

Agriculture de précision et transition agroécologique des exploitations : regards croisés des acteurs du monde agricole

Manon Lebrun, Nathalie Hostiou, Benjamin Nowak, Philippe Jeanneaux

▶ **To cite this version:**

Manon Lebrun, Nathalie Hostiou, Benjamin Nowak, Philippe Jeanneaux. Agriculture de précision et transition agroécologique des exploitations : regards croisés des acteurs du monde agricole. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. hal-03280860

HAL Id: hal-03280860
https://hal.inrae.fr/hal-03280860

Submitted on 7 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

AGROCAMPUS OUEST

☑ **CFR Angers** ☑ **CFR Rennes**

Année universitaire : **2019 – 2020** Spécialité : **Biologie Agrosciences** Spécialisation : **Sciences de l'Animal pour l'Elevage de Demain**	**Mémoire de fin d'études** de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

Agriculture de précision et transition agroécologique des exploitations : regards croisés des acteurs du monde agricole

Par : Manon LEBRUN

Soutenu par visioconférence le 26 juin 2020

Devant le jury composé de :

Président : Lucile Montagne

Maîtres de stage : Nathalie Hostiou, Benjamin Nowak et Philippe Jeanneaux

Enseignant référent : Anne-Lise Jacquot

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»
disponible en ligne http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Nathalie Hostiou, chargée de recherche INRAe, pour son accompagnement sans faille tout au long du stage ainsi que Benjamin Nowak et Philippe Jeanneaux, enseignants-chercheurs à VetAgro Sup. En tant que maîtres de stage, je les remercie vivement tous les trois pour leur confiance, leur disponibilité mais également l'autonomie qu'ils m'ont offert pendant ce stage. Leurs conseils et leurs relectures lors de la rédaction du mémoire m'ont beaucoup apporté.

J'adresse également des remerciements à toutes ces personnes qui m'ont accueilli chaleureusement au sein de VetAgro Sup. Merci à elles d'avoir enrichi cette expérience.

Je remercie mon enseignante-référente de l'Institut Agro – Agrocampus Ouest, Anne-Lise Jacquot, pour son accompagnement et sa présence tout au long du stage.

Enfin, j'exprime toute ma gratitude à tous les acteurs qui ont répondu à l'enquête. Merci pour le temps accordé et merci pour ces échanges qui n'ont pas cessé d'enrichir ma réflexion.

TABLE DES MATIERES

1 Introduction 1
2 Contexte et problématique 2
2.1 La France, un pays qui a amorcé sa transition agroécologique 2
2.1.1 Historique et définition 2
2.1.2 Des transitions agroécologiques encouragées mais pas toujours évidentes pour les agriculteurs 2
2.2 L'agriculture de précision, une agriculture potentiellement au service de l'agroécologie 3
1.2.3. L'agriculture de précision pour quel type de pratiques agricoles 4
2.3 Problématique et objectifs de l'étude 4
3 Cadre methodologique de la problematique 5
3.1 Cadre d'étude 6
3.2 Bibliométrie scientifique associant agroécologie et agriculture de précision 6
3.2.1 Choix de la base de données 6
3.2.2 Choix des mots-clés et construction des requêtes 6
3.2.3 Méthode d'analyse 7
3.3 Bibliométrie de la presse professionnelle associant agroécologie et agriculture de précision 7
3.3.1 Choix des supports de communication 7
3.3.2 Méthode d'analyse 7
3.4 Recueil d'informations par des enquêtes auprès d'acteurs agricoles 8
3.4.1 Critères de sélection des enquêtés 8
3.4.2 Guide d'entretien et conduite des enquêtes 8
3.4.3 Dépouillement et analyse des enquêtes 9
4 Résultats 10
4.1 Analyse de la bibliométrie scientifique et de la presse professionnelle associant agriculture de précision et agroécologie 10
4.1.1 Etat des lieux sur les travaux de recherche associant agriculture de précision et agroécologie 10
4.1.2 Etat des lieux des articles de la presse professionnelle associant agriculture de précision et agroécologie 11
4.2 Place de l'agriculture de précision en agroécologie 11
4.2.1 Compatibilité entre agroécologie et agriculture de précision 11
4.2.2 Niveaux d'écologisation concernés par l'agriculture de précision 12
4.3 Relation entre agriculture de précision et les fondamentaux de l'agroécologie 12
4.3.1 Agriculture de précision et environnement 12
4.3.2 Agriculture de précision et dimension sociale 13

4.3.3 Agriculture de précision et connaissances....13
4.3.4 Agriculture de précision et autonomie décisionnelle....14
4.4 Technologies de précision dans les exploitations écologisées....14
4.4.1 Public concerné par l'agriculture de précision....14
4.4.2 Adaptabilité des technologies de précision et besoins en exploitations écologisées....14
4.4.3 Difficultés liées aux technologies de précision dans les exploitations écologisées....15
5 Discussion....16
5.1 Relations entre agriculture de précision et agroécologie vues par les acteurs....16
5.1.1 Expressions contrastées des acteurs enquêtés sur les liens entre l'agriculture de précision et l'agroécologie....16
5.1.2 Les technologies de précision au service des fondamentaux de l'agroécologie....16
5.1.3 Des technologies de précision pas toujours adaptées aux contraintes des exploitations écologisées....18
5.2 Différences constatées entre grandes cultures et élevage ruminants....19
5.3 Perspectives et limites....19
6 Conclusion....20

AVANT PROPOS

Ce stage de fin d'études s'inscrit dans un projet européen H2020 LIFT « Low-Input Farming and Territories. Integrating knowledge for improving ecosystembased farming », dont l'objectif est d'identifier les bénéfices potentiels de l'adoption de l'agriculture écologique dans l'Union européenne et de comprendre comment les facteurs socio-économiques et politiques influencent l'adoption, la performance et la durabilité de l'agriculture écologique à différentes échelles. Mon stage s'insère plus particulièrement dans le workpackage 3 qui vise à évaluer les performances économiques, environnementales et sociales des approches écologiques en agriculture.

L'étude a été réalisée à VetAgro Sup, le campus agronomique de Lempdes (63), au sein de l'UMR Territoires, partenaire du projet LIFT. Elle s'est déroulée sur une période de six mois, de janvier à juin 2020.

LISTE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : Construction des requêtes par combinaison de mots-clés pour chacun des thèmes (agriculture de précision, agroécologie, systèmes alternatifs, grandes cultures, élevage ruminants)

Tableau 2 : Croisement des requêtes (agriculture de précision, agroécologie, systèmes alternatifs, grandes cultures, élevages)

Tableau 3 : Choix des acteurs de la filière agricole à enquêter

Tableau 4 : Codes utilisés pour représenter les expressions des acteurs sur les variables identifiées

Tableau 5 : Nombre d'articles obtenus lors de l'analyse bibliométrique sur les thématiques de l'agriculture de précision, des systèmes alternatifs et de l'agroécologie en productions ruminants et grandes cultures

FIGURES

Figure 1 : Evaluation de la couverture des travaux scientifiques (en pourcentage) dans le domaine agricole entre trois bases de données Web Of Science, Scopus et Google Scholar (Martin et al., 2018)

ANNEXES

Annexe 1 : Diversité des terminologies utilisées pour évoquer chacun des systèmes agricoles intégrant des pratiques écologiques, tiré de la littérature (Rega et al., 2018)

Annexe 2 : Articles scientifiques traitant de l'agriculture de précision et de l'agroécologie non retenus pour l'analyse qualitative de l'étude

