 4<sup>ème</sup> au jusqu'au Bac+5 voire 8.

À noter, les établissements d'enseignement agricole ne proposent pas que des formations aux métiers de l'agriculture, mais à des métiers « ruraux » (approche retenue à l'origine, à l'époque où il n'y avait pas d'établissements de formation généraux).

Les effectifs dans la formation agricole initiale (au global donc, pas uniquement aux métiers agricoles) sont en **légère hausse depuis 10 ans (+ 4 %)** avec une hausse plus marquée à partir de 2019, notamment grâce à la **forte augmentation des inscriptions dans la filière apprentissage** (22 % de l'enseignement agricole) qui pallie en partie la baisse des inscriptions de la filière scolaire<sup>232</sup>. Les élèves de 4<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> de l'enseignement agricole représentent 30 800 élèves et peuvent choisir ensuite la voie professionnelle ou la voie générale et technologique.

---

<sup>232</sup> Données DGER Rentrée 2023 Effectifs de l'Enseignement agricole

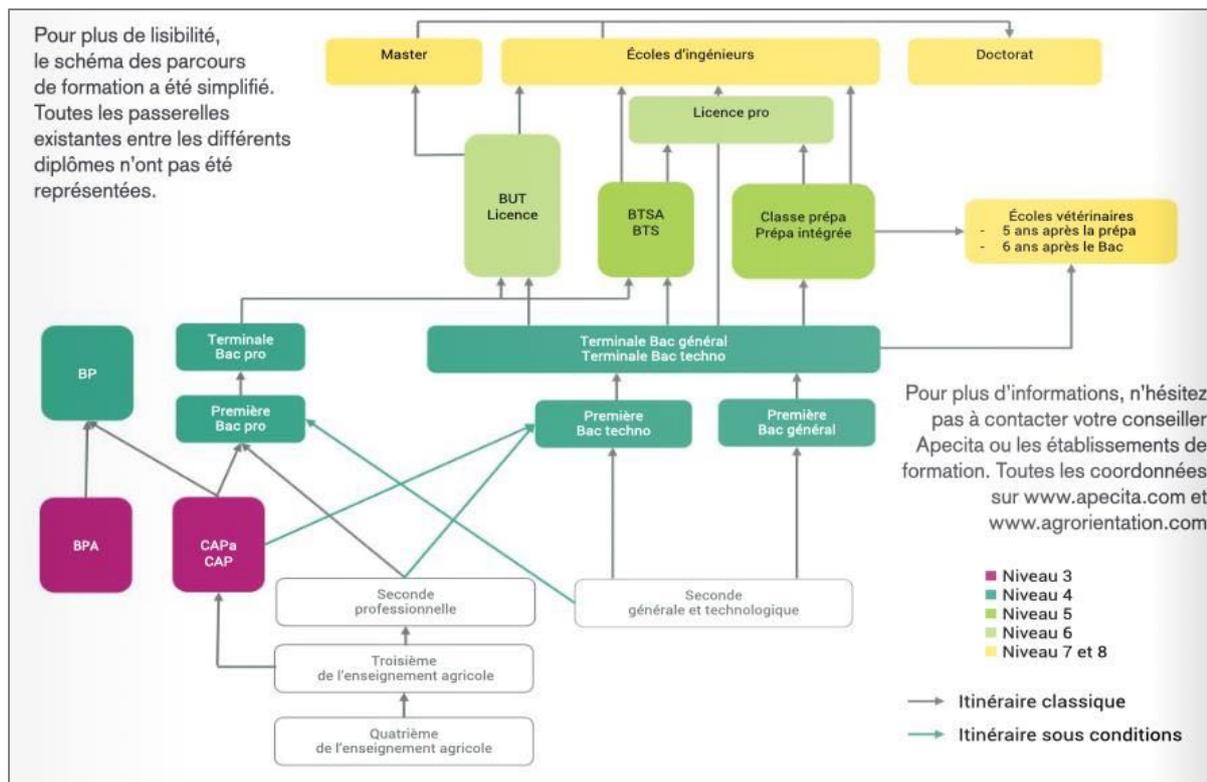


Figure 29 : Schéma des parcours de formation agricoles

Source 1 : Apecita

Dans le champ professionnel :

À partir du lycée, l'enseignement professionnel regroupe 85 % de l'enseignement agricole soit 142 760 élèves en 2023 tous niveaux confondus (les 15 % restant suivent les filières générales au sein de l'établissement agricole). Les apprenants se répartissent après la seconde dans les champs professionnels<sup>233</sup> de :

- l'aménagement de l'espace et protection de l'environnement (21 %)
- **la production agricole (30 %)**
- les services (23 %)
- la transformation (3 %)
- l'hippisme (1 %)

<sup>233</sup> Nous nous intéresserons dans ce rapport au champ de la « Production agricole », laissant de côté les autres champs également proposés dans l'enseignement dit « agricole ».

Filières	Champ	Effectifs
Filières générales & technologiques	Collège	30 883
	Lycée général & technologique	24 057
Sous-total "Filières G&T"		54 940
Filières professionnelles	Seconde professionnelle	28 417
	Aménagement	30 002
	Hippisme	1 924
	Production	43 915
	Services	33 801
	Transformation	4 078
	CPGE-EA	623
Sous-total "Filières professionnelles"		142 760
Autres	Diplômes EN	676
Sous-total "Autres"		676
Total général		198 376

Tableau 9 : Effectifs globaux de l'enseignement agricole 2023 par champ professionnel<sup>234</sup>

Dans le champ de la « production agricole » dans la filière professionnelle, les niveaux de formations avec les effectifs les plus importants sont :

- **les bacs professionnels : 24 000** élèves dans le champ de la production, formation sur 2 ans pour un diplôme de niveau 4<sup>235</sup>
- **les CAP agricoles : 7 100 élèves** dans le champ de la production, formation sur 2 ans pour un diplôme de niveau 3
- **les BTSA : 12 700 élèves** dans le champ de la production, formation sur 2 ans pour un diplôme de niveau 5

Les autres types de formations comme le BPA (Brevet Professionnel agricole, 2 ans, niveau 3) ou le BP (Brevet Professionnel, 2 ans, niveau 4) représentent une faible proportion des effectifs en production agricole (respectivement 1250 et 3555 élèves).

Les élèves qui ne suivent pas la filière professionnelle, bien plus minoritaires (15 % des effectifs du lycée), vont dans la **filière Générale et Technologique** (24 000 élèves de la Seconde à la Terminale), en particulier dans la filière « Technologique ». Dans cette filière, le **bac STAV** (Sciences et Technologies de l'Agronomie et du Vivant) compte le plus d'effectifs (**10 000 élèves, 67 %** des Premières et Terminales). Les autres élèves suivent la filière générale (non technologique).

Dans le **secteur de la production agricole**, les formations comptant le plus d'effectifs sont :

Niveau 3 :

- CAP Métiers de l'agriculture (CAPA)

Niveau 4 :

- Bac Pro Conduite et Gestion de l'Entreprise Agricole CGEA
- Bac Techno - Sciences et Technologies de l'Agronomie et du Vivant STAV
- Bac pro conduite et gestion de l'entreprise hippique
- Bac pro conduite de productions horticoles
- Brevet Professionnel Responsable d'entreprise agricole (BPREA)

<sup>234</sup> Données DGER Rentrée 2023 Effectifs de l'Enseignement agricole

<sup>235</sup> Les niveaux correspondent à des degrés d'approfondissement/compétences différents : Niveau 3 : CAP/BEP, Niveau 4 : Bac ; Niveau 5 : Bac+2 BTS DEUG DUT, Niveau 6 : Bac+3/4 ; Niveau 7 : Master.

Niveau 5 :

- BTS Analyse, conduite et stratégie de l'entreprise agricole – BTS ACSE
- BTSA Métiers de l'élevage (ex Production Animale) - BTSA ME
- BTSA Viticulture-Œnologie - BTSA VO
- BTSA Gestion forestière - BTSA GF
- BTSA Agronomie Productions Végétales - BTSA APV

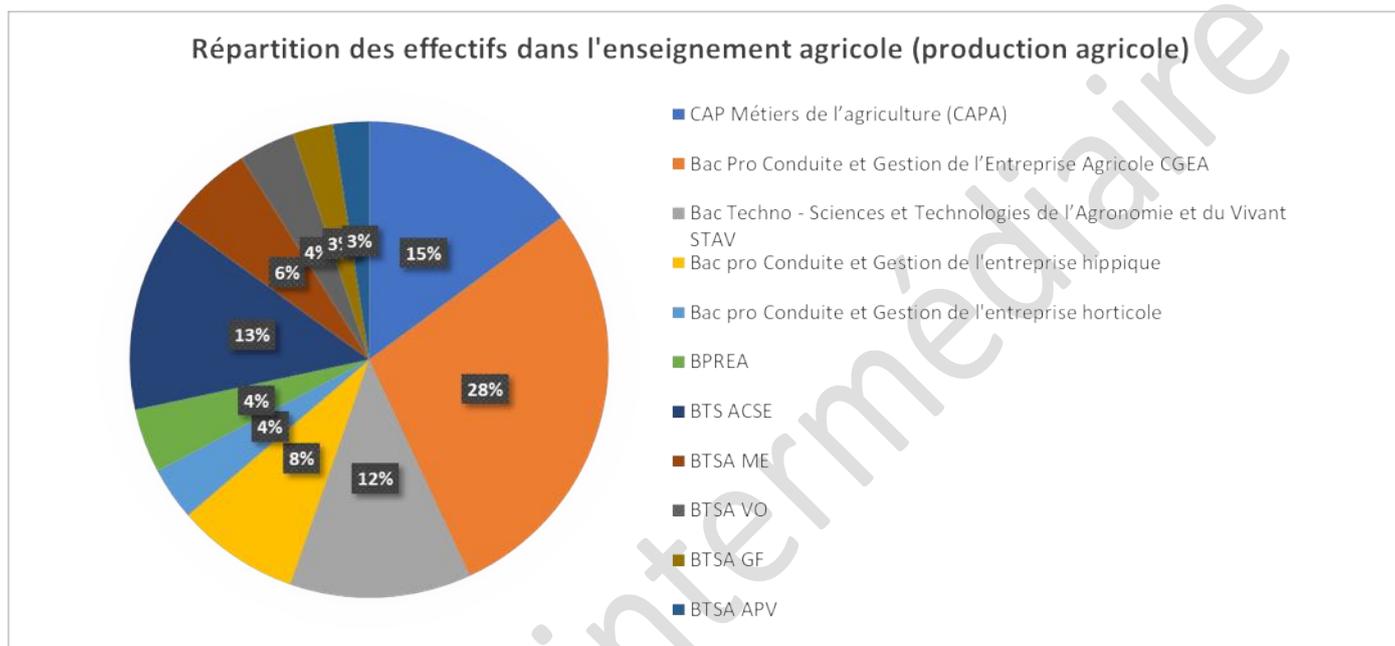


Figure 30 : Répartition des effectifs dans l'enseignement agricole (production agricole)

Entre 50 % et 60 % des élèves entrent dans la vie active suite à l'obtention de leur diplôme, les autres choisissent de poursuivre leurs études dans le niveau supérieur.

### • Origines socio-professionnelles : une grande disparité

Alors que dans les années 90, 36 % des élèves suivant une formation agricole provenaient du milieu agricole, en 2022, moins de 10 % en sont issus. **41 % sont enfants d'employés et d'ouvriers**, suivent ensuite les enfants de cadre et professions intermédiaires (25 %), puis les inactifs et retraités (10-15 %), ensuite seulement les enfants d'agriculteurs, et la dernière CSP représentée sont les enfants d'artisans/commerçants<sup>236</sup>.

### Cas des personnes « Non issues du Monde Agricole » (NIMA)

D'après Chambres d'agriculture France, sur 20 000 candidatures, **60 % des porteurs de projets à l'installation ne sont pas issus du milieu agricole**<sup>237</sup>. Environ 30 % des demandes d'installation se concrétisent.

<sup>236</sup> Agreste 2022

<sup>237</sup> Chambres d'agriculture France, Maintenir le nombre d'actifs agricoles, 2 décembre 2020, <https://chambres-agriculture.fr/actualites/toutes-les-actualites/detail-de-lactualite/actualites/maintenir-le-nombre-dactifs-agricoles/> (consulté le 28/05/2024)

Il est difficile de définir un profil-type pour les NIMA. Quelques caractéristiques ressortent néanmoins : pas de liens familiaux avec le monde agricole, pas d'héritage matériel et immatériel et la volonté de créer leur entreprise.

**Il y a souvent un décalage entre les aspirations de porteurs de projets à l'installation** (volonté de créer une petite structure, de s'inscrire dans le développement local, démarche agroécologique, moyens financiers limités) et les opportunités offertes par le territoire en termes de reprise (grosses structures à reprendre, plusieurs intermédiaires entre le producteur et le consommateur, ferme construite souvent pour des pratiques plus industrielles)<sup>238</sup>. Ce décalage peut compliquer l'installation (difficultés d'accès au foncier, incompatibilité des modèles), ou la pérennisation de cette installation (défi de convertir l'exploitation, équilibre financier difficile à trouver...)<sup>239</sup>. Ce différentiel de demande et d'offre représente un challenge important pour les politiques de l'installation agricole.

- **Niveau de formation des exploitants et des salariés**

Comme présenté plus haut, il existe une grande diversité de cursus de formation permettant d'accéder à un métier agricole dans la production.

**Plus de 50 % des exploitants ont une formation initiale de niveau Bac minimum**, 35 % des exploitants sont diplômés du second cycle court (CAPA) et 14 % n'ont pas de formation initiale.

**Environ 70 % des exploitants agricoles de moins de 40 ans ont une formation initiale de niveau Bac ou plus.** Ceci est en partie dû à la nécessité d'avoir la capacité professionnelle agricole qui permet l'obtention d'aides et qui requiert un diplôme de niveau 4 minimum (Bac, BP). Environ 30 % des exploitants de plus de 40 ans n'ont pas de formation agricole et environ 30 % ont atteint un niveau 3 (CAPA).<sup>240</sup>

**Le niveau de formation initiale des exploitants croît avec la taille des entreprises et la nature juridique** (forme sociétaire/exploitation individuelle) du fait des connaissances nécessaires en technique et en gestion.

**Les exploitants issus d'une formation générale non agricole de niveau Bac représentent 40 % des effectifs.** [appel à contributions : comment expliquer ce phénomène ?]

**2/3 des effectifs salariés occupent des postes nécessitant des qualifications peu élevées** (agent agricole ou agent d'élevage, agent viticole). 20 % de ces salariés détiennent pourtant un diplôme de l'enseignement supérieur.<sup>241</sup>

## **B. Dans l'enseignement supérieur long**

**Les effectifs d'étudiants dans l'enseignement supérieur long ont augmenté de 22 % depuis 2010 pour atteindre près de 17 000 étudiants en 2023.**

**La majorité des étudiants sont dans les cursus ingénieurs** (12 000 étudiants soit 72 %). Les vétérinaires représentent 18 % des effectifs et les paysagistes moins de 2 %.

---

<sup>238</sup> La France Agricole, « Cession/Installation : CESSIION/INSTALLATION, Accueillir les repreneurs non issus du milieu agricole », 22 septembre 2021, <https://www.lafranceagricole.fr/actualites-gestion/article/746693/cessioninstallationaccueillir-les-repreneurs-non-issus-du-milieu-agricole> (consulté le 27/05/2024)

<sup>239</sup> Analyses issues de témoignages menés

<sup>240</sup> GraphAgri 2023

<sup>241</sup> OCAPIAT - Etude prospective sur les impacts des changements climatiques en termes d'activités, de métiers, d'emplois et de compétences pour les exploitations agricoles – Rapport n°2

Les ingénieurs diplômés se répartissent **principalement dans les secteurs des industries agro-alimentaires (24 %)**, des sociétés de conseil et les bureaux d'études (13 %), puis les organisations professionnelles (11 %), de commerce et distribution (9 %) et des productions agricoles (8 %).<sup>242</sup>

Étudiants dans les écoles de l'enseignement supérieur agricole en 2021				
	Cursus ingénieur, vétérinaire et paysagiste	Autres formations	Total	Part de filles
	nombre			%
<b>Établissements publics</b>	<b>9 029</b>	<b>2 112</b>	<b>11 141</b>	<b>67</b>
Agrocampus Ouest	1 242	243	1 485	69
AgroParisTech	1 277	572	1 849	61
Agrosup Dijon	734	0	734	71
Bordeaux Sciences Agro	522	55	577	62
École nationale supérieure de formation de l'enseignement agricole (ENSFEA) <sup>1</sup>	361	51	412	47
École nationale du génie de l'eau et de l'environnement (ENGEES)	0	253	253	58
École nationale supérieure du paysage (ENSP)	236	0	236	53
École nationale vétérinaire d'Alfort (ENVA)	820	30	850	78
École nationale vétérinaire de Toulouse (ENVT)	829	45	874	76
Montpellier SupAgro	733	785	1 518	60
ONIRIS	1 095	51	1 146	73
VetAgro Sup	1 180	27	1 207	74
<b>Établissements privés sous contrat</b>	<b>5 786</b>	<b>337</b>	<b>6 123</b>	<b>55</b>
École d'ingénieurs de Purpan	1 259	72	1 331	57
École supérieure d'agricultures d'Angers (ESA)	988	118	1 106	51
École supérieure du bois (ESB)	261	34	295	15
Institut supérieur d'agriculture de Lille (ISA) - Yncrea	1 200	0	1 200	56
ISARA Lyon	1 110	53	1 163	66
Institut polytechnique UniLaSalle	2 227	132	2 359	54
<b>Total</b>	<b>14 815</b>	<b>2 449</b>	<b>17 264</b>	<b>62</b>

1. Effectif issu d'une enquête réalisée auprès de l'établissement.  
Sources : MASA - DGER, MESR - Sise (système d'information sur le suivi de l'étudiant)

Tableau 10 : Etudiants dans les écoles de l'enseignement supérieur agricole en 2021

Source : MASA – DGER, MESR – Sise (système d'information sur le suivi de l'étudiant)

## C. La formation professionnelle continue courte et le transfert de connaissances

La formation professionnelle continue est constituée de deux domaines :

- **Des formations courtes** délivrées sur un à quelques jours sur des thématiques précises
- **Des formations diplômantes** réalisées en alternance (voir paragraphe 1).

En moyenne, 10 % des employés et 20 % des chefs exploitations suivent des formations continues courtes. Cette proportion est plus faible pour les entreprises ayant moins de 10 ETP, comme les grandes cultures et l'élevage, car l'organisation pour pallier l'absence d'un salarié est plus complexe.<sup>243</sup>

Pour les salariés, les formations courtes dispensées (financées par OCAPAT) en lien avec la transition agroécologique concernent l'adaptation aux aléas climatiques (réponses à des aléas spécifiques). **Les enjeux d'atténuation ne sont pas abordés.**

**[En ce qui concerne les chefs d'exploitations, nous attendons les données de Vivéa.]**

**L'offre de formation continue est dépendante des territoires et des activités économiques qui s'y trouvent.** Elle relève des politiques des régions ou des problématiques territoriales. Il existe différents

<sup>242</sup> Portrait de l'enseignement agricole 2024 - MASA

<sup>243</sup> OCAPAT - Etude prospective sur les impacts des changements climatiques en termes d'activités, de métiers, d'emplois et de compétences pour les exploitations agricoles – Rapport n°3

organismes comme les Chambres d'Agriculture, les ADEAR... qui offrent une diversité de formations courtes (préparer son installation, préparer la transmission, pratiques spécifiques...).

Le transfert d'informations et la montée en compétences s'effectuent aussi via les conseillers techniques qui suivent les exploitations (plus de 16 000 conseillers dans les Chambres d'Agriculture, les coopératives, les institutions<sup>244</sup>) et les réseaux comme Dephy.

## D. Des effectifs en baisse

**Entre 1991 et 2015, la part des apprenants dans le secteur de la production est passée de plus de 50 % à 33 % environ.**<sup>245</sup>

La formation agricole dépend du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (200 000 apprenants) alors que la formation générale dépend du ministère de l'éducation nationale (5,6 millions d'apprenants dans le secondaire).

Le poids de l'enseignement général tend à rendre inaudibles les démarches de l'enseignement agricole pour promouvoir ses filières, et la connaissance des formations agricoles par les élèves de l'enseignement général.

Pourtant, dans les zones rurales, les métiers agricoles locaux nécessaires à l'activité économique du territoire sont vecteurs d'emploi. Ces métiers ne sont que peu présentés aux élèves des établissements de l'enseignement général.

[Appel à contribution : nous sommes intéressés si vous avez de la littérature sur les raisons de la baisse des effectifs à nous suggérer]

---

<sup>244</sup> Actif Agri 2019

<sup>245</sup> <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Ana109/analyse1091712.pdf>

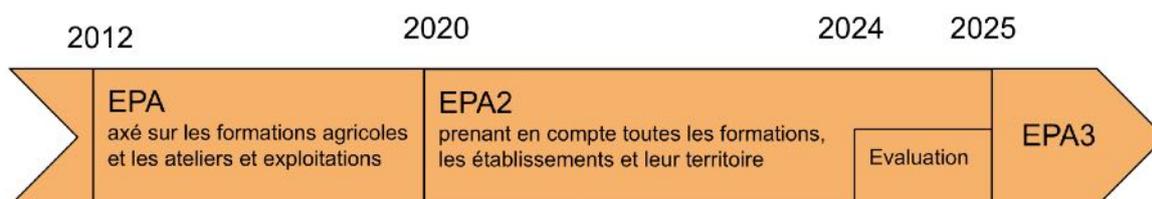
## 2. Les enjeux environnementaux dans la formation agricole

La formation agricole française a des atouts certains, notamment dans son approche territorialisée (forte influence du cadre territorial sur les contenus de formation) qui lui permet de prendre en compte les spécificités locales (emplois, tissu agricole, enjeux environnementaux...), ou encore grâce aux exploitations agricoles affiliées aux établissements agricoles qui permettent une mise en pratique des enseignements très précieuse. Cependant, elle peine à prendre en compte les enjeux écologiques de manière systématique.

### A. Le programme “Enseigner à produire autrement” : une initiative louable mais qui manque de mobilisation dans sa mise en œuvre

[Les éléments ci-dessous sont issus d'échanges avec plusieurs acteurs de l'enseignement agricole. Nous sommes intéressés par toutes remarques, nuances ou contributions qui vous sembleraient nécessaires.]

Le plan "Enseigner à produire autrement", EPA (1 puis 2), a pour objectif d'accompagner les transitions (agroécologiques, alimentaires, mobilités...) au sein des établissements d'enseignement agricole. Cette politique, débutée en 2012, est en cours d'évaluation nationale et devrait déboucher prochainement sur un 3<sup>ème</sup> volet.



Cette politique se décline en 4 axes :

- Axe 1 : Encourager la parole et l'initiative des apprenants sur les questions des transitions et de l'agroécologie
- Axe 2 : Mobiliser la communauté éducative pour enseigner l'agroécologie et poursuivre les transitions
- Axe 3 : Amplifier la mobilisation des exploitations agricoles et ateliers technologiques comme support d'apprentissage, de démonstration et d'expérimentation
- Axe 4 : Développer l'animation dans les territoires et l'essaimage des pratiques innovantes

**La mise en place de cette politique de transition dépend de différents acteurs** : les politiques nationales et régionales, les membres du Conseil d'administration et de la direction de l'établissement, et les équipes pédagogiques. La réalisation de projets de transition agroécologique dépend donc de la volonté, de l'appétence et des compétences de ces acteurs.

**Le projet d'établissement, la définition du Plan Local EPA et sa mise en œuvre sont des outils essentiels** pour permettre aux apprenants de se saisir de situations complexes, systémiques qui font appel à des connaissances dans diverses disciplines qui sont nécessaires dans la transition agroécologique (mise en place d'une analyse, de diagnostics suivis de prise de décision).

## B. La transition agroécologique, un enseignement prévu dans les formations mais à la mise en œuvre incertaine

### Dans la formation initiale

Le cadre réglementaire récent<sup>246</sup>, qui inclut le programme EPA présenté ci-dessus, prévoit que la transition agroécologique soit intégrée dans tous les référentiels de diplôme, dans tous les enseignements et dans les attendus pour l'obtention des diplômes de formation initiale.

Les référentiels sont divisés en 3 parties : partie "Référentiel professionnel" ; partie "Référentiel de certification" ; partie "Référentiel de formation". Ils sont revus tous les 5 ans. Depuis 2017, ces sujets sont traités en majorité dans les référentiels professionnels, donnant des éléments de contexte.

**Les compétences en lien avec la transition agroécologique ne sont pas décrites dans la partie « Référentiel de formation ».** Ceci afin de laisser la latitude aux professeurs pour adapter les cours au contexte territorial, mais cela les prive d'un cadre sur lequel s'appuyer.

La mise en œuvre de l'enseignement de la transition repose donc sur les capacités de l'équipe enseignante, et dépend donc de leur formation.

### Travail en cours :

Les référentiels des formations diplômantes avec le plus d'effectifs (voir partie 1.A.) ont été étudiés pour identifier dans quelle mesure la transition écologique y est traitée.

Méthode : nous comptabilisons la fréquence de mots clés en lien avec la transition écologique et nous vérifions lorsque le mot est trouvé dans le référentiel que le contexte est bien en lien avec la transition écologique. La liste de mots a été établie à partir de la liste de mots utilisée dans un rapport d'Ocapiat<sup>247</sup>, parmi lesquelles nous avons sélectionné les mots qui étaient directement liés à la transition agroécologique et ajouté quelques-uns. (voir annexe 1)

L'analyse de chaque référentiel a permis de voir dans quelle mesure les enjeux de la transition agroécologique apparaissent dans les éléments de contexte, les compétences des futurs diplômés et les modules de formation. **L'analyse est encore en cours**, mais il semble pour l'instant que les mots clés de la transition agroécologique sont plus souvent présents dans les référentiels de niveau supérieurs (niveau 4 et 5) que dans les formations de niveau 3.

### Formation continue (des salariés, exploitants encore non-traités)

D'après notre analyse par mots-clés, 5 % des formations continues financées par Ocapiat (des salariés donc) en 2021 traitent des enjeux climatiques, avec une dominante sur les thèmes de la gestion des aléas climatiques et la diversification. Cependant, dans les 95 % des formations "cœur de métiers" financées, 1/3 du volume horaire aborde les thématiques liées au climat **[demande de précisions en cours]**.

Les secteurs des cultures pérennes ont davantage formé leurs salariés aux risques climatiques et à la gestion des aléas en 2021 (seuls chiffres disponibles). Cependant, la participation à ces formations semble être très conjoncturelle, en réponse à des aléas ponctuels. Par exemple, les secteurs de l'arboriculture et la viticulture représentent 35 % des stagiaires en 2021, année de gels printaniers importants. Les formations sur la diversification et l'agriculture biologique arrivent ensuite dans le classement des thèmes plus demandés. [données OCAPAT]

*NB : A noter que cette analyse porte sur du déclaratif dans le descriptif des formations. Il est très difficile de savoir dans quelle mesure les enjeux écologiques sont effectivement enseignés par les enseignants, si ceux-ci sont suffisamment formés pour enseigner ces enjeux de manière qualitative, etc.*

---

<sup>246</sup> Le projet stratégique national pour l'enseignement agricole et le schéma prévisionnel national des formations de l'enseignement agricole applicables pour les années 2016 à 2020, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042234368> (consulté le 28/05/2024)

<sup>247</sup> Rapport Ocapiat - "Étude prospective sur les impacts des changements climatiques en termes d'activités, de métiers, d'emplois et de compétences pour les exploitations agricoles"

## C. L'enseignement des enjeux écologiques se heurte à des freins

La mise en place de cette politique est limitée par de nombreux freins :

- Un portage politique au niveau national et territorial fluctuant, et notamment dépendant des politiques régionales.
- Une réticence de la part de certains élèves (enseignements différents des pratiques de leur famille).
- Un manque structurel de moyens financiers : les acteurs doivent répondre à des appels à projets chronophages, lourds administrativement, et nécessitant des compétences spécifiques en ingénierie de projet (compétences présentes surtout dans les gros établissements, les petits établissements étant défavorisés).
- Des dotations horaires insuffisantes pour la mise en place des plans locaux (0,5h à 2h/semaine de décharge pour 1 enseignant référent + compléments horaires).
- Suivant les régions, pas d'obligation pour les enseignants à se mobiliser, ni à se former à enseigner autrement.
- Ce dispositif s'accompagne d'un lourd *reporting* (indicateurs annuels, enquêtes thématiques...) vers le MASA sans valorisation des initiatives menées.
- Dans l'enseignement public, la définition d'un Plan local EPA est obligatoire mais sa mise en place, son suivi, son *reporting* varie d'une région à l'autre, sans obligation de résultat.
- Pour les établissements privés : pas d'obligation de mise en place d'un Plan Local EPA2. L'enseignement de la transition agroécologique dépend de la volonté des membres des conseils d'administration des établissements : des entreprises agricoles locales qui recruteront les futurs diplômés, des syndicats locaux... qui ne sont pas toujours engagés pour la transition agroécologique.
- Suite à la décentralisation de la gestion des lycées agricoles depuis les années 2000 du national vers les régions, de nombreux lycées publics et surtout privés connaissent de grosses difficultés économiques. Dans ce contexte, il est difficile pour les établissements concernés d'envisager de prendre en charge une contrainte supplémentaire que serait l'enseignement des enjeux de transition écologiques.

