

Priorités de la recherche : les apports des Ateliers de Réflexion Prospective interdisciplinaire Agroécologie et Elevages pour demain d'INRAE

Caquet T.¹, Gascuel-Odoux C.^{1,2}, Peyraud J.-L.^{1,3}

¹ INRAE, Collège de Direction, 147 rue de l'Université, F-75338 Paris Cedex 07

² INRAE, UMR SAS, F-35000 Rennes

³ INRAE, UMR PEGASE, F-35590 St Gilles

Correspondance : thierry.caquet@inrae.fr

Résumé

Plusieurs Ateliers de Réflexion Prospective (ARP) scientifique interdisciplinaire ont été conduits entre 2017 et 2019 pour contribuer à la réactualisation des orientations stratégiques à l'horizon 2025 d'INRAE en réponse aux grands enjeux de l'agriculture pour le 21^e siècle. Deux ARP ont produit des éléments permettant d'éclairer les questions et fronts de science relatifs à la complémentarité entre cultures et élevages (ARP Agroécologie et ARP Sciences pour les élevages pour demain) pour concevoir de nouveaux modes de production qui reposent sur l'utilisation des principes et concepts de l'écologie afin d'optimiser la productivité, tout en renforçant la résilience face à divers aléas, en maximisant les services susceptibles d'être fournis par les agrosystèmes et en limitant la dépendance aux intrants. Après une présentation des ambitions et enjeux de recherche développés dans chacun des deux ARP, cet article présente les enjeux de la complémentarité entre cultures et élevages mis en lumière à cette occasion et détaille le renouvellement des questionnements de recherche qui en découle, en considérant les recherches pour la sélection génétique, la connaissance et l'intégration de l'hétérogénéité au sein des parcelles et des troupeaux et de la diversité aux différents niveaux, la connaissance et l'utilisation des processus abiotiques et biotiques à l'échelle des paysages et la gouvernance de ces nouveaux systèmes.

Mots-clés : Agroécologie, Elevage, Transition, Circularité, Systèmes agri-alimentaires

Abstract: Priority for research : insights from the INRAE interdisciplinary Scientific Foresight Reflection groups (SFR) Agroecology and Livestock

Several interdisciplinary Scientific Foresight Reflection group (SFR) were conducted between 2017 and 2019 to help update INRAE's strategic directions for 2025 in response to the major challenges of agriculture for the 21st century. Two of them have produced elements that highlight the questions and scientific fronts of knowledge related to the reconnection between crops and livestock (SFR-Agroecology and SFR-Livestock). They emphasized the design of new production schemes based on the principles and concepts of ecology in order to optimize productivity, while strengthening resilience to various hazards and maximizing the services likely to be provided by agrosystems by limiting dependence on inputs. After a presentation of the research ambitions and challenges developed in each of the two SRFs, the text presents the challenges of the complementarity between culture and livestock highlighted on this occasion and details the renewal of research questions that results by considering research for genetic selection, knowledge and integration of heterogeneity and diversity at different levels, knowledge and use of abiotic and biotic processes at the landscape scale and the governance of these new systems.

Keywords: Agroecology, Livestock farming, Transition, Circularity, Agro-food systems

Introduction

Au cours des 50 dernières années, la forte croissance de la population mondiale a été largement compensée par celle de la production alimentaire qui a triplé. Ce succès quantitatif a permis d'améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, mais 820 millions de personnes souffrent toujours de sous-alimentation chronique et deux milliards de carences en micronutriments, alors qu'un autre milliard présente un risque accru de maladies liées à l'obésité. L'augmentation de la production alimentaire mondiale s'est appuyée sur une hausse continue de la production agricole, rendue possible par l'apport très important d'intrants (azote, aliments du bétail, pesticides, antimicrobiens, etc.), ainsi que par des démarches d'uniformisation et de simplification des systèmes agricoles. Les limites de ce modèle s'imposent à nous aujourd'hui : pollutions, adaptation des bioagresseurs, carences nutritionnelles, mais aussi stagnation des rendements et perte de valeur ajoutée pour les agriculteurs. Le rapport sur l'usage des terres du GIEC (IPCC, 2019) souligne qu'un quart des terres émergées est dégradé et que l'activité agricole et forestière a une contribution notable aux émissions nettes de gaz à effet de serre (GES).

L'agriculture sera confrontée tout au long du 21^e siècle à des défis nouveaux : assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle pour une population de plus de 9 milliards d'êtres humains, gérer durablement les ressources naturelles indispensables à la vie (l'eau, les sols, l'air, la biodiversité) et contribuer à la lutte contre le changement climatique, en stockant mieux le carbone dans les sols agricoles et forestiers tout en contribuant à la substitution du carbone fossile dans l'économie. Cet enjeu majeur pour la planète est posé dans une situation socio-économique très difficile pour les agricultures du monde. Nous sommes donc à une étape charnière : les transitions agricoles, alimentaires, écologiques et énergétiques dans le contexte du dérèglement climatique bouleversent les questions posées à la recherche agronomique.

Face à ces défis, INRAE a décidé en 2015 de réactualiser ses orientations stratégiques à l'horizon 2025, avec la production d'un document qui s'est nourri des priorités de la stratégie nationale de recherche, des objectifs du développement durable, des évaluations externes du dernier rapport d'autoévaluation et de la réflexion collective des instances de l'Institut. Plusieurs Ateliers de Réflexion Prospective (ARP) scientifique interdisciplinaire ont été conduits à partir de 2016 afin d'éclairer les futurs fronts de science et orienter les partenariats scientifiques de l'Institut. Ils ont permis d'identifier les données à mobiliser ou à acquérir, les compétences à renforcer et les collaborations à engager en priorité avec des partenaires académiques nationaux et internationaux, afin de déboucher sur des propositions de programmes. Les réflexions issues de ces ARP avaient aussi pour vocation d'alimenter les schémas stratégiques des départements scientifiques de l'Institut ainsi que les métaprogrammes, outils de programmation et d'animation transversale pluridisciplinaire dont INRAE s'est doté depuis 2011.