Annexe 3 : Articles scientifiques traitant de l'agriculture de précision et de l'agroécologie retenus pour l'analyse qualitative de l'étude

Annexe 4 : Articles de la presse professionnelle faisant le lien entre agriculture de précision et agroécologie

Annexe 5 : Guides d'entretien des acteurs et exemple de retranscription

Annexe 6 : Tableau reprenant les grandes questions de l'étude (relation entre l'agriculture de précision et les fondamentaux de l'agroécologie, la compatibilité entre les deux approches et le niveau d'adaptation des technologies de précision et besoins) pour lesquels les éléments de l'enquête ont été classés en différentes catégories

LISTE DES ABREVIATIONS

A : Agriculteur

AC : Animateur/Conseiller

AE : Agroécologie

AP : Agriculture de précision

C : Chercheur

E : Equipementier

GIEE : Groupement d'intérêts économique et environnemental

LIFT : Low-Input Farming and Territories. Integrating knowledge for improving ecosystembased farming

SA : Systèmes alternatifs

SAU : Surface Agricole Utile

1 INTRODUCTION

Force est de constater que la modernisation de l'agriculture française s'est traduite par un emploi accru d'énergie et d'intrants (Zwaenepoel et Le Bars, 1997). Le modèle agricole qui s'est mis en place, qualifié de productiviste (Déléage, 2011), a certes répondu à la demande alimentaire croissante (Lasbleiz, 2015) mais il n'est pas sans conséquence pour l'environnement (Bonny, 1994). L'agriculture d'aujourd'hui doit faire face à une artificialisation des sols (Bonny, 1994) et les fuites d'éléments minéraux dues à la non-fermeture des cycles biogéochimiques peuvent être à l'origine de l'eutrophisation de certains milieux naturels (Pellerin et Martinez, 2015).

La prise de conscience écologique a conduit à des évolutions marquées dans la manière de concevoir la production agricole (Lasbleiz, 2015) mais le maintien de la compétitivité reste une priorité (Bonny, 1994 ; Zwaenepoel et Le Bars, 1997). En réponse à cette problématique, deux axes de recherches se sont initialement dégagés (Bonny, 1994). Le premier s'intéresse à l'agriculture de précision (AP) et le second, aux moyens d'actions biologiques (Bonny, 1994). Alors qu'initialement, ces deux méthodes semblaient être considérées comme des leviers d'actions bien distincts, le Rapport Innovation Agriculture 2025 suggère leur utilisation conjointe. En effet, la transition agroécologique est présentée comme une des solutions pour répondre aux enjeux futurs et l'agriculture numérique dont l'AP est promue comme un levier d'action pour accompagner la transition agroécologique (Bournigal et al., 2015).

L'agroécologie (AE) est un mode de production qui s'appuie sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes en utilisant au maximum la nature comme facteur de production tout en maintenant ses capacités de renouvellement (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2013). Chaque évolution vers un système de production agroécologique doit être raisonnée au cas par cas et un grand nombre de facteurs doivent être considérés : conditions pédoclimatiques, tissu socio-économique, objectifs de l'exploitant, etc. (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2013). L'AP quant à elle intègre des capteurs connectés couplés à des technologies de l'information et de la communication. De par son approche technologique, elle aide l'agriculteur à adapter finement ses pratiques aux conditions environnementales (Bellon Maurel et Huyghe, 2017). Elle permet de réaliser des tâches de haute précision permettant de produire mieux en intervenant au bon endroit et au bon moment avec la bonne dose (Lasserre et al., 2016). En ce sens, il semblerait que l'AP pourrait intervenir dans l'accompagnement de cette transition agroécologique (Soulignac et al., 2019).

C'est dans ce contexte que la question de la pertinence de l'utilisation de l'AP dans les exploitations françaises d'élevage ruminants et grandes cultures en transition agroécologique a été soulevée. Cette question amène à s'interroger sur les moyens apportés par l'AP pour répondre aux problématiques liées à l'AE mais aussi sur les moyens à mettre en œuvre pour soutenir la transition agroécologique. Pour y répondre, un premier travail d'analyse bibliométrique a été réalisé afin d'évaluer le contenu et la dynamique des publications scientifiques et professionnelles sur ces deux thématiques. En parallèle, un second travail d'analyse d'entretiens semi-directifs issus d'une enquête qualitative menée auprès de 36 acteurs a été effectué. La première partie du mémoire s'intéressera aux éléments présents dans la littérature. Ces éléments permettront d'une part, de poser le contexte de développement de l'AE et de l'AP, et d'autre part, d'identifier les caractéristiques de ces deux approches de l'agriculture. La deuxième partie du mémoire développera les méthodes utilisées, la troisième partie présentera les résultats qui seront ensuite discutés dans une dernière partie.

2 CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

2.1 La France, un pays qui a amorcé sa transition agroécologique

2.1.1 Historique et définition

Entre les premières utilisations dans des publications scientifiques en 1928 (Bensin (1928, 1930)) et aujourd'hui, l'évolution du concept de l'AE a induit la formulation de différentes définitions pouvant varier d'un pays à l'autre. En effet, elle peut désigner une discipline scientifique, un mouvement politique ou social ou une pratique agricole (Wezel et al., 2009).

L'AE se définit comme un ensemble de pratiques agricoles visant à accorder les fonctionnalités offertes par les écosystèmes avec les interventions humaines et intégrant des problématiques majeures, concernant les exploitations d'élevage comme de grandes cultures. La première est d'utiliser au mieux les ressources disponibles tout en rendant le système plus résilient face aux aléas biotiques et abiotiques. Cela repose sur la nécessité de s'appuyer sur la diversité intraspécifique (populations ou mélanges de cultivars) et interspécifique (cultures associées, assolements diversifiés, rotations longues, pâturage mixte) ou en associant plusieurs composantes de la végétation (agroforesterie, …) et de préserver la biodiversité (Schaller, 2013 ; Dumont et al., 2014 ; Bournigal et al., 2015 ; Rega et al., 2018). La deuxième concerne l'optimisation des cycles biogéochimiques pour réduire les pollutions d'azote et de phosphore et améliorer les bilans carbone. La troisième soutient la réduction des ressources limitantes via la réduction des besoins en terres cultivables, en eau et en aliments concentrés (Dumont et al., 2014). Enfin, la recherche de réduction de l'usage des médicaments de synthèse suggère une conduite intégrée de la santé animale (Dumont et al., 2014). En parallèle, le concept d'AE est aujourd'hui au cœur d'un vaste ensemble de mesures visant à moderniser les agricultures pour une triple performance économique, durable mais aussi sociale (Duru et al., 2014). La place de l'agriculteur dans la filière doit être considérée. En effet, l'ambition sociale de l'AE vise à donner une autre place à l'agriculteur par une revalorisation sociale du travail, du rapport au produit et à l'outil de travail en réponse à l'image ternie des agriculteurs en Europe (Lasbleiz, 2015).