Recommandations provisoires en réponse à ces freins :

- Préalablement à la mise en place d'un plan, il est nécessaire de **s'assurer de la mobilisation des établissements** (directions et enseignants) via des séminaires d'information, des formations... dans le privé et le public.
- Il est indispensable de former les enseignants aux enjeux écologiques et agroécologiques afin qu'ils soient à l'aise pour les enseigner, et à l'approche capacitaire pour apporter une vision systémique.
- **Valoriser les établissements** qui mettent en place des initiatives pour développer l'enseignement des enjeux écologiques dans leurs formations. Exemples : "Printemps des transitions", la lettre EPA2, les actions de communication du Ministère (réseaux sociaux, L'aventure du Vivant...).
- **Développer des politiques régionales valorisant les formations** aux métiers agricoles auprès d'autres publics et promouvoir l'enseignement des enjeux écologiques. Exemple : la Région Bretagne qui finance des projets d'établissements visant une réduction de l'usage des produits phytosanitaires de synthèse dans l'agriculture.
- **Mobilisation de tous les acteurs des établissements** dans le cadre des phases de construction des PLEPA avec des réunions participatives et des groupes de travail ouverts à l'ensemble des acteurs (personnels, apprenants, associations, professionnels, institutionnels...), lors des réunions pédagogiques, administratives et de direction. Implication du référent EPA dans les différentes instances (comités de direction, conseil intérieur, d'exploitation, d'administration...).

# L'Emploi agricole : état des lieux, volume d'emploi, conditions d'emploi et de travail

Cette note propose un état des lieux quantitatif synthétique du volume d'emploi agricole et des conditions d'emploi et de travail dans le secteur agricole. Elle pose le contexte d'un travail qui sera mené pour la version finale de ce rapport, d'estimation de l'évolution de l'emploi et des métiers agricoles pour une agriculture bas carbone, résiliente et prospère.

## 1. De moins en moins d'actifs agricoles, et une recomposition profonde des métiers vers davantage de salariat

La part de l'emploi en agriculture a fortement diminué dans les dernières décennies en France, passant de 9,1 % en 1980 à 2,7 % en 2022<sup>248</sup>.

En 2020, l'ensemble des actifs ayant travaillé sur une exploitation agricole en France métropolitaine représentent 675 000 équivalents temps plein<sup>249</sup> (ETP)<sup>250</sup>. Le volume de travail agricole total est ainsi en baisse de 10 % par rapport à l'année 2010, en parallèle de la diminution du nombre d'exploitations qui s'élève à 20 % sur la période<sup>251</sup>.

Le travail des exploitants et coexploitants a baissé dans une proportion similaire, et sa part reste stable à 58 % du travail agricole. En revanche, l'emploi familial diminue (8 % des ETP agricoles en 2020, contre 12 % en 2010) ; *a contrario* du travail fourni par les salariés permanents non familiaux, qui augmente sur la période (de 17 % en 2010 à 21 % en 2021) (Figure 1). Le travail fourni par des prestataires de travail agricoles (ETA et CUMA notamment) est en hausse lui aussi ; d'autant plus que cette dynamique semble sous-estimée par la statistique agricole<sup>252</sup>. Au travail fourni par les ETA et CUMA s'ajoutent environ 20 000 ETP dans des activités de soutien à l'agriculture<sup>253</sup> – non pris en compte dans la figure ci-dessous.

L'agrandissement des exploitations, leur spécialisation et la tendance au suréquipement en machinisme favorisé par une fiscalité attractive se conjuguent à un coût du travail salarié élevé et à une concurrence sur la main-d'œuvre agricole qualifiée. Cela a accéléré la diminution de la main-d'œuvre dans les charges

---

<sup>248</sup> INSEE, « Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires », 2024, p. 74, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728903> (consulté le 10 avril 2024).

<sup>249</sup> Un équivalent temps plein correspond au travail d'une personne à temps plein, sur une année. Ainsi, quatre personnes travaillant trois mois à temps plein correspond à un équivalent temps plein.

<sup>250</sup> En tenant compte du travail réalisé au sein des ETA et CUMA. Agreste, Recensement agricole 2020, Main-d'œuvre et externalisation des travaux, Primeur n°11, juillet 2022, <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Pri2211/detail/> (consulté le 10 avril 2024).

<sup>251</sup> Agreste, Recensement agricole 2020, <https://vizagreste.agriculture.gouv.fr/evolution-du-nombre-d-exploitations.html> (consulté le 10 avril 2024).

<sup>252</sup> Catherine Laurent et Geneviève Nguyen, « Innovation in Labour Organisation and Social Conditionality: Implications for Farm Advisory Services », *EuroChoices*, 21 (1), 2022, p. 56-62 ; cité par François Purseigle et Bertrand Hervieu, *Une agriculture sans agriculteurs*, Presses de Sciences Po, 2023, p. 16.

<sup>253</sup> Activités de soutien à la production animale, Location de machines et équipements agricoles et autres mises à disposition de ressources humaines. Ceresco et Quadrat pour Ociapiat, « Description et anticipation des impacts emploi, métiers et compétences », juillet 2022.

d'exploitation – malgré des exonérations de cotisations sociales sur les travailleurs occasionnels demandeurs d'emploi.

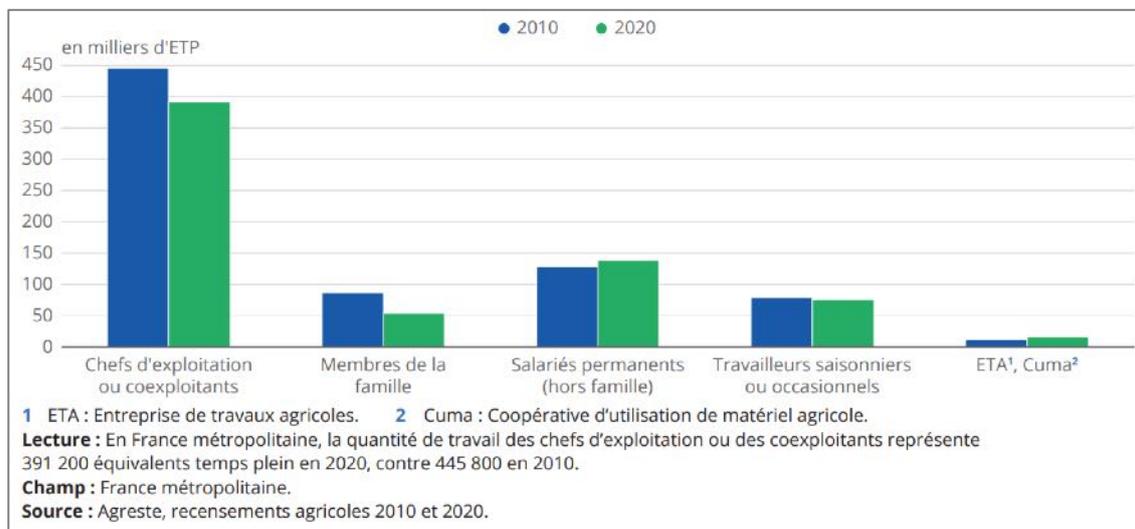


Figure 31 : Équivalents temps plein (ETP) agricoles en 2010 et en 2020

Source : INSEE<sup>254</sup>

**Au-delà du seul affaissement de la population agricole, la nature du travail a aussi évolué.** Le travail temporaire, le travail à temps partiel, le travail salarié, étaient restreints par le passé aux travaux peu qualifiés ; ces modalités de travail concernent aujourd'hui des actifs ayant des missions plus techniques et davantage de responsabilités<sup>255</sup>.

C'est dans cette recomposition profonde des métiers agricoles que doit s'insérer la transition de l'agriculture vers un système bas carbone et résilient.

## 2. L'évolution de l'activité agricole aura des impacts en emploi contrastés selon les OTEX

### A. Un volume d'emploi et une intensité en emploi variables d'une OTEX à l'autre

**L'emploi agricole est fortement concentré dans quelques orientations technico-économiques (OTEX) :** la viticulture et les grandes cultures représentent à elles seules plus d'un ETP agricole sur trois (37 % – Figure 32).

Toutefois, l'emploi de ces OTEX tend à baisser, là où d'autres, comme le maraîchage et l'horticulture, voient au contraire leur volume d'emploi augmenter (+4,8 % entre 2020 et 2021)<sup>256</sup>.

<sup>254</sup> INSEE, « Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires », 2024, p. 103, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728903> (consulté le 10 avril 2024).

<sup>255</sup> François Purseigle, Bertrand Hervieu, *Une agriculture sans agriculteurs*, Presses de Sciences Po, 2023

<sup>256</sup> Agreste - Recensement agricole ; MSA ; traitements SSP. Agreste, Estimation d'emploi agricole. Emploi 2021 et estimations provisoires 2022. Les Dossiers n°3, juillet 2023.

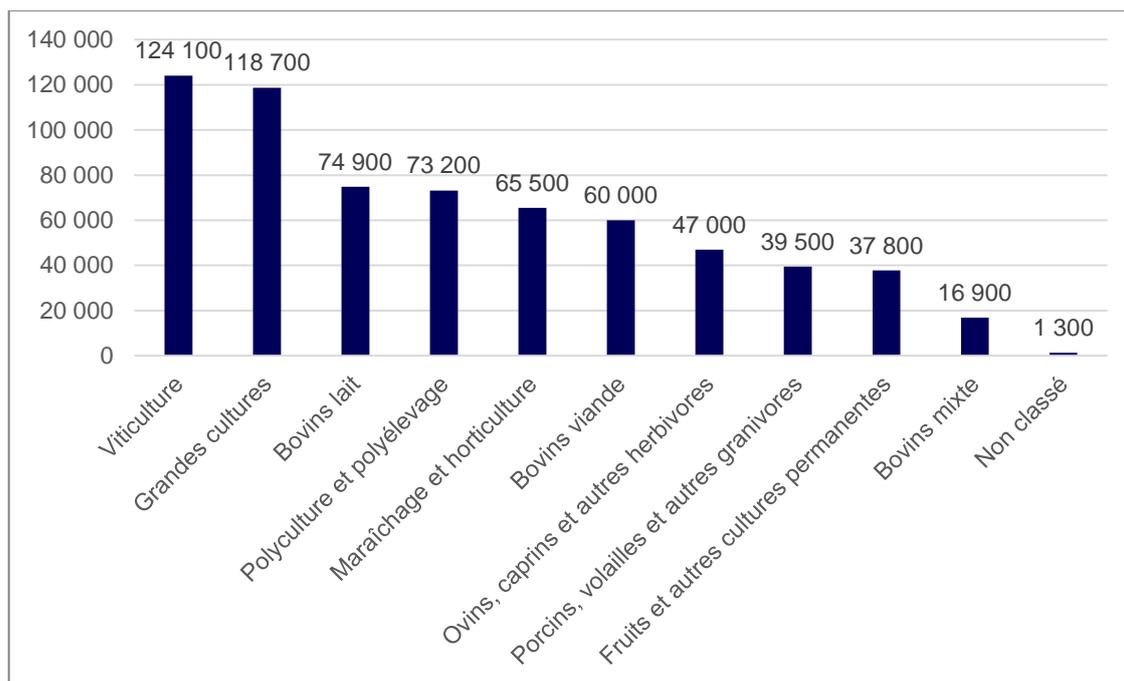


Figure 32 : Nombre d'ETP selon l'OTEX en 2020

Source : Agreste<sup>257</sup>

**Certaines orientations technico-économiques qui représentent peu d'emploi ont toutefois une intensité en emploi élevée.** C'est le cas du maraîchage et de l'horticulture, qui représentent seulement 10 % du travail agricole en ETP mais qui emploient le plus de main-d'œuvre par exploitation (Figure 33).

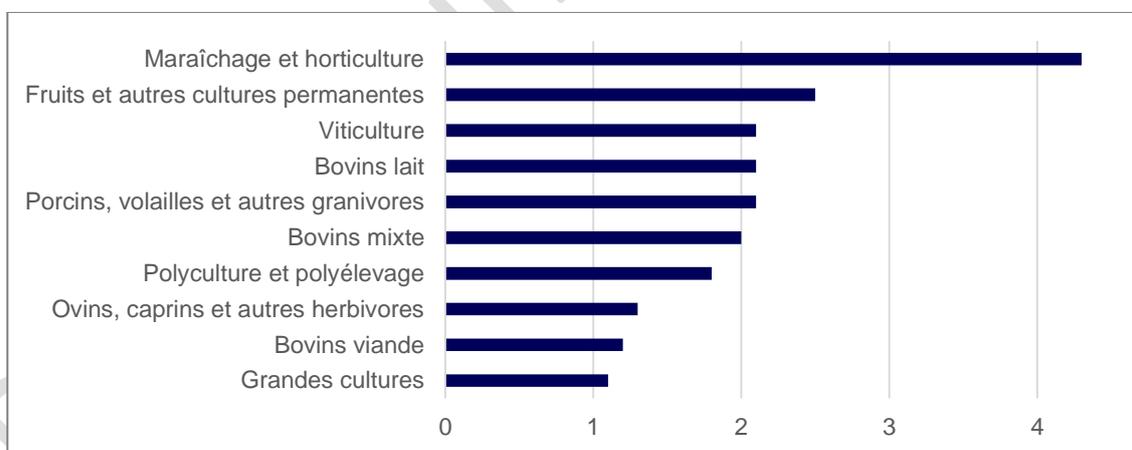


Figure 33 : Nombre d'ETP par exploitation selon l'OTEX en 2020

Source : Agreste<sup>258</sup>

**Cela signifie que la décarbonation du système agricole pourra donc avoir des conséquences très variables sur le volume de travail agricole total, si elle s'appuie sur une évolution de la production dans une OTEX ou dans une autre.**

<sup>257</sup> Agreste, Recensement agricole 2020, Main-d'œuvre et externalisation des travaux, Primeur n°11, juillet 2022, <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Pri2211/detail/> (consulté le 10 avril 2024).

<sup>258</sup> Agreste, Recensement agricole 2020, Main-d'œuvre et externalisation des travaux, Primeur n°11, juillet 2022, <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Pri2211/detail/> (consulté le 10 avril 2024).

## B. Des contrastes territoriaux fortement liés à la spécialisation des territoires

**Au-delà de l'emploi national, des conséquences contrastées seraient à attendre selon les territoires.** Si l'emploi agricole diminue dans la plupart du territoire français, de fortes disparités territoriales subsistent. Ainsi, dans le Massif Central et certains territoires du Grand Est, l'érosion de l'emploi agricole est plus marquée, probablement en raison de la baisse du nombre d'exploitations spécialisées en élevage d'herbivores (Figure 34). En somme, du fait des spécialisations territoriales, tous les territoires ne sont pas impactés de la même manière par les évolutions de la production des différentes OTEX.

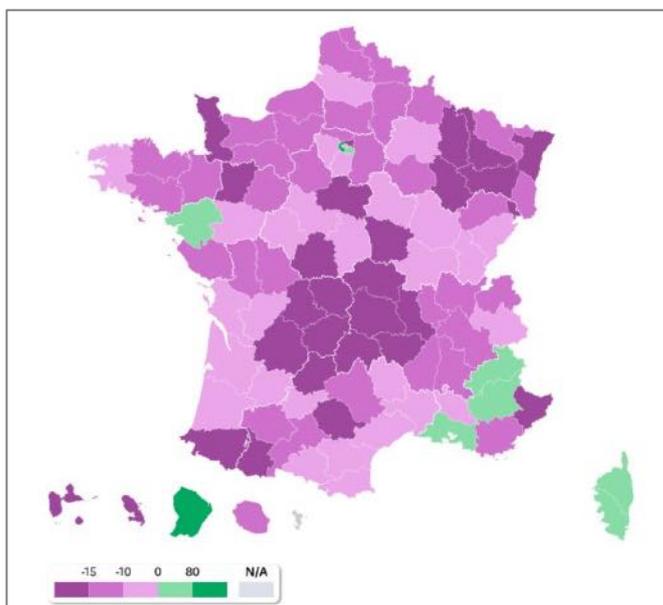


Figure 34 : Évolution des ETP 2010-2020, en %

Source : Agreste<sup>259</sup>

## C. Le recours aux travailleurs saisonniers varie d'une orientation à l'autre

**Parler de volume d'emploi global cache de forts contrastes dans les conditions d'emploi, avec un recours au travail saisonnier allant de 2 % à 42 % du temps de travail total selon les OTEX.** En particulier, les fruits et autres cultures permanentes, le maraîchage et l'horticulture, et la viticulture s'appuient sur une forte part de travail saisonnier (plus de 15 %) pour les périodes de récolte (Figure 35).

<sup>259</sup> Agreste, Recensement agricole 2020, <https://vizagreste.agriculture.gouv.fr/emploi-agricole.html> (consulté le 10 avril 2024).

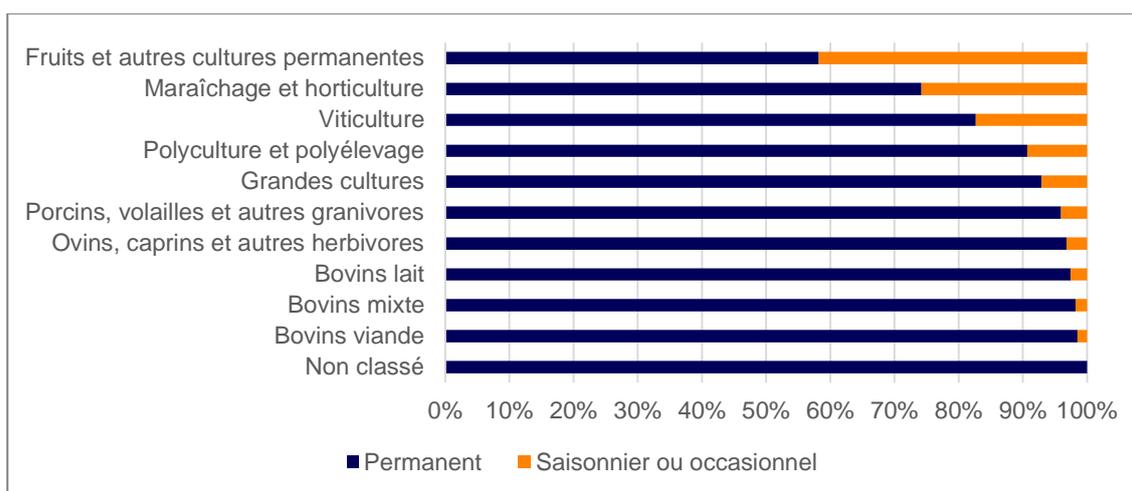


Figure 35 : Répartition du travail des permanents et des salariés saisonniers ou occasionnels selon l'OTEX en 2020

Source : Agreste<sup>260</sup>

**Une hausse ou une baisse de l'emploi en ETP dans le cadre de la décarbonation du système agricole ne correspondrait pas aux mêmes types d'emplois selon l'OTEX concernée.** Là où dix ETP supplémentaires dans les exploitations bovines correspondent le plus souvent à autant d'emplois permanents (exploitants, co-exploitants, main-d'œuvre familiale et salariés permanents), dix ETP supplémentaires en culture fruitière correspondent à environ 6 emplois permanents et 4 ETP saisonniers – par exemple 24 contrats saisonniers de deux mois chacun.

### 3. Emploi des services et du conseil agricole

#### [Appel à contributions]

Nous souhaitons également cibler également les métiers de services agricoles et de conseil qui seraient impactés par les transformations du secteur agricole en faveur d'une transformation bas carbone et résiliente, par exemple le conseil dispensé par les chambres d'agriculture, ou toutes les activités de service non comptabilisées ci-dessus. Nous souhaitons donc quantifier les emplois correspondants à ces métiers. Si cela est réalisable, nous souhaiterions présenter l'ensemble des emplois de service et de conseil agricole (fil des métiers agricoles tout au long du cycle de vie d'une production, dont amont et aval).

Si vous pensez pouvoir nous apporter votre contribution, merci de nous contacter en envoyant un mail à [vinciane.martin@theshiftproject.org](mailto:vinciane.martin@theshiftproject.org).

### 4. Le secteur agricole est marqué par des tensions de main-d'œuvre

**Malgré la diminution du volume d'emploi agricole, le secteur reste marqué par une baisse du taux de renouvellement des exploitants et, localement, par des tensions de recrutement.**

La population des exploitants agricoles est vieillissante : les plus de 60 ans représentent 17 % des exploitants en 2016, alors qu'ils ne représentaient que 10 % en 2010. Dans le même temps, les entrées de nouveaux

<sup>260</sup> Agreste, Recensement agricole 2020, Main-d'œuvre et externalisation des travaux, Primeur n°11, juillet 2022, <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Pri2211/detail/> (consulté le 10 avril 2024).

exploitants stagnent : les installations ne compensent pas les départs (malgré des disparités selon les OTEX)<sup>261</sup>. Cela s'explique notamment par les difficultés d'installation des nouvelles générations, à laquelle est souvent privilégié l'agrandissement des exploitations<sup>262</sup>.

En ce qui concerne les métiers agricoles salariés, ils connaissent moins de tensions de recrutement que l'ensemble des métiers salariés en moyenne à l'échelle nationale, mais les tensions peuvent être très fortes sur certains métiers et dans certains départements – par exemple pour les éleveurs salariés dans plusieurs départements bretons<sup>263</sup>.

Les potentiels besoins de main-d'œuvre pour la transition vers un système agricole bas carbone s'inscrivent donc dans un contexte de tension de main-d'œuvre. Ce contexte relève pour partie des conditions de travail bien spécifiques du secteur.

## 5. Des conditions de travail et d'emploi bien spécifiques

### A. Une charge de travail élevée et des horaires contraints

À statut équivalent, les actifs agricoles travaillent davantage que les actifs non agricoles, et les exploitants en particulier connaissent de fortes contraintes horaires – parmi les actifs dont l'agriculture est la profession principale. Les exploitants sont bien plus nombreux que les autres non-salariés (travailleurs indépendants) à travailler habituellement le samedi ou le dimanche, et occasionnellement la nuit (Figure 36). En élevage en particulier, l'organisation du temps de travail est contrainte (même si cela varie fortement selon l'orientation productive)<sup>264</sup>.

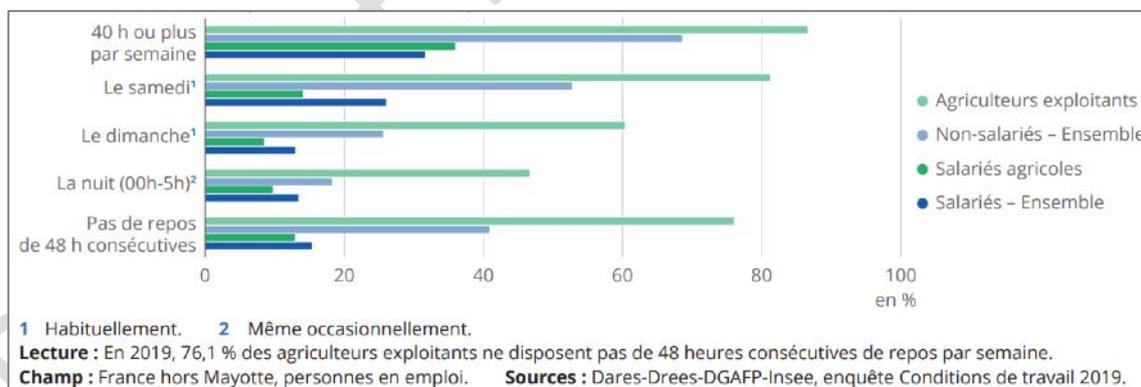


Figure 36 : Horaires et organisation du temps de travail en 2019

Source : INSEE<sup>265</sup>

<sup>261</sup> Forget V., Depeyrot J.-N., Mahé M., Midler E., Hugonnet M., Beaujeu R., Grandjean A., Héroult B., 2019, Actif'Agri. Transformations des emplois et des activités en agriculture, Centre d'études et de prospective, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, la Documentation française, Paris.

<sup>262</sup> François Pursegile, Bertrand Hervieu, Une agriculture sans agriculteurs, Presses de Sciences Po, 2023

<sup>263</sup> Pôle emploi, Dares, Les tensions sur le marché du travail en 2022, Dares Résultats n°59, 2023, <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publication/les-tensions-sur-le-marche-du-travail-en-2022> (consulté le 10 avril 2024).

<sup>264</sup> Actif'Agri 2019.

<sup>265</sup> INSEE, « Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires », 2024, p. 105, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728903> (consulté le 10 avril 2024).

## B. Une pénibilité intrinsèque aux métiers agricoles

**Les activités agricoles vont de pair avec un taux élevé d'accidents du travail**, en particulier en élevage où un tiers des accidents des exploitants sont liés aux activités avec les animaux. Les salariés agricoles dans leur ensemble constituent la deuxième famille de métiers la plus touchée par les accidents du travail, derrière le secteur du bâtiment et des travaux publics. Là encore, ce sont les salariés en élevage qui sont le plus touchés. Les salariés en ETA sont eux aussi particulièrement victimes d'accidents du travail.

**Les maladies professionnelles sont aussi particulièrement fréquentes chez les actifs agricoles**, salariés ou non. La grande majorité des maladies professionnelles (environ une sur dix) sont des troubles musculo-squelettiques. Des maladies liées à l'utilisation de pesticides sont également présentes, notamment chez les non-salariés<sup>266</sup>.

## C. Intensité et insécurité du travail : des situations contrastées entre exploitants et salariés

La situation des exploitants agricoles diffère nettement de celle des autres non-salariés. Elle est plus difficile sur certains items, la quantité de travail et la reconnaissance perçue pour son travail, mais plus enviable sur d'autres : ils sont moins nombreux à déclarer qu'ils travaillent sous pression, et surtout, ils ressentent une sécurité de l'emploi bien plus élevée que l'ensemble des non-salariés.

L'écart entre salariés agricoles et non agricoles est souvent à l'avantage des premiers, qui se sentent mieux reconnus pour leur travail (mais tout de même moins que les exploitants), déclarent moins travailler sous pression ou devoir effectuer une quantité de travail excessive. Mais à l'inverse des exploitants, ils déclarent bien davantage craindre pour leur emploi l'année qui vient, révélant une forte insécurité de l'emploi (Figure 37).