Parmi ces ateliers, deux ont produit des éléments permettant d'éclairer les questions relatives à la complémentarité entre cultures et élevages : l'ARP « Agroécologie » (Caquet, Gascuel *et al.*, 2019 ; 2020) et l'ARP « Sciences pour les élevages de demain » (Peyraud *et al.*, 2019).

1. L'ARP « Agroécologie »

1.1 L'ambition

L'agroécologie est à la fois un domaine scientifique, une pratique et un mouvement social (Wezel *et al.*, 2009). Les différentes définitions qui en ont été proposées intègrent avec une intensité variable l'écologie avec d'autres disciplines académiques (agronomie, sociologie, etc.), l'éducation, les connaissances locales ou traditionnelles, la durabilité des systèmes de production ou des systèmes alimentaires, la biodiversité, l'inter- ou la transdisciplinarité, etc. (Wezel *et al.*, 2018).

L'agroécologie vise à valoriser les processus biologiques pour couvrir à la fois les attentes de production et l'ensemble des autres services écosystémiques fournis par les agrosystèmes. Un corollaire à cette définition est de viser à ce qu'à travers les pratiques déployées, les agrosystèmes intègrent les fonctionnalités écologiques qui garantissent leur propre pérennité, notamment en termes de reconstitution de stocks de nutriments et de maintien du potentiel productif.

Cette définition permet de clarifier les attendus posés à la recherche. En effet, sous les termes de 'smart agriculture' ou de 'sustainable agriculture' se retrouvent réunis des travaux plutôt d'ordre technologique exposant les avancées d'une action de précision, propre à permettre le meilleur usage possible des ressources. Ceci correspond à une définition plutôt « faible » de l'agroécologie, car s'insérant dans la continuité des systèmes actuels, sans saut qualitatif revendiqué sur l'efficacité d'utilisation des intrants, ni d'appel explicite à des processus biologiques en substitution de l'usage d'intrants (Duru *et al.*, 2014).

A cette agroécologie « faible », s'oppose une agroécologie « forte », définie par sa finalité de cohérence et de durabilité et par la mobilisation de processus biologiques (Duru *et al.*, 2014). Edicté sous forme de principe de construction des systèmes agroécologiques, vouloir « valoriser les processus biologiques » peut nécessiter une reconception en profondeur des systèmes de culture, en affectant par exemple le choix de l'assolement ou des génotypes, les formes, dates et modalités des interventions, l'articulation entre production végétale et élevage, le lien aux modes de distribution et de consommation, l'organisation des paysages, etc.

Cette approche permet de ne plus restreindre le domaine de l'agroécologie à la seule production végétale mais au contraire de considérer les productions animales comme un pilier majeur des processus biologiques et des voies de recyclage des matières organiques. Elle met aussi l'accent sur le suivi de processus et de flux entretenus dans un équilibre dynamique autorisant à la fois l'exploitation et la reconstitution des stocks. Cette distinction entre agroécologie « faible » et « forte » revient à prendre en compte ce qui dépasse la simple optimisation et implique des reconceptions des systèmes agricoles. Dans cette vision très intégrative, l'agroécologie doit se développer en cohérence avec les besoins de consommation et leur organisation dans les territoires avec une dimension de système agri-alimentaire (Francis *et al.*, 2003 ; Gliessman, 2006), ce dernier étant défini comme un système sociotechnique englobant les agriculteurs, le conseil, la recherche, les acteurs de l'amont et de l'aval des filières, les politiques publiques et les instances de régulation (réglementation des phytosanitaires, des pollutions, des semences et de la qualité des produits notamment), les consommateurs et la société civile (Lamine, 2012).

L'agroécologie côtoie le concept d'économie circulaire, au sens où toutes deux s'inscrivent dans le cadre du développement durable et s'inspirent notamment des notions d'économie verte, d'économie de l'usage, voire d'écologie industrielle, du bouclage des cycles en évitant au maximum le « stade déchet », limitant d'autant la consommation de matières premières et d'énergie. L'agroécologie partage avec la bioéconomie l'objectif de remplacer l'usage de ressources et de productions non renouvelables d'origine fossile par leur recyclage partiel, par la mobilisation de ressources renouvelables (photosynthèse, biologie des sols) pour leur transformation en aliments, fertilisants organiques, matériaux, bases chimiques et bioénergies variées. Si l'agroécologie partage avec l'économie circulaire et la bioéconomie l'ambition de servir une agriculture durable économe en ressources, elle s'en distingue par la place centrale qu'elle donne à la valorisation de la diversité du vivant.