2.1.2 Des transitions agroécologiques encouragées mais pas toujours évidentes pour les agriculteurs

En France, la volonté de soutenir une transition agroécologique a émergé à travers le vote de la loi d'Avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt en 2014 (Bournigal et al., 2015). Cette loi énonce des mesures visant, par exemple à limiter l'usage des pesticides mais est également à l'origine de la création de groupements d'intérêts économique et environnemental (GIEE) (De Tourdonnet et al., 2020). L'objectif de la transition agroécologique est d'accompagner et d'encourager tous les systèmes de production vers plus d'AE. Cependant, derrière le terme « AE » peut se cacher une multitude de systèmes : agriculture biologique, agriculture conventionnelle raisonnée, agriculture conventionnelle intégrée, agriculture de conservation, … c'est-à-dire toute forme de système dès lors qu'il met en place des pratiques agroécologiques, permettant de répondre à au moins une des problématiques majeures de l'AE. De par cette diversité d'exploitations découle une diversité de niveau d'engagement agroécologique : des exploitants en phase de questionnement, en phase de transition, ceux qui ont déjà adopté un certain nombre de pratiques agroécologique et ceux qui poussent leur système au maximum d'écologisation. Cette pluralité des façons d'aller vers l'AE peut également être évaluée par le degré de changement avec la classification Efficience/Substitution/Reconception. Le premier niveau correspond à une optimisation de l'efficience d'utilisation des intrants, tout en continuant à utiliser ces intrants de synthèse. Les itinéraires techniques restent inchangés. Pour le deuxième niveau, les intrants chimiques sont substitués par une intervention avec un agent biologique et/ou par une intervention mécanique mais le système ne nécessite pas d'être revu en profondeur. Au contraire, le troisième niveau nécessite de reconcevoir totalement le système de production de façon à tirer parti au maximum des fonctionnalités des écosystèmes sans les dégrader (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt 2014).

D'une agriculture conventionnelle s'appuyant sur un choix technique préétabli, l'AE pourrait complexifier les itinéraires techniques (Lasserre et al., 2016). Premièrement, les leviers permettant de répondre aux objectifs visés par l'AE reposent sur des connaissances scientifiques et leur mise en œuvre suppose un effort d'observation accru et une réflexion élargie (Griffon et Ribier, 2006 ; Bournigal et al., 2015). C'est une approche qui requiert un apprentissage pas à pas (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2014) et qui nécessite d'ajuster continuellement les décisions selon les conditions environnementales (Griffon et Ribier, 2006 ; Bournigal et al., 2015). Une analyse des performances sociales a en effet montré une légère dégradation des conditions de travail (Schaller, 2013), due à une gestion plus complexe et des potentielles difficultés d'organisation et d'accès aux connaissances requises (Schaller, 2013). Deuxièmement, les pratiques agroécologiques peuvent être plus intensives en travail (Rouillé, 2013), par des augmentations de temps de travail d'observation et de tâches physiques (Rouillé, 2013 ; Schaller, 2013). Par conséquent, il est essentiel d'apporter l'assistance nécessaire à l'agriculteur pour pallier ces difficultés. Cela se traduit par une aide à la collecte d'informations et par des moyens de faciliter l'observation, l'interprétation (Bournigal et al., 2015) et la pénibilité. Dans un contexte où la transition agroécologique des exploitations est vivement encouragée par une volonté gouvernementale et sociétale, il s'avère pertinent d'identifier des solutions, dont l'AP, qui pourraient accompagner les agriculteurs dans cette démarche et les aider à faire face aux contraintes qu'elle peut engendrer.

2.2 L'agriculture de précision, une agriculture potentiellement au service de l'agroécologie

1.2.1. *Les données, une source d'informations*

L'AP se définit comme une stratégie de gestion qui rassemble, traite et analyse des données temporelles, spatiales et, dans le cas de l'élevage, individuelles et les combine avec d'autres informations pour aider l'agriculteur à gérer cette variabilité pour améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources, la productivité, la qualité, la rentabilité et la durabilité de la production agricole (Reichardt et Jürgens, 2009 ; Aubert et al., 2012 ; ISPA, 2018). C'est face à une utilisation excessive d'énergie et d'intrants que cette nouvelle approche de l'agriculture, fondée sur l'intégration de technologies de l'information et de la communication, a émergé dans les années 80. Dans la mesure où l'agriculture devait améliorer sa compétitivité et la qualité de ses produits tout en respectant mieux l'environnement, l'AP permettait d'envisager des réponses adaptées à ces différents objectifs (Zwaenepoel et Le Bars, 1997). L'utilisation accrue d'informations et de connaissances sur laquelle elle repose est permise par la collecte de données. Elle repose sur l'utilisation accrue d'informations et de connaissances, qui est permise par la collecte de données (Zwaenepoel et Le Bars, 1997). L'accès à ces informations massives jusque-là inaccessibles (Jeanneaux, 2018) offre d'importantes possibilités au niveau de la production agricole.

1.2.2. Les technologies de précision en soutien aux agriculteurs

Les possibilités offertes par l'AP répondent à certains enjeux environnementaux et certaines problématiques liées au travail. Plus on cherche à adapter l'agriculture à son environnement, plus on a besoin de données, d'observations et de diagnostics pour mieux comprendre son système (Bellon Maurel et Huyghe, 2017). L'efficience des intrants apportés pourrait être améliorée et les fuites vers l'environnement réduites par un ajustement des apports aux stricts besoins grâce aux technologies de précision (Pellerin et Martinez, 2015). Ces technologies de précision ont également accompagné l'évolution du machinisme. La réduction de la main d'œuvre agricole, les attentes des éleveurs sur de la libération de temps ou encore la recherche de productivité sont à l'origine de l'intérêt grandissant pour des solutions qui permettraient de gagner du temps (Smith et Lehr, 2011). L'AP, que ce soit en

production végétale ou en production animale, permettrait de réduire la charge de travail (Hostiou, 2014 ; Duroy, 2016 ; Lasserre et al., 2016). L'arrivée de la robotique pourrait permettre de soulager les agriculteurs de certaines tâches physiques (Lasserre et al., 2016) et l'automatisation avec l'aide au pilotage développé dans le machinisme permet de minimiser les risques d'erreurs humaines et simplifie le travail (Lasserre et al., 2016). Ces améliorations permettraient de gagner jusqu'à 10% de temps sur la conduite de tracteur (Lasserre et al., 2016). D'autre part dans des conditions où le pilotage du système nécessite de s'appuyer sur la diversité des supports biologiques et leurs capacités d'adaptation, confier en partie l'acquisition et/ou la gestion d'informations multiples et variées à un système d'information pourrait réduire la charge mentale de l'agriculteur (Bocquier et al., 2016). De plus, l'AP contribue à réduire la part d'approximation et d'incertitude liée aux choix de l'exploitant et à sécuriser sa prise de décision (Zwaenepoel et Le Bars, 1997 ; Bocquier et al., 2016).

1.2.3. L'agriculture de précision pour quel type de pratiques agricoles

Les technologies numériques sont souvent associées à une agriculture intensive ce qui peut parfois amener à penser que l'AE et l'AP sont incompatibles (Bellon Maurel et Huyghe, 2017). De plus, la popularité de l'AP est initialement liée à son efficacité dans l'optimisation des intrants de synthèse (Zwaenepoel et Le Bars, 1997), alors que les exploitations agroécologiques souhaitent les supprimer. Dans le cas de l'élevage de précision, le contexte de développement en élevage extensif est différent de celui observé en élevage intensif et les besoins des éleveurs dans ces systèmes restent à identifier. En effet, les études réalisées donnent peu de place à l'agriculteur et à ses perceptions dans le processus d'innovation (Bocquier et al., 2016). De plus, le faible attrait des agriculteurs engagés dans une démarche agroécologique pour les technologies de précision couplé à un manque d'interactions entre les différents acteurs impliqués dans leur déploiement constitue un frein quant au développement des nouvelles technologies à visée agroécologique (Bellon Maurel et Huyghe, 2017).