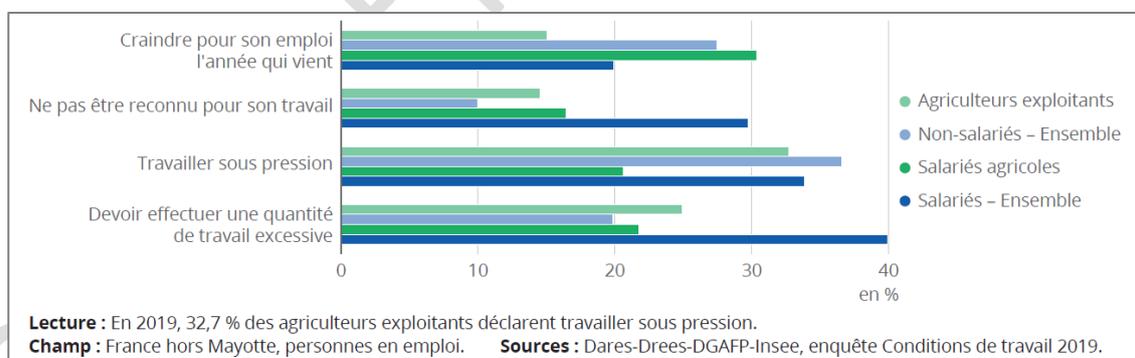


Figure 37 : Intensité et insécurité du travail en 2019

Source : INSEE<sup>267</sup>

## D. Des revenus disparates

**Les revenus des exploitants et co-exploitants agricoles varient fortement d'une orientation technico-économique à l'autre, mais aussi au sein de chacune des orientations.** Le revenu courant avant impôts par unité de travail agricole non salarié (UTANS) s'élève à 29 500 euros par an en moyenne sur la période

<sup>266</sup> ActifAgri 2019 (données MSA).

<sup>267</sup> INSEE, « Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires », 2024, p. 105, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728903> (consulté le 10 avril 2024).

2010-2019. Mais cette moyenne cache de grandes disparités entre exploitations. Les 10 % des exploitations dont les revenus sont les plus faibles ont en moyenne des revenus négatifs (- 4 600 euros), contre 69 500 euros pour les 10 % les plus élevés<sup>268</sup>. Les disparités entre orientations productives sont elles aussi notables (voir partie I.5 du rapport)

**Les salaires des métiers de la production agricole et des CUMA ont été revalorisés et harmonisés à l'échelle nationale récemment**, en 2020<sup>269</sup> – auparavant, les minima de salaires étaient définis par département. [Davantage d'éléments sur les revenus des salariés agricoles seront insérés dans la version finale du rapport.]

## 6. Aspirations et vécu des actifs agricoles

### [Appel à contributions]

Pour proposer une transformation du système agricole, il est essentiel de bien comprendre ce qu'une évolution de modèle impliquerait pour les actifs du secteur, exploitants comme salariés. Si les évolutions souhaitées ne correspondent pas aux aspirations des personnes qui sont au cœur de la production agricole, elles risquent de rester lettre morte.

Aussi, The Shift Project envisage pour la suite des travaux (au second semestre 2024) de réaliser une enquête qualitative sur le travail vécu des actifs agricoles, et sur leurs aspirations, pour apporter des éléments complémentaires aux données statistiques existantes.

Le guide d'entretien préliminaire est le suivant :

1. *Pourquoi avoir choisi de travailler dans l'agriculture ? Qu'est-ce qui vous attire ? A contrario, aviez-vous des appréhensions ? Si oui, lesquelles ?*
2. *Et aujourd'hui, pourquoi travaillez-vous toujours dans l'agriculture ? Qu'est-ce qui vous plaît ? A contrario, qu'est-ce qui vous plaît un peu moins ?*
3. *Comment voyez-vous l'évolution de l'agriculture dans les prochaines années ?*
4. *Et vous, que souhaiteriez-vous ?*
5. *Selon l'étude prospective Farmers of the future, quels scénarios vous semblent plausibles ? Lesquels vous semblent souhaitables ?*

Toute contribution pour mener l'enquête – participation ou identification de participants, élaboration du questionnaire, réalisation d'entretiens – est la bienvenue : si cela vous intéresse, merci de contacter [vinciane.martin@theshiftproject.org](mailto:vinciane.martin@theshiftproject.org).

De même, si vous avez connaissance d'études similaires déjà existantes, ou de verbatims sur le vécu du travail et les aspirations des exploitants et salariés agricoles, nous vous remercions de nous communiquer ces ressources.

---

<sup>268</sup> Vincent Chatellier, « L'hétérogénéité des revenus des actifs non salariés au sein de l'agriculture française : un regard au travers de deux grilles typologiques », *Economie rurale*, 378, octobre-décembre 2021, p. 55-73. Cité par François Purseigle et Bertrand Hervieu, *Une agriculture sans agriculteurs*, Presses de Sciences Po, 2023.

<sup>269</sup> Sur la base de la grille définie par la Convention collective nationale de la production agricole et CUMA du 15 septembre 2020, [https://www.legifrance.gouv.fr/conv\\_coll/id/KALITEXT000042949839/?idConteneur=KALICONT000043036630&origin=list](https://www.legifrance.gouv.fr/conv_coll/id/KALITEXT000042949839/?idConteneur=KALICONT000043036630&origin=list), consulté le 30 avril 2024.

# La place de la technologie dans la transition agricole

# Comment évaluer la capacité des technologies agricoles à accompagner la transition ?

L'objectif de ce chapitre est de **proposer une méthodologie** permettant de **décrypter les technologies agricoles** disponibles dans leur capacité à accompagner la transition du secteur. **Ce chapitre s'inscrit pleinement dans le rapport Agriculture** en ce sens que des leviers technologiques y sont parfois proposés ou au moins mentionnés.

Après une première discussion générale autour de l'enjeu des technologies agricoles et un panorama large des technologies pouvant accompagner la décarbonation et l'adaptation du secteur agricole, nous avons sélectionné un lot de technologies variées que nous avons passées au crible. En suivant une approche pas à pas, **chaque technologie agricole est étudiée** (impacts, enjeux, dépendances, verrouillages...) **et projetée dans des personas agricoles pour mieux questionner leur atterrissage sur le terrain.**

Une des prochaines étapes de ce chapitre sera d'évaluer à quel point les trajectoires proposées dans le rapport Agriculture orientent ou non le développement des technologies agricoles dans une direction donnée.

## 1. Qu'entend-t-on par technologie agricole ?

Qu'est-ce que la technologie ? Il serait hasardeux voire dangereux d'en proposer une définition unique tant cette notion dépend des disciplines, des contextes et des usages. Elle est en vérité directement liée aux utilisateurs. Le terme "technologie" a souvent pris le pas sur le terme "technique". Au départ présenté comme un « discours sur les techniques », la technologie, par le biais d'un anglicisme (technology), s'est retrouvé à évoquer des techniques souvent modernes et complexes. La technologie est maintenant très souvent utilisée en lien avec le champ lexical de l'innovation. Il n'est donc pas rare d'entendre parler de nouvelles technologies, ou encore de technologies du futur.

Il faut garder néanmoins à l'esprit qu'**une innovation n'est pas nécessairement technologique**. Les innovations peuvent prendre des formes très variées : innovations de produits, innovations de procédés, innovations organisationnelles, innovations de marketing... Même s'il devrait être admis qu'une innovation est l'atterrissage ou la démocratisation d'une invention sur le terrain, nous utiliserons le terme d'innovation dans un sens relativement élargi, recoupant donc à la fois les notions d'innovation et d'invention.

Nous retiendrons pour ce rapport une définition large des technologies agricoles. Elles seront considérées comme un **ensemble de techniques modernes, plus ou moins complexes, en relation avec des technologies déjà existantes**. Aux technologies sophistiquées, nous n'opposons pas la sophistication de l'utilisation de technologies moins complexes – chacune pouvant avoir sa place dans des trajectoires agricoles variées. Les échanges autour des technologies doivent considérer non seulement la technologie en tant que technique au sens traditionnel du terme mais aussi la manière d'utiliser la technologie en ce sens que la technologie doit s'intégrer dans un processus de production agricole.

Entre le rapport Agriculture 2025 (Bournigal et al., 2015) et le triptyque maintenant régulièrement entendu de la bouche du président Macron <sup>270</sup> « Numérique, Génétique, Robotique », **le périmètre des technologies agricoles est très large. Nous l'avons volontairement contraint aux technologies en lien avec l'atténuation et l'adaptation au dérèglement climatique** (nous en reparlerons plus loin). Le financement des technologies AgriTech et Biotech sous forme de projets d'équipements prioritaires de recherche (PEPR) et d'appels à manifestation d'intérêts (AMI) dans le cadre du plan France 2030 ou encore de financements de projets européens (Horizon Europe) est loin d'être négligeable. Ces technologies, pour beaucoup, nécessitent un temps long de recherche et des investissements conséquents pour arriver à maturité. Il importe donc d'identifier pleinement les enjeux qu'elles soulèvent afin d'opérer des arbitrages éclairés, et de définir des politiques publiques adéquates

Il a été souvent question d'intégrer la notion de pratiques agricoles dans le périmètre de ce travail. Pour éviter atermoiements et échanges à rallonge, il a été considéré que, sauf rares exceptions, **les technologies agricoles n'étaient pas décarbonantes ou adaptatives en tant que telles mais qu'elles étaient là pour accompagner des pratiques agricoles qui elles, l'étaient**. Les pratiques agricoles ne sont donc pas ici considérées comme des technologies agricoles. Ces pratiques agricoles sont présentées plus largement plus haut dans le rapport.

Une lecture rapide de plusieurs rapports et plans agricoles, français et européens, (Plan stratégique nationale de la PAC, Stratégie Farm to Fork du Green Deal Européen, le Rôle de l'intelligence artificielle dans le Green Deal, le rapport d'orientation de la FNSEA face au défi climatique...) montre qu'une majorité évoque, dans une plus ou moins grande mesure, le recours à des technologies dans la transition énergie-climat de l'agriculture. **Force est néanmoins de constater que ces évocations sont souvent très floues**. En effet, des technologies sont parfois mentionnées, avec des niveaux de granularité assez grossiers, et sont souvent embarquées dans une terminologie plus générale d'innovation. La capacité de ces technologies à accompagner la transition agricole est généralement admise, sans démonstration particulière, alors que la diversité des technologies agricoles est vertigineuse et que toutes sont loin d'être au même niveau de maturité. Même si nous ne pouvons pas attendre de ces documents cadres une description fine des innovations technologiques, ce manque de clarté laisse transpirer une vision techno-solutionniste qui pèse mal les risques qui peuvent découler de choix trop peu éclairés.

## 2. Un premier pas de côté

**Les points de vue sur la technologie, peut-être encore plus exacerbés sur le volet agricole, peuvent être très divergents**. La place de la technologie en agriculture, comme dans d'autres secteurs, est trop peu mise en discussion, et **des discours manquant de nuance ("pro-techno" contre "anti-techno") se développent dans un climat de tensions et d'oppositions délétère à une dynamique favorable à la transformation sereine du secteur**. Pourtant, si chaque "camp" est convaincu que sa posture est la bonne, la réalité est que le chemin de la transition empruntera très probablement aux deux, pour permettre de mobiliser l'innovation technologique en faveur de la transition agroécologique, sans compromettre le secteur dans des voies qui apporteraient des contraintes supplémentaires à un secteur qui affronte déjà beaucoup.

La réflexion poursuivie dans le cadre de ce groupe de travail ne vise pas à empêcher le déploiement de solutions technologiques en agriculture. Au contraire, il invite à définir un cadre permettant de leur assurer un rôle et une place optimale au regard des objectifs poursuivis, et un développement serein et sûr. Nous pensons que des éléments de lecture généraux et des éléments de méthode pourront apaiser des discours souvent créateurs de tensions et appuyant des oppositions parfois idéologiques.

---

<sup>270</sup> Discours du Président de la République à l'occasion de la présentation du Plan France 2030, <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2021/10/12/presentation-du-plan-france-2030>

**La transformation du système agricole et agroalimentaire est urgente pour répondre aux contraintes physiques comme aux défis socio-économiques.** Si la piste technologique peut offrir des solutions<sup>271</sup> <sup>272</sup>, elle n'est néanmoins pas la seule. Au vu de la diversité des outils technologiques discutés dans ce rapport (limitée d'ailleurs par le périmètre de ce travail), cet argument pourrait paraître simpliste dans le sens où il devrait bien exister dans ce panorama des technologies en capacité d'accompagner la transition du secteur. Néanmoins, toutes les ressources déployées dans des directions technologiques (financement, réglementation, travail humain...) sont des supports ou des appuis qui ne seront pas développés ailleurs. Il importe donc de s'assurer d'un fléchage avisé de ces ressources afin qu'elles soutiennent tous les axes de solutions.

## **A. Penser le lien entre les technologies agricoles et la transition énergie-climat de l'agriculture**

**Il ne fait aucun doute que de nombreuses technologies agricoles ont en effet permis des évolutions significatives pour nos sociétés.** Les rendements agricoles ont atteint des niveaux spectaculaires avec l'utilisation conjointe de semences de variétés sélectionnées, de la chimie pour réduire l'impact des bioagresseurs, des apports de fertilisants azotés minéraux pour nourrir la plante, ou encore de l'agro-équipement pour optimiser le temps de travail et les efforts au champ. Les technologies agricoles ont participé à améliorer le confort de travail au champ des agriculteurs avec des agro-équipements toujours plus ergonomiques et efficaces. Par ailleurs, les outils technologiques déjà largement déployés cherchent à améliorer l'impact environnemental des pratiques qu'ils visent à soutenir (augmentation de l'efficacité des intrants, amélioration de la productivité des agro-équipements...).

**Malgré tout, les apports des années passées des technologies agricoles ne peuvent pas être considérées toutes choses égales par ailleurs au vu de la double contrainte carbone à laquelle le secteur agricole fait face.**

### **1. Des dépendances multiples et des possibilités de verrouillage technologique**

**L'agriculture est déjà en grande partie dépendante des énergies fossiles, ça n'est plus à démontrer<sup>274</sup>.** Pouvons-nous nous permettre de développer des propositions technologiques qui ne contribuent pas à nous émanciper de systèmes déjà assujettis aux énergies fossiles ? Deux rapports récents du Shift Project rappellent que les approvisionnements européens en pétrole et gaz sont à risque<sup>275</sup>. Ces choix technologiques seront-ils adaptés à une agriculture qui aura réussi à se transformer et se libérer de son étreinte fossile ? Y contribueront-ils ? Même s'il est vrai que nous vivons davantage une crise de l'abondance qu'une crise de la rareté, cette question n'est pas anodine. Penser les technologies résilientes dans une agriculture qui aura réussi à se transformer appelle à interroger la capacité de ces technologies à rester pertinentes dans un monde aux conditions dégradées.

Dans la suite de ce rapport, **nous parlerons d'innovations technologiques et même de packages technologiques en agriculture.** Innovations tout d'abord parce que beaucoup de technologies ne sont pas encore largement diffusées dans les exploitations agricoles. Cette entrée dans les champs ou dans les corps

---

<sup>271</sup> Bournigal et al., (2015). 30 projets pour une agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement. #AgricultureInnovation2025.

<sup>272</sup> Inrae (2023). État des connaissances sur la contribution des technologies d'édition du génome à l'amélioration des plantes pour la transition agroécologique et l'adaptation au changement climatique

<sup>273</sup> Inria – Inrae (2022). Agriculture et Numérique. Tirer le meilleur du numérique pour contribuer à la transition vers des agricultures et des systèmes alimentaires durables.

<sup>274</sup> Harchaoui, S., and Chatzimpiros, P.(2018). Can Agriculture Balance Its Energy Consumption and Continue to Produce Food ? A Framework Assessing Energy Neutrality Applied to French Agriculture. Sustainability, 10

<sup>275</sup> The Shift Project (2021). Pétrole : quels risques pour les approvisionnements de l'Europe ?

<https://theshiftproject.org/article/nouveau-rapport-approvisionnement-petrolier-europe/>

The Shift Project (2022). Gaz naturel : quels risques pour l'approvisionnement de l'UE ? <https://theshiftproject.org/article/gaz-risques-approvisionnement-ue-rapport-shift-project/>

de ferme est hétérogène<sup>276</sup>, fonction d'une multitude de facteurs historiques, sociologiques, techniques ou encore financiers<sup>277</sup>. Rajoutons également que certaines technologies pourront être adaptées à certaines situations mais délétères dans d'autres (exemple de l'agrivoltisme). Il importe donc que les modalités de déploiement soient bien pensées et encadrées.

Notre engagement collectif vers une (ou des) technologie(s) particulière(s), parfois à un niveau de maturité relativement faible, nous oriente dans une trajectoire dont nous ne pourrions pas nécessairement dévier (**notions de verrouillage technologique<sup>278</sup> et de dépendance au sentier<sup>279</sup>**). Si certaines technologies peuvent effectivement accompagner la décarbonation et l'adaptation au dérèglement climatique, d'autres peuvent au contraire entraver certains itinéraires agricoles parce qu'elles contribuent directement ou indirectement à renforcer le modèle agricole dominant. **En rendant certains itinéraires agricoles tributaires de technologies, ce sont également de nouvelles dépendances** (à un constructeur, un fournisseur d'outils, ou encore à un organisme stockeur) **qui sont susceptibles d'émerger<sup>280</sup>**.

Ici alors, **le concept de technologie appropriée<sup>281</sup>**, avec le double sens de l'appropriation par l'utilisateur ou l'usagère est en mesure d'utiliser ou d'entretenir la technologie, et de l'appropriation de la technologie à l'utilisation qu'elle va avoir, nous semble très adapté.

**Packages technologiques ensuite** parce qu'il nous faut considérer que les **technologies sont interdépendantes et entremêlées**. Certaines technologies ont besoin d'autres voisines ou cousines pour fonctionner et déployer leur plein potentiel. Le développement de certaines technologies embarque en chaîne le développement d'autres technologies enchevêtrées. Nous parlons bien ici des technologies entre elles, mais aussi de toutes les infrastructures dont elles dépendent, infrastructures qui doivent être déployées dans un certain nombre de cas. Par exemple, rétrospectivement, la généralisation de l'utilisation des engrais azotés de synthèse n'a pu prendre son essor que parce qu'il y a eu, simultanément, des travaux sur la sélection variétale pour disposer de cultures qui valorisent au mieux cet azote, et des solutions phytosanitaires venant répondre aux effets de cette maximisation de l'azote (raccourcisseurs à pailles pour les blés afin d'éviter la verse, et favoriser l'absorption de l'azote dans les grains, par exemple). **Ces concepts d'effets rebond<sup>282</sup> ou d'empilement technologique continuent à être documentés<sup>283</sup>**. **L'agriculture n'y fait pas exception**. Certains arguments discutés tout au long de ce rapport ne sont pas nécessairement spécifiques à une technologie en tant que telle.

Au regard du temps de développement et de déploiement des technologies, ces dernières doivent maintenant nécessairement **être pensées dès l'origine – by design – pour des itinéraires agro-écologiques**, afin d'être compatibles avec l'évolution souhaitée des pratiques agricoles. Manifestement, **les technologies agricoles déployées jusqu'à présent se sont concentrées sur des logiques d'optimisation des itinéraires existants** : réduction des apports d'intrants (eau, phytosanitaires, énergie...), efficacité des agro-équipements, optimisation des tournées. Il est à craindre que ces logiques d'optimisation ne suffisent pas à elles-seules à apporter une solution à long terme aux crises du système alimentaire mondial. Même s'il n'est pas impossible que les technologies agricoles se dédient à des logiques de substitution ou de reconception d'itinéraires agricoles, les exemples restent encore fragiles et parfois plus que théoriques.

---

<sup>276</sup> Lowenberg-Deboer, James, and Bruce Erickson. 2019. "Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption." *Agronomy Journal* 111(4): 1552–69

<sup>277</sup> Pathak, Hari Sharan, Philip Brown, and Talitha Best. 2019. "A Systematic Literature Review of the Factors Affecting the Precision Agriculture Adoption Process." *Precision Agriculture* 20(6): 1292–1316.

<sup>278</sup> Clapp, Jennifer, and Sarah Louise Ruder. 2020. "Precision Technologies for Agriculture: Digital Farming, Gene-Edited Crops, and the Politics of Sustainability." *Global Environmental Politics* 20(3): 49–69

<sup>279</sup> Carolan, 2020a. "Acting like an Algorithm: Digital Farming Platforms and the Trajectories They (Need Not) Lock-In." *Agriculture and Human Values* 37(4): 1041–53

<sup>280</sup> Schnebelin, Éléonore, Pierre Labarthe, and Jean-Marc Touzard. 2021. "How Digitalisation Interacts with Ecologisation? Perspectives from Actors of the French Agricultural Innovation System." *Journal of Rural Studies*. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0743016721002205>.

<sup>281</sup> Atelier Paysan (2021). Reprendre la terre aux machines. Manifeste pour une autonomie paysanne et alimentaire

<sup>282</sup> The Shift Project (2023). Planifier la décarbonation du système numérique en France.

<sup>283</sup> Fressoz (2024). Sans Transition. Une nouvelle histoire de l'énergie. Essais Ecocène.

## 2. Mesurer l'impact environnemental des technologies agricoles

Si les enjeux énergie-climat commencent à prendre place dans le débat, l'idée que les technologies agricoles sont centrales dans l'évolution des pratiques agricoles s'est rapidement imposée dans le débat (principalement sous l'angle d'une optimisation, cf plus haut). En particulier, **l'empreinte environnementale de ces technologies elles-mêmes est rarement évoquée, et très rarement mesurée ni prise en compte** (problématique qui n'est pas propre au secteur agricole). Il semble souvent considéré que les impacts inhérents aux technologies agricoles sont compensés par les bénéfices qu'elles sont censées apporter au secteur. Pourtant, l'empreinte matérielle des technologies – pensons aux outils numériques, à l'agro-équipement ou encore à la robotique, commence à être documentée<sup>284</sup> et ne peut plus être négligée.

**Comment penser les technologies agricoles** sur les autels de l'atténuation et de l'adaptation au dérèglement climatique **quand ce n'est pas pour ces objectifs là que les technologies ont été développées au départ ? Des difficultés méthodologiques existent quand il s'agit d'attribuer des effets de diminution des GES à une technologie spécifique.** Si les outils numériques de pilotage azoté ont par exemple été développés pour fournir des préconisations azotées à la parcelle, peut-on réellement évaluer correctement un gain environnemental associé à ces technologies toutes choses égales par ailleurs alors que ça n'est pas nécessairement leur intention première ? Comment être capable ensuite d'extraire l'effet unitaire de la technologie au regard de l'ensemble de l'itinéraire de production ? Il est bien évidemment possible de mesurer des gains environnementaux (les données parcimonieuses de réduction ou d'adaptation effective ne sont malgré tout pas toujours disponibles) mais, même si la technologie a permis d'accompagner la mise en place d'une pratique agricole, peut-on lui allouer tout ou partie de l'impact que cette pratique aura réussi à générer ? A noter toutefois que les gains environnementaux apportés par les technologies agricoles ne peuvent être estimés que de manière relative à une situation contrefactuelle hypothétique.

Pour continuer dans le même sens, nous pourrions également nous **interroger sur ce qu'il se serait passé si la technologie n'avait pas été utilisée ou développée ?** A quoi compare-t-on un itinéraire agricole empreint d'outils technologiques ? **Le choix du point de départ ou la référence** entraîne avec lui la pertinence d'un recours à une évolution technologique. Mettre en oeuvre des innovations technologiques complexes pour améliorer ou transformer des pratiques agricoles qui, à la base, pourraient déjà être largement optimisées est-il une réponse suffisante ? Les technologies agricoles visant la décarbonation ne trouvent leur sens que lorsqu'elles s'inscrivent de manière complémentaire dans le cadre d'une dynamique dans laquelle des mesures de changement de pratiques agricoles, de sobriété et d'efficacité ont déjà été explorées et activées. L'écart à combler entre l'état initial et l'état technologique est ainsi mieux caractérisé, et la pertinence du déploiement de l'outil technologique peut être correctement définie.

Pour autant qu'une technologie agricole soit jugée pertinente pour la transition agricole, il importe de **questionner à quel point cette technologie a besoin d'être déployée à son plein potentiel** pour réellement fournir l'intérêt que nous lui accordons. Certaines technologies agricoles sont peut-être tellement transformantes qu'une légère introduction offre déjà des avantages significatifs. D'autres, au contraire, devront vraisemblablement être poussées jusqu'au bout pour montrer un atout différenciant. Introduire ces dernières technologies impose alors de les utiliser au maximum pour s'assurer que l'investissement initial soit rentabilisé.

---

<sup>284</sup> Pradel, M., et al. (2022). Comparative Life Cycle Assessment of intra-row and inter-row weeding practices using autonomous robot systems in French vineyards. *Science of the Total Environment*, 838.  
Ademe (2022). Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques.

## B. Un faux sentiment de neutralité des technologies agricoles

**Les technologies agricoles ne sont pas neutres.** A l'argument du couteau généralement brandi, étant sous-entendu que tout dépendrait de la manière dont ce couteau est utilisé, il faut au contraire rappeler que toute technologie s'inscrit dans un système socio-technique déjà bien établi. Nous ne pouvons et ne devons pas dire grand-chose des formes technologiques lorsqu'elles sont abstraites de leurs réseaux, pratiques, affects et discours. Les dispositifs technologiques ne sont jamais de simples objets indépendants ; ils sont toujours relationnels dans leur essence. Il est peut-être temps d'arrêter de se demander ce que sont ces technologies et plutôt de s'intéresser à ce qu'elles font, à ce qu'elles promeuvent, à ce qu'elles impliquent et dans quel système elles s'insèrent. **Les acteurs qui gravitent dans l'écosystème technologique en agriculture doivent se responsabiliser** et garder en tête qu'ils ont tous eu un rôle, à un moment ou un autre, dans l'atterrissage des technologies sur le terrain agricole et, par voie de fait, sur les conséquences et impacts associés, qu'elles soient positives ou négatives.

Nous pourrions aller jusqu'à parler de **fractures d'exactitude et de précision**<sup>285</sup> en ce sens que les technologies ne sont pas toujours adaptées voire même pensées pour tous les itinéraires agricoles. Nous ne mesurons, supervisons ou encore évaluons que ce que nous voyons et il est ainsi souvent plus facile de modéliser le monde d'une manière simpliste, soit parce que nous n'avons pas les outils technologiques pour mesurer ce qui aurait dû l'être, ou parce que nous ne savons pas ce que nous recherchons. Certains pans agricoles sont effectivement laissés en partie de côté par les technologies agricoles (polyculture-élevage, légumineuses, agriculture biologique...), pour des raisons financières principalement mais aussi réglementaires ou encore pour des enjeux d'organisation de filières ou de débouchés. En évitant des oppositions franches entre situations agricoles, n'est-ce pas au contraire tout une diversité et une hétérogénéité de systèmes agricoles qu'il faudrait reconquérir ?

**Les technologies n'entrent pas dans les exploitations agricoles toutes choses égales par ailleurs.**

L'adoption des technologies est un processus long et progressif, fait parfois d'allers-retours, et qui engage très largement à la fois les agriculteurs sur le terrain mais aussi tous leurs acteurs de proximité (techniciens, conseillers etc.). Ce sont autant de thématiques non techniques qu'il convient d'adresser, entre des notions d'identité au travail et de la relation portée à son travail, à la terre, aux animaux, des questions d'organisation du travail sur l'exploitation et de la relation avec de potentiels salariés, ou encore des enjeux autour des nouvelles compétences à acquérir et de l'accompagnement au changement à réaliser. Nous en reparlerons dans la description des innovations technologiques.

**Force est de constater que les technologies agricoles bénéficient d'un bruit médiatique important.**

Les récits dominants utilisent des images puissantes pour forger la perception de la société sur ce qui est actuellement en jeu<sup>286</sup>. Les récits de pénurie (énergétique, alimentaire...) principalement déployés ont tendance à être racontés par rapport à la façon dont les ressources sont utilisées, justifiant d'autant plus l'utilisation d'ajustements technologiques. En permettant de parer à la profonde incertitude et imprévisibilité du climat, les technologies agricoles sont présentées comme salvatrices et peuvent participer à laisser planer le doute sur l'état et la fiabilité des connaissances conventionnelles et empiriques sur l'agriculture. La propension de nos sociétés à vouloir contrôler et simplifier les productions agricoles en s'abstrayant de la complexité du vivant nous amène parfois à privilégier l'usage de la technologie à système constant plutôt que de repenser le système à l'aune des enjeux qui s'imposent à lui<sup>287</sup>. L'agriculteur innovateur, fêré de technologies, est souvent célébré et mis en avant comme un acteur en avance de phase dans l'écosystème médiatique. Il est souvent opposé à son collègue plus enclin à des pratiques traditionnelles et méfiant, voire

---

<sup>285</sup> Stock, Ryan, and Maaz Gardezi. 2021. "Make Bloom and Let Wither: Biopolitics of Precision Agriculture at the Dawn of Surveillance Capitalism." *Geoforum* 122: 193–203.