La première ambition de l'agroécologie (Figure 1) est de passer d'un paradigme fondé sur « l'individu idéal », qui a forgé les systèmes agricoles actuels et qui vise à obtenir l'individu, animal ou végétal, le plus performant dans un environnement rendu optimal par les intrants, à un nouveau paradigme fondé sur les interactions entre individus et leur intégration dans des écosystèmes, qu'il s'agisse du champ, du troupeau ou du paysage. L'hypothèse sous-jacente est qu'une diversité d'individus, de variétés/races ou d'espèces sera mieux adaptée à des environnements hétérogènes et changeants du

fait de la diversité et du nombre d'interactions qu'ils entretiennent. Leurs arrangements dans le temps et l'espace pourront s'avérer aussi plus efficaces, car explorant mieux les ressources en eau et en minéraux, mais surtout plus résilients aux perturbations en raison même de leur diversité. La recherche s'intéresse aux fonctions et services écosystémiques susceptibles d'être mobilisés pour soutenir la transition agroécologique des exploitations (fourniture de biomasse, régulation du cycle de l'eau, des sols, du climat, aménités des paysages, etc.).

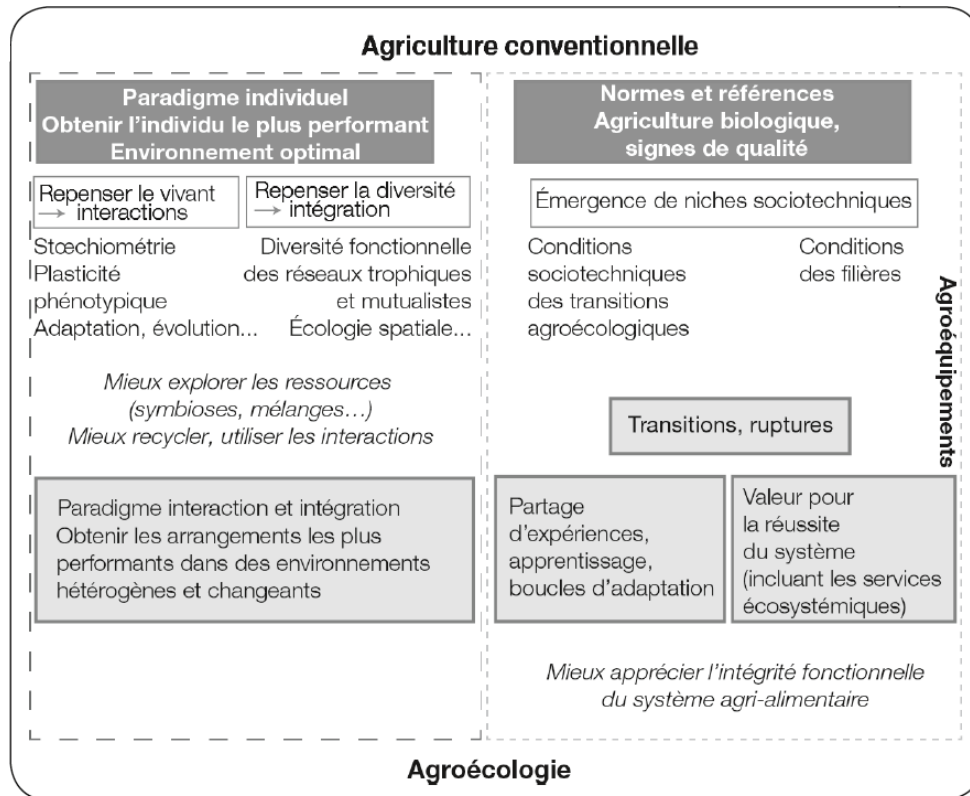


Figure 1 : Les paradigmes et les enjeux de l'agriculture conventionnelle et de l'agroécologie (d'après Caquet et al., 2020).

Ce nouveau paradigme fait appel à des notions issues de l'écologie, notamment de l'écologie fonctionnelle, qu'il s'agit d'adapter et de mettre à profit pour les agroécosystèmes, comme par exemple :

- La **stoechiométrie**, définie comme les proportions relatives des éléments chimiques (le plus souvent carbone, azote et phosphore) dans les organismes. La stoechiométrie écologique étudie les équilibres des éléments chimiques dans les processus écologiques liés aux besoins des plantes, au fonctionnement des sols, voire au transfert au niveau des bassins versants et des écosystèmes aquatiques. Des associations végétales et animales, et les interactions depuis les végétaux jusqu'aux animaux, et les boucles liées à la gestion des effluents, peuvent tirer profit au mieux de ces proportions, mettre en synergie des disponibilités et des besoins variés et utiliser des ressources recyclées adaptées.
- La **plasticité phénotypique des espèces**, qui est une propriété qui leur permet de s'adapter à des conditions de milieux variés. Plus une espèce sera « plastique » et plus elle pourra s'adapter à des conditions variées et/ou fluctuantes. En termes de sélection génétique pour des variétés ou des races à vocation agronomique, on pourra préférer des capacités de plasticité à des optima conçus pour des conditions standardisées, ce qui peut se traduire par des objectifs de sélection sur la base de la variance phénotypique.

- Les **réseaux trophiques et mutualistes**, qui définissent les liens qu'entretiennent les espèces, que ce soit des liens alimentaires (trophiques) ou de simples relations à bénéfices réciproques (mutualistes), comme le sont par exemple les symbioses.

La recherche en agroécologie est donc très orientée vers l'analyse du vivant, l'adaptabilité des variétés/races et des espèces, la nature et l'importance des interactions entre individus, leurs effets d'association aux échelles supra-individuelles, pour *in fine* identifier les meilleurs arrangements, aider à leur pilotage et caractériser les fonctions et services écosystémiques qui en découlent. Si beaucoup de processus écologiques ont été étudiés depuis quelques années dans les agroécosystèmes, intégrer ces processus dès la phase de conception des agrosystèmes est un nouvel enjeu pour la recherche.