Le développement de l'AP promet de nouvelles possibilités dans le monde agricole. Des capteurs de plus en plus miniatures, perfectionnés par des technologies nouvelles (fréquences térahertz, imagerie thermiques…) issues d'autres domaines, permettront par exemple de détecter précocement des maladies ou les stress des plantes (Lasserre et al., 2016). Les avancées technologiques ne sont pas destinées uniquement à l'agriculture conventionnelle mais concerneraient toutes les agricultures (Cacquet et al., 2020). L'accès aux données d'exploitation pourraient favoriser la diversification des cultures, des rotations, des activités, l'autonomie en intrants, la valorisation des ressources spécifiques territoriales et l'économie circulaire (Jeanneaux, 2018). Cependant, les agroéquipements et les technologies n'en sont qu'à leurs débuts dans leur soutien à l'AE (Bournigal et al., 2015 ; Cacquet et al., 2020). L'étude poussée du sol, compartiment majeur jouant un rôle important dans le bouclage des cycles biogéochimiques et de l'eau, pourrait par exemple permettre de créer de nouveaux outils pour une meilleure gestion (Bournigal et al, 2015).

2.3 Problématique et objectifs de l'étude

La volonté du gouvernement de mener l'agriculture française dans une transition agroécologique s'est affirmée à travers le vote de la loi d'Avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt en 2014. Encore très méconnue auprès des agriculteurs, des mesures ont été prises pour les inciter à se tourner vers l'AE et les accompagner dans cette transition agroécologique. L'agriculture numérique dont l'AP est parfois présentée comme un levier d'action pour soutenir cette transition (Bournigal et al., 2015). Nous vivons actuellement une révolution avec l'arrivée des applications, services, données, robots, drones (Lasserre et al., 2016). La différence dans la manière d'appréhender le système entre l'AP avec une approche analytique et l'AE avec

une approche systémique, pourrait révéler une potentielle complémentarité entre ces deux approches. En effet, il semble qu'il y ait des similitudes entre les possibilités qu'offrent aujourd'hui les technologies de l'AP et les besoins relevés en AE même si certaines composantes de l'AP pourraient être en contradiction avec les fondamentaux de l'AE. Cependant, l'intersection du secteur de l'AE avec celui de l'AP en 2020 révèle un no man's land scientifique du côté de la recherche qui contraste avec les conventions qui poussent à déployer l'AE (Caquet et al., 2020). De plus, initialement développé dans une logique productiviste (Déléage, 2011), le marché actuel de l'AP ne présente pas ou peu d'outils développés spécifiquement pour répondre aux problématiques de l'AE. Pourtant, il semblerait que les possibilités offertes par les technologies de l'AP puissent répondre à certaines problématiques liées à l'AE telles que la recherche de réduction des intrants, l'amélioration des conditions de travail et l'acquisition d'informations permettant d'accompagner l'agriculteur dans ses pratiques.

Il est alors intéressant de se questionner sur la place de l'AP dans la transition agroécologique. Cette interrogation formule la problématique générale de cette étude et s'articule autour d'une question principale : la transition agroécologique pourrait-elle être soutenue par l'agriculture de précision ?

Cette problématique générale amène à s'interroger autour des possibilités offertes par ces technologies et de leur(s) atout(s) potentiel(s) pour l'AE ainsi que sur l'adaptation de ces outils aux exploitations agroécologiques, aux motivations et verrous des différents acteurs impliqués dans le déploiement des technologies de l'AP. Elle permet d'aboutir à la définition de trois axes de travail. Le premier va s'intéresser à la relation entre l'AP et les fondamentaux de l'AE, dans le sens que l'AP : i) permet une meilleure optimisation des cycles biogéochimiques, ii) apporte un niveau de connaissance supérieur de son système, iii) induit des changements au niveau des dimensions du travail. Le deuxième axe de travail s'intéresse aux acteurs impliqués dans le déploiement des technologies de l'AP et leur contribution dans cette transition : les acteurs peuvent avoir des avis divergents concernant la place de l'AP dans la transition agroécologique. Le troisième axe de travail s'interroge sur l'adaptation des technologies de l'AP pour les exploitations en transition agroécologique : les outils présents sur le marché : i) ne sont pas ou peu adaptés aux exploitations en transition agroécologique, ii) ne répondent pas ou peu aux attentes des agriculteurs.

Les objectifs de ce travail visent à apporter des éléments de réponse sur la place de l'AP dans la transition agroécologique. L'étude s'intéresse d'une part aux opinions des différents acteurs du monde agricole sur la thématique ainsi qu'à leurs relations. Chacun des différents acteurs impliqués dans le déploiement des technologies de précision, des concepteurs aux utilisateurs, ont un rôle à jouer dans la transition agroécologique en lien avec l'AP. D'autre part, elle vise à identifier et évaluer les usages, les besoins et les freins en termes de technologies de précision mais elle s'intéresse également à leurs perspectives d'évolution et leur potentiel contribution à venir dans les exploitations en transition agroécologique. Dans ce cadre, on s'intéresse aux exploitations d'élevages ruminants et de grandes cultures écologisées, c'est-à-dire des exploitations qui mettent en place des pratiques agroécologiques.

3 CADRE METHODOLOGIQUE DE LA PROBLEMATIQUE

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, trois méthodes ont été mobilisées : i) une analyse de la littérature scientifique, ii) une analyse de la presse professionnelle et iii) des entretiens auprès d'acteurs.

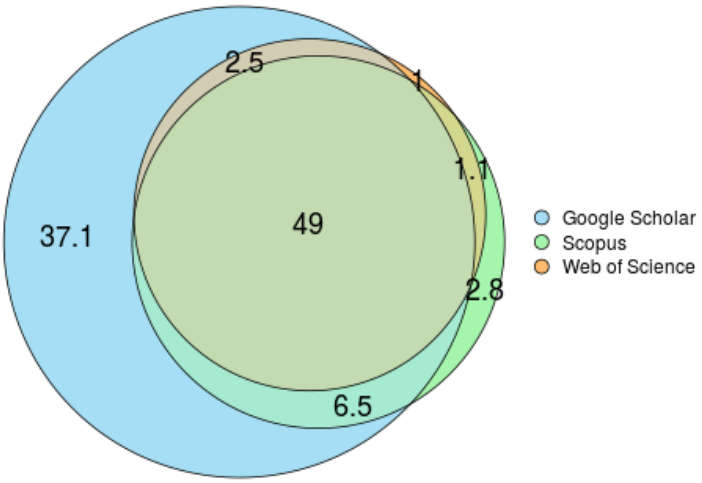


Figure 1 : Evaluation de la couverture des travaux scientifiques (en pourcentage) dans le domaine agricole entre trois bases de données Web Of Science, Scopus et Google Scholar (Martin et al., 2018)

69 805 références sont signalées à la fois dans Scopus, Google Scholar et le Web Of Science dans les domaines de l'agronomie et la science végétale, la biodiversité et la biologie des conservation, la zoologie, l'écologie, l'élevage, l'éthologie, la lutte contre les ravageurs et les pesticides, la phytopathologie et le développement durable. L'échantillon utilisé dans cette étude est tiré du Classic Papers de Google Scholar. La figure montre que 49% des citations ont été trouvées par les trois bases de données. Seulement 4,9% des citations ont été trouvées par le Web Of Science et Scopus et non par Google Scholar tandis que 37,1% n'ont été trouvées que par Google Scholar. Si l'on compare Scopus avec le Web of Science, 9,3% des citations n'ont été trouvées que par Scopus contre 3,5% par le Web Of Science.