<sup>286</sup> Duncan, Emily, Alesandros Glaros, Dennis Z. Ross, and Eric Nost. 2021. "New but for Whom? Discourses of Innovation in Precision Agriculture." *Agriculture and Human Values* (June). <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10244-8>.

<sup>287</sup> Caquet et al. (2021). *Agroécologie - Des recherches pour la transition des filières et des territoires*. Chapitre 6 : Contribution des agro-équipements et du numérique à l'agro-écologie. Renforcer la prise en considération du vivant. Edition Quae.

même opposé, aux innovations technologiques de son secteur, ce dernier étant plutôt perçu comme retardataire.

Ce bruit médiatique, en parallèle de dispositifs de soutiens financiers importants tournés vers l'innovation (crédits d'impôts recherche, guichets FranceAgrimer pour le renouvellement du matériel agricole, programme d'investissement d'avenir SADEA, mouvement French Agri Tech...) participe au développement d'une course à l'innovation technologique. **Cette course à l'innovation technologique génère des fractures toujours plus marquées entre des situations agricoles qui ne se comprennent plus.** Cet écart, dont le comblement est non seulement difficile pour les agricultrices et agriculteurs mais aussi pour les acteurs qui les encadrent, ne facilite pas la consolidation, l'expérience, et le déploiement des technologies déjà présentes. Cette course à l'innovation rajoute également un risque supplémentaire de générer de l'empilement technologique et de l'obsolescence en ce sens que le développement et renouvellement d'outils sont privilégiés (voir précédente section et discussions à venir sur les innovations technologies sélectionnées). Les dispositifs financiers, encore très orientés vers l'innovation et trop peu vers le transfert technologique sur le terrain (pour un déploiement et une prise en main concrète dans les fermes agricoles) accentuent toujours plus ces déséquilibres.

Il importe de **garder du recul, évaluer les enjeux et réaliser des arbitrages, au risque de se retrouver dans des situations problématiques non anticipées.** Quels sont les risques à déployer ou ne pas déployer une technologie agricole ? Quelles sont les forces, faiblesses, opportunités et menaces de ces choix technologiques ? Quels sont les leviers pour maximiser les opportunités et limiter les risques associés ? Voilà autant de questions auxquelles nous tenterons d'amener des éléments de discussion.

### 3. Approche méthodologique

Par souci de lisibilité et de longueur de rapport, toutes les technologies agricoles étudiées ne seront pas détaillées de la même façon. Les lectrices et lecteurs intéressés pourront fouiller les annexes proposées pour découvrir les cas d'études technologiques considérés dans ce travail. Ce rapport a ainsi pour vocation d'apporter des éléments méthodologiques permettant d'éclairer les réflexions qui doivent avoir lieu sur la place de l'innovation technologique dans la transformation du secteur agricole.

**Le rapport est découpé en cinq parties distinctes.** La première section propose une cartographie large des réponses technologiques associées aux enjeux de décarbonation et d'adaptation de l'agriculture. A notre connaissance, ce panorama est le premier exercice du genre. Il sera amené à être consolidé par le retour de contributrices et contributeurs après la lecture de ce rapport intermédiaire. Dans la deuxième partie du rapport, un échantillon de réponses technologiques est sélectionné pour la suite du travail. La section explicite les critères et raisons de ces choix technologiques. La troisième section tente de détailler avec finesse les technologies sélectionnées. Avec une vision à 360°, des matrices d'enjeux et de leviers sont compilées pour donner à voir la diversité des questions liées à l'atterrissage de technologies agricoles dans les fermes. La quatrième partie du rapport invoque des personas agricoles de manière à projeter les réponses technologiques choisies dans des cadres plus concrets. L'objectif n'est en rien de mettre les agricultrices et agriculteurs dans des cases mais bien de discuter de l'adéquation entre les technologies agricoles et la réalité du terrain dans sa diversité. La dernière partie de ce document raccroche ce livrable au reste du rapport Agriculture du Shift Project en tentant de discuter des interactions entre les projections détaillées du Shift Project et les technologies agricoles.

# Un panorama des innovations technologiques en agriculture

## A. Méthodologie de construction de la cartographie des technologies

Le panorama aurait pu être construit de multiples façons. Même si nous nous sommes inspirés d'approches de type Analyse en Cycle de Vie (ACV) ou de méthodologies récentes de labellisation carbone (Carbon Agri, Cap2er...), **nous avons préféré partir sur une matrice représentant en abscisse une classification grossière des itinéraires de production agricole, et en ordonnée une décomposition des enjeux de décarbonation et d'adaptation au dérèglement climatique.** L'axe d'itinéraire agricole est suffisamment large pour ne pas écarter des filières ou des systèmes de culture particulier, et suffisamment fin pour pouvoir y placer des technologies agricoles. L'axe des ordonnées expose trois macro-catégories d'enjeu : (1) la limitation des émissions des principaux gaz à effet de serre du système agricole ( $N_2O$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ), (2) le stockage et la limitation du déstockage du  $CO_2$  dans les sols, et (3) l'adaptation au dérèglement climatique au sens large. La catégorie autour de l'adaptation aurait certes pu être redécoupée, mais les ramifications auraient certainement été très (trop) nombreuses.

**Deux matrices ont été produites, une pour les productions végétales et une autre pour les productions animales,** car nous avons considéré les technologies agricoles plus proches les unes des autres à l'intérieur de ces deux grandes catégories de production qu'entre elles. Le cas du méthane est ainsi retiré de la matrice liée à la production végétale (même si nous pourrions quand même considérer les émissions de  $CH_4$  indirectes via la production de carburants ou certaines productions agricoles comme la riziculture). Nous n'avons pas décliné ces matrices par filière même si ce travail plus fin aurait pu s'avérer pertinent. Certaines orientations technico-économiques des exploitations (OTEX) sont effectivement largement plus outillées que d'autres. **Nous ne soumettons pas ici de matrice dédiée à la polyculture-élevage.** Aussi importante que soit cette OTEX, il est manifeste que les technologies agricoles actuelles s'adressent en premier lieu à des filières plus étroites. Nous aurons l'occasion d'en reparler dans la suite du rapport.

**Le panorama technologique proposé est relativement large. Il n'est néanmoins certainement pas exhaustif.** Des contributions complémentaires, suite à la publication du rapport intermédiaire, viendront nourrir cette cartographie. La plus grande difficulté dans ce travail aura peut-être été d'attribuer une granularité cohérente à la fois entre des catégories de technologies sensiblement différentes mais aussi de manière à rendre la cartographie lisible et actionnable. **Les travaux,** à la fois ceux menés avec le groupe de travail et les ateliers réalisés en parallèle, **ont démontré l'hétérogénéité du vocabulaire et des représentations technologiques des participants. Les définitions des acteurs ne sont pas toujours communes et certains termes ne sont pas toujours précisément définis.**

**Pour ne pas alourdir les matrices, les dimensions autour de la maturité et de la déployabilité des technologies agricoles sur le terrain ne sont pas explicitées.** Ces considérations sont plutôt discutées pour les technologies sélectionnées dans la suite du rapport. Des représentations sous la forme de courbes de Gartner ou d'échelles de maturité, accessibilité ou déployabilité (TRL [Technology Readiness Level] ou MRL [Market Readiness Level]) pourraient être complémentaires aux matrices que nous avons proposées. Une échelle de couleur supplémentaire pour exprimer ces dimensions n'a pas été jugée adaptée au vu de la taille déjà importance des matrices.

Les innovations technologiques agricoles sont affichées de deux manières principales : soit au croisement entre une entité d'un itinéraire agricole et un enjeu d'atténuation ou d'adaptation, soit à cheval sur une longue

portion de l'itinéraire – toujours pour un même enjeu d'atténuation/adaptation. Il faut y comprendre que les technologies agricoles s'insèrent dans des systèmes agricoles dynamiques, avec des opérations agricoles qui s'enchaînent, et qu'il est parfois difficile d'imaginer l'action d'une technologie agricole à un seul endroit du spectre. C'est par exemple le cas des biotechnologies ou de la sélection conventionnelle qui, en proposant des semences plus ou moins transformées et adaptées à l'environnement local, impactent en cascade l'ensemble des activités agricoles de l'itinéraire (parce qu'elles seront plus ou moins précoces, nécessiteront plus ou moins d'eau sur telle période, plus ou moins de désherbage, seront plus enclines ou non à des attaques de bio-agresseurs...).

**Nous rappelons encore une fois que le périmètre des technologies invoquées ici s'arrête à la porte de la ferme.** Les technologies à l'aval de l'exploitation agricole (industries agroalimentaires, distribution, consommateurs...) ne sont pas considérées ici. Nous insistons sur les interactions fortes entre pratiques agricoles et technologies agricoles. Par honnêteté intellectuelle, il faut ici accepter que les technologies agricoles ne sont pas décarbonantes ou adaptatives en tant que telles. Elles sont plutôt là pour accompagner des pratiques agricoles qui elles, le sont. Les technologies agricoles sur la cartographie ont un lien avec la transition énergie-climat de l'agriculture, que ce soit dans une logique d'atténuation ou d'adaptation. Ces liens peuvent être directs ou implicites, parfois indirects voire à la limite des enjeux. Certaines technologies de surveillance ou de suivi environnemental et agronomique sont par exemple pertinentes pour générer de la connaissance (à intégrer ou non dans des modèles agronomiques), justifier la réalisation d'une pratique agricole (dans une optique d'obligations de résultats), ou servir à comparer les pratiques appliquées à l'échelle d'un territoire pour faire progresser toutes les fermes d'un territoire (*nudge* ou autres).

Les technologies agricoles en lien avec la thématique énergétique (méthanisation, petit éolien, agrivoltaïsme, décarbonation des engrais minéraux azotés...) n'ont pas été considérées dans le périmètre de ce travail. Elles seront traitées dans d'autres réflexions du Shift Project. L'agrivoltaïsme est seulement évoqué dans sa capacité à protéger la production agricole des effets du dérèglement climatique (ombrage, limitation du stress hydrique etc.)

Le périmètre des technologies agricoles s'arrête à la porte de la ferme. La position du Shift Project sur une trajectoire nationale de l'agro-industrie n'est pas encore définie. Elle le sera à la fin 2025. **Un travail préalable est en cours sur le secteur de l'Agriculture et donnera lieu à une position réaffirmée à la fin 2024**

Il est bien évidemment difficile de se centrer sur un exercice énergie-climat pour parler d'un secteur du vivant comme l'agriculture. Nous nous intéresserons autant que faire se peut aux ressources (eau, phytosanitaires, etc.) sous l'angle de la double contrainte carbone, à savoir la combinaison d'un dérèglement climatique et de ressources énergétiques en déplétion, l'utilisation de l'eau ou encore de phytosanitaires requérant de l'énergie dans leur utilisation ou leur fabrication.

	Semer et Planter	Éviter la concurrence des autres plantes	Nourrir la plante et le sol	Protéger et Soigner la plante	Récolte et post récolte
<b>Adaptation au changement climatique</b>	Sélection génétique (dont NBT., Mutagénèse, sélection conventionnelle...), géo-positionnement RTK pour schéma de cultures spécifiques, Assurances paramétriques/indicielles, Modélisation des évolutions climatiques et des futures zones de production, Production en environnement contrôlé et automatisé (serres et autres), Suivi satellitaire des infrastructures agro-écologiques				
	Simulateurs d'assolements et rotations, Outils numérique d'aide aux choix des couverts et systèmes de culture		Scoring des pratiques agricoles, Irrigation de Précision (compteurs connectés, bilan hydrique semi-automatisés...)	Bioestimulants, Biocontrôle, Agrivoltaïsme, Outils de modélisation de gestion intégrée des cultures, Crowdsourcing de nouvelles maladies émergentes	
<b>Séquestrer et limiter le déstockage de CO<sub>2</sub></b>	Suivi satellitaire (cultures intermédiaires, infrastructures agro-écologiques...)	Désherbage sélectifs (thermique, électrique, UV...), Désherbage non sélectifs appliqués de manière précise	Génétique & Exsudats racinaires, Bioestimulants & Réseaux mycéliens, Biochar, Activateurs de sol, Traçabilité et certification carbone, Suivi satellitaire des restitutions des couverts végétaux et des reliquats azotés		
<b>Limiter émissions de CO<sub>2</sub></b>	Organisation et planification des chantiers de travaux agricoles (gestion de flotte et télémétrie, serious game écoconduite et autres...) Robotique légère et agro-équipement léger, Amélioration de l'efficacité des agro-équipements et outils d'aide au réglage machines (Diagnostics tracteurs, Couple-consommation, Optimisation du gonflage des pneus, Adéquation tracteur-outil, plage d'utilisation), Motorisation électrique				
					Optimisation de tournées de récolte et de la logistique en général (par imagerie satellite, par télémétrie...), Outils d'optimisation de la logistique et du stockage (capteurs environnementaux, capteurs en silo...), Capteurs environnementaux et capteurs en silo pour diminuer les pertes

<b>Limiter émissions de N<sub>2</sub>O</b>	Sélection génétique avec utilisation optimale de l'azote ou sélection génétique de plantes/céréales fixatrices d'azote (dont NBT,, Mutagénèse, sélection conventionnelle.)		
			Modulation intra-parcellaire, Inhibiteurs de nitrification, Nano fertilisants, Modèles de pilotage intégral de l'azote, Spectrométrie des engrais organiques, Outil d'aide à la décision des fenêtres d'application d'épandage, Agro Équipement amélioré d'épandage, Biostimulants

**Tableau 11 : Innovations technologiques en production végétale**

	<b>Gestion de la reproduction</b>	<b>Alimentation et Abreuvement</b>	<b>Etat et propreté des bâtiments</b>	<b>Protéger et Soigner les animaux</b>	<b>Collecte et Abattage</b>
<b>Adaptation au changement climatique</b>	Sélection génétique de races rustiques et/ou de variétés adaptées aux stress induits par le changement climatique (ex: thermo-tolérantes), Bassins aquacoles en environnement contrôlé et automatisé (aquaponie...), Assurances paramétriques/indicielles				
		Outil d'aide au choix des couverts de prairies, outils d'aide à la récolte fourrages (météo), outils de mesure valeur alimentaire herbe		Suivi temps réel du stress thermique des animaux	
<b>Séquestrer et limiter le déstockage de CO<sub>2</sub></b>		Suivi satellitaire de l'état des prairies			
<b>Limiter émissions de CH<sub>4</sub></b>	Diagnostic CAP2ER, Sélection génétique (dont sélection conventionnelle, NBT...)				
	Collier de vèlages pour diminuer l'âge de renouvellement	Inhibiteurs de CH <sub>4</sub> entérique (additifs alimentaires, inhibiteurs chimiques, ionophores...), Modulation de la ration (alimentation de précision), Eco formulation alimentaire, Vaccin contre les micro-organismes méthanogènes, Pilules robotiques pour suivi interne de la méthanogénèse, Masques à méthane, Génétique de l'holobionte, Diminution de la part de lipides insaturés dans les rations			
<b>Limiter émissions de N<sub>2</sub>O</b>					
		Réduction des apports protéiques	Couverture des fosses, Évacuation directe des lisiers		

**Tableau 12 : Innovations technologiques en production animale**

## B. Décryptage du panorama technologique

La diversité des innovations technologiques proposées peut surprendre. D'un côté, **cette abondance témoigne du fait qu'il n'existe pas (et n'existera certainement pas) de technologies miracles en agriculture tant les systèmes agricoles sont différents les uns des autres**. C'est bien une multitude de réponses technologiques, si les innovations technologiques sont jugées pertinentes, qui viendra appuyer le secteur agricole dans sa transformation. De l'autre, **ce panorama montre que de nombreuses technologies existent** - certes dans un état de maturité hétérogène – et qu'une partie est déjà active sur le terrain agricole, en expérimentation ou en conditions opérationnelles.

La répartition des technologies agricoles sur le panorama révèle également les portions du spectre qui sont assez largement investiguées (sujettes à innovation technologique), et celles qui sont un peu plus laissées de côté. L'absence de technologies à certains croisements d'itinéraires agricoles et d'enjeux de transition n'est pas toujours surprenante. Les relations entre l'évitement de concurrence entre les plantes et le stockage de carbone (ou la limitation de son déstockage) ne sont par exemple pas évidentes à trouver.

**En complément de ces orientations technologiques se pose également la question de l'échelle de travail ou d'impact de ces technologies.** La majorité des technologies agricoles existantes ont tendance à s'appliquer à l'échelle de la ferme voire de la parcelle agricole. Des échelles plus larges de type filière, bassin versant, territoire ou paysage sont souvent manquantes de ce panorama technologique et indiquent parfois un réel manque de recul sur la thématique par les acteurs de l'innovation. S'il est indubitable que certains leviers de décarbonation et d'adaptation sont activables à l'échelle de chaque ferme, **il est évident que certains changements systémiques dépassent largement l'échelle de l'entreprise individuelle**. Des technologies intégrées sur l'ensemble d'une chaîne de valeur (sur une filière complète) peuvent être une façon d'accompagner un changement profond, au risque bien sûr de soumettre la filière à des nouvelles contraintes ou verrouillages qu'il sera nécessaire d'anticiper. Ces technologies ne sont toutefois pas faciles à mettre en œuvre car les besoins des acteurs qui gravitent autour des agricultrices et agriculteurs peuvent être à géométrie variable.

**Plus particulièrement en production végétale :**

**L'empreinte CO<sub>2</sub> venant principalement du carburant utilisé par les machines au champ, il n'est pas très surprenant que la majorité des innovations technologiques s'intéressent ici à l'agro-équipement.** Les outils d'aide au réglage machines et de diagnostics tracteurs (couple-consommation, adéquation tracteur-outil, plage d'utilisation) permettent d'envisager une diminution des consommations. L'économie de carburant intervient aussi au travers de tailles de machines plus réduites (par exemple de la robotique légère) et de toutes les technologies pour optimiser les déplacements et tournées en tout genre. La substitution d'énergies fossiles pour la motorisation des machines joue également un rôle important. Nous l'évoquons simplement ici au travers de la motorisation électrique. Nous rappelons que les questions énergétiques (méthanisation, cultures énergétiques...) ne sont pas traitées dans ce rapport.

L'empreinte de la fertilisation azotée dans le bilan de gaz à effet de l'agriculture est maintenant bien documentée. **Les technologies agricoles se sont ainsi très largement orientées vers une réduction des émissions liées à la fertilisation.** On y retrouve des technologies

d'optimisation des apports d'azote pour augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'azote via des préconisations plus fines des besoins azotés ou via des agro-équipements plus sophistiqués (modulation intra-parcellaire, enfouissement des apports...). D'autres technologies se concentrent sur une réduction directe des émissions d'azote du sol (inhibiteurs de nitrification, nano-fertilisants...)

**Les technologies agricoles pour augmenter le stockage de CO<sub>2</sub> ou en limiter son déstockage sont finalement assez présentes dans le panorama (en nombre) même si leur utilisation est peut-être un peu plus limitée au regard des autres innovations technologiques.** On retrouve ici dans un premier temps les outils de suivi de pratiques stockantes de carbone (par imagerie satellitaire ou autre) comme les implantations de couverts végétaux (en vérifiant s'ils sont implantés ou non – ou en mesurant des niveaux de biomasse restitués), le non travail du sol (même si la pratique ne fait pas l'unanimité en terme de déstockage de carbone). Ces technologies agricoles interviennent alors ici sous une logique d'obligations de résultats (en utilisant la technologie pour prouver ou justifier la mise en place de pratiques agro-écologiques). Apparaissent également toutes les technologies liées à des apports au sol avec des effets plus ou moins directs sur la séquestration : activateurs de sol, développement des réseaux mycéliens par biostimulation, l'apport de biochar (par pyrolyse de la biomasse végétale). Sont présentes également toutes les technologies liées à la certification carbone (crédits carbonés, primes filières) qui peuvent faire appel à de l'outillage numérique pour de la remontée ou de la traçabilité de données filières.

**Une partie des technologies d'appui à l'adaptation couvre l'ensemble de l'itinéraire agricole, contrairement aux technologies d'atténuation plutôt centrées sur un pan de l'itinéraire** (même si ce pourrait être sujet à discussions pour quelques technologies). Cette présence diffuse pour certaines technologies s'explique par le fait qu'elles sont des systèmes de production à part entière (les technologies de production en environnement contrôlé type serre [voir un des innovations technologiques abordé plus loin]), qu'elles impactent en cascade l'ensemble de l'itinéraire une fois qu'elles sont mises en place (les outils de sélection génétique peuvent jouer sur toutes les opérations culturales en suivant), ou qu'elles peuvent être utilisées à n'importe quel moment du cycle de production (par exemple les technologies d'assurances climatiques classiques ou paramétriques). N'ayant défini qu'une seule grande macro-catégorie d'adaptation au dérèglement climatique, nous avons également positionné plusieurs autres technologies en lien avec l'appui au semis (les outils d'aide à la décision à l'assolement ou au choix variétal), tous les outils liés à la gestion de l'eau (Irrigation de précision, réutilisation des eaux usées traitées etc...) et ceux à la protection des cultures en cas de dérèglement climatique exacerbé (biostimulation pour augmenter la résistance des plantes, agrivoltaïsme pour protéger contre les effets de stress thermique...)

**Plus particulièrement en production animale :**

**La grande majorité des technologies agricoles s'oriente sur la réduction des émissions de méthane entérique dans l'objectif de réduire l'empreinte des productions polygastriques par tonne de produit alimentaire** (par poids vif, par litre de lait...). Ces technologies jouent généralement sur l'alimentation, que ce soit sur le contenu (additifs alimentaires considérés comme antiméthanogènes, éco-formulation des procédés ou approvisionnements alimentaires, part des lipides insaturés dans la ration) ou sur la quantité apportée (modulation de la ration). Certaines technologies présentées un peu plus en amont de l'itinéraire de production comme les colliers de vèlages ou les outils de détection de chaleur peuvent être utilisés pour réduire l'âge

du premier vêlage et optimiser les taux de renouvellement du cheptel, participant ainsi au global à une réduction de l'empreinte unitaire de la production animale.

Comme discuté en introduction, **nous retrouvons ici relativement peu de technologies adaptées à des systèmes de polyculture-élevage**. Les technologies de suivi de la biomasse ou de pratiques agro-écologiques (infrastructures agro-écologiques type haies ou autres...) présentées dans le panorama des productions végétales peuvent être adaptées pour des contextes prairiaux ou pour de la biomasse fourragère (aide au choix des couverts de prairies, suivi satellitaire de l'état des prairies, technologies d'assurance indicelle sur l'évolution des prairies...).

Les technologies de sélection génétique au sens large déjà discutées pour accompagner l'adaptation du secteur agricole sont aussi adaptées dans un contexte animal (par exemple sélection de races rustiques, et/ou thermo-tolérantes certaines). Attention néanmoins à certains outils comme les NBT qui ne sont pas autorisés en Europe en élevage. Certaines technologies de suivi des conditions sanitaires des animaux permettent aussi d'anticiper d'éventuels risques liés au dérèglement climatique (suivi du stress thermique par caméra, débitmètres connectés au niveau des abreuvoirs...).

# Sélection des innovations technologiques

**Le panorama des innovations présenté dans la section précédente est trop large pour toutes les traiter dans le cadre de cette étude.** Nous préférons choisir ici des technologies ou package de technologies nous permettant de mettre en évidence des questions qui nous paraissent pertinentes à discuter dans le cadre de la réflexion sur le rôle que peuvent occuper les technologies dans la transition écologique.

Nous tentons d'embrasser un échantillon large de technologies de manière à pouvoir discuter de technologies adaptées aux productions végétales et animales, de technologies jugées comme « high tech » et « low tech », de technologies utilisées à l'échelle d'une ferme agricole ou dans une logique plus étendue de paysage, territoire ou filière, ou encore de technologies relativement solitaires en contrepoint de packages de solutions technologiques.

Certaines technologies choisies pourront apparaître contradictoires entre elles (par exemple les nouvelles technologies génomiques et la sélection conventionnelle classique). Ce n'est pas notre intention première. Nous considérons plutôt que ces outils sont complémentaires. Il est néanmoins manifeste que toutes ces technologies ne sont pas déployées au même niveau sur le terrain. **Certaines orientations technico-économiques (polyculture-élevage, légumineuses...) n'ont pas reçu la même attention que les autres et ne sont ainsi pas outillées de la même façon.**

**Nous avons recensé ici 9 innovations technologiques différentes.** Encore une fois, toutes ne sont pas détaillées avec la même finesse dans la suite du rapport. Nous renvoyons les lecteurs et lectrices intéressés aux annexes. La raison principale du choix de cette technologie est présentée ci-dessous.

1. **Optimisation de l'apport d'azote [AZ]** : pour montrer une combinaison de technologies (Outil d'aide à la décision [OAD] de fenêtre d'application d'épandage, modulation intra-parcellaire, modèle de pilotage intégral, forme d'azote...) sur le sujet azoté dont on connaît l'importance en termes d'émissions de GES agricoles.
2. **Nouvelles technologies génomiques [NBT]** : pour alimenter le débat sur des technologies controversées.
3. **Sélection conventionnelle [SC]** : Pour mettre en avant des fractures existantes sur certaines filières délaissées par la sélection conventionnelle classique au profit de technologies génétiques plus *high tech* (Nouvelles technologies génomiques...).
4. **Agro-équipement paysan pour désherbage mécanique [AEP]** : pour discuter de technologies sobres et frugales, en contrepoint du secteur de l'agro-équipement actuel.
5. **Robotique électrique de désherbage sélectif [ROB]** : difficile de ne pas parler de robotique agricole au vu des tendances de recherches actuelles (Grand Défi Robotique notamment). Ce cas d'étude s'intéresse à de l'outillage robotique léger alimenté par de l'énergie électrique.
6. **Optimisation de l'alimentation animale [ALIM]** : pour montrer une combinaison de technologies (Modulation de rations, Eco-formulations, Anti Méthanogènes...) sur le sujet du méthane dont on connaît l'importance en termes d'émissions de GES agricoles. Ce cas d'étude permet également d'interroger la place de la production animale et de la consommation de viande en France sous un angle nouveau.

7. **Solutions numériques collaboratives pour la gestion de ravageurs [NUM]** : pour proposer une lecture technologique en changeant d'échelle parce que les technologies agricoles sont souvent proposées à l'échelle de la ferme. Les valeurs d'entraide et de partage devront être prépondérantes dans la transition.
8. **Production en environnement contrôlé [PEC]** : pour échanger sur des modes de production locaux souvent moins connus du grand public et parfois sujet à controverses.
9. **Biostimulation [BS]** : pour discuter de technologies aux co-bénéfices larges, considérées comme naturelles et plus acceptables socialement.

Le tableau suivant présente les technologies en suivant une grille de lecture pour envisager la transition du secteur agricole. Ce tableau ne doit pas être vu comme une grille de sélection des cas d'études technologiques mais bien comme une proposition descriptive initiale de ces technologies.

Critères	Technologies (voir nomenclature ci-dessus)								
	AZ	NBT	SC	AEP	ROB	ALIM	NUM	PEC	BS
Dédié à la décarbonation	✓	✗	✗	-	-	✓	✗	-	-
Dédié à l'adaptation	✗	✓	✓	✓	-	✗	✓	✓	✓
Avec warning ou controversée	✗	✓	✗	✗	-	✓	✗	✗	✗
Mature et déployable	✓	-	✓	-	-	✓	-	✓	✓
Peut générer des ruptures	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Capacité à avoir des données quantitatives d'impact	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	-
Avec thématiques orphelines	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	-
Considérée comme low-tech	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	-

**Tableau 13 : Catégorisation des innovations technologiques sélectionnées suivant un lot de critères.**

Légende : ✓ (Oui) ; ✗ (Non) ; - (Mitigé)

# Description détaillée des innovations technologiques

## A. Proposition méthodologique d'explicitation des technologies agricoles

Cette section a pour objectif principal de mettre en avant les arbitrages à réaliser avant la mise en œuvre de technologies agricoles sur le terrain. Ces arbitrages seront majoritairement discutés au travers du triptyque énergie / émissions / emploi, représentatif de l'approche générale du Shift Project. Par souci de simplification et parce que le rapport a une visée méthodologique, nous ne détaillerons ici que deux innovations technologiques précédemment identifiés. Nous renvoyons les lectrices et lecteurs intéressés vers les annexes. L'approche pourra être redéployée pour chaque technologie agricole envisagée.