La seconde ambition de l'agroécologie est de passer d'un paradigme basé sur des normes et des référentiels, qui permet leur utilisation partout et en toutes circonstances (pour le conseil, la vente...), et qui était devenu l'objectif de l'accompagnement de la production agricole ces dernières années, à un paradigme de diversification sociotechnique, spécifique d'un milieu et aboutissant à des trajectoires des filières avec des transitions voire des ruptures. Deux notions sont mobilisées pour dépasser cela : le partage d'expériences et l'apprentissage pas-à-pas, qui accompagnent les transitions et l'adaptation des systèmes actuels à leur nouveau contexte sociotechnique d'une part ; l'identification des possibles et des risques d'autre part. L'agroécologie est donc davantage un chemin basé sur la mobilisation de processus et de principes qu'une norme ou un label. Les systèmes correspondants sont caractérisés par des valeurs, en lien avec la notion de services écosystémiques, des dimensions humaines, économiques et sociologiques, assumées, reconnues voire aidées, dans les territoires.

1.2 Les enjeux pour la recherche

Il est possible de distinguer les travaux « au cœur de » l'agroécologie, fortement interdisciplinaires et qui considèrent toutes les dimensions du système de production, de ceux « en appui à » ou « pouvant contribuer dans le futur à » l'agroécologie. Ces derniers peuvent être des développements méthodologiques mobilisables pour l'agroécologie, y compris dans le domaine des sciences humaines et sociales, ou des expérimentations sur des composantes de l'agroécologie. Ils peuvent porter sur des processus fondamentaux en biologie (photosynthèse, nutrition des plantes, des animaux...) ou sur des processus microbiens dans des systèmes contrôlés (bioprocédés), en lien avec l'évolution possible des caractéristiques des produits issus de systèmes de production agroécologiques.

Trois enjeux fondamentaux pour la recherche en agroécologie ont été identifiés :

- **Placer le vivant au cœur de la conception des agroécosystèmes, et ceci à toutes les échelles.** Le corollaire est que la reconception agroécologique des agroécosystèmes doit s'appuyer sur une compréhension et une utilisation plus systémique du vivant en agriculture, notamment grâce à des concepts, des données et des approches de modélisation *ad hoc*.
- **Considérer la diversité des agroécosystèmes et l'hétérogénéité des produits.** Les systèmes de production agroécologiques sont étroitement associés à l'idée de diversité/diversification, et ceci à différentes échelles : choix des génotypes ou des espèces, gestion à l'échelle intra- et inter-parcellaire, allongement et diversification des rotations, mode de conduite des cultures, capacité des équipements à gérer cette diversité, etc. L'une des conséquences est une tendance à l'augmentation de l'hétérogénéité des productions et des matières premières produites qu'il faut gérer à différents niveaux, y compris dans ses aspects qualitatifs.
- **Favoriser le changement d'échelle de l'agroécologie.** Les systèmes menés en agroécologie vont davantage dépendre d'effets de voisinage, d'éléments du paysage que dans le cas de systèmes qui s'appuient moins sur les processus écologiques. Leur gestion devra donc prendre en compte des étendues spatiales supérieures à celles de la parcelle ou de l'exploitation (paysage,

territoire) et nécessitera de considérer davantage les échanges. Par exemple, les exploitations engagées dans l'agroécologie pourront disposer de ressources (herbe, composts...) qui pourront être utilisées à d'autres endroits dans un même territoire. Ces questions de changement d'échelle sont complexes du fait que les solutions sont très situées dans le temps et l'espace, donc très dépendantes des conditions locales.

La généralité dans la mise en œuvre de la transition agroécologique ne va pas résider dans des solutions techniques, mais plutôt dans les cadres et les outils pour favoriser la capacité d'adaptation des acteurs à gérer complexité et incertitudes.

2. L'ARP Sciences pour les élevages de demain

2.1 L'ambition

Le secteur de l'élevage est important à plusieurs titres. Outre le fait qu'il contribue de manière substantielle à l'économie de l'agriculture (il représente 45% du chiffre d'affaire de l'agriculture au niveau européen), il est une composante clé de la vitalité de nombreux territoires et est présent dans presque toutes les régions avec une grande diversité de systèmes de production. L'essentiel de la biomasse végétale produite en France et en Europe n'est en fait pas consommable par l'homme et l'élevage qui en est le principal consommateur (Dronne, 2018) recycle cette biomasse dans la chaîne alimentaire. L'alimentation animale joue aussi un rôle économique et de tampon majeur pour les grandes filières végétales (céréales, colza) en valorisant les écarts entre l'offre de grains et la demande des marchés internes pour la consommation humaine et l'export de manière structurelle, mais aussi lorsque des déséquilibres de marchés apparaissent.

Pour autant l'élevage est confronté à une crise de légitimité, environnementale, sociale et économique sans précédent et c'est dans ce contexte difficile pour l'élevage français, que l'ARP a permis de construire une réflexion scientifique prospective intégrant les différentes filières animales, les piliers de la durabilité et les tendances de la consommation. Les futurs possibles ont été explorés, en acceptant de réelles ruptures, en proposant des actions pour développer une recherche ambitieuse sur et pour l'élevage de demain. Au-delà d'une analyse du dispositif INRAE et de la formulation de propositions quant à son évolution, deux dimensions ont été abordées :