Tableau 1 : Construction des requêtes par combinaison de mots-clés pour chacun des thèmes (agriculture de précision, agroécologie, systèmes alternatifs, grandes cultures, élevage ruminants)

THEMES		**REQUETE ASSOCIEE**
Mode de production	Agriculture de précision	1. « Precision farming » OR « precision agricultur* » OR « digital farming » OR « smart farming » OR « precision livestock » OR «precision crop management » OR « smart agriculture »
	Agroécologie	2. Agroecolog* OR agro-ecolog*
	Systèmes alternatifs	3. Agroecolog* OR agro-ecolog* OR "biodiversity-based farming" OR "diversified farming" OR "ecological arable farming" OR integrated OR ecoagriculture OR biodynamic OR permaculture OR organic OR "conservation agriculture" OR low-input OR "reduced input" OR silvopastoralism OR extensive OR intercrop* OR low-intensity OR "no tillage" OR "minimum tillage" OR "reduced tillage" OR "strategic tillage"
Type de production	Grandes cultures	4. Crop* OR wheat OR maize OR soybean OR rice OR field OR arable OR corn
	Ruminants	5. Beef OR dairy OR sheep OR goat OR suckl*

3.1 Cadre d'étude

Bien que le projet LIFT dans lequel s'inscrit ce stage concerne l'ensemble des productions agricoles, l'UMR territoire a fait le choix de se centrer sur deux productions dominantes du Puy-de-Dôme (63), l'élevage de ruminants pour la partie animale et les grandes cultures pour la partie végétale. Ces productions sont également largement représentées sur l'ensemble du territoire, avec un cheptel ruminants de 27,4 millions de têtes en 2017 répartis dans 225 641 exploitations (Idèle, 2018) et 310 000 exploitations en grandes cultures, avec 15 millions d'hectares de SAU en 2010 (Rosenwald, 2012). Pour ces raisons, la zone d'étude considéré dans le cadre de ce travail a été élargie à l'ensemble du territoire français. Les nouvelles technologies sont développées dans ces productions : le taux d'équipement en robot de traite a doublé entre 2010 et 2015 dans les exploitations laitières (Allain et al., 2016) et 8 770 élevages bovins se sont équipés de boucles RFID (au 1er janvier 2019) alors qu'elles sont rendues obligatoires en caprin et en ovin (Duroy, 2016). En grandes cultures, le réseau be Api revendique 100 000 ha de grandes cultures engagées dans l'AP (Lecocq, 2018). Des similitudes mais également des différences pourraient être relevées selon qu'il soit question d'élevage ou de culture sur la thématique de l'AE et du lien à l'AP.

3.2 Bibliométrie scientifique associant agroécologie et agriculture de précision

Les articles de la recherche scientifique sont révélateurs des questions d'actualités et des perspectives de développement. Les objectifs de cette bibliométrie étaient i) par une analyse quantitative, d'évaluer l'intérêt de la recherche mondiale et française pour l'AE en lien avec l'AP en grandes cultures et en élevage ruminants et ii) par une analyse qualitative, d'identifier le contenu des articles faisant le lien entre ces deux thématiques, permettant de pointer les problématiques présentes dans la communauté scientifique.

3.2.1 Choix de la base de données

Les trois principales base de données reconnues à l'international sont le Web Of Science, Scopus et Google Scholar. Elles rassemblent un très grand nombre de références scientifiques et permettent d'avoir une bonne vision des travaux scientifiques réalisés à l'échelle mondiale. D'après l'étude de Martin et al. (2018), la base de données Google Scholar offre la couverture la plus importante des travaux de recherches disponibles sur le web (Figure 1). Cependant, l'opacité des sources et l'absence d'exhaustivité des informations extraites ne permettent pas de garantir une évaluation fiable (Kosmopoulos et Pumain, 2008) expliquant pourquoi elle n'a pas été pas retenue dans l'étude. Comprenant 58,3% de la littérature mondiale sur nos thématiques d'intérêt (Figure 1), Scopus semble être la base de données la plus adaptée pour l'étude et a donc été retenue pour les requêtes décrites ci-dessous.

3.2.2 Choix des mots-clés et construction des requêtes

Afin d'effectuer un état des lieux des articles scientifiques sur la thématique de l'AP en exploitations d'élevage ruminants et de grandes cultures écologisées, les mots-clés ont été recensés pour chacun des thèmes d'intérêt : l'AP, l'élevage de ruminants, les grandes cultures et les exploitations écologisées (Tableau 1). Pour représenter les articles traitant des exploitations écologisées, le choix s'est porté sur les mots-clés directement liés à l'AE et a également été élargi aux systèmes alternatifs, parfois inclus dans le champ de l'AE. Ils ont été choisis à partir du champ lexical défini dans le projet LIFT (Rega et al., 2018) (Annexe 1). La recherche bibliographique dans la base de données Scopus a été effectuée à partir de l'année 2000, période où les concepts d'AP et d'AE ont commencé à prendre de l'ampleur dans le monde. Le choix de recherche s'est porté sur l'ensemble des documents disponibles afin d'avoir un panel le plus large possible des articles de recherche existants. Les mots-clés choisis ont été recherchés dans les titres, les résumés et les mots-clés des articles. Une

Tableau 2 : Croisement des requêtes (agriculture de précision, agroécologie, systèmes alternatifs, grandes cultures, élevages)

AP = Agriculture de précision, AE = Agroécologie , SA = Systèmes alternatifs

#1 requête agriculture de précision ; #2 requête agroécologie ; #3 requête systèmes alternatifs ; #4 requête grandes cultures ; #5 requête ruminants

	Grandes cultures et ruminants	**Grandes cultures**	**Ruminants**
AP	(#1 AND (#4 OR #5))	(#1 AND #4)	(#1 AND #5)
AE	(#2 AND (#4 OR #5))	(#2 AND #4)	(#2 AND #5)
SA	(#3 AND (#4 OR #5))	(#3 AND #4)	(#3 AND #5)
AP + AE	((#1 AND #2) AND (#4 OR #5))	((#1 AND #2) AND #4)	((#1 AND #2) AND #5)
AP + SA	((#1 AND #3) AND (#4 OR #5))	((#1 AND #3) AND #4)	((#1 AND #3) AND #5)

requête a été effectuée pour chacun des thèmes d'intérêt et s'est construite en combinant les mots-clés via l'utilisation de l'opérateur booléen « or ». Les quantités d'articles obtenus permettent d'évaluer le niveau d'intérêt du monde scientifique pour chacun des thèmes, à l'échelle mondiale et à celle de la France, que ce soit en grandes cultures ou en élevage ruminants. Dans un troisième temps, des requêtes croisées ont été réalisées sur « AP », avec les productions d'intérêt et l'AE, puis avec les systèmes alternatifs. Les résultats (nombre d'articles) donnent une indication du niveau de lien qui est fait dans le domaine de la recherche entre l'AP et les systèmes alternatifs ou l'AE dans les productions d'intérêt (Tableau 2).

3.2.3 Méthode d'analyse

Tout d'abord, une analyse quantitative, en retenant le nombre d'articles au niveau mondial et pour la France, a été réalisée pour évaluer l'intérêt de la recherche sur les liens entre AP et AE pour les productions considérées dans ce stage (ruminants et grandes cultures). Ensuite une analyse qualitative a été conduite sur les articles traitant de l'AP en lien avec l'AE dans le monde (61 articles). Un premier traitement de ces 61 articles, à partir de la lecture des résumés, a permis d'identifier les articles dont le contenu ne correspondait pas aux objectifs de recherche (Annexe 2). Ils ont été éliminés pour plusieurs raisons : ils traitaient de productions différentes de celles considérées dans ce stage, l'ensemble de mots « conditions agroécologiques » était évoqué dans le résumé mais l'article ne traitait pas de l'AE ou encore le terme « agriculture intelligente » pouvait faire référence à « l'agriculture intelligente pour le climat » qui n'est pas de l'AP dans le sens où il a été défini dans ce stage. Ainsi, 24 articles ont été sélectionnés comme des articles d'intérêt. Afin d'avoir une analyse fine de leur contenu, un tableau avec cinq entrées a été réalisé (référence de l'article, date de publication, contenu de l'article, importance du lien entre l'AP et l'AE et la(les) production(s) concernée(s)) (Annexe 3). Ces résultats d'analyse ont été mobilisés pour compléter le point de vue des enquêtés.