La description des innovations technologiques est découpée en quatre étapes :

**Premièrement, nous détaillons les objectifs, indicateurs de succès et conditions de réussite de ces technologies agricoles.** Quand cela est possible, parce que la littérature existe ou parce que des hypothèses nous ont été partagées, nous rendons également visibles une évaluation quantitative de ladite technologie dans sa capacité à accompagner l'agriculture dans une atténuation de ses émissions GES et/ou dans son adaptation au changement climatique.

**Deuxièmement, nous balayons rapidement les dépendances technologiques et les flux physiques (matières, énergies...)** liés à chaque technologie agricole. Dans la mesure où le Shift Project prend cause pour la double contrainte carbone et la matérialité de nos usages, nous avons souhaité mettre en avant les composants nécessaires au bon fonctionnement des technologies. La cartographie des dépendances ou tout du moins leur diagnostic permet d'anticiper de possibles crises à venir (ruptures d'approvisionnements...) et les risques portés sur l'utilisation des technologies agricoles sur le terrain.

**Une troisième étape consiste à élargir le spectre de la réflexion et à poser le cadre d'un atterrissage des technologies agricoles sur le terrain.** Les matrices élaborées sont certainement l'apport principal de cette section.

- Une première matrice SWOT matérialise de premiers éléments de constat (forces, faiblesses, opportunités, menaces). Les forces et faiblesses sont à considérer du point de vue des facteurs internes à la technologie en elle-même. Les opportunités et menaces ont trait à leur environnement au sens large.
- Une seconde matrice donne à voir les stratégies à mettre en place pour activer la transition en utilisant les forces de ces technologies agricoles pour exploiter les opportunités et limiter les menaces, et identifier les leviers minimisant les faiblesses et dangers potentiels de la transition. Cette deuxième matrice permet d'opérationnaliser, ou tout du moins d'engager des pistes de réflexion, pour aller au-delà du constat.

Ces matrices sont l'occasion d'interroger ce qui se passerait sur les systèmes et schémas agricoles si les technologies étaient déployées à une échelle large, et si elles pouvaient impacter les trajectoires d'exploitation.

Enfin, dans la mesure où les technologies s'inscrivent parfois dans des logiques d'interaction fortes, **nous cherchons à cartographier, pour chaque innovation technologique sélectionnée, les technologies agricoles du panorama qui pourraient venir s'y combiner.** Cette quatrième évaluation est légèrement différente de la seconde en ce sens qu'elle ne cherche pas à décrire les dépendances (même si deux technologies combinées peuvent devenir dépendantes l'une de l'autre) mais plutôt à expliciter le fait que si deux technologies se combinent bien, il est imaginable que le développement d'une des technologies appelle le développement de la seconde.

## B. Évaluation de deux innovations technologiques

### 1. L'exemple de l'optimisation des apports azotés

Si vous avez des expertises complémentaires à partager sur l'optimisation des apports azotés dans l'ensemble de ces sections, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

- **Description générale**

Les technologies agricoles d'optimisation des apports azotés sont regroupées ici sous un périmètre élargi de package technologique dans la mesure où, bien souvent, de nombreuses briques technologiques doivent être déployées de concert pour repenser les apports de fertilisation azotée au champ. Dans le cadre des grandes cultures par exemple, on pourra retrouver, de la préconisation initiale d'apports azotés jusqu'à l'application d'épandage au champ :

- les technologies de raisonnement initial de la dose d'azote (calcul de la dose totale ou pilotage intégral des apports),
- les technologies d'ajustement de la dose prévisionnelle en sortie d'hiver,
- les technologies de pilotage de la dose de réserve en cours de saison, les technologies d'aide au réglage du matériel d'épandage,
- les technologies d'aide à la décision pour choisir les meilleures fenêtres temporelles des apports azotés en parcelle, ou encore,
- les technologies en lien avec les différentes formes et formulations d'azote à appliquer.

Ces technologies ne sont pas nécessairement exhaustives et ne sont pas adaptées à toutes les filières.

**Objectifs principaux :** Diminution des émissions de N<sub>2</sub>O par volatilisation de l'azote dans l'air. Diminution de la lixiviation de l'azote dans le sol. Optimisation de l'efficacité des apports d'azote. Diminution des GES dus à la production et transport des engrais de synthèse

**Indicateurs de succès :** Quantité d'azote apportée à l'hectare. Efficacité d'utilisation de l'azote par les plantes. Coût de la fertilisation azotée à l'hectare (toute technologie et service associé compris).

**Conditions de réussite :** Conditions météorologiques pendant l'application. Agro-équipement et techniques d'apport d'azote au champ. Taux de minéralisation de l'azote du sol.

**Potentiel d'atténuation des émissions de gaz à effets de serre et/ou d'adaptation au changement climatique :** A-t-on des chiffrages disponibles et parcimonieux ? Potentielle

difficulté à chiffrer l'atténuation au vu de la diversité des outils disponibles<sup>288</sup> et de leur fonctionnement.

Si vous avez des chiffrages sourcés autour du potentiel d'atténuation et/ou d'adaptation, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

- **Dépendances technologiques et flux physiques associés**

La mesure de la donnée brute appelle généralement l'usage de capteurs - généralement des caméras multispectrales - embarqués sur des vecteurs de télédétection (avion, drone, satellite) ou de proxymétrie (capteurs piéton, capteur embarqué sur machine agricole). Ces capteurs requièrent des puces électroniques et autres composants électroniques pour fonctionner, et tous les flux de matières pour les fabriquer.

La transformation de la donnée en information biophysique et décisionnelle au travers de modèles physiques (modèles inverses de transfert radiatif) ou de modèles simplifiés nécessite de la puissance de calcul (GPU, CPU) et de l'énergie électrique pour faire fonctionner les calculateurs.

La localisation des apports azotés dans les parcelles (en intra-parcellaire ou autre) fait appel à des technologies de géo-positionnement (antenne GPS ou dGPS pour de la localisation classique au mètre près, antenne RTK pour de la localisation fine au centimètre près, 24 satellites GPS, 26-38 satellites Galileo)

Le transfert d'informations (carte de préconisation azotés ou autres...) tout au long de la chaîne (cloud to machines, machines to cloud, cloud to cloud) peut faire appel à des infrastructures réseaux (réseaux cellulaires, starlink, LoRa etc) qui dépendent de technologies différentes. demandant alors des infrastructures réseaux ou des communications satellitaires.

L'application de l'apport azoté depuis l'agroéquipement au champ peut faire appel, en fonction du degré de technologies envisagé, à de l'électronique embarquée pour une modulation au niveau des buses d'épandage (position ouverte ou fermée, voire même de la modulation intra-buse), des technologies de coupure de tronçons (pour fermer des blocs de buse, par exemple proche des extrémités de parcelle), des technologies de communication ISOBUS entre le tracteur et l'épandeur attelé pour contrôler finement le travail de l'épandeur. Outre le fuel nécessaire au déplacement de l'agro-équipement, ce sont également des flux de matières pour les pièces machines ou encore les rampes d'épandage utilisées pour cette opération agricole de fertilisation azotée.

Notons tout de même que cet itinéraire technologique pourrait être simplifié. Une modulation manuelle des apports azotés, c'est-à-dire en limitant les technologies de localisation et d'application d'apports, est possible. Cela demande néanmoins une compréhension des mécanismes en jeu par l'agriculteur et un temps plus élargi pour l'opération culturale

---

<sup>288</sup> <https://www.aspexit.com/le-raisonnement-de-la-fertilisation-azotee-par-les-outils-numeriques-une-amourette-assez-fragile/>

- **Cartographie des enjeux associés à un déploiement des technologies d'optimisation azotés**

Une matrice SWOT (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces) des technologies d'optimisation des apports azotés est présentée ci-dessous :

#### **FORCES**

- Beaucoup d'outils numériques de raisonnement de la fertilisation azotée
- Des nouveaux modèles disponibles de pilotage intégral de l'azote
- Connaissance des bonnes fenêtres d'application de l'azote
- Beaucoup de références techniques disponibles
- Technologies matures sur certaines filières

#### **OPPORTUNITÉS**

- Aides à l'investissement existent sur du matériel agricole et outils numériques
- Utilisation des outils numériques de pilotage azoté pour certains labels et cahiers des charges (ex : HVE)
- Réduction importantes d'azote demandés dans le cadre de politiques françaises et européennes
- Offres de service disponibles chez les acteurs de terrain
- Augmentation du coût des engrais azotés
- Part importante du N<sub>2</sub>O dans l'empreinte de l'agriculture

#### **FAIBLESSES**

- Package technique coûteux si tout est utilisé
- Modèles azotés particulièrement adaptés à certaines cultures en particulier et peuplements monospécifiques
- Besoin d'interopérabilité forte (pour les cartes de préconisation, entre tracteurs et rampes de pulvérisation...)
- Encore peu d'utilisation d'outils de pilotage azoté sur le terrain
- Latence parfois importante entre demande et réception de cartes de préconisation azotées
- Beaucoup d'outils différents de pilotage qui ne font en réalité pas la même chose
- Utilisation détournée des outils de pilotage pour déplaçonner les doses réglementaires d'apport

#### **MENACES**

- Fracture de précision entre systèmes de cultures outillés et d'autres non outillés
- Endettement des agriculteurs pour acheter l'ensemble du package technologique
- Souveraineté énergétique de la France sur le gaz pour la fabrication des engrais azotés
- Optimisation renforcée du modèle agricole dominant
- Ralentissement du développement de pratiques alternatives (semis direct sous couvert permanent, plantes compagnes...)

Une matrice des leviers et stratégies pour exploiter les forces et opportunités des technologies agricoles d'optimisation des apports azotés tout en limitant les faiblesses et menaces est présentée ci-dessous :

<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS GRÂCE AUX POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avoir différents niveaux de labellisation pour les outils de pilotage (COMIFER)</li> <li>• Élargir les expérimentations avec des outils de pilotage azoté en conditions opérationnelles d'agriculteurs</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES DE PRÉVENTION DES MENACES GRÂCE À NOS POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer des modèles de préconisation azotée sur des cultures plus diversifiées</li> <li>• rendre accessible un apport low-tech d'azote (bonne fenêtre d'application, modulation manuelle par localisation smartphone...)</li> <li>• Accompagner financièrement les agriculteurs sur des outils de pilotage azoté sous obligation de résultats</li> </ul>
<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS POUR MINIMISER LES FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forcer l'interopérabilité par l'utilisation de formats standards pour les échanges de cartes de préconisation</li> <li>• Améliorer la logistique / SAV des fournisseurs de cartes de préconisation azotée</li> <li>• Accorder des primes aux agriculteurs qui fractionnent d'autant plus les apports d'azote que ce qui est préconisé par les modèles</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES VISANT À MINIMISER LES DANGERS POTENTIELS AU CROISEMENT ENTRE FAIBLESSE ET MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Former les acteurs agricoles aux liens entre azote et agronomie</li> <li>• Pousser les agriculteurs à suivre l'évolution des apports azotés dans le temps sur les fermes</li> <li>• Séparer vente et conseil sur les produits azotés ou conditionner la vente à un conseil certifié</li> <li>• Former les acteurs agricoles sur les techniques les plus efficaces d'apports azotés</li> </ul>

- **Combinaison de leviers technologiques**

Les technologies d'apport d'azote peuvent se combiner avec :

- des technologies de modélisation d'assolement ou de modélisation de rotations culturales pour orienter les apports azotés vers les cultures à venir
- des technologies de sélection conventionnelle ou NBT pour orienter les apports vers le besoin azoté de ces variétés
- des technologies d'irrigation de précision au vu des relations intimes des cycles de l'azote et de l'eau
- ...

## 2. L'exemple des nouvelles technologies génomiques

Si vous avez des expertises complémentaires à partager sur les nouvelles technologies génomiques dans l'ensemble de ces sections, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

- **Description générale**

Les Nouvelles Technologies Génomiques (NTG, ou les acronymes anglais plus généralement utilisés de NBT – New Breeding Techniques ou NGT – New Genomic Techniques) font partie d'un ensemble d'outils pour éditer un génome de manière sélective. Ces technologies permettent

d'induire des modifications ciblées sur le gène (par ajout, modification, suppression de gènes) en vue d'une recherche de traits particuliers. Cette aiguille de précision nécessite une connaissance très fine des gènes et allèles des plantes étudiées, et une capacité à faire le lien entre des allèles favorables et des traits favorables sur la plante in fine. Ces nouvelles technologies génomiques se distinguent d'autres technologies agricoles comme la sélection conventionnelle (voir autre pari technologique étudié), la mutagénèse, ou encore la transgénèse.

**Objectifs principaux** : Adaptation des plantes au dérèglement climatique. Meilleure efficacité d'utilisation de l'eau ou de l'azote des plantes. Minimisation du travail du sol (moins de fuel), Facilitation du désherbage (herbicides). Réduction de l'usage de produits phytosanitaires (sélection de résistances à certains ravageurs/maladies).

**Indicateurs de succès** : Amélioration de la résilience aux stress dus au changement climatique. Profil des variétés développées (traits, espèces concernées). Maintien d'une grande diversité de sélectionneurs. Maintien d'une diversité de filières alimentaires (conventionnelle, bio, sans OGM, etc.).

**Conditions de réussite** : Connaissance fine du génome des plantes, Traits mono- ou oligogéniques (en ce sens que les traits ou caractères doivent être influencés par un ou plusieurs gènes) pour pouvoir éditer le génome. Investissement en amont pour développer des programmes de sélection. Méthodes disponibles de régénération de cellules à partir de tissus cultivés in vitro.

**Potentiel d'atténuation des émissions de gaz à effets de serre et/ou d'adaptation au changement climatique** : Très difficile à quantifier. Dépendra de l'orientation de la sélection et de la réalité des promesses.

Si vous avez des chiffrages sourcés autour du potentiel d'atténuation et/ou d'adaptation, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

- **Dépendances technologiques et flux physiques associés**

Outre le développement de laboratoires de recherche et le besoin en séquenceurs et outils de modification génomiques, les nouvelles technologies génomiques ne semblent pas aussi sensibles que les autres innovations technologiques à des flux physiques.

L'utilisation de nouvelles technologies génomiques pourrait par contre appeler à exacerber la traçabilité des productions sur l'ensemble du système alimentaire, demandant ainsi le déploiement d'infrastructures numériques étendues (identification fine des lots, base de données...) du sélectionneur jusqu'au consommateur.

- **Cartographie des enjeux associés à un déploiement des technologies d'optimisation azotés**

Une matrice SWOT (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces) des nouvelles technologies génomiques est présentée ci-dessous :

<p style="text-align: center;"><b>FORCES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisée en routine dans la recherche fondamentale</li> <li>• Capacité à lier des allèles favorables avec des traits favorables (aiguille de précision)</li> <li>• Potentiel à long terme de développer des variétés adaptées au dérèglement climatique</li> <li>• Permet d'acquérir de la connaissance transversale entre les espèces</li> <li>• Théoriquement possible de reproduire les mêmes modifications qu'avec la sélection classique</li> <li>• Potentiellement plus rapide que la sélection à l'échelle d'un caractère mais pas forcément à l'échelle plus globale de la sélection ou pour des mutations isolées</li> <li>• Capacité à produire des traits entièrement nouveaux (ou nouveaux dans la variété)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>OPPORTUNITÉS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamique mondiale sur les NBT (mais hétérogène entre pays)</li> <li>• Retours d'expériences disponibles sur les OGM</li> <li>• Le changement climatique (et sa rapidité) augmente les attentes des technologies NBT - cristallisation au niveau de la sélection</li> <li>• Connaissance fine du génome de certaines plantes</li> <li>• Intelligence artificielle et modélisation de la structure des protéines</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie pas au pic de sa maturité technologique</li> <li>• Difficulté à organiser la traçabilité sur l'entièreté de la chaîne agri-agro</li> <li>• Difficulté à connaître le potentiel optimum d'une plante dans le futur</li> <li>• Connaissance hétérogène du génome des plantes</li> <li>• Plus difficile de cibler des critères en lien avec le changement climatique parce qu'énormément de gènes</li> <li>• Non réalisable à la ferme et demande des outils R&amp;D développés (labo et autres)</li> <li>• Demande de R&amp;D et financement importante</li> <li>• Risques sanitaires potentiels liés à l'utilisation des outils de modification du génome (effets off-target et on-target, allergénicité, toxicité...)</li> <li>• Risques environnementaux potentiels (effets invasifs, flux de gènes, déstabilisation des écosystèmes..)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brevetabilité augmentée et manque d'accès étendu aux solutions</li> <li>• Concentration du secteur des semences</li> <li>• Actuellement tributaire des technologies développées à l'étranger</li> <li>• Risque de maladaptation en fonction des traits développés</li> <li>• Pénurie d'outils de modification génétique pour la R&amp;D</li> <li>• Reproduction des travers des productions OGM et systèmes de vente associés</li> <li>• R&amp;D orientée vers des pratiques / espèces spécifiques non durables (opportunités financières ou autres)</li> <li>• Acceptabilité sociale des NGT</li> </ul>

Une matrice des leviers et stratégies pour exploiter les forces et opportunités des nouvelles technologies génomiques tout en limitant les faiblesses et menaces est présentée ci-dessous :

<p style="text-align: center;"><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS GRÂCE AUX POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Travailler sur la question de la non-brevetabilité, en lien avec l'expérience des OGM (concentration important du marché aux USA)</li> <li>• Orienter le développement des NGT vers les besoins en décarbonation</li> <li>• Bloquer le développement des NGT vers des variétés tolérantes aux herbicides</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>STRATÉGIES DE PRÉVENTION DES MENACES GRÂCE À NOS POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition d'un cadre réglementaire empêchant la vente conjuguée de NBT et pesticides, et limitant le développement des VTH</li> <li>• Développement d'outils technologiques et de variété non brevetés soutenus par la puissance publique</li> <li>• Orienter la recherche privée et publique vers les variétés orphelines et les traits durables</li> <li>• Mettre en place des sièges de décision décentralisée avec gouvernance partagée multi-acteurs</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS POUR MINIMISER LES FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer la recherche fondamentale, partenariat public privé pour mieux connaître les génomes</li> <li>• Développer un cadre réglementaire qui permette de maintenir un haut niveau de sécurité sanitaire et environnementale</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>STRATÉGIES VISANT À MINIMISER LES DANGERS POTENTIELS AU CROISEMENT ENTRE FAIBLESSE ET MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prévoir un suivi (monitoring) des effets sanitaires, environnementaux et socio-économiques des NTG</li> <li>• Organisation d'un débat large avec l'ensemble de la société sur l'opportunité d'utiliser ou non les NGT</li> <li>• Définition d'un cadre réglementaire qui permette une information du consommateur</li> </ul>

#### • **Combinaison de leviers technologiques**

Dans la mesure où les nouvelles technologies génomiques nécessitent une connaissance fine du génome, ces outils semblent cohérents avec des technologies de bio-informatique et de génotypage à haut débit. Les relations entre le génotype et les caractères et traits des plantes appellent également à l'utilisation d'outils de phénotypage à haut débit (en laboratoires ou en fermes expérimentales). La capacité des plantes éditées par les NBT à utiliser plus efficacement des ressources azotées ou en eau du milieu pourrait être mesurée avec la panoplie d'outils technologiques présentée dans le panorama en première section du rapport (technologies d'irrigation de précision, technologies d'optimisation des apports azotés...).

La capacité des nouvelles technologies génomiques à se combiner ou non avec des outils moins sophistiqués de sélection conventionnelle (voir autre pari technologique) dépendra des orientations données aux NGT. Il faut considérer dans ce cas précis que c'est bien le progrès génétique mesuré et quantifié qui a permis également d'améliorer la sélection conventionnelle (via catalogue).

# Projection des innovations technologiques dans des personas agricoles

Pour donner plus de concret aux descriptions technologiques précédentes, nous proposons d'interroger la mise en œuvre technologique sur le terrain au travers de personas. Ces personas cherchent à représenter la diversité des filières agricoles françaises. Le panorama n'est bien évidemment pas exhaustif mais cherche à se rapprocher des exploitations agricoles françaises telles qu'elles existent en 2024. **L'idée n'est pas de projeter les technologies dans ce à quoi les fermes agricoles françaises pourraient ressembler à un horizon 2050 (ou tout du moins pas pour l'instant) mais plutôt de partir du scénario agricole actuel français.**

**Nous avons volontairement décidé de ne pas nous projeter dans des scénarios de transition** (Afterres, TYFA, Sisae..) pour au moins deux raisons. Déjà parce qu'il reste difficile d'évaluer actuellement la part de décarbonation ou d'adaptation permise par les technologies en elles-mêmes. Ensuite parce que les résultats de prospectives pouvant être sensiblement différents et n'embarquant pas le même lot d'hypothèses, il n'était de toute façon pas évident d'en sélectionner un plutôt qu'un autre. Nous avons ainsi préféré une première approche qualitative.

Dans la mesure où l'agriculture est dynamique – les agricultrices et agriculteurs font évoluer leurs pratiques agricoles en fonction de tout un lot de critères techniques, stratégiques, financiers ou encore réglementaires – nous ne cherchons pas par ces personas à imposer un carcan aux agricultrices et agriculteurs. **Ces personas sont poreux et les trajectoires entre personas sont bien évidemment possibles.** L'objectif est principalement d'illustrer notre propos et de mettre en exergue des tendances principales. L'agriculture est faite de multiples nuances et il est bien évident que nous pourrions largement colorer et tempérer chaque persona par une multitude de gradients. **Ce travail permet de discuter du contexte d'utilisation des technologies mais également des conditions de pertinence de cette technologie dans une logique de transition.**

**Au sein de ces personas, les technologies sont discutées sous l'angle de trois considérations agricoles principales: la structure et taille de l'exploitation, la localisation de l'exploitation, et les pratiques agricoles sur l'exploitation.** Ces critères peuvent être compris comme des sortes de facteurs d'adoption des technologies sur le terrain, étant entendu que l'adoption reste de toute façon un processus long, fait d'allers-retours, et parfois subjectif. Nous cherchons ici à interroger l'adéquation entre des personas agricoles et des technologies. Pour discuter de l'adéquation des innovations technologiques à des contextes agricoles, nous proposons à chaque fois de lister un certain nombre de critères pour tenter d'élargir le débat au maximum.

À la suite des ateliers réalisés, nous nous sommes rendu compte que la discussion autour d'une seule liste de critères paraissait plus fluide pour certaines technologies vouées à être utilisées par les agriculteur-ices sur le terrain comme des nouveaux outils dans leur panoplie (ex : technologies d'optimisation de l'azote, robotique électrique de désherbage sélectif...) que pour celles qui pouvaient être assez opaques pour l'utilisateur final (ex : sélection conventionnelle, nouvelles technologies génomiques...). Ces considérations ont pu nous amener à faire parfois évoluer un peu les personas ou les critères de discussion.

## A. L'exemple de la robotique électrique de désherbage sélectif

Cette innovation technologique n'a pas été décrite dans la section précédente de manière à diversifier les cas d'études discutés dans le rapport. Nous renvoyons le lecteur vers les annexes où les matrices liées à la robotique sont présentées.

Bien que la définition des systèmes robotisés soit encore débattue pour des raisons de mobilité, de degré d'autonomie, de capacité d'apprentissage, d'étendue de la prise de décision ou encore de la capacité à pré-programmer le robot, nous avons considéré ici les robots dans une acception assez large. Dans ce cas d'étude, les robots sont des systèmes mécatroniques capables de réaliser une action de désherbage de façon assez autonome sous supervision humaine (en collaboration ou pas) pour des applications dans des contextes végétaux et animaux. Les robots sont ici alimentés à l'énergie électrique.

### 1. Analyse détaillée du cas d'étude robotique

Le tableau suivant présente des éléments de lecture au regard des principaux macro-critères et sous critères liés à l'utilisation d'outils robotique électriques de désherbage sélectif :

Macro-critères	Sous critères	Détails
<b>Structure et taille de l'exploitation</b>	Fractionnement et éloignement du parcellaire	Le déplacement des robots entre parcelles (par tracteur ou remorque) peut être pénible, notamment si morcellement parcellaire important. Impact environnemental du déplacement des robots par remorquage entre parcelles.
	Taille de l'exploitation	Potentiellement intérêt pour les exploitations avec une grande surface d'installer des bornes de recharge électrique pour les robots. Les paramètres de largeur de travail et débit de chantier de l'outil robotique peuvent permettre de travailler dans des plus ou moins grandes parcelles.
	Amortissement des technologies	Outil robotique plus difficile à amortir sur des petites surfaces et des petites exploitations très diversifiées. Robots difficile à amortir si pas d'économie d'échelle pour les constructeurs (besoin de nombreux robots vendus et de surfaces couvertes).
	Hétérogénéité des conditions pédoclimatiques sur l'exploitation	Pas vraiment applicable ici.
	Etat du matériel déjà existant sur l'exploitation	Se rajoute à l'agro-équipement existant (au tracteur, notamment pour Grandes Cultures). Des briques modulaires ou open-source peuvent limiter le phénomène.
	Relations à la main d'œuvre et aux compétences	Compétences spécifiques pour la maîtrise du robot, Besoin de formation et compétences pour une exploitation qui n'est pas mécanisée au départ (impact potentiellement plus fort sur maraichage). Potentielle attractivité d'outils robotiques pour agris âgés si pas de repreneurs ou pour jeunes en quête d'installation
<b>Localisation de l'exploitation</b>	Conditions pédoclimatiques locales	Besoin d'un terrain propre et pas trop accidenté, Difficulté de fonctionnement du robot si conditions difficile (pluie, pente, canicules...)?
	Proximité avec réseaux d'énergie	Besoin d'une ou plusieurs sources électrique de forte puissance pour recharge rapide (hangar, bâtiment agricole...). Possibilité d'avoir un panneau solaire embarqué sur le robot pour gagner un peu d'autonomie (Problème des panneaux qui ne peuvent pas recharger le robot la nuit). Obligation d'aller se recharger (besoin potentiel d'une charge rapide). Plus facile d'implanter des robots si déjà réseaux accessibles à côté
	Aides financières locales	Appui des collectivités locales, aides aux régions pour faciliter l'implantation des robots

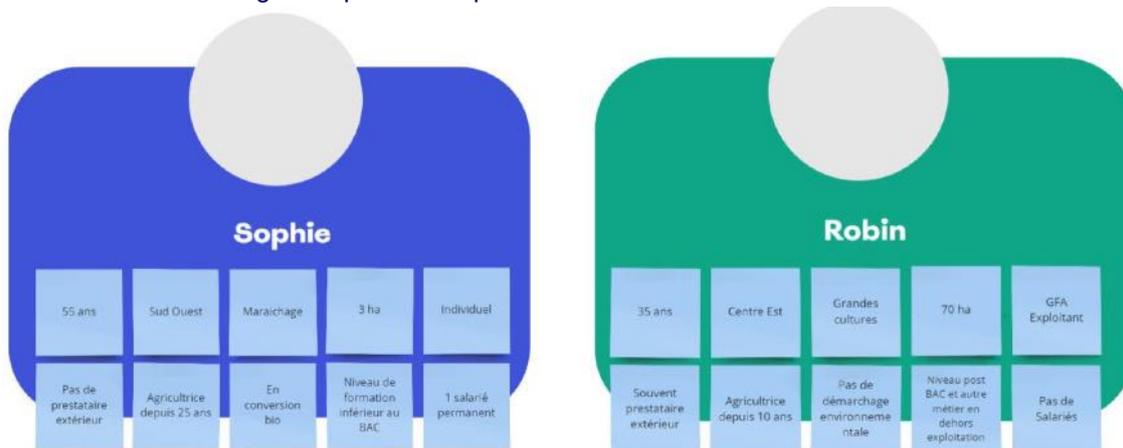
	Isolement de l'exploitation	Pas de service après-vente (SAV) ou de service de réparation robot si territoire isolé, Besoin d'un réseau de concessionnaires bien maillé.
	Relations avec les filières et débouchés sur place	Besoin d'homogénéité des filières sur place pour faciliter le travail des concessionnaires
	Zones blanches locales	Problème de navigation RTK si zone blanche (mais peu de zones blanches qui n'y ont pas accès), Bonne connexion nécessaire pour le suivi par vidéo du travail du robot (si à terme pas de supervision...). Soit Antenne 5G, soit calcul embarqué. Force au traitement embarqué si absence de liaisons très haut débit (compliqué néanmoins de déporter complètement les calculs..)
	Relations avec les exploitations agricoles voisines	Sociétés de services qui peuvent s'approprier les robots (plutôt pour grandes cultures légumières), Possibilité de développer des modèles de partage de robots (CUMA ou autres...) ou d'économie de la fonctionnalité.
<b>Pratiques agricoles</b>	Compatibilité avec des systèmes bio, ACS, agro-écologiques...	Possibilité de rattraper un désherbage mécanique qui aurait été raté. Plein de formes de désherbage sélectif différents, Potentiellement robots multi-usages pour opération autre que désherbage. Permettrait de redéployer des itinéraires qui feraient appel à beaucoup de désherbage manuel
	Organisation du travail sur l'exploitation	Superviseur du robot qui peut diversifier ses tâches au champ, Potentiellement à terme un robot qui travaille 24h/24, Réorganisation des horaires de travail et délégation des tâches sur l'exploitation
	Temps de travail	Débit de chantier lents non acceptables pour des humains (notamment quand mécanisé), Une largeur de travail trop faible et un débit de chantier trop faible serait surtout impactant pour les grandes surfaces, notamment si fenêtres temporelles de travail courtes.
	Adaptation aux itinéraires en place	Dépend du système dans lequel on part : peut-être plus simple sur des grandes cultures légumières parce que système déjà mécanisé. Difficulté d'intensifier autant qu'avec travail manuel. Potentiellement nécessité d'adapter les systèmes de culture sur place au fonctionnement du robot. Pas trop adapté sur maraichage sol vivant avec mulch épais ou autre
<b>Réglementation et encadrement technique</b>	Justification de pratiques culturales	Opérateur nécessaire pour surveiller les robots (encore combien ?)
	Contraintes de cahier des charges	Peut favoriser l'abandon de certains produits phytosanitaires et pousser à l'agriculture biologique

**Tableau 14 : Analyse détaillée de l'implantation d'outils robotiques de désherbage sélectif dans les fermes**

## 2. Scénarisation courte de deux personas agricoles autour d'outils robotiques de désherbage sélectif

Deux personas sont ici imaginés :

- Maraîchage sur petite surface
- Production légumes plein champ



L'organisation spatiale et la taille plus importante de l'exploitation de Robin impacte la logistique du travail de son outil robotique. La fragmentation de son parcellaire appelle à utiliser une remorque pour déplacer son robot entre les parcelles (tant que les contraintes réglementaires ne sont pas levées sur les déplacements autonomes des robots). La taille de son exploitation agricole facilite l'amortissement d'un robot sur le long terme mais demande également à la technologie robotique de travailler à un débit de chantier suffisamment important pour réaliser les opérations de désherbage dans les fenêtres temporelles imposées. L'outil robotique encore mono-tâche vient se rajouter aux agro-équipements présents sur l'exploitation mais l'itinéraire cultural déjà mécanisé de Robin facilite l'intégration du robot dans le travail sur la ferme. Les parcelles de Robin sont localisées à moins de 2 km d'un réseau électrique ce qui facilite un potentiel raccordement directement à la parcelle et une recharge électrique du robot au champ. L'exploitation de Robin est à quelques kilomètres d'une grande ville de campagne. Un concessionnaire d'agro-équipements robotiques travaille sur la région et intervient sur plusieurs exploitations du territoire.