- **Repenser la place, les rôles de l'élevage** : en quoi doit-il se transformer pour contribuer pleinement au développement de systèmes agri-alimentaires durables, réduisant leurs impacts environnementaux, améliorant la nutrition tant au niveau national que planétaire) et contribuant au développement économique des territoires ?
- **Identifier et promouvoir des thématiques de recherche innovantes** : quels sont les fronts de science ou méthodologiques porteurs d'avenir, donnant de nouvelles perspectives aux travaux déjà engagés ? Il s'agit d'une part de lever les verrous de connaissance et de méthodologie (voire de réglementation) pour développer les innovations permettant de faire évoluer l'élevage, et d'autre part de développer des recherches ambitieuses sur l'élevage au sein des systèmes agri-alimentaires et des territoires. La posture adoptée a considéré que les fronts de science actuels et futurs se situent à l'interface entre les disciplines et que seule l'approche interdisciplinaire permettra de penser la complexité des systèmes biologiques, agronomiques et alimentaires en renouvelant les questions scientifiques, et d'aborder les grands enjeux de l'élevage. L'objectif a donc été de réfléchir les fronts de science nécessitant de renforcer les interactions entre communautés scientifiques travaillant sur des disciplines, thématiques et fenêtres de temps différentes.

Jusqu'à présent les systèmes ont progressé dans une logique incrémentielle, d'approche linéaire supposant les ressources non limitées. Ces analyses linéaires ne prennent pas correctement en compte les nombreuses et complexes interactions existant au sein des systèmes alimentaires entre les

différents produits. Si la recherche d'efficacité accrue d'utilisation des ressources reste une priorité, elle n'est pas suffisante car elle ne garantit pas la résilience des systèmes de production face aux aléas climatiques, sanitaires et elle ne garantit pas l'aptitude des systèmes d'élevage à restaurer la qualité des écosystèmes et à sécuriser les ressources.

L'enjeu est de sortir d'une approche linéaire de la production animale, de placer la réflexion dans le cadre de la bioéconomie, pour prendre en compte les circularités entre la production et l'utilisation de la biomasse végétale (non forestière) et celle issue des animaux (terrestres et aquacoles) à des fins de production d'aliments en priorité (Figure 2), mais d'autres usages, tels que la production d'énergie et de matières premières pour d'autres industries (valorisation des carcasses).

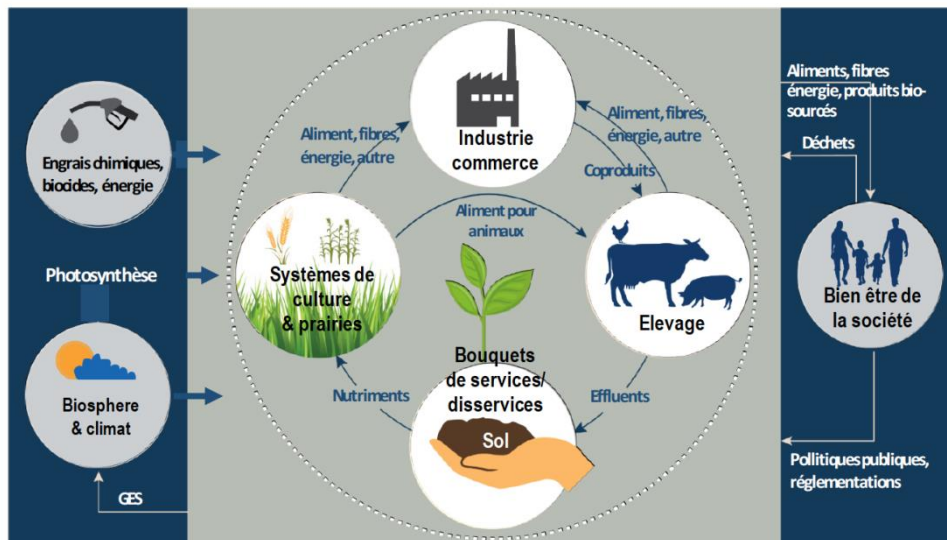


Figure 2 : Le cadre général des recherches sur l'élevage (Peyraud *et al.*, 2019).

2.2 Les enjeux pour la recherche

L'élevage a un potentiel pour contribuer à développer des systèmes agri-alimentaires plus efficaces et plus durables. La recherche peut y contribuer par l'acquisition de connaissances permettant de :

- Renforcer les synergies entre les activités des territoires par la mobilisation dans la chaîne alimentaire des (co)produits des filières végétales non consommables directement par l'homme ; la valorisation des surfaces non cultivables et d'une très grande diversité de biomasses ; le développement d'une diversité d'aliments à haute valeur nutritionnelle répondant à une demande diversifiée des consommateurs ; la production de coproduits animaux qui peuvent être à l'origine de nouvelles chaînes de valeur ; la fourniture d'une diversité de services environnementaux, sociaux, culturels et économiques dont l'équilibre peut varier fortement selon les systèmes et les territoires.
- Réduire voire annuler les impacts négatifs de l'élevage par le développement de solutions innovantes tant technologiques qu'organisationnelles. Cela peut notamment passer par : la définition d'un niveau souhaitable de production animale par rapport à un milieu (notion de capital naturel de production) ; la réduction des émissions de GES, la réduction des pollutions des sols et des eaux liées à la concentration de l'élevage, et que de nouvelles organisations et technologies peuvent réduire ; l'amélioration du bien-être et de la santé des animaux ; la réduction de la vulnérabilité des animaux en terme de santé, la réduction de la résistance aux antibiotiques ; la réduction de la dépendance aux protéines importées.

- Contribuer à résoudre des questions d'ordre économique et social relatives aux acteurs des filières, qu'il s'agisse de l'attractivité de l'activité, du revenu des éleveurs ou du renouvellement des générations d'éleveurs, de la recherche de marchés à l'export ou de la reconquête de parts de marchés internes par l'élevage français.