3.3 Bibliométrie de la presse professionnelle associant agroécologie et agriculture de précision

La presse professionnelle agricole est très au fait des questions d'actualités et a une vision d'ensemble sur ce qui se passe aux différentes échelles du territoire. L'objectif de l'analyse de la presse professionnelle était d'évaluer la popularité du lien entre l'AP et l'AE et d'identifier le contenu des articles faisant le lien entre les deux approches. Il s'agit de proposer un aperçu des problématiques et des tendances présentes dans le monde agricole.

3.3.1 Choix des supports de communication

L'étude s'est concentrée sur l'analyse de deux hebdomadaires agricoles spécialisés : La France agricole et Réussir (Lait, Chèvre, Pâtre, Bovin viande et Grandes cultures). Ces deux hebdomadaires ont une couverture nationale et sont bien connus des professionnels du monde agricole, avec un nombre important de diffusions. De plus, il était possible d'avoir accès aux supports web pour l'analyse.

3.3.2 Méthode d'analyse

Une analyse qualitative des articles traitant de l'AP en lien avec l'AE a été effectuée pour chacun des supports de communication. L'outil de recherche sur les des sites web de ces revues ne pouvant combiner deux mots-clés, c'est par le terme « précision » que les articles ont été recherchés. Les 38 articles retenus ont été analysés plus précisément. Pour cela, un tableau Excel à trois entrées a été réalisé avec la référence de l'article, sa date de parution et son contenu explicitant le lien qui est fait entre l'AP et l'AE (Annexe 4). Ces articles ont été également mobilisés pour compléter le point de vue des acteurs issus des enquêtes.

Tableau 3 : Choix des acteurs de la filière agricole à enquêter

Acteurs	Types d'acteurs	Nombre d'acteurs enquêtés	Types de production	
Chercheurs	Chercheurs Enseignants-chercheurs Ingénieurs d'instituts techniques Structures publiques ou privées	9	Cultures et ruminants : 4 Cultures : 2 Elevage : 2	
Animateurs /conseillers	Conseillers de chambre d'agriculture Conseillers de structure privée Journalistes Pôle de compétitivité Tête de réseau Syndicats Coopératives	12	Cultures et ruminants : 12	
Equipementiers	Start-up Entreprise de robotique Grosses entreprises reconnues	8	Cultures : 6 Ruminants : 2	
Agriculteurs	Agriculteurs	7	Grandes cultures 130ha	Agriculture biologique GPS
			Grandes cultures 120ha	Agriculture biologique CUMA équipée
			Grandes cultures 240ha	Agriculture raisonnée Equipé
			Grandes cultures 150ha	Agriculture conventionnelle Non équipé mais agri inventeur
			Polyculture-élevage 200ha – 150VL	Agriculture biologique Robots de traite
			Elevage 115VL	Agriculture biologique Robot de traite
			Elevage	Berger salarié Participant au hackathon pastoral 2020

3.4 Recueil d'informations par des enquêtes auprès d'acteurs agricoles

L'objectif des enquêtes visait à interroger les différents acteurs de la filière agricole susceptibles d'être impliqués dans les questions d'AP et d'AE afin d'identifier leur point de vue sur la place de l'AP dans cette transition et les perspectives en termes de freins, de motivations et des moyens à mettre en œuvre à l'utilisation de l'AP en AE.

3.4.1 Critères de sélection des enquêtés

Dans le cadre de ce stage, les enquêtes ont été centrées sur la France. Les acteurs impliqués dans le déploiement des technologies de précision ont été identifiés selon leur lien avec les technologies de l'AP : les acteurs qui les produisent, qui communiquent dessus, qui les commercialisent et ceux qui les utilisent. Quatre catégories ont ainsi pu être distinguées, comprenant les chercheurs, les animateurs et conseillers, les équipementiers et les agriculteurs (Tableau 3). La sélection des personnes à enquêter visait à rechercher une diversité de métiers mais aussi des différences de position par rapport à l'AE ou l'AP. Les acteurs enquêtés devaient s'exprimer majoritairement en élevage ruminants ou en grandes cultures, ou devaient avoir des connaissances sur les deux productions. Un des chercheurs (C5) s'exprime au nom de l'Observatoire des usages de l'agriculture numérique. Des critères supplémentaires et spécifiques aux catégories ont été construits. Concernant les équipementiers, ce sont des différences de technologies proposées et de structures : des start-up qui sont des entreprises proposant des outils ou des services innovants sur un marché encore peu développé, des petites entreprises ainsi qu'également des entreprises dites incontournables, connues et répandues dans toute la France. Une diversité en taux d'équipement et en engagement agroécologique était attendu pour l'échantillonnage des agriculteurs (Tableau 3).

Les contacts des acteurs ont été recueillis en mobilisant différentes méthodes : le réseau professionnel des encadrants du stage, des articles de presse, les réseaux sociaux Facebook et Linkedin et les salons agricoles et la méthode « boule de neige », en demandant aux premières personnes enquêtées des contacts qui pourraient témoigner sur le sujet. Les contacts des chercheurs, des animateurs/conseillers et des agriculteurs ont été principalement recueillis via le réseau professionnel ou au travers d'articles de presse/publications sur la thématique de l'AP et l'AE. Ces méthodes permettaient de connaître l'opinion de ces acteurs par rapport à l'AP et l'AE. Pour les animateurs, la position des institutions qu'ils représentaient était souvent clairement affichée. La méthode « boule de neige », en demandant aux personnes enquêtées des contacts qui pourraient témoigner sur le sujet, a permis de compléter l'échantillon. Concernant les équipementiers, un déplacement au Salon International de l'Agriculture 2020 à Paris a été réalisé afin de les rencontrer et prendre des contacts. En parallèle, des entreprises ont été contactées à partir de la liste des exposants du salon Tech&Bio 2019 et d'autres par l'intermédiaire de leur site internet. Avec cette catégorie d'acteurs, un taux de réponse favorable assez faible (36,4%) a été essuyé : certains ont répondu qu'ils étaient indisponibles prétextant le contexte particulier du covid-19, d'autres qu'ils ne sauraient s'exprimer sur les questions d'AE.

Au final, l'échantillon des personnes enquêtées était constitué de 36 acteurs dont 9 chercheurs, 12 animateurs/conseillers, 8 équipementiers et 7 agriculteurs. Parmi ces 36 acteurs, 17 ont pu s'exprimer sur l'élevage ruminants et les grandes cultures, 12 uniquement sur la partie culture contre 6 sur la partie élevage. L'échantillon était donc légèrement déséquilibré en faveur de la partie culture (Tableau 3).