Sophie a bénéficié d'un guichet local d'appui à l'achat d'agro-équipements pour pouvoir investir dans cet outil robotique. Les 3 hectares de l'exploitation de Sophie sont d'un seul tenant. Le salarié permanent sur l'exploitation de Sophie gagne en confort de travail. Le débit de chantier du robot est assez faible mais le salarié passe ainsi plus de temps à observer la bonne implantation des cultures et le départ de foyers de maladies ou ravageurs. Ce salarié a passé plusieurs sessions de formation pour être en mesure d'accompagner le robot dans son travail. Sophie a décidé de réimplanter certaines cultures dont le désherbage manuel préalable était pénible et chronophage. N'ayant pas pu raccorder son exploitation agricole à un réseau électrique, Sophie a dû s'équiper de deux lots de batteries rechargées et utilisées en alternance. L'exploitation de Sophie, plus isolée, est moins bien desservie par des équipes de maintenance de ces outils robotiques. Plusieurs heures sont nécessaires pour avoir un opérateur capable d'intervenir sur ses parcelles.

## **B. L'exemple de la sélection conventionnelle**

Cette innovation technologique n'a pas été décrite dans la section précédente de manière à diversifier les cas d'études discutés dans le rapport. Nous renvoyons le lecteur vers les annexes où les matrices liées à la robotique sont présentées.

En quelques mots, dans ce cas d'étude, la sélection conventionnelle est considérée comme l'ensemble des techniques de croisement ou d'hybridation naturelle du matériel génétique d'une plante ou d'un animal. Ces approches se distinguent d'autres innovations de sélection comme l'édition génomique (comme les nouvelles technologies génomiques qui sont discutées dans un cas d'étude du rapport) même si elles peuvent partager les mêmes objectifs.

### **1. Analyse détaillée du cas d'étude de sélection conventionnelle**

Le tableau suivant présente des éléments de lecture au regard des principaux macro-critères et sous critères liés à l'utilisation de technologie de sélection conventionnelle.

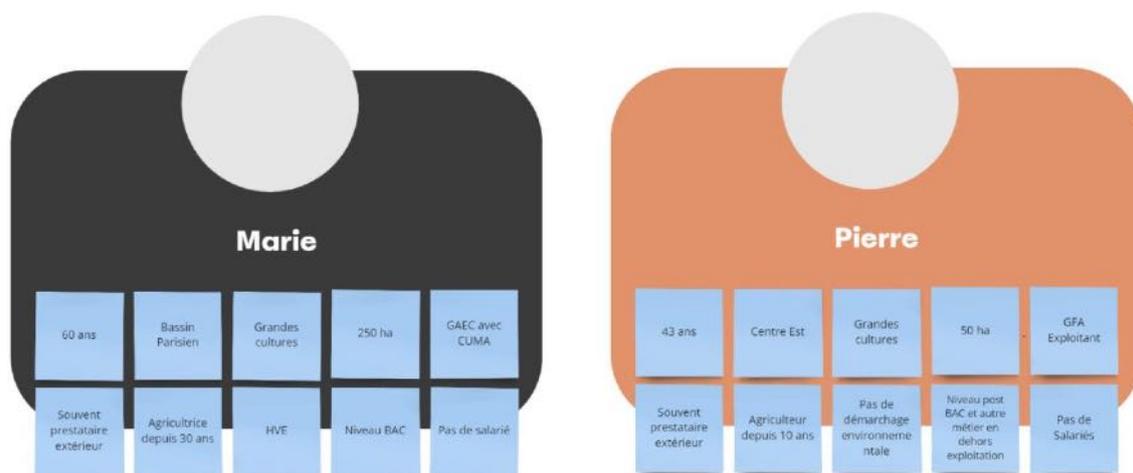
Macro-critères	Sous critères	Détails
<b>Structure et taille de l'exploitation</b>	Fractionnement et Éloignement du parcellaire	Pas vraiment applicable ici.
	Taille de l'exploitation	Période de traitement optimisé de plus en plus courte et aléatoire donc plus compliqué pour exploitations de grande taille. L'itinéraire agricole sera d'autant plus simplifié qu'il y aura une dépendance à des organismes de tris. La mise en place de semences de ferme peut être plus facile sur les petites exploitations sauf si l'exploitation fait appel à un prestataire ou adhère à une CUMA pour cette action.
	Amortissement des technologies	Les grandes exploitations pourraient mieux optimiser l'intégration des semences (semence fermière). Le choix entre semences fermières et semences certifiées est multifactoriel. L'idéal tendrait vers l'utilisation combinée de semences fermières et certifiées pour croiser des avantages économiques, un renouvellement variétal, de la simplicité et de l'autonomie.
	Hétérogénéité des conditions pédoclimatiques sur l'exploitation	Pas vraiment applicable ici.
	Etat du matériel déjà existant sur l'exploitation	Les exploitations qui ont une capacité de stockage ont une marge de manœuvre plus importante et de poids dans leurs décisions
	Relations à la main d'œuvre et aux compétences	Pas vraiment applicable ici
<b>Localisation de l'exploitation</b>	Conditions pédoclimatiques locales	Capacité de la sélection conventionnelle à développer des variétés adaptées à certains climats (sur des questions de précocité par exemple).
	Proximité avec réseaux d'eau	Le stockage carbone est augmenté s'il n'y a plus de contraintes sur la disponibilité en eau.
	Aides financières locales	Intégration potentielle dans les plans alimentaires locaux (PAT) et PCAET. Aides nationales : Plan protéines aide à la sélection de légumineuses.

	Isolement de l'exploitation	Pas vraiment applicable ici.
	Relations avec les filières et débouchés sur place	Impact des choix d'une coopérative locale sur les multiplications de semence ou autre. Dépendance aux organismes stockeurs locaux (et question des primes associées aux itinéraires si l'exploitation choisit telle ou telle variété).
	Relations avec les exploitations agricoles voisines	La question de la mutualisation des connaissances sur les variétés est importante (notamment dans les réseaux alternatifs), Partage de connaissances et formalisation des connaissances locales (peur de récupération/accaparement du matériel et du savoir par entreprises extérieures, risque d'ubérisation du travail en profitant des actions de réseaux de petits sélectionneurs), Possibilité de gestion par des formes d'organisation collective agricole (ex : Pommes de terre Pays Bas).
<b>Pratiques agricoles</b>	Compatibilité avec des systèmes bio, ACS, agro-écologiques...	Les modes de production actuels ne sont pas les plus économes en intrants, Réflexions à la ferme sur les mélanges les plus adaptés localement, Eléments d'agriculture durable rajoutés dans les critères de rentrée au catalogue, Besoin de variétés spécifiques pour le semis direct.  L'agriculteur est maître de son choix (dans un certain cadre ou regard du catalogue ou autre) mais n'a la main que marginalement sur l'évolution des activités de sélection si pas réalisées localement.
	Organisation du travail sur l'exploitation	Pas vraiment applicable ici.
	Temps de travail	Travail de multiplication peut représenter une hausse de main d'oeuvre (par exemple : castration du maïs).
	Adaptation aux itinéraires en place	Variétés peuvent modifier ou impacter la structure des plantes et donc faire évoluer les structures techniques sur l'itinéraires.
<b>Réglementation et encadrement technique</b>	Justification de pratiques culturales	
	Contraintes de cahier des charges	Label rouge réfléchit à retirer les raccourcisseurs à blé du cahier des charges. Les meuniers et les brasseurs imposent souvent des listes de variétés.  Les contraintes sont possibles si l'on dispose des génétiques adéquates. Les nouvelles variétés peuvent également demander de définir de nouveaux itinéraires et être à l'origine de nouveaux points de vigilance.

## 2. Scénarisation courte de deux personas agricoles autour de la sélection conventionnelle

Deux personas sont ici imaginés :

- Agriculteur en Grandes Cultures avec Sélection conventionnelle dans la région
- Agriculteur en Grandes Cultures avec Sélection conventionnelle hors région



Pierre entretient une relation assez étroite avec son sélectionneur. L'entreprise de sélection travaille sur des variétés locales et adaptées au territoire où est installée l'exploitation. Pierre a passé du temps à réfléchir aux mélanges les plus adaptés localement. Sans faire directement de la sélection variétale au sens propre du terme (qui est portée par son sélectionneur), Pierre mélange des variétés et réalise en ce sens des sortes de sélection de mélanges. Ces variétés plus spécifiques demandent à Pierre de retravailler une partie de ces itinéraires et de ses structures techniques. Pierre est satisfait de l'orientation donnée à sa trajectoire d'exploitation même si les évaluations concrètes de la validité économique et environnementale des choix variétaux n'est pas finalisée. Pierre fait partie d'un réseau d'agriculteurs au sein duquel il mutualise les connaissances développées autour de ses variétés. Il discute également avec sa coopérative pour décomplexifier les cahiers des charges en place de manière à faciliter ses évolutions de pratiques.

Marie se fournit quant à elle chez sa coopérative qui interagit avec un semencier de taille importante. Marie estime que son matériel végétal n'a pas besoin d'avoir été produit dans la région pour être adaptée à son exploitation. Elle suit les conseils délivrés par ses instituts techniques pour le choix de variétés adaptées à ses conditions pédo-climatiques. Ces semences permettent néanmoins à Marie d'être plus efficace tout au long de son itinéraire cultural parce que ses fenêtres temporelles sont de plus en plus courtes et aléatoires. Les semences coûtent relativement peu cher parce que l'entreprise de sélection a amorti ses investissements initiaux. Marie reçoit des primes filières de sa coopérative (à laquelle elle fournit ses récoltes) pour les variétés qu'elle utilise - variétés mises en avant par sa coopérative auprès de plusieurs agriculteurs voisins. Les pratiques de sélection conventionnelles utilisées *in fine* par Marie influencent ses trajectoires d'exploitation, en particulier parce que ses modes de production ne sont pas les plus économes en intrants, même si elle est rentrée dans une démarche HVE. Avec sa taille d'exploitation et ses potentielles capacités de stockage, Marie réfléchit à terme à intégrer une partie de l'activité de production de semences sur sa ferme.

# Matrices SWOT et Matrices des leviers associés aux innovations technologiques

Ces matrices viennent en complément des cas d'étude donnés plus haut.

## A. Sélection conventionnelle

Si vous avez des expertises complémentaires à partager sur la sélection conventionnelle dans l'ensemble de ces sections, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

<p style="text-align: center;"><b>FORCES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brassages et mélanges massifs</li> <li>• Possibilité d'avoir des plants très hétérogène</li> <li>• Capacité à faire de la sélection adaptée au sol &amp; climat local</li> <li>• Adaptation progressive au Changement climatique par les plants sélectionnés (delta faible)</li> <li>• Croisement contrôlés réalisables à la ferme</li> <li>• Peu de structures de coût supplémentaires (sauf si phénotypage haut débit)</li> <li>• Capacité à réaliser des mélanges de variétés (plantes et couverts...)</li> <li>• Efficience de la sélection conventionnelle pour améliorer les profils de variétés</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>OPPORTUNITÉS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceptabilité sociale sans problème</li> <li>• Dépendance actuelle aux semences privées</li> <li>• Volonté de pousser le développement des légumineuses (non encore vraiment couvertes par la sélection)</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficile de sélectionner des critères pluri-dimensionnels en se projetant dans des scénarios climatiques futurs</li> <li>• Absence de recherche sur tout un tas d'espèces végétales (on est que sur des niches)</li> <li>• Difficulté de Prédire le comportement d'une plante dans une condition que l'on a pas testé</li> <li>• La Sélection conventionnelle peut être chronophage</li> <li>• Les travaux de sélections passé conduisent à toujours utiliser des phytosanitaires</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dérèglement climatique trop rapide par rapport au capacité de déploiement de la sélection</li> <li>• Intérêt privilégié pour les NBT</li> <li>• Conditions de phénotypage de plus en plus complexes avec le dérèglement climatique (avec combinatoire important..)</li> <li>• Pas de débouchés et d'utilisation de variétés sélectionnés en IAA derrière</li> <li>• Dépendance complète de certains pays qui seront les seuls à faire des céréales productives</li> <li>• Quid de la sélection conventionnelle si les régimes alimentaires n'évoluent pas aussi</li> <li>• Le potentiel d'une variété n'est révélée que si les pratiques culturales le permettent</li> </ul>

<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS GRÂCE AUX POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• S'inspirer des variétés/espèces adaptées développées dans d'autres pays</li> <li>• Développer de nouvelles filières/débouchés de légumineuses (et autres) en France</li> <li>• Clarifier nos objectifs de développement alimentaire</li> <li>• Mettre en place des dispositifs de sélection participative</li> <li>• Fixer des objectifs de durabilité et de meilleure efficacité de l'azote pour les variétés</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES DE PRÉVENTION DES MENACES GRÂCE À NOS POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer massivement des systèmes de partage de semences</li> <li>• Réglementer les échanges de semences</li> <li>• Dispositifs de soutien au développement de la sélection sur les espèces protéagineuses</li> </ul>
<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS POUR MINIMISER LES FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer massivement le phénotypage sur les cultures non couvertes et thématiques orphelines</li> <li>• Mettre la sélection traditionnelle au service des besoins futurs (90% des plantes cultivées sont non irriguées donc besoin de travailler sur la non irrigation)</li> <li>• Orienter la sélection conventionnelle vers des variétés adaptées à des conditions toujours plus sèches</li> <li>• Intégrer la résilience dans les caractères sélectionnés</li> <li>• Adapter variétés à pratiques culturales à faible émissions (ACS, semis direct sous couvert)</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES VISANT À MINIMISER LES DANGERS POTENTIELS AU CROISEMENT ENTRE FAIBLESSE ET MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organiser des débats citoyens sur la transition alimentaire</li> </ul>

## B. Agro-équipement paysan de désherbage mécanique

Si vous avez des expertises complémentaires à partager sur l'agro-équipement dans l'ensemble de ces sections, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

FORCES	OPPORTUNITÉS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agro-équipement léger (moins de tassements de sol)</li> <li>• Diminution de la pénibilité du travail de désherbage (notamment si allongé...)</li> <li>• Adaptabilité du matériel aux conditions de travail de l'agriculteur</li> <li>• Possibilité de faire du rétrofit</li> <li>• Maintien du travail humain et emploi agricole</li> <li>• Réparabilité du matériel</li> <li>• Capacité d'autoconstruction du matériel (plans en open source, partage d'expérience)</li> <li>• Communauté élargie pour échange de bonnes pratiques, amélioration et réparation du matériel</li> <li>• Multi-usage (désherbage, plantation, récoltes)</li> <li>• L'auto-construction revient moins cher économiquement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de sortir de la dépendance forte aux constructeurs de machines dans le monde (voir les parts de marchés du matériel agricole)</li> <li>• Permet de sortir de la dépendance à la matière et composants électroniques pour l'agro-équipement classique</li> <li>• Attractivité du métier grâce à la réduction de la pénibilité (TMS, ombrage et autres)</li> <li>• Développement de structures à taille modeste et maraîchage agro-écologiquement intensif</li> <li>• Développement de nouveaux itinéraires culturaux qui étaient trop pénibles</li> <li>• Développement du maraîchage diversifié sur petite surface</li> </ul>
FAIBLESSES	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps dédié à la construction et entretien du matériel</li> <li>• Baisse du rendement par hectares et par humain</li> <li>• Dépendances au flux physiques et aux matières si assistance électrique</li> <li>• Envie/volonté pas toujours partagée d'auto-construire son matériel (geek)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de capacité à déployer massivement et en un temps limité ce genre d'outils</li> <li>• Concentration de l'intérêt vers l'agro-équipement lourd et la robotique</li> <li>• Contexte économique qui rend la Main d'œuvre insuffisante &amp; dépendance à de la main d'œuvre (étrangère, stagiaire, woofers..)</li> <li>• Préjugé d'archaïsme de ces technologies, Manque d'acceptabilité, Outils jugé trop inconfortables</li> <li>• Risque d'empilement technologique avec l'agro-équipement déjà présent</li> <li>• Pas de consentement à payer du consommateur (coût de l'alimentation qui augmenterait)</li> <li>• Politiques fiscales et comptables actuelles qui poussent au renouvellement machinique</li> </ul>

<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS GRÂCE AUX POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produire des analyses environnementales et économiques comparatives entre agro-équipement paysan et agro-équipement classique</li> <li>• Documenter / mettre en avant les parts de marché, bénéfices et chiffres d'affaire des principaux constructeurs d'agro-équipement</li> <li>• Faire évoluer le matériel en fonction de l'ergonomie (morphologie, genre...)</li> <li>• Faire en sorte d'avoir suffisamment de retours d'expérience pour que les outils évoluent et se perfectionnent</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES DE PRÉVENTION DES MENACES GRÂCE À NOS POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Financer plus largement le déploiement ou lien avec des structures d'accompagnement à l'auto-réparation (fab-lab, repair-café, autres ateliers collectifs)</li> <li>• Orienter les aides financières directes (aide à l'acquisition de matériel) et indirectes vers ce type d'agro-équipement</li> <li>• Encourager l'emploi agricole et favoriser la rémunération des agriculteurs</li> </ul>
<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS POUR MINIMISER LES FAIBLESSES</b></p>	<p><b>STRATÉGIES VISANT À MINIMISER LES DANGERS POTENTIELS AU CROISEMENT ENTRE FAIBLESSE ET MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Déployer des formations / sensibilisations à l'auto-construction dans les formations VIVEA et formation continue (BPREA, lycée agricole, bac pro)</li> <li>• Modèle hybride avec fabrication semi-industrialisée (outils en kit...) selon des plans open-sources et un cahier des charges facilitant l'auto-réparation/adaptation</li> <li>• Déployer des sessions d'essais, démonstration, initiation aux outils sur les salons régionaux</li> <li>• Faire plus largement connaître aux agriculteurs ce type d'agro-équipement (salons et autres..)</li> </ul>

## C. Robotique électrique de désherbage sélectif

Si vous avez des expertises complémentaires à partager sur la robotique dans l'ensemble de ces sections, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

FORCES	OPPORTUNITÉS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robot léger (moins de tassements de sol)</li> <li>• Diminution de la pénibilité du travail de désherbage</li> <li>• Capacité à faire du bio sans travail du sol</li> <li>• Libère du temps pour d'autres tâches</li> <li>• Capacité à travailler à n'importe quelle heure de la journée</li> <li>• Filière robotique française bien développée</li> <li>• Limitation des résistances si passage régulier de désherbage (mécanique ou autre)</li> <li>• Capacité des opérateurs à observer les parcelles en parallèle des activités robotiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficulté à trouver de la main d'oeuvre locale et qualifiée</li> <li>• Raréfaction des énergies fossiles et approvisionnement énergétique</li> <li>• Attractivité du métier pour une partie des jeunes</li> <li>• Grand Défi Robotique (PEPR AgroEcologie &amp; Numérique)</li> <li>• Capacité potentielle à amener des trajectoires agro-écologiques avec robots agiles et de petite taille</li> <li>• Possibilité de mettre en place des itinéraires culturels avancés agronomiquement si désherbage sélectif</li> </ul>
FAIBLESSES	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de capacité à discriminer toutes les espèces sur les parcelles</li> <li>• Coût élevé d'investissement dans les outils robotiques</li> <li>• Robots encore très monotâches (à relativiser sur les robots porte-outils)</li> <li>• Encore très peu d'ACV sur la robotique (déplacement des robots entre parcelles, durée de vie des équipements, obsolescence...)</li> <li>• Besoin de compétences pour faire fonctionner et réparer les robots</li> <li>• Autonomie énergétique des robots (Rechargement des batteries, raccordement au réseau..)</li> <li>• Semi-autonomie des robots (notamment pour cause réglementaire)</li> <li>• Débits de chantier variables entre les robots (potentiellement faible)</li> <li>• Peu de capacité encore à passer sur des systèmes de grandes cultures</li> <li>• Besoin de conditions au champ relativement faciles pour fonctionner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besoin d'adaptation des itinéraires culturels aux fonctionnements des robots &amp; Standardisation des itinéraires agricoles</li> <li>• Incapacité des agriculteurs à réparer leurs outils de travail (licences d'utilisation et d'exploitation, compétences nouvelles...)</li> <li>• Remplacement des ouvriers agricoles</li> <li>• Sur-adaptabilité des robots en conditions occidentalisées</li> <li>• Endettement des fermes pour accéder à des systèmes robotisés + coûts cachés (maintenance, mises à jour...)</li> <li>• Cyber-attaques sur les unités robotiques (matériel, micro-logiciels, systèmes de communication)</li> <li>• Sur-empilement technologique avec un robot en + de l'agro-équipement disponible</li> <li>• Acceptabilité du milieu agricole et des consommateurs d'itinéraires robotisés pour produire des aliments</li> <li>• Inégalités d'accès aux outils robotiques sur les territoires (zones blanches, exploitations isolées..)</li> <li>• Défaut d'approvisionnement en puces électroniques</li> <li>• Perte de connaissance / savoir empirique sur les adventices locales</li> <li>• Capture des données collectées par les prestataires et potentiellement revente aux spéculateurs, et autres...</li> <li>• Black out magnétique qui affecterait les capacités de positionnement GNSS</li> </ul>

<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS GRÂCE AUX POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Privilégier le développement de robots légers (ex : flotte de robots)</li> <li>• Orienter le développement des robots pour limiter la pénibilité du travail (robots suiveurs, porte outils...)</li> <li>• Développer des robots multi-tâches</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES DE PRÉVENTION DES MENACES GRÂCE À NOS POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en place des modèles de partage de robots (sous forme CUMA) [limité à cause du faible débit de chantier]</li> <li>• Accompagner les agriculteurs dans la réorganisation de leur travail autour du robot</li> <li>• Favoriser le développement de briques robotisées open-source</li> <li>• Industrialiser le déploiement des filières robotisées pour faire baisser le prix des robots</li> <li>• Développer des filières électroniques européennes pour limiter les chocs d'approvisionnement (puces ou autres)</li> <li>• Favoriser le développement de briques algorithmique (IA) et base de données open-source</li> </ul>
<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS POUR MINIMISER LES FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accompagner la réglementation pour autonomiser l'action des robots au champ</li> <li>• Augmenter la robustesse / adaptabilité des robots dans les parcelles</li> <li>• Forcer le développement d'actions robotiques dans des itinéraires agro-écologiques</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES VISANT À MINIMISER LES DANGERS POTENTIELS AU CROISEMENT ENTRE FAIBLESSE ET MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer les compétences en électronique / robotique des agriculteurs &amp; concessionnaires</li> <li>• Sensibiliser les consommateurs sur la pénibilité du désherbage manuel</li> <li>• Trouver le juste niveau de technologie pour limiter les besoins en capteurs/puissance de calcul</li> <li>• Développer les filières de collectes et recyclage des DEEE</li> <li>• Encourager les design évolutifs, modulaire, réparable</li> </ul>

## D. Optimisation de l'alimentation animale

Si vous avez des expertises complémentaires à partager sur l'optimisation de l'alimentation animale dans l'ensemble de ces sections, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