Le développement de l'agroécologie amène à changement de paradigme pour la recherche en sciences de l'élevage (Dumont *et al.*, 2013). Il s'agit de considérer le temps long en privilégiant les capacités d'adaptation des animaux et des systèmes dans le temps, et non plus la production maximale à court terme ce qui était souvent l'objectif des recherches par le passé. Il s'agit aussi de considérer le métabolisme des agroécosystèmes associant l'élevage ce qui recouvre des domaines aussi variés que la gestion plus préventive et moins curative de la santé et du bien-être des troupeaux, le bouclage des cycles de nutriments et celui des biomasses. Il s'agit également de repenser la préservation, la caractérisation et l'utilisation raisonnée de la biodiversité (gestion des ressources génétiques animales, gestion spatio-temporelle de la diversité des ressources, préservation de la biodiversité végétale et des habitats) par des pratiques d'élevage adaptées. Il s'agit enfin de modifier la relation des acteurs au risque et de considérer la diversification des productions (potentielle économie de gamme) et des systèmes au sein des territoires comme un levier pour faire face à l'accroissement de la dépendance aux conditions du milieu et à la sensibilité aux aléas par rapport aux systèmes conventionnels dans lesquels il s'agissait de contrôler les fluctuations environnementales. Les innovations technologiques dans les domaines des biotechnologies (connaissance du génome, phénotypage à haut débit, maîtrise de l'épigénome et du microbiome pour la programmation précoce des individus), dans le domaine du numérique (capteurs, robotique, internet des objets, « *block-chain* », etc.) et dans celui des procédés industriels ainsi que les innovations organisationnelles (instruments de régulation, nouvelles solidarités entre acteurs et collectifs de travail) peuvent et doivent contribuer aux développements de ces approches agroécologiques.

3. La complémentarité entre cultures et élevage : de nouveaux fronts de recherche

Comme cela a été rappelé, les travaux des ARP avaient notamment pour objectif l'identification de nouvelles pistes de recherche, qu'elles soient disciplinaires, inter- ou transdisciplinaires. La recherche de synergies entre cultures et élevages amène de nouvelles questions de recherche qui s'organisent selon plusieurs axes complémentaires, avec une vision systémique. Nous insistons dans la suite du texte sur quelques points qui sont apparus comme prioritaires :

- **Considérer davantage de niveaux d'interaction dans la sélection génétique, et ceci à différents niveaux.** Il s'agit par exemple d'étudier la génétique des interactions $G \times M \times E \times C \times P$ (où G est la variabilité génétique entre individus et entre populations ; M est la variabilité de l'environnement microbien/du microbiote ; E est la variabilité du milieu physique en lien avec le fonctionnement de l'agroécosystème ; C est la conduite de l'exploitation, du système de production et du système de culture ; et P est la variabilité de la matière première). La prise en compte de cette équation pour la sélection animale en est encore à ses débuts. Les objectifs de sélection animale doivent prendre en compte les interactions génotype-environnement dans la prévision des valeurs de reproduction mais aussi des autres fonctions des individus. Il s'agit de développer des méthodes de sélection qui valorisent la variabilité génétique des interactions au sein des espèces. Par ailleurs, l'approche basée sur les traits fonctionnels offre la possibilité d'identifier de nouveaux critères de sélection chez les plantes et les animaux. Au final, on doit pouvoir disposer d'une gamme de diversité efficace à déployer dans le cadre d'environnements hétérogènes où l'interaction génétique-environnement devient centrale et en tirer partie afin d'optimiser les services écosystémiques attendus, y compris ceux de production.