3.4.2 Guide d'entretien et conduite des enquêtes

Le but des enquêtes étant de recueillir des avis et témoignages des différents acteurs et donc de les faire s'exprimer, des entretiens qualitatifs et semi-directifs ont été menés. Ils se

Tableau 4 : Codes utilisés pour représenter les expressions des acteurs sur les variables identifiées

Variable pas évoquée	
Variable mentionnée mais sans avis	**X**
Variable avec avis positif	**+**
Variable avec avis négatif	**-**
Variable avec avis mitigé	**+/-**
Pas su répondre à la question	**?**

sont déroulés par téléphone et ont été enregistrés soit via un enregistreur vocal si l'utilisation du haut-parleur était possible, soit via une application d'enregistrement de conversations téléphonique dans le cas contraire. Les entretiens avec les agriculteurs étaient initialement prévus en face à face mais les circonstances exceptionnelles liées au covid-19 ont conduit à les effectuer par téléphone. Par conséquent, des choix visant à raccourcir le guide d'entretien qui leur était destiné ont été réalisés avec des parties moins développées telles que la description de l'exploitation ou leur trajectoire.

Etant donné la diversité de métier des acteurs, des guides d'entretien spécifiques ont été construits pour les équipementiers, les chercheurs/animateurs/conseillers et les agriculteurs (Annexe 5). La première partie, commune aux trois guides, consistait à interroger le profil de l'enquêté. La suite de l'entretien était construite sur les trois axes de travail définis dans la problématique de cette étude. Premièrement, leur opinion sur l'utilisation de l'AP en exploitation écologisée a été demandé avec pour objectif d'évaluer le niveau de compatibilité entre les deux approches pour l'enquêté. Deuxièmement, différentes questions adaptées selon le statut de l'enquêté permettaient de récupérer des informations sur la relation qu'il voyait entre l'AP et l'AE. Pour finir, les besoins en technologies de précision ont été interrogés afin d'identifier les manques et les besoins.

3.4.3 Dépouillement et analyse des enquêtes

L'analyse des données des enquêtes fait suite à une démarche inductive (Blais et Martineau, 2006) qui a nécessité de nombreux aller-retour entre les données des enquêtes et les analyses réalisées. Deux grandes étapes d'analyse ont été réalisées : le recueil des données et la construction de variables à partir de regroupements d'idées proches provenant des enquêtes.

Dans une première étape, les premiers entretiens ont été retranscrits dans leur quasi-totalité sur Word. Une fois la méthode d'analyse des enquêtes établie, les enregistrements ont été retranscrits partiellement car il était plus facile d'identifier les éléments intéressants pour l'étude (Annexe 5). Un premier document Excel V0 reprenant les grands thèmes des questions du guide d'entretien (lignes du tableur) et les enquêtes (colonne du tableur) a été construit pour d'une part, identifier les éléments de réponse les plus importants pour chaque enquêté et d'autre part, mettre les différents entretiens en comparaison. Les grandes questions de l'étude, à savoir la relation entre l'AP et les fondamentaux de l'AE, la compatibilité entre les deux approches et le niveau d'adaptation des technologies de précision et besoins, ont permis de distinguer trois blocs qui ont constitué un nouveau document Excel V1. Dans chacun de ces blocs, les éléments de l'enquête ont été classés en différentes catégories. Par exemple, pour le bloc « relation entre l'agriculture de précision et les fondamentaux de l'agroécologie », les catégories « connaissances », « social », « autonomie/indépendance » et « environnement » ont été identifiées (Annexe 6). Les éléments de réponse apportés par les acteurs ont été rentrés par catégorie et par acteur dans ce document V1.

Dans la seconde étape, le tableau d'analyse final sous Excel a repris les blocs et les catégories de réponses du tableau V1. Pour chaque catégorie, des variables ont été identifiées à partir des éléments de réponses des acteurs pour rassembler des idées similaires. Par exemple, pour la catégorie « connaissances » du bloc « relation entre l'agriculture de précision et les fondamentaux de l'agroécologie », quatre variables ont été identifiées : « objectiver des savoir-faire/observations », « acquisition d'information », « accès à des données jusque-là inaccessibles », « enregistrement de données ». Un code a été formalisé selon le type de réponses des enquêtés (Tableau 4). Afin d'illustrer les variables, des verbatims ont été prélevés des retranscriptions, par exemple pour mettre en évidence la diversité des réponses avec deux avis très opposés ou encore faire ressortir un point de vue atypique.

Tableau 5 : Nombre d'articles obtenus lors de l'analyse bibliométrique sur les thématiques de l'AP, des systèmes alternatifs et de l'AE en productions ruminants et grandes cultures

Agriculture de précision = AP ; Agroécologie = AE ; SA = Systèmes alternatifs

« / » signifie que le classement n'apparaît pas car il n'y a pas d'articles français

**proportion d'articles de la production considérée par rapport au nombre d'articles des deux productions confondues à l'échelle mondiale*

	Ruminants et Grandes cultures			**Ruminants**				**Grandes cultures**			
	Monde	**France**		**Monde**		**France**		**Monde**		**France**	
	Articles	**Articles**	**Classement mondial**	**Articles**	**Proportion ***	**Articles**	**Classement mondial**	**Articles**	**Proportion ***	**Articles**	**Classement mondial**
AP	7072	235	11	352	5%	36	2	6784	95,9%	205	11
AE	5256	525	2	365	7%	48	3	5006	95,2%	494	2
SA	401350	19056	7	18501	4,6%	939	7	387147	96,5%	18306	7
AP + SA	1230	29	13	48	3,9%	3	7	1200	97,6%	27	13
AP + AE	61	8	3	2	3,3%	0	/	61	100%	8	3

4 RESULTATS

Les objectifs de l'étude ont été poursuivis à travers l'analyse quantitative et qualitative i) de la bibliométrie scientifique et de la presse professionnelle associant AP et AE. Ces résultats sont venus compléter l'analyse des enquêtes auprès des acteurs, qui seront présentés dans une deuxième partie, sur ii) la place de l'AP en AE, iii) la relation entre l'AP et les fondamentaux de l'AE et iv) les technologies de précision dans les exploitations écologisées. Sur les 36 acteurs interrogés, tous ne se sont pas exprimés sur tous les sujets.

4.1 Analyse de la bibliométrie scientifique et de la presse professionnelle associant agriculture de précision et agroécologie

Les objectifs de la bibliométrie visent à rendre compte de l'intérêt porté aux questions d'agriculture de précision en lien avec l'agroécologie et identifier les problématiques liées dans la communauté scientifique et dans la presse professionnelle.

4.1.1 Etat des lieux sur les travaux de recherche associant agriculture de précision et agroécologie

Les trois requêtes bibliographiques réalisées sur l'AP, l'AE et les systèmes alternatifs aux échelles Monde et France montrent une augmentation progressive du nombre d'articles dans les années 2000 et 2010, puis une accélération à la fin des années 2010. Par exemple, le nombre d'articles a doublé entre 2017 et 2019 pour l'AP. Si la France n'apparaît pas comme un pays fortement contributeur en AP (11ème position au niveau mondial), sauf pour les questions relatives à l'élevage ruminants, elle apparaît comme l'un des pays leader pour l'AE en se plaçant à la deuxième place en nombre de publications scientifiques. Il est intéressant de constater une augmentation du nombre d'articles à partir de 2013 avec 30 articles produits par an à plus de 70 en 2018, ce qui concorde avec le vote de la Loi d'Avenir en 2014 et les encouragements en provenance du gouvernement à aller vers plus d'AE. Une tendance à la baisse en 2019 est également observée.