FORCES	OPPORTUNITÉS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaissance assez claire du bilan GES des élevages (mais pas trop pour les co-produits et systèmes polyculture-élevage)</li> <li>• Identification individuelle des animaux relativement simple (passeport et boucle individuelle des animaux même si tout n'est pas forcément connecté)</li> <li>• Données massives et temporelles des états et consommations animales (mais mal pour les consommations en pâturage)</li> <li>• Technologies relativement matures et déployables</li> <li>• On s'insère dans un modèle agricole existant pour ceux qui utilisent déjà des minéraux et additifs (plus compliqué pour animaux à l'herbe)</li> <li>• Prix pas forcément exorbitant des technologies d'alimentation (additifs et autres)</li> <li>• Pas mal de références techniques : publications en ferme expérimentales, et proches des conditions terrain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methane Pledge Européen</li> <li>• Importance des émissions de méthane dans le bilan GES agricole</li> <li>• IAA doivent être moteurs dans la réduction de leur scope 3</li> <li>• Capacité de valorisation financière et extra-financière pour des filières d'élevage en difficulté (pérennité et image)</li> <li>• Aller vers une meilleure connaissance des aliments en continu</li> </ul>
FAIBLESSES	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilité principalement des animaux en bâtiment avec maîtrise de la ration</li> <li>• Pas toujours de modèle économique associé à ces technologies (qui paye...)</li> <li>• Pas assez de facteurs de réassurance (références GES et technico-économiques)</li> <li>• Capacité des méthodes Cap2er à intégrer précisément toutes ces questions d'alimentation</li> <li>• Contradictions possibles entre bilan GES et bien être animal ou ACV plus large</li> <li>• Incompatibilité avec certains cahiers des charges très exigeants</li> <li>• Risque potentiel de blessures physiques aux technologies utilisées</li> <li>• Risque d'effets antagonistes entre les technologies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effet rebond dû à l'efficacité alimentaire (augmentation nombre d'animaux parce que moins d'émissions par animaux)</li> <li>• Concentration et du développement des outils adaptés aux systèmes d'élevage intensifs (risques d'homogénéisation)</li> <li>• Maintient un besoin de protéines concentrés et donc question de l'origine de l'alimentation et de son bilan global</li> <li>• Tamagoshisation de la production animale &amp; Risque de réduire le bien-être animal aux observations facilement disponibles</li> <li>• Report d'un enjeu agronomique vers un enjeu technologique (tout faire pour ne pas baisser le cheptel)</li> <li>• Acceptabilité sociale des outils mis en place</li> <li>• Consommation de viande française qui ne diminue pas</li> <li>• Dépendance de la France aux importations de viande (au bilan GES moins propre qu'en France)</li> <li>• Peu d'efforts réalisés parce que bilan GES bovin français bien meilleur qu'ailleurs</li> <li>• Risque de ne pas favoriser le maintien des prairies permanentes</li> </ul>

<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS GRÂCE AUX POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enrichir la charte Duralim sur l'alimentation technologique</li> <li>• Recherche de traits génétiques spécifiques à la méthanogenèse pour la sélection de races</li> <li>• Créer du lien entre les obligations réglementaires des filières (intra et inter filières)</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES DE PRÉVENTION DES MENACES GRÂCE À NOS POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accompagnement technique et financier des éleveurs dans leurs stratégies de décarbonation</li> <li>• Développer de filières végétales locales pour limiter les dépendances sur l'alimentation protéique lointaine</li> <li>• Expérimenter sur des fermes pilotes avant-gardistes &amp; sur les systèmes d'élevage marginaux</li> <li>• Mettre en place des stratégies multi-échelles pour éviter des pertes/gains à différents entre les échelles</li> </ul>
<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS POUR MINIMISER LES FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recommander des technologies décarbonantes aux références certifiées dans des cahiers de charge</li> <li>• Mettre en place des plafonds d'émissions par vache ou système et ne pas tout rapporter à la surface ou à l'unité produite</li> <li>• Continuer à développer de référentiels techniques et économiques en conditions réelles</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES VISANT À MINIMISER LES DANGERS POTENTIELS AU CROISEMENT ENTRE FAIBLESSE ET MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en place des obligations d'accès au pâturage pour les filières d'élevage</li> </ul>

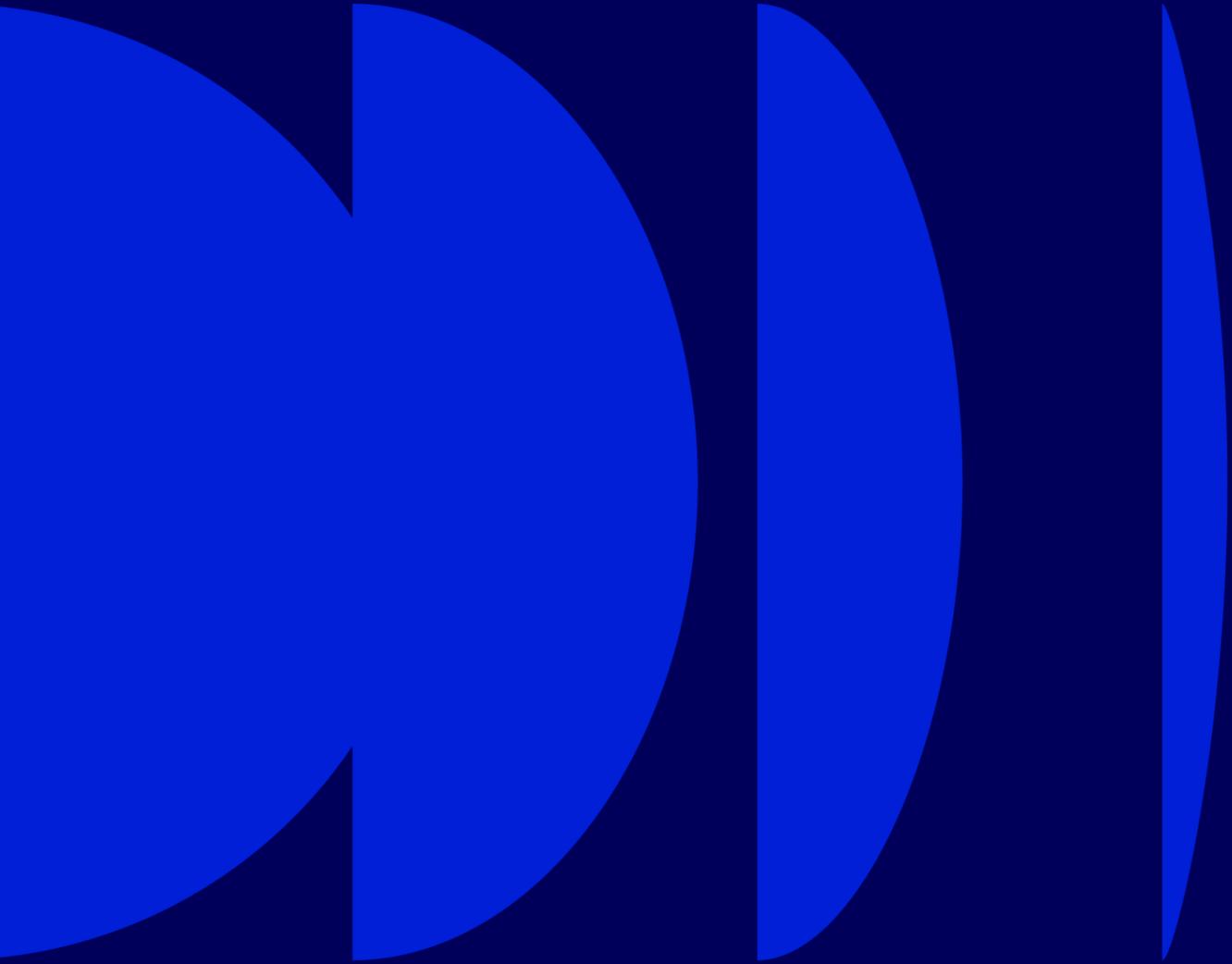
## E. Production en environnement contrôlé

Si vous avez des expertises complémentaires à partager sur la production en environnement contrôlé dans l'ensemble de ces sections, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)

<p style="text-align: center;"><b>FORCES</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Production intensive sur peu de surface</li><li>• Forte économie de certains intrants (phytosanitaires et eau notamment), Circularité et bouclage des intrants</li><li>• Moins de maladies sur les plants, même si replantés après</li><li>• Capacité à rapprocher les urbains de la production</li><li>• Plein de modèles différents (aquaponie, hydroponie..)</li><li>• Peu de saisonnalité donc main d'oeuvre embauchable sur contrats longs</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>OPPORTUNITÉS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Limitation de la déforestation importée dans le cadre de certaines production parce que production sur place</li><li>• Capacité à réduire les émissions évitées (ex : Mangroves pour crevetticulture)</li><li>• Réduction des dépendances parce que production locale (ex : lois votées par Inde et Maroc où limitations à l'exportation)</li><li>• Possibilité d'aller chercher des génétiques anciennes ou variétés spécifiques (qui seraient trop sensibles en production à l'extérieur)</li><li>• Contraintes fortes sur les consommations d'intrants (ex : Barcelone sur l'eau)</li><li>• Risques de manques d'eau plus importants que risques de chaleur</li></ul>
<p style="text-align: center;"><b>FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Production contrainte sur certaines cultures (céréales etc)</li><li>• Difficulté de passer ces systèmes de production à l'échelle</li><li>• Pas nécessairement un enjeu de sécurité alimentaire parce que peu de calories produites (mais libération de place et d'espaces agricoles)</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Concurrence possible avec de l'alimentation plein champ</li><li>• Potentielle automatisation complète de ces types de production et impact associé sur l'emploi</li><li>• Risque de macro-fermes contrôlées par peu d'acteurs (risque identique pour l'agriculture actuelles)</li><li>• Origine de l'alimentation des animaux d'élevage (aquaculture et autres)</li><li>• Non acceptabilité sociale (agriculteurs et consommateurs) des productions en environnement contrôlé</li></ul>

<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS GRÂCE AUX POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Favoriser la production contrôlée d'espèces sensibles au dérèglement climatique</li> <li>• Maximiser la diversité génétique dans les serres</li> <li>• Faciliter l'installation des serres en zones urbaines et non habitables</li> <li>• Ne pas limiter l'agriculture verticale à un problème urbain</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES DE PRÉVENTION DES MENACES GRÂCE À NOS POINTS FORTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soutien financiers des productions locales (surtout celles qui évitent les importations)</li> <li>• Mettre en place des systèmes de coopération intra et inter-filières entre les systèmes conventionnels et en serre</li> <li>• Faciliter l'installation de ces systèmes à des endroits où le modèle agricole conventionnel peine</li> </ul>
<p><b>STRATÉGIES POUR EXPLOITER LES OPPORTUNITÉS POUR MINIMISER LES FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser les serres pour tester l'adaptation des cultures à des stress supplémentaires</li> <li>• Réaliser des ACV complètes (notamment énergie) de ces types de production</li> <li>• Diffuser plus largement les ACV déjà réalisées</li> </ul>	<p><b>STRATÉGIES VISANT À MINIMISER LES DANGERS POTENTIELS AU CROISEMENT ENTRE FAIBLESSE ET MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibiliser et faire connaître l'origine des produits actuellement consommés</li> <li>• Organiser des visites sur les sites de production en environnement contrôlé</li> </ul>

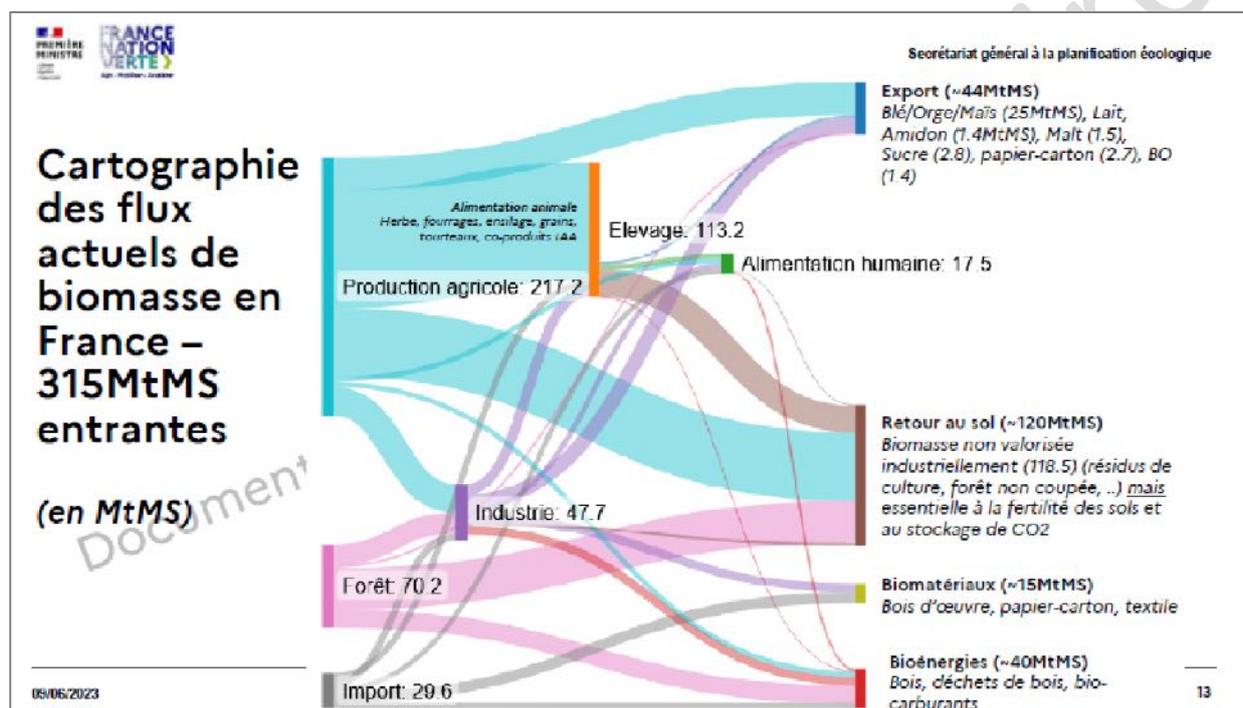
Si vous avez des expertises complémentaires à partager sur la **biostimulation** et les **solutions numériques collaboratives**, merci de nous contacter à [cleroux@aspexit.com](mailto:cleroux@aspexit.com)



# Annexes

# Annexes

## Annexe 1 : Cartographie des flux actuels de biomasse en France – en MtMS



## Annexe 2 : Indicateurs de bilan français des principales filières agricoles et agroalimentaires en volumes (Source France Agrimer)

	Taux d'auto-approvisionnement	Évolution du Taux d'auto-approvisionnement sur 10 ans	Taux de couverture de la consommation par la production nationale'	Capacité d'exportations	Dépendance aux importations
	Production / Consommation		(Production - exportations) / Consommation	Exportations / (Production + importations)	Importations / Consommation
	moyenne 3 dernières années	Différence entre moyenne 2019-2021 et moyenne Triennale 10 ans avant (souvent 2009-2011)	moyenne 3 dernières années	moyenne 3 dernières années	moyenne 3 dernières années
Blé tendre	195%	4%	99%	49%	1%
Blé dur (yc pâtes et semoule)	144%	-42%	36%	54%	55%
Orges	292%	47%	95%	67%	2%
Mais	142%	-34%	89%	35%	8%
Riz	8%	-9%	0%	8%	100%
Crème	103%	-14%	64%	28%	36%
Fromage	120%	-16%	64%	36%	36%
MGS (beurre)	78%	-7%	60%	15%	40%
Poudre de lait écrémé	265%	97%	74%	66%	26%
Poulet	81%	-24%	58%	19%	42%
Viande porcine	103%	0%	74%	23%	26%
Ovins	53%	9%	47%	5%	53%
Viande bovine	95%	1%	79%	13%	21%
Soja	48%	33%	32%	14%	67%
Colza	95%	-21%	63%	24%	34%
Tournesol	116%	4%	76%	29%	23%
Féveroles	106%	-196%	78%	22%	20%
Pois	139%	-28%	86%	36%	6%
Fruits tempérés	82%	-14%	63%	16%	37%
Légumes frais	84%	-3%	67%	15%	33%

Source : Agriculture Stratégies, "Souveraineté alimentaire : un éclairage par les indicateurs de bilan", Mars 2023. D'après France Agrimer.

## Annexe 3 : Emissions moyennes de GES par type de biocarburant

Tableau n° 7 : Émissions moyennes de GES en 2019 pour le transport et la distribution de types de biocarburants, selon l'origine de leurs matières premières (en gCO<sub>2</sub>eq/MJ)

Type de biocarburant	Type de matière première	GES par origine géographique		
		France	Europe(hors France)	Hors Europe
EMHU	huiles usagées	0,967	0,969	0,932
EMHV	effluents palme			1,01
EMHV	colza	1,01	1,01	1,01
EMHV	soja	4,69	7,51	5,38
<b>Total Biodiesel</b>	<b>tous</b>	<b>1,01</b>	<b>1,05</b>	<b>3,75</b>
ETBE	betteraves	2,52	1,99	
ETBE	blé	2,31	2,08	3,8
Ethanol	betteraves	1,99	Non disponible	
Ethanol	blé	1,98	1,56	2,00
<b>Total biocarburant essence</b>	<b>tous</b>	<b>2,23</b>	<b>5,21</b>	<b>3,36</b>

Source : DGEC

Source : Cour des Comptes, 2021 - La Politique de Développement des Biocarburants

## Annexe 4 : Tableau des leviers

Annexe 4 - Leviers de transformation du système agricole		A AFFINER ET COMPLETER		
Leviers	Atténuation	Adaptation / Résilience (dont eau)	Biodiversité	Sources
<b>Leviers à actionner à l'échelle des fermes</b>				
<b>Fertilisation azotée</b>				
Réduire et optimiser la fertilisation azotée (efficacité d'utilisation, formes d'engrais, modulation, ...)	- 6,1 MtCO <sub>2</sub> e (Pellerin et al., 2013 / Recous et al., 2014)	+	+	<a href="https://hal.science/hal-01186906/">https://hal.science/hal-01186906/</a>
Mettre en place des couverts végétaux en interculture (CIPAN)	CIPAN type repousses de colza: -50% d'azote lessivé soit environ 17,5UN/ha de perte évitée. Les cultures intermédiaires à base de légumineuses fournissent en moyenne 30 à 40 kg N/ha.	+	+	<a href="https://www.arvalis.fr/infos-techniques/interculture-quelle-est-lefficacite-des-couverts-intermediaires-pieges-nitrate">https://www.arvalis.fr/infos-techniques/interculture-quelle-est-lefficacite-des-couverts-intermediaires-pieges-nitrate</a>
Augmenter les surfaces de légumineuses (cultures associées, couvert prairial, cultures principales, arbres légumineux)	- 1,4 MtCO <sub>2</sub> e/an : 0,9 MtCO <sub>2</sub> e pour les Grandes cultures de légumineuses à graines et 0,5 pour les prairiales (Recous et al., 2014)	+	+	<a href="https://hal.science/hal-01186943/">https://hal.science/hal-01186943/</a> (p.36-37)
Augmenter les surfaces de cultures à bas niveau d'intrants		+	+	
Optimiser la gestion des prairies (allongement de la saison de pâturage, accroissement de la durée d'exploitation des prairies temporaires, désintensification des prairies les plus fertilisées et intensification modérée des prairies peu productives)	- 2,5 MtCO <sub>2</sub> e (fluctuation entre 1,1 et 3,6)	Oui (sauf intensification des prairies peu productives)	Oui (sauf intensification des prairies peu productives)	<a href="https://hal.science/hal-01186943/">https://hal.science/hal-01186943/</a>
<b>Elevage durable</b>				
Optimiser la conduite des troupeaux (format des animaux, âge du premier vêlage, ...)				<a href="https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Hypoth%C3%A8ses%20AMS%20SNBC3%20INRAE%20Avril%202023.pdf">https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Hypoth%C3%A8ses%20AMS%20SNBC3%20INRAE%20Avril%202023.pdf</a>
Adapter et diversifier l'alimentation des ruminants (graines de lin, substitution des glucides par des lipides insaturés, compléments alimentaires)	- 2,4 MtCO <sub>2</sub> e à horizon 2030 (fluctuation entre 1,9 et 3,1) (synthèse française) / baisse de 8% des émissions de méthane entérique			<a href="https://hal.science/hal-01186943/">https://hal.science/hal-01186943/</a> + <a href="https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/1140">https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/1140</a>
Graines de lin, luzerne, herbe (alimentation Bleu-Blanc-Coeur)	Taux de réduction moyen de 13 % de méthane par ferme (soit 32 tonnes de CO <sub>2</sub> e)			<a href="https://drive.google.com/file/d/1K5Ro9jCCp0u64ArZk45Xi6D-09Rcre/view">https://drive.google.com/file/d/1K5Ro9jCCp0u64ArZk45Xi6D-09Rcre/view</a>
Algues rouges	Pas de baisse significative des émissions d'après les résultats du projet METH'ALGUES en Bretagne ?			<a href="https://www.farmxp.fr/resume-detudes/methalgues-effet-de-lintroduction-dalgues-dans-la-ration-des-vaches-laitieres-sur-les-emissions-de-methane">https://www.farmxp.fr/resume-detudes/methalgues-effet-de-lintroduction-dalgues-dans-la-ration-des-vaches-laitieres-sur-les-emissions-de-methane</a>
Compléments alimentaires	-10 à -90% selon les publications et les compléments / Bovaer (-30% annoncé)			<a href="https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0247820">https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0247820</a>
Réduire les apports protéiques dans les rations animales	- 0,72 MtCO <sub>2</sub> e (fluctuation entre 0,36 et 1,43), résultats valables en cas d'application aux cheptels porcins et bovins			<a href="https://hal.science/hal-01186943/">https://hal.science/hal-01186943/</a>
Sélection génétique bas méthane des troupeaux				<a href="https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Hypoth%C3%A8ses%20AMS%20SNBC3%20INRAE%20Avril%202023.pdf">https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Hypoth%C3%A8ses%20AMS%20SNBC3%20INRAE%20Avril%202023.pdf</a>
Améliorer la gestion des effluents d'élevage pour limiter les émissions de CH <sub>4</sub> (couverture des lisiers, torchères, méthanisation)	Entre 10% et 20% des émissions de CH <sub>4</sub> de l'élevage viendraient des déjections. Couverture et torchères : potentiel d'atténuation vache laitière et lisier 1640 kg CO <sub>2</sub> e /animal/an ; porcs à l'engrais > 50 kg & lisier : 400 kg CO <sub>2</sub> e/animal/an Assiette maximale technique : 40000 exploitations, scénario de diffusion : 20 000 exploitations en 2030			<a href="https://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/IE_Elevage_ruminants_et_changement_climatique_juin_2015_BD.pdf">https://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/IE_Elevage_ruminants_et_changement_climatique_juin_2015_BD.pdf</a> <a href="https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4ce01662146c72f5de3ed9130c30c5dd.pdf">https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4ce01662146c72f5de3ed9130c30c5dd.pdf</a>
Diversifier l'alimentation des animaux d'élevage (démarche Bleu-Blanc-Coeur)	-26,6% de CO <sub>2</sub> pour un kg de poulet Bleu-Blanc-Coeur vs un kg de poulet conventionnel ferme France, -21% de CO <sub>2</sub> pour un oeuf plein-air Bleu-Blanc-Coeur versus un oeuf plein air moyenne ferme France*			<a href="https://bleu-blanc-coeur.org/nos-engagements/environnement/etudeco2/">https://bleu-blanc-coeur.org/nos-engagements/environnement/etudeco2/</a>
Favoriser l'élevage à l'herbe économe en intrants	GES émis pouvant être contrebalancés par les capacités de stockage des systèmes d'élevage herbagers (prairies, haies)	+	*	<a href="https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=103524">https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=103524</a> ; <a href="https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/public/Ana126/analyse1261808.pdf">https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/public/Ana126/analyse1261808.pdf</a>
<b>Sobriété énergétique et ENR</b>				
<b>Baisser la consommation de carburants d'origine fossile</b>				
Développer les itinéraires techniques simplifiés (semis direct, TCS)	Autour de -20% à dire d'expert, jusqu'à -50% de carburant (50l/ha)		+	Rapport ADEME Agriculture et efficacité énergétique, p 48 tableau 15 ; <a href="https://librairie.ademe.fr/cadic/915/rapport-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf">https://librairie.ademe.fr/cadic/915/rapport-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf</a>
Optimiser les rendements des tracteurs, le dimensionnement du parc matériel, l'efficacité des usages (mutualisation, location, etc)	Conduite économe : -10% (688 l/an/tracteur)			<a href="https://solagro.org/images/imagesCK/files/publications/2019/synthese-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf">https://solagro.org/images/imagesCK/files/publications/2019/synthese-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf</a>
<b>Baisser la consommation de combustibles d'origine fossile</b>				
Isoler et décarboner les serres maraîchères et horticoles (électrification, chaleur fatale, dispositifs d'économies d'énergie)	De -5% (mise en place d'écrans latéraux) à -90% avec la réutilisation de chaleur fatale, PAC : -42%			Rapport ADEME Agriculture et efficacité énergétique, p 48 tableau 15 ; <a href="https://librairie.ademe.fr/cadic/915/rapport-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf">https://librairie.ademe.fr/cadic/915/rapport-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf</a>
Réduire la demande énergétique pour le séchage des produits agricoles				<a href="https://solagro.org/medias/publications/f16_utilisation_rationnellesechagefourrages.pdf">https://solagro.org/medias/publications/f16_utilisation_rationnellesechagefourrages.pdf</a>

Isoler et décarboner le chauffage des bâtiments d'élevage	De -18% pour isolation des bâtiments avicoles, à -80% pour des pompes à chaleur à usage opti			<a href="https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=182078">https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=182078</a>
Substituer les énergies pour les moteurs des engins agricoles : électrifier et décarboner le parc tracteurs et matériel	Salon mesures : de 0% (substitution élec ou gaz) à -40% de besoin d'énergie pour automatisation du paillage et de l'alim animaux par ex;			rapport ADEME Agriculture et efficacité énergétique, p 48 talbeau 15 ; <a href="https://bibliaire.ademe.fr/cadic/915/rapport-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf">https://bibliaire.ademe.fr/cadic/915/rapport-agriculture-efficacite-energetique-2019.pdf</a>
<b>Produire des énergies renouvelables pour autoconsommation et autres secteurs économiques</b>				
Produire des biocarburants				<a href="http://aootools.aau.gr/pilotec/files/bibliography/ECOBILAN-4247589633/ECOBILAN.pdf">http://aootools.aau.gr/pilotec/files/bibliography/ECOBILAN-4247589633/ECOBILAN.pdf</a>
Développer la méthanisation agricole	Facteur d'émission de 23,4 à 44 g CO2eq/kWh pour le biométhane contre 244 g CO2eq/kWh pour le gaz naturel (5 à 10 fois moins émetteur)			Avis technique de l'ADEME sur la méthanisation (octobre 2023) <a href="https://bibliaire.ademe.fr/cadic/8158/Avis_technique_Methanisation.pdf">https://bibliaire.ademe.fr/cadic/8158/Avis_technique_Methanisation.pdf</a>
Installer des torchères				
Développer l'agrivoltaïsme	Entre 14 et 45 gCO2eq/kWh pour le photovoltaïque sur l'ensemble du cycle de vie (Hsu DD et al., 2012 / Kim et al., 2012) contre 24 pour le nucléaire et 1000 pour le charbon			Etude référence de l'ADEME (juin 2021) -> <a href="https://bibliaire.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4992-caracteriser-les-projets-photovoltaïques-sur-terrains-agricoles-et-l-agrivoltaïsme.html">https://bibliaire.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4992-caracteriser-les-projets-photovoltaïques-sur-terrains-agricoles-et-l-agrivoltaïsme.html</a>
<b>Pratiques stockantes</b>				
<b>Préserver les puits de carbone agricoles existants</b>				
Maintenir la quantité de prairies permanentes et les végétaux ligneux du paysage	+200 kgC/an/ha pour les prairies de moins de 30 ans et +500 kgC/an/ha pour les prairies de plus de 30 ans	+	+	<a href="https://hal.inrae.fr/hal-02824535/document">https://hal.inrae.fr/hal-02824535/document</a>
<b>Augmenter les puits de carbone agricoles</b>				
Généraliser les couverts végétaux, les cultures intercalaires (enherbement permanent ou temporaire des vignes et vergers), développer les bandes enherbées	- Enherbement permanent de 100% des surfaces en vergers : stockage additionnel de C : 1798 + 954 kg CO2e/ha/an. Assiette maximale technique 13800ha - Enherbement permanent d'un inter-rang sur deux en vignoble : stockage additionnel de C : 1187 + 630 kg CO2e/ha/an. Assiette maximale technique 127900 ha - Enherbement temporaire hivernal en vignoble : stockage additionnel de C : 584 kg CO2e/ha/an. Assiette maximale technique 71300 ha - Bandes enherbées : stockage additionnel de C après culture 1798 + 954 kg CO2/ha/an, après prairie : 0. Assiette maximale technique 250 000 ha	+	+	<a href="https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4ce01662146c72f5de3ed9130c30c5dd.pdf">https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4ce01662146c72f5de3ed9130c30c5dd.pdf</a>
Développer l'agriculture de conservation des sols				
Augmenter les plantations ligneuses via l'agroforesterie	Agroforesterie avec arbres à l'intérieur des parcelles, en densité faible (30-50 arbres/ha) compatible avec le maintien de la production agricoles (-5% de surface pour la culture annuelle ou la prairie) : stockage de C dans le sol, la biomasse souterraine et aérienne de 3700 (400 à 4970) kg CO2e/ha/an Assiette maximale technique : Cultures 3.9Mha, prairies 1.98 Mha (scénario de diffusion 10% de l'AMT en 2030)	oui	Oui	<a href="https://hal.science/hal-01600866/file/Publis13-syst-metay_developper_1.pdf">https://hal.science/hal-01600866/file/Publis13-syst-metay_developper_1.pdf</a> <a href="https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4ce01662146c72f5de3ed9130c30c5dd.pdf">https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4ce01662146c72f5de3ed9130c30c5dd.pdf</a>
Augmenter les plantations ligneuses via les haies en périphérie de parcelles agricoles	Arbres en périphérie des parcelles (100 ml par ha de prairies, 60 ml par ha de cultures / -1.2 à -2% de surface pour la culture annuelle ou la prairie) : stockage de C dans le sol et la biomasse souterraine : cultures : 550 (170 à 940) kg CO2e/ha/an ; prairies 920 (280 à 1560) kg CO2e/ha/an Assiette maximale technique : Cultures 7.6 Mha, prairies 4.5 Mha (scénario de diffusion 20% de l'AMT en 2030)		+	<a href="https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4ce01662146c72f5de3ed9130c30c5dd.pdf">https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/4ce01662146c72f5de3ed9130c30c5dd.pdf</a>
Insérer des prairies temporaires dans les rotations		?	+	<a href="https://hal.science/hal-01210332/">https://hal.science/hal-01210332/</a>
Utiliser du biochar	5,5 à 9,5 Gt C/an de séquestration carbone permise par le biochar			<a href="https://atee.fr/system/files/2023-06/Atelier%20%C2%B02%20-%20Economie%20circulaire%20du%20biocarbone%20(1).pdf">https://atee.fr/system/files/2023-06/Atelier%20%C2%B02%20-%20Economie%20circulaire%20du%20biocarbone%20(1).pdf</a>
Augmenter la fertilisation organique en substitution aux engrais minéraux				
<b>Leviers spécifiques à la biodiversité</b>				
Retarder la fauche et en réduire la fréquence			+	<a href="https://hal.science/hal-01458500/document">https://hal.science/hal-01458500/document</a>
Pratiquer les cultures associées			+	Etude sur les associations céréales légumineuses -> <a href="https://hal.inrae.fr/hal-02645896/document">https://hal.inrae.fr/hal-02645896/document</a>
Diminuer la taille des parcelles			+	<a href="https://hal.inrae.fr/hal-02518943">https://hal.inrae.fr/hal-02518943</a> + <a href="https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01652935v1">https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01652935v1</a>
Pâturage des intercultures			+	<a href="https://hal.inrae.fr/hal-03234782/document">https://hal.inrae.fr/hal-03234782/document</a> + <a href="https://hal.inrae.fr/hal-02624127">https://hal.inrae.fr/hal-02624127</a>
Adapter les pratiques pastorales (moins intensité et/ou fréquence de pâturage)			+	<a href="https://hal.science/hal-03148269/file/agricultureetbiodiversite-4pages-11uill.pdf">https://hal.science/hal-03148269/file/agricultureetbiodiversite-4pages-11uill.pdf</a>