- **Connaître et gérer les agrosystèmes à l'échelle de l'exploitation agricole dans une vision long terme.** Il faut pouvoir proposer des espèces/races/variétés capables de s'ajuster à des conditions de production variables, en révisant les objectifs sans nuire à la qualité des produits. En élevage, il s'agit de passer d'une vision de court terme à différentes temporalités par l'évaluation et la compréhension de la capacité de l'animal à gérer les perturbations (réaction et récupération), étudier l'allocation des ressources et la flexibilité de cette allocation pour plus de résilience, maximiser l'efficacité à l'échelle de la carrière des individus et de l'ensemble du système de production.
- **Analyser les conséquences et tirer partie de la diversité et de la diversification.** La question de la diversité et de la diversification à tous les niveaux (notamment de l'animal, des troupeaux et des systèmes) devient centrale dans une approche agroécologique. Ceci conduit à une évolution du paradigme de la recherche dans toutes les disciplines pour comprendre ses intérêts et limites en fonction des objectifs recherchés (résilience, recherche de différenciation amont, etc.). Concernant les produits, cela nécessite de travailler sur ce que recouvrent les normes et les standards. En effet, ceux-ci ont été élaborés pour garantir un niveau de qualité à l'utilisateur final, ce qui s'est souvent traduit par une homogénéisation des produits. C'est l'occasion de réfléchir à la traçabilité des caractéristiques des productions et à la pratique d'association de lots complémentaires au moment de la transformation.
- **Mieux connaître les interactions entre processus biotiques et abiotiques qui sous-tendent les fonctions écosystémiques aux échelles du paysage.** Il s'agit d'analyser et d'intégrer les interactions entre processus abiotiques et biotiques, d'accroître notre compréhension des effets de la composition, de la configuration et de la gestion des paysages agricoles sur les processus, les fonctions et les services écosystémiques, et d'évaluer la résilience des paysages agricoles. Il s'agit de faire fructifier les liens entre une bonne gestion des animaux et des paysages (Gascuel *et al.*, 2015). Les multiples interactions qui ont lieu à cette échelle demandent un besoin massif en observations, en données nouvelles.
- **Placer l'innovation en élevage dans un cadre de ressources finies et de santé globale.** Cette posture conduit à optimiser le « métabolisme » (entrée, biotransformation, sortie) des agroécosystèmes. Ce métabolisme doit intégrer la santé et le bien-être des animaux, la santé et le bien-être de l'homme et des écosystèmes (concepts « *One Health/Eco Health* »). Il doit également prendre en compte la visée d'une plus grande autonomie alimentaire, la réduction des émissions (GES, effluents aqueux), le recyclage des éléments nutritifs (N, P, C), la fourniture de services écosystémiques. Enfin, cela inclut la coexistence de différents systèmes sur un territoire et l'organisation spatiale et temporelle de la mosaïque du paysage. Il est nécessaire de développer des recherches systémiques (utilisation optimale des flux de matière ; modèles de business innovants ; compréhension des atouts et contraintes des conditions locales) et de considérer des formes variées d'agroécologie. L'évaluation de différents systèmes et de leurs trajectoires nécessite la mise en œuvre de méthodes d'analyse multicritère.
- **Remettre l'élevage dans le cadre de l'économie circulaire et durable et recoupler élevage et cultures.** Le concept d'économie circulaire explore les possibilités de bouclage des cycles de matière et d'énergie dans une démarche souvent trans-sectorielle et dans des systèmes composés d'unités de production très contrôlées. Le lien au sol peut être beaucoup plus faible que dans le cas de l'agroécologie. Le lien au sol, à l'échelle de l'exploitation ou à des échelles plus larges (inter-exploitations, bassins de production), détermine la part des leviers de l'ordre de l'économie circulaire et ceux de l'ordre de l'agroécologie. Sous l'angle de l'économie circulaire, la valorisation des ressources par le recyclage lors des différentes étapes du processus de production d'aliments (culture, élevage, transformation) doit viser à réduire la consommation de ressources naturelles et les émissions vers l'environnement. Cette visée avait été initiée lors du premier bilan des travaux

INRAE sur le bouclage des cycles biogéochimiques, notamment en élevage (Peyraud *et al.*, 2015). Cette analyse doit être envisagée à différentes échelles au sein d'exploitations comportant plusieurs systèmes de production, entre exploitations voisines jusqu'aux échanges entre bassins de production (par exemple entre zones spécialisées en élevage et en grandes cultures), voire entre pays. De manière plus disruptive, la réintroduction de l'élevage dans des territoires où il a disparu est à considérer. Le (re)couplage présente un intérêt tout particulier dans le cadre du développement de l'agriculture biologique où l'élevage fournit des engrais bon marché et où il peut bénéficier en retour d'aliments locaux certifiés bio à prix intéressant. Les échanges concernent tous les types de biomasses. La gestion de la sécurité sanitaire et la traçabilité des flux sont, dans tous les cas, un enjeu majeur. Les trois enjeux principaux pour la recherche sont (i) l'utilisation de l'aptitude des animaux à valoriser des biomasses variées ; (ii) la valorisation des coproduits de l'élevage avec en premier lieu les effluents ; et (iii) l'amélioration de la qualité et les nouvelles valorisations des produits animaux et de leurs coproduits (valorisation des carcasses).

- **S'appuyer sur le numérique pour mieux suivre et piloter les différentes performances de l'exploitation agricole.** Les capteurs et outils de suivi des cultures ou des animaux sont encore peu répandus, et encore moins utilisés pour aider au pilotage des systèmes, qu'ils soient ou non à visée agroécologique. La question de l'amélioration du pilotage va au-delà de la simple acquisition d'informations. Elle concerne la capacité à identifier et à entretenir des processus en équilibre dynamique, notamment par la mesure de flux et d'états, par des méthodes de contrôle et d'assimilation de données et par des systèmes d'aide à la décision. La capacité à développer des systèmes d'information bien structurés pour tirer au mieux partie de l'information disponible est cruciale. Ce pilotage prend en compte, au-delà des dimensions biologiques, des dimensions socio-économiques (travail, marché...) et de contexte (prévisions climatiques, vulnérabilité des productions...) qui participent du pilotage de l'exploitation. Les besoins concernent aussi l'assemblage cohérent d'informations écologiques, mais aussi de contextes et de contraintes, pour aider au pilotage de l'exploitation. La masse d'informations à gérer complique le travail du décideur si des outils performants ne sont pas développés pour intégrer ces informations dans le pilotage. La question de la valeur ajoutée ou apportée par l'interprétation des données, traduite en règles de décision, est au cœur des questions de recherche.
- **Concevoir des modes de gouvernance des systèmes socio-économiques pour repenser de manière nouvelle l'aide à l'élevage et soutenir les transitions.** L'identification des freins et leviers, qu'ils soient techniques, économiques ou sociologiques, est une première étape pour la reconception des systèmes de production. Passer à la mise en mouvement des exploitations agricoles, des filières et des territoires implique de nouveaux modes de gouvernance, de nouvelles modalités d'accompagnement économique et social des acteurs, ainsi que de nouveaux objectifs et modes de travail pour les associer. L'implication des sciences humaines et sociales est importante : l'agroécologie marque une rupture, des fondements nouveaux dans la conception des systèmes agri-alimentaires. Il s'agit d'accompagner des transitions sur le long terme, de disposer de systèmes assuranciers pour couvrir les risques et faire coexister des systèmes variés. Plus généralement, les systèmes d'aides à l'agriculture devront intégrer : (i) des composantes biologiques plus diverses (sols, couverts végétaux, complémentarités élevage/culture, etc.) ; (ii) une adéquation plus forte aux contraintes et potentialités des milieux ; et (iii) des dimensions sociales et économiques plus larges, y compris celle du travail en agriculture.
- **Gérer le risque et l'incertitude de la transition, analyser ses co-bénéfices et effets adverses.** La transition agroécologique entraîne une remise en cause de pratiques bien établies et contrôlées par l'apport d'intrants, sans que soient définis d'avance une cible et un chemin pour y parvenir. Ce changement représente une importante prise de risque, au niveau de chaque exploitant, et probablement plus encore, au niveau d'une filière qui va devoir gérer une plus grande diversité d'acteurs, de produits et de risques. Afin de progresser dans ce domaine, trois approches

paraissent incontournables : (i) la modélisation, pour augmenter la capacité à prédire l'évolution des systèmes agricoles à différentes échelles de temps et aider à identifier des impasses, des risques, des capacités de robustesse et de résilience ; (ii) l'apprentissage collectif, par le partage d'expériences et de savoirs d'origine diverses, pour enrichir les degrés d'innovation et leur test dans différentes conditions ; et (iii) l'analyse de la perception et l'objectivation du risque, son accompagnement du point de vue socio-économique.

Conclusion

Promouvoir une visée agroécologique de l'élevage consiste à passer d'une logique de **maximisation des performances de production**, dans une approche linéaire (intrants – utilisation – production – consommation – déchets), à une logique de **maximisation de l'utilisation des ressources naturelles, dans un monde fini**, en positionnant l'élevage comme un maillon indispensable d'une agriculture circulaire qui élimine des pertes et gaspillages, et produit des biens et services. Deux dimensions prioritaires ont été identifiées pour progresser dans cette direction : (re)connecter les productions animales et végétales afin de trouver de nouvelles synergies (bouclage des cycles, recyclage des biomasses) qui valorisent notamment les co-produits et développer des systèmes agri-alimentaires moins exigeants en ressources naturelles, tout en contribuant au développement économique des territoires.

L'analyse de la dynamique des systèmes agricoles doit tenir compte de l'ensemble des acteurs, des ressources utilisées, des produits réels et potentiels, des interactions entre sous-systèmes du territoire, des impacts (positifs et/ou négatifs) des stratégies de transformation des systèmes, des risques et bénéfices de ces diverses stratégies. La compréhension des objectifs et relations entre les acteurs du territoire est important, en particulier pour connaître la valeur de ce système (économique, environnementale, sociale) et sa capacité à s'insérer dans les marchés.

Références bibliographiques

- Caquet T., Gascuel C., Tixier-Boichard M. (Coord.), 2020. Agroécologie – Des recherches pour la transition des filières et des territoires. Editions Quae, 102 p.
- Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Thomas M., Tichit M., 2013. Prospects from agro-ecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal* 7,1028-1043
- Dronne Y., 2018. Les matières premières agricoles pour l'alimentation humaine et animale : l'UE et la France. In: Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim, 31, 181-200
- Duru M., Farès M., Therond O., 2014. Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain), la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires. *Cahiers Agricultures* 23, 84-95.
- Francis C., Lieblein G., Gliessman S., Breland T.A., Creamer N., Harwood R., Saolomonsson L., Helenius J., Rickerl D., Salvador R., Wiedenhoef M., Simmons S., Allen P., Altieri M., Flora C., Poincelot R., 2003. Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 22, 99-118.
- Gascuel-Odoux C., Ruiz L., Vertès F., 2015. Comment réconcilier agriculture et littoral ? Vers une agroécologie des territoires. Editions Quae, 151 p.
- Gliessman S.R., 2006. *Agroecology: the Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC press, 408 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers, approved draft. IPCC, Geneva, Switzerland, 41 p.

Lamine C., 2012. « Changer de système » : une analyse des transitions vers l'agriculture biologique à l'échelle des systèmes agri-alimentaires territoriaux. *Terrains & Travaux* 2012/1, 139-156.

Peyraud J.L., Aubin J., Barbier M., Baumont R., Berri C., Bidanel J.P., Citti Ch., Cotinot C., Ducrot C., Dupraz P., Faverdin P., Friggens N., Houot S., Nozières-Petit M.O., Rogel-Gaillard C., Santé-Lhoutellier V., 2019. Quelle science pour les élevages de demain? Une réflexion prospective conduite à l'INRAE. *INRAE Productions animales* 32, 323-338

Peyraud J.-L., Richard G., Gascuel-Odoux C., 2015. Boucler les grands cycles biogéochimiques. In : *Agroécologie, recherche et innovations. Innovations Agronomiques* 43, 177-186.

Soussana J.-F., Tichit M., Lecompte P., Dumont B., 2014. Agroecology : integration with livestock. In: *Proceedings of the FAO International Symposium : Agroecology for Food Security and Nutrition* (p. 266-249). Presented at International Symposium on Agroecology for Food Security and Nutrition, Rome, ITA (2014-09-18 - 2014-09-19). Rome, ITA : FAO - Food and Agriculture Organisation. 409 p.

Tichit M., Dumont B., 2016. L'agroécologie : origines, bases scientifiques et déclinaisons en élevage. *L'agroécologie : du nouveau pour le pastoralisme*, Cadère éditeur, 106 p

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 503-515.

Wezel A., Goris M., Bruil J., Félix G.F., Peeters A., Bàrberi P., Bellon S., Migliorini P., 2018. Challenges and action points to amplify agroecology in Europe. *Sustainability* 10, 1598.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

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