Recourir au paillage végétal			+	<a href="https://www.researchgate.net/publication/342850310_A_meta-analysis_of_the_ecotoxicological_impact_of_viticultural_practices_on_soil_biodiversity">https://www.researchgate.net/publication/342850310_A_meta-analysis_of_the_ecotoxicological_impact_of_viticultural_practices_on_soil_biodiversity</a>
Planter des bandes fleuries / prairies mellifères			+	<a href="https://hal.inrae.fr/hal-02595483/document">https://hal.inrae.fr/hal-02595483/document</a>
Créer ou restaurer des mares			+	<a href="https://theses.hal.science/tel-03161836">https://theses.hal.science/tel-03161836</a>
<b>Eau et Irrigation</b>				
Jouer sur l'efficience d'irrigation				<a href="https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/285442.pdf">https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/285442.pdf</a>
Basculer sur des modes d'irrigation plus efficaces				<a href="https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/285442.pdf">https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/285442.pdf</a>
Création de nouvelles retenues d'eau (retenue / retenue collinaire / retenue de substitution)				<a href="https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/285442.pdf">https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/285442.pdf</a>
Maximiser le stockage d'eau dans les sols				<a href="https://hal.inrae.fr/hal-02785139/document">https://hal.inrae.fr/hal-02785139/document</a>
<b>Leviers systémiques / à penser à l'échelle nationale</b>				
<b>Fertilisation azotée / Elevage durable / Sobriété énergétique / Résilience et adaptation</b>				
<b>Décarboner la production d'engrais azotés</b>				
Stocker le CO2 émis par la synthèse des engrais grâce à des technologies CCS				<a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aca815">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aca815</a>
Utiliser l'électrolyse de l'eau pour produire l'hydrogène				<a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aca815">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aca815</a>
Synthétiser l'hydrogène pour la production d'engrais à partir de la biomasse				<a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aca815">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aca815</a>
Reconnecter cultures et élevage en zones de plaine, à fortiori dans les bassins céréaliers	Très dépendant des pratiques et du contexte pédoclimatique		+	<a href="https://www.researchgate.net/profile/Valentin-Verret/publication/352066325_Recoupler_grandes_cultures_et_elevages_ovins_par_le_paturage_en_vue_de_systemes_economiques_en_ile-de-France/links/6176cd150be8ec17a92c6fde/Recoupler-grandes-cultures-et-elevages-ovins-par-le-paturage-en-vue-de-systemes-economiques-en-ile-de-France.pdf">https://www.researchgate.net/profile/Valentin-Verret/publication/352066325_Recoupler_grandes_cultures_et_elevages_ovins_par_le_paturage_en_vue_de_systemes_economiques_en_ile-de-France/links/6176cd150be8ec17a92c6fde/Recoupler-grandes-cultures-et-elevages-ovins-par-le-paturage-en-vue-de-systemes-economiques-en-ile-de-France.pdf</a> + <a href="https://hal.science/hal-01209084/">https://hal.science/hal-01209084/</a>
Relocaliser la production de l'alimentation animale sur le territoire				<a href="https://idele.fr/detail-article/eleveage-peut-il-se-passer-du-soja-importe">https://idele.fr/detail-article/eleveage-peut-il-se-passer-du-soja-importe</a>
Convertir des cultures en prairies			+	<a href="https://hal.science/hal-01455182">https://hal.science/hal-01455182</a> + <a href="https://www.persee.fr/doc/revec_0249-7395_2001_num_56_1_2346">https://www.persee.fr/doc/revec_0249-7395_2001_num_56_1_2346</a>
Sélection de variétés plus résistantes aux stress biotiques et abiotiques (eau, azote, soufre, phosphore), en particulier pour les légumineuses			+	<a href="https://www.terresinovia.fr/-/terres-inovia-l'icarda-et-trois-selectionneurs-francais-s-associent-pour-elargir-la-base-genetique-et-les-varietes-disponibles-de-lentilles-et-de-pois-chiche">https://www.terresinovia.fr/-/terres-inovia-l'icarda-et-trois-selectionneurs-francais-s-associent-pour-elargir-la-base-genetique-et-les-varietes-disponibles-de-lentilles-et-de-pois-chiche</a> ; <a href="https://agronomie.asso.fr/fileadmin/user_upload/revue_aes/aes_vol4_n2_decembre2014/pdf/aes-vol4_n2_9_debaeke_et_al.pdf">https://agronomie.asso.fr/fileadmin/user_upload/revue_aes/aes_vol4_n2_decembre2014/pdf/aes-vol4_n2_9_debaeke_et_al.pdf</a>
				<a href="https://www.cap-fillieres.fr/fileadmin/user_upload/Centre-Val-de-Loire/149_Eve-Cap-Fillieres/Grandes_cultures/Documents/Publications/Irrigation_-_Efficience_de_l_eau_-_Besoin_en_eau_des_cultures/2019_Mais_innovation_varietale_et_tolerance_a_un_stress_hydrigue.pdf">https://www.cap-fillieres.fr/fileadmin/user_upload/Centre-Val-de-Loire/149_Eve-Cap-Fillieres/Grandes_cultures/Documents/Publications/Irrigation_-_Efficience_de_l_eau_-_Besoin_en_eau_des_cultures/2019_Mais_innovation_varietale_et_tolerance_a_un_stress_hydrigue.pdf</a>
Accroître la biodiversité cultivée par des pratiques de sélection innovantes (MHB, VB, CCP)		Très favorable	Oui	<a href="https://www.nss-journal.org/fr/articles/nss/full_html/2017/03/nss170045/nss170045.html">https://www.nss-journal.org/fr/articles/nss/full_html/2017/03/nss170045/nss170045.html</a> + <a href="https://inria.hal.science/tel-00609060/">https://inria.hal.science/tel-00609060/</a>
Accroître la diversité génétique des animaux d'élevage		Très favorable	Oui	<a href="https://www.tonaaomniuniversite.fr/pourquoi-maintenir-la-diversite-genetique-des-animaux-domestiques/">https://www.tonaaomniuniversite.fr/pourquoi-maintenir-la-diversite-genetique-des-animaux-domestiques/</a>
Maximiser le retour au sol des nutriments et réduire les pertes d'eau (valorisation des eaux non conventionnelles)		probable ?		<a href="https://www.cerema.fr/fr/actualites/premier-panorama-reutilisation-eaux-usees-traitees-France">https://www.cerema.fr/fr/actualites/premier-panorama-reutilisation-eaux-usees-traitees-France</a> ; <a href="https://www.cairn.info/revue-environnement-risques-et-sante-2020-Hors-serie-page-22.htm">https://www.cairn.info/revue-environnement-risques-et-sante-2020-Hors-serie-page-22.htm</a>
Reboulage matières organiques par la gestion des biodéchets urbains				
Adaptation, déplacement des zones de production				
Flux logistiques plus résilients				
Recharge artificielle de nappes d'eau souterraines (recharge indirecte par infiltration / recharge directe par injection / filtration par berge)				<a href="https://bdlisa.eaufrance.fr/faisabilite-de-la-recharge-artificielle">https://bdlisa.eaufrance.fr/faisabilite-de-la-recharge-artificielle</a>
Transferts d'eau entre bassins	3 millions de m3 d'eau du Rhône ou de la réserve de Jouarres pour permettre la sécurisation de l'			<a href="https://www.cairn.info/revue-pour-2012-1-page-65.htm">https://www.cairn.info/revue-pour-2012-1-page-65.htm</a> + <a href="https://www.lesepi.fr/trophees/aquadomia-un-projet-dadaptation-au-changement-climatique-pour-la-facade-mediterrannee-de-l'occitanie/">https://www.lesepi.fr/trophees/aquadomia-un-projet-dadaptation-au-changement-climatique-pour-la-facade-mediterrannee-de-l'occitanie/</a>
Dessalement des eaux	Risque de rejets de saumure dans l'océan (amplification du phénomène de désoxygénation)			<a href="https://cegot.org/ojs/index.php/GOT/article/download/2012.1.011/13#:~:text=La%20pénurie%20d'eau%20to%20uche,wwap%2Findex_fr.shtml">https://cegot.org/ojs/index.php/GOT/article/download/2012.1.011/13#:~:text=La%20pénurie%20d'eau%20to%20uche,wwap%2Findex_fr.shtml</a>

## Références

ADEME, 2021. Transitions 2050. Choisir maintenant, Agir pour le climat. Rapport.

ADEME, 2023. Avis d'experts. La méthanisation.

ADEME, A. Deswaziere, S. Sourisseau, A. Pillet, C. Borde, S. Padilla, 2023. Plan de Transition Sectoriel de l'industrie de l'ammoniac en France : Rapport de synthèse. 48 pages.

ADEME, SOLAGRO, CTIFL, ASTREDHOR, ARVALIS, FNCUMA, IDELE, IFIP, ITAVI, Agriculture et efficacité énergétique : propositions et recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique de l'agriculture des exploitations agricoles en France, 2018, 85 pages.

AGRESTE, 2020. Enquête pratiques culturales en grandes cultures et prairies 2017 - Principaux résultats.

AGRESTE, FRANCE AGRIMER, 2023. La consommation de viandes en France en 2022. Synthèses conjoncturelles n°412.

AGRESTE, 2023. Des rendements en grandes cultures inférieurs en agriculture biologique à ceux en conventionnel, Primeur n°2023-8.

AGRESTE, 2023. Statistique agricole annuelle 2022, Chiffres et Données n°19.

AGRESTE, 2024. Graph'Agri 2023.

AGRICULTURE STRATEGIES, 2023. Souveraineté alimentaire : un éclairage par les indicateurs de bilan.

AND International, pour le compte du MASA, 2022. Étude prospective sur l'estimation des besoins actuels et futurs de l'agriculture biologique en fertilisants organiques et recommandations en vue de son développement

APCA, 2022. Recensement agricole 2020 : 416 054 exploitations agricoles en activité sur le territoire national, Analyses et Perspectives n°2207.

ANSES, 2023. Bilan du suivi de l'antibiorésistance en santé animale et de la vente des antibiotiques à usage vétérinaire.

Ballot Rémi, Cordeau Stéphane, Le Bail Marianne, 2022. Evolution des surfaces de couverts végétaux en France : état des lieux statistique. In : Agronomie, Environnement et Sociétés, 12-1.

Bamière et al., 2023. A marginal abatement cost curve for climate change mitigation by additional carbon storage in French agricultural land. *Journal of Cleaner Production*, 383, pp.135423.

Barbier C., Couturier C., Pourouchottamin P., Cayla J-M, Sylvestre M., Pharabod I., 2019, L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France, Club Ingénierie Prospective Energie et Environnement, Paris, IDDRI, 24p.

Barbu Corentin, Aulagnier Alexis, Gallien Marc, Gouy-Boussada Véronique, Labeyrie Baptiste, Le Bellec Fabrice, Maugin Emilie, Ozier-Lafontaine Harry, Richard Freddie-Jeanne, Walker Anne-Sophie, Humbert Laura, Garnault Maxime, Omnès François, Aubertot JN. « Plan Ecophyto : tout comprendre aux annonces du gouvernement », The Conversation, 21 février 2024.

BARLES S., 2018. "Métabolisme urbain, transitions socio-écologiques et relations ville-campagne", *Pour*, 236, 49-54.

Béatrice Béchet, Yves Le Bissonnais, Anne Ruas (pilotes), Anne Aguilera, Hervé Andrieu, Eric Barbe, Philippe Billet, Jean Cavailhès, Marianne Cohen, Sophie Cornu, Laetitia Dablang, Cécile Delolme, Ghislain Géniaux, Mickaël Hedde, Catherine Mering, Marjorie Musy, Mario Polèse, Christiane Weber, Antoine Frémont, Sophie Le Perchec, Bertrand Schmitt, Isabelle Savini, Maylis Desrousseaux, 2017. Sols

artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action. Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective, Ifsttar-Inra (France), 127 p.

Beline et al., 2023. La méthanisation agricole en France, entre opportunité énergétique et transition agroécologique. Revue SESAME, INRAE. Article publié le 19 juin 2023.

Beckmann et al., 2019, Conventional land-use intensification reduces species richness and increases production: A global meta-analysis. *Global Change Biology*, 25(6), pp.1941-1956.

Benoit, M. and Mottet, A. (2023) 'Energy scarcity and rising cost: Towards a paradigm shift for livestock', *Agricultural Systems*, 205, 103585.

Berlan J.-P., Bertrand J.-P., Lebas L., Marlone M., 1976. Les conditions de la concurrence internationale entre soja, arachide et colza. In : Économie rurale. N°11, Les produits alimentaires stratégiques - deuxième partie, pp. 10-22.

Berthelin et al., 2022. "Séquestration du carbone dans le sol pour atténuer le changement climatique : la limitation de la cinétique de minéralisation des apports organiques a été négligée", Opinion invitée, *European Journal of Soil Science*.

Bouacida, I., Cadiou, J., Rüdinger, A., Aubert, P.-M., Hermine, J.-P., 2024. Potentiel de biométhane en France : une cartographie des controverses pour reconfigurer le débat politique. IDDRI, Décryptage n°02/24.

BUNCE JA. Carbon dioxide effects on stomatal responses to the environment and water use by crops under field conditions. *Oecologia*. 2004 Jun;140(1):1-10.

CADIOU Jeanne, 2023. Le déploiement de la politique de méthanisation agricole en France : implications pour la transition agroécologique. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay.

CANTELAUBE Pierre, Zakeossian Dikran, Muhlberger Sarah & Poméon Thomas, 2023. Construction d'un Zonage agricole multi-enjeux (ZAME) : vers des politiques agro-environnementales plus cohérentes et mieux ciblées ?

Cardinale et al., 2012, Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), pp.59-67.

Ceballos et al., 2015, Accelerated modern human-induced species losses : Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1 (5).

CGAAER, 2022. Rapport n°21045. Parangonnage sur les techniques et pratiques innovantes de gestion de l'eau en agriculture.

CGAAER, 2022. Rapport n° 21065. Décarboner 100 % de l'énergie utilisée en agriculture à l'horizon 2050 : c'est possible !

CGAAER, 2023. Rapport n°22058. Tirer les leçons des crises d'influenza aviaire - Quelle organisation de l'État pour gérer les crises de santé animale à l'époque de la globalisation des échanges et du changement climatique ?

Challet François, Fourny Arthur. La biomasse : une énergie intermittente à horizon 2050 ? Mémoire de troisième année du Corps des Mines sur les usages de la biomasse provenant de l'agriculture et de la forêt. Sciences de l'environnement. 2023.

Chambres d'Agriculture – 2022. RECENSEMENT AGRICOLE 2020 Chiffres clés.

CITEPA, 2022. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Format Secten.

CITEPA, 2022. Rapport d'inventaire Floréal – Edition 2022.

CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten éd. 2023.

CITEPA, 2023. Rapport OMINEA – 20ème édition.

Conseil National de l'Industrie, 2021. Feuille de route de décarbonation de la chimie.

Cour des Comptes, 2021. La politique de développement des biocarburants, Observations définitives.

Danino-Perraud, Raphaël. « Phosphates et agriculture : de la géologie à la géopolitique », Sébastien Abis éd., *Le Déméter 2021*. IRIS éditions, 2021, pp. 95-113.

Daviron B., 2019. Biomasse : une histoire de richesse et de puissance. Versailles, Éditions Quæ, 392 p. (coll. Synthèses).

Demay J., Ringeval B., Pellerin S et al. (2023). Half of global agricultural soil phosphorus fertility derived from anthropogenic sources. *Nature Geoscience*. 5 January 2023.

Desriers M., 2007, « L'agriculture française depuis cinquante ans : des petites exploitations familiales aux droits à paiement unique », *INSEE Références. L'agriculture française et l'Europe*, p. 17-30

Devienne, S. 2018. Les révolutions agricoles contemporaines en France. In Chouquer, G., & Maurel, M. (Eds.), *Les mutations récentes du foncier et des agricultures en Europe*. Presses universitaires de Franche-Comté.

Diego Garcia-Vega, 2024, Should we value biodiversity in agriculture? The case for biodiversity as a production factor. *Sciences Po*.

FRANCE AGRIMER, 2021. L'Observatoire National des Ressources en Biomasse. Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – Edition 2020.

FRANCE AGRIMER, 2022. Ressources en biomasse et méthanisation agricole : quelles disponibilités pour quels besoins ? Analyse des données théoriques de l'ONRB.

FRANCE AGRIMER, 2023. Marché des oléo-protéagineux – Campagne 2023-2024 – Statistiques novembre et décembre 2023

FRANCE AGRIMER, 2023. Souveraineté alimentaire, Un éclairage par les indicateurs de bilan.

GEVES, 2023. La Biodiversité cultivée en France.

GIS Sol, 2011. L'état des sols de France.

Goffaux R., Goldringer I., Bonneuil C., Montalent P. & Bonnin I., 2011. Quels indicateurs pour suivre la diversité génétique des plantes cultivées ? Le cas du blé tendre cultivé en France depuis un siècle. Rapport FRB, Série Expertise et synthèse, 44 pages.

Griffon, Michel. « Vers une septième révolution agricole », *Revue Projet*, vol. 332, no. 1, 2013, pp. 11-19

Harchaoui S. & Chatzimpiros P., 2018. "Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882–2013", *Journal of Industrial Ecology* 23(2), pp. 412-425.

HAUT CONSEIL POUR LE CLIMAT, 2024. Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste.

IDELE, IFIP, IDDRI-ASCA, Académie d'Agriculture de France, 2022. L'élevage peut-il se passer du soja importé ? Évaluation de la réduction de la dépendance de l'élevage européen et français au tourteau de soja importé, Collection Résultats.

IDELE, CNE, 2023. Bovins 2023, Productions lait et viande, Les Chiffres Clés du GEB.

IDELE, CNE, 2023. Ovins 2023, Productions lait et viande, Les Chiffres Clés du GEB.

INRA-CNRS-IRSTEA, 2014. Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier, Synthèse de l'expertise scientifique collective.

INRAE, 2023. Étude concernant l'actualisation, la définition et les exemples de valorisation des races locales, rustiques, menacées, Volet 1, Races menacées.

INRAE, 2023. Propositions d'hypothèses pour le scénario AMS de la SNBC 3 pour le secteur Agriculture.

INSEE, 2020. Les agriculteurs : de moins en moins nombreux et de plus en plus d'hommes. INSEE Focus n°212.

INTERCEREALES, 2023. Des chiffres et des céréales, L'essentiel de la filière, Édition 2023..  
IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, "Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use", Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Jarvis S., Hutchings N. et al., 2011. Nitrogen flows in farming systems across Europe. In Sutton M.A., Howard C.M. et al. (ed.), The European Nitrogen Assessment, Cambridge University Press, 211-227

Launay Camille, 2023. Insertion de cultures intermédiaires énergétiques dans les systèmes de cultures en France : évaluation multi-échelles du potentiel de production et des impacts eau–azote–carbone. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay.

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Centre d'Etudes et de Prospective, 2016. Vers une gestion durable du phosphore, ressource critique pour l'agriculture, Analyse n°93.

Lin et al., 2011, Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive Management for Environmental Change. *Bioscience* 61, pp. 183–193.

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Centre d'Etudes et de Prospective, 2018. Les exploitations d'élevage économes et autonomes en intrants, créatrices de valeur ajoutée, Analyse n°126.

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Centre d'Etudes et de Prospective, 2022. Géographie économique des secteurs agricole et agroalimentaire français : quelques grandes tendances, Document de travail n°15.

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Centre d'Etudes et de Prospective, 2022. Prospective des matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) à l'horizon 2035, Analyse n° 176.

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Centre d'Etudes et de Prospective, 2023. La lutte contre les maladies animales dans le contexte du changement climatique - Analyse n° 184.

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Centre d'Etudes et de Prospective, 2023. Estimation des besoins actuels et futurs de l'agriculture biologique en fertilisants organiques, Analyse n°195.

Ministère de la Transition Ecologique, 2018. Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse.

Ministère de la Transition Ecologique, 2020. Bilan annuel des transports en 2019.

Ministère de la Transition Ecologique, 2020. Eau et milieux aquatiques, Les chiffres clés, Édition 2020.

Ministère de la Transition Ecologique, 2020. Panorama 2020, Biocarburants incorporés dans les carburants en France.

Ministère de la Transition Ecologique, 2020. Stratégie Nationale Bas Carbone, La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone

Ministère de la Transition Ecologique, 2023. Importations françaises de matières premières visées par la Stratégie nationale de lutte contre la déforestation importée entre 2012-2021, Vers une empreinte terre de la France, Collection Etudes.

Ministère de la Transition Ecologique, 2024. L'irrigation des surfaces agricoles : évolution entre 2010 et 2020.

Morel Kevin, 2016. Viabilité des microfermes maraîchères biologiques. Une étude inductive combinant méthodes qualitatives et modélisation.. Sciences agricoles. Thèse de l'Université Paris Saclay.

Mueller et al., 2012, Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419), pp.254-257.

Newbold et al., 2016a, Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 353(6296), pp.288-291.

Nowak B., 2013. Diminuer la dépendance aux engrais de synthèse par le recyclage local des éléments minéraux : analyse des stratégies d'approvisionnement en éléments minéraux des exploitations agricoles biologiques, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 165 pages.

Poux, X., Aubert, P.-M. (2018). An agroecological Europe in 2050: multifunctional agriculture for healthy eating. Findings from the Ten Years For Agroecology (TYFA) modelling exercise, Iddri-AScA, Study N°09/18, Paris, France, 74 p.

SAILLEY, M., CORDIER, C., COURTONNE, J.-Y., DUFLOT, B., CADUDAL, F., PERROT, C., ... BAUMONT, R. (2022). Quantifier et segmenter les flux de matières premières utilisées en France par l'alimentation animale. *INRAE Productions Animales*, 34(4), 273–292.

Sánchez-Bayo et al., 2019, Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, pp.8-27.

Schlatter et al., 2017, Disease Suppressive Soils: New Insights from the Soil Microbiome. *Phytopathology*, 107(11), pp.1284-1297.

Sylvain Pellerin et Laure Bamière (pilotes scientifiques), Camille Launay, Raphaël Martin, Michele Schiavo, Denis Angers, Laurent Augusto, Jérôme Balesdent, Isabelle Basile-Doelsch, Valentin Bellassen, Rémi Cardinael, Lauric Cécillon, Eric Ceschia, Claire Chenu, Julie Constantin, Joël Darroussin, Philippe Delacote, Nathalie Delame, François Gastal, Daniel Gilbert, Anne-Isabelle Graux, Bertrand Guenet, Sabine Houot, Katja Klumpp, Elodie Letort, Isabelle Litrico, Manuel Martin, Safya Menasseri, Delphine Mézière, Thierry Morvan, Claire Mosnier, Jean Roger-Estrade, Laurent Saint-André, Jorge Sierra, Olivier Théron, Valérie Viaud, Régis Grateau, Sophie Le Perchec, Isabelle Savini, Olivier Réchauchère, 2019. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 114 p.

Secrétariat Général à la Planification Ecologique, 2023a. La planification écologique dans l'agriculture - 9 juin 2023 – Point d'étape.

Secrétariat Général à la Planification Ecologique, 2023b. La planification écologique dans l'énergie - 12 juin 2023 – Document de travail.

SOLAGRO, 2016. Le scénario AFTERRRES2050.

SOLAGRO, 2022. La face cachée de nos consommations, Quelles surfaces agricoles et forestières importées ?

Syndicat des Energies Renouvelables, 2023. Panorama des Gaz Renouvelables en 2023.

Thomas Starck, Tanguy Fardet, Fabien Esculier. Fate of nitrogen in French human excreta: current waste and agronomic opportunities for the future. *Science of the Total Environment*, 2024, Nitrogen in agro-food systems and the environment, 912, pp.168978

Tailleur A. et Gac A., 2020. GES'TIM+ Référence méthodologique pour l'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, la préservation des ressources énergétiques et la qualité de l'air. Version 1.2. 517p

UNIFA, 2021. Dossier de presse, Mieux nourrir les plantes pour mieux nourrir les hommes.

UNIFA, 2021. Les Livraisons d'engrais minéraux en France métropolitaine, Campagne 2020-2021.

O. van Hal, I.J.M. de Boer, A. Muller, S. de Vries, K.-H. Erb, C. Schader, W.J.J. Gerrits, H.H.E. van Zanten, Upcycling food leftovers and grass resources through livestock: Impact of livestock system and productivity, *Journal of Cleaner Production*, Volume 219, 2019, Pages 485-496

van Groenigen et al., 2014, Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 4(1).

Vincent, Bernard. « Principes techniques et chiffres du drainage agricole. De la tuyautique à l'hydro-diplomatie », *Sciences Eaux & Territoires*, vol. 32, no. 2, 2020, pp. 8-15.

Wetzel et al., 2016, Variability in plant nutrients reduces insect herbivore performance. *Nature*, 539(7629), pp.425-427.

Rapport intermédiaire