Lorsque la requête AP est croisée avec celle des systèmes alternatifs puis de l'AE, respectivement 1230 et 61 articles sont référencés à l'échelle mondiale (grandes cultures et élevages ruminants confondus). Cela signifie que seulement 0,3% et 1,16% du total des articles traitant des systèmes alternatifs et de l'AE font le lien avec l'AP (Tableau 5). Cependant, au vu de la dynamique croissante des publications observée aux échelles France et Monde ces cinq dernières années, il semblerait que la recherche se soit emparée de ces questions. Après analyse des 61 articles référencés suite à la combinaison des requêtes AP et AE, 24 ont été retenus comme articles faisant le lien entre les deux thématiques dans le sens où elles ont été définies dans le cadre de ce travail, dont 17 ont été publiés depuis 2017 (Annexe 3). Deux articles proposent une analyse générale sur l'utilisation de l'AP pour l'AE[1]. Ensuite, les problématiques s'articulent principalement autour de la modulation des intrants avec cinq articles traitant de la gestion de l'hétérogénéité intra-parcellaire (sur la base de carte des sols ou télédétection, …), cinq sur la gestion des adventices (détection hyper-spectrale, pulvérisation automatisée, …), trois sur la gestion de l'eau (nivellement des terres assisté par laser) et un sur la gestion des maladies. Il est intéressant de remarquer que pour six articles, l'AP n'était pas au centre mais était plutôt proposée comme une piste d'amélioration.

Les articles abordant l'élevage ruminants sont peu représentés comparés aux grandes cultures pour chacune des thématiques considérées dans l'étude. En effet, entre 3,3 et 7% des articles traitant des deux productions à l'échelle mondiale intègre l'élevage ruminant.

[1] Van Hulst F., Ellis R., Prager K., Msika J. (2020). Using co-constructed mental models to understand stakeholder perspectives on agro-ecology. In : *International Journal of Agricultural Sustainability*. DOI: 10.1080/14735903.2020.1743553
Bellon-Maurel V., Huyghe C. (2017). Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology. In : *OCL*, vol 24 (3). DOI: 10.1051/ocl/2017028

4.1.2 Etat des lieux des articles de la presse professionnelle associant agriculture de précision et agroécologie

L'analyse de la presse professionnelle a permis de relever 570 d'articles répondant au mot-clé « précision » mais seulement 36 d'entre eux faisaient le lien avec l'AE (11/188 articles de Réussir Grandes Cultures, 3/123 pour Réussir Lait, 6/71 pour Réussir Bovin Viande, 6/36 pour Réussir Pâtre, 9/153 pour la France agricole) mais pas toujours de manière explicite. Les problématiques majeures en grandes cultures et en élevage tournent autour du désherbage mécanique avec six articles (GPS, robots, …) et autour du concept des Digifermes, avec quatre articles présentant ces fermes expérimentales dont l'objectif est de tester grandeur nature les technologies de précision et évaluer leur intérêt économique, pratique et environnemental. En grandes cultures, sept articles traitent de la réduction des intrants dans un but économique principalement (épandeur à engrais de précision pour la fertilisation, piège connecté pour les herbicides, outil d'aide à la décision pour les fongicides, …). En élevage de précision, ce sont plutôt des technologies liées à la gestion du pâturage qui sont présentées (trois articles sur les clôtures connectées, deux sur les clôtures virtuelles et leurs perspectives et six sur le pâturage de précision). Certains articles ne traitent pas de technologies de précision mais correspondent à des analyses de rapports : les premiers ont été écrits en 2015 au moment de la publication du Rapport Innovation 2025 qui promeut la place des agroéquipements dans l'AE. Dernièrement en début d'année 2020, c'est le Pacte Productif, rapport expert remis au gouvernement identifiant l'AP comme un secteur prioritaire permettant de favoriser l'évolution des systèmes vers l'AE.

4.2 Place de l'agriculture de précision en agroécologie

4.2.1 Compatibilité entre agroécologie et agriculture de précision

La majorité des acteurs (28/36) ont jugé l'AE et l'AP compatibles et considéraient généralement l'AP comme un outil, un levier technique pour répondre à des problématiques identifiées. Il existe cependant un gradient, entre ceux qui pensent qu'elle est compatible avec l'AE et ceux qui pensent qu'elle est indispensable : « *C'est quand même à un niveau technique supérieur à ce qu'on avait l'habitude de faire donc d'avoir accès à des outils ou des connaissances qui permettent d'être très précis sur ce qu'on fait ça permet de favoriser ces systèmes-là, c'est peut-être même indispensable* » (Equipementier(E)8). D'autres (6/36) les ont jugées plutôt compatibles mais émettent des réserves et recommandent une grande précaution d'utilisation comme cet agriculteur : « *Il ne faut pas se tromper à trouver une réponse technologique là où il faut peut-être se poser d'autres questions différentes* » (Agriculteur(A)3). Enfin un acteur n'avait pas d'opinion tandis qu'un autre a affirmé une incompatibilité « *On prend une légère courbe au lieu de changer complétement de direction* » (Animateur/Conseiller(AC)5).

Quelques acteurs (4/36) ont mis en avant le fait que l'AP n'est pas un facteur déterminant pour faire de l'AE : « *Y'a plus important à faire que l'agriculture de précision en transition agroécologique !* » (Chercheur(C)1) et d'autres s'inquiètent du risque d'enfermement dans un système où l'agriculteur ne peut plus évoluer « *Si on applique des phytos même localisé, si on ne fait pas tout le reste ça signifie qu'on appliquera toujours des phytos. On est devant un mur, on en utilise moins, point barre. Ce n'est pas une transition, ce n'est pas du pas à pas, c'est une solution qui n'a rien à voir avec de l'AE* » (AC3). Ces inquiétudes contrastent avec des propos d'autres acteurs, qui voyaient eux, cet accompagnement progressif comme nécessaire pour transiter d'une exploitation conventionnelle vers plus d'AE.

Par ailleurs, certains (6/36) ont constaté le fait que l'AP, initialement associée à une image de production intensive, commençait à être revisitée d'un point de vue écologique. Ces propos sont confirmés par la bibliométrie scientifique et la presse professionnelle. Sur les 24 articles scientifiques faisant le lien entre l'AE et l'AP, 17 articles ont été publiés entre 2017 et 2020 et la majorité des articles de presse ont été publiés après 2015 (30/37). Cela signifie que l'application de l'AP au service de l'AE est récente.

4.2.2 Niveaux d'écologisation concernés par l'agriculture de précision

32 acteurs se sont exprimés sur la question des niveaux d'écologisation où pourrait intervenir l'AP. Exceptée une partie d'entre eux qui ne savaient pas répondre à la question (5/32), la plupart ont répondu qu'elle pouvait intervenir sur les trois niveaux de changement : efficience, substitution des produits chimiques et reconception du système (20/32). Certains n'étaient pas fermés à l'idée qu'elle puisse intervenir sur les étapes de substitution et de reconception en plus du niveau d'efficience mais ne connaissaient pas forcément les technologies associés à l'une ou l'autre (4/32). Cette question a suscité des réactions très contrastées entre les acteurs : pour l'un, *« l'AP n'est que dans une approche d'efficience* » (AC5) tandis que pour l'autre « *associer l'AP au premier niveau d'efficience uniquement est réducteur* » (AC4). Des opinions divergentes sont également ressorties sur la place des technologies dans ces trois niveaux « *Je pense que les agriculteurs vont être vraiment demandeurs quand on va arriver sur la dernière étape* » (E8) alors qu'un des agriculteurs affirme, au contraire, que la reconception consiste à essayer de se passer de ces technologies.

La contribution de l'AP au premier niveau d'écologisation (efficience) était évidente pour tous les acteurs qui se sont exprimés sur la question. Sur ce point, les technologies de précision sont connues et répandues. En effet, la grande majorité des articles de presse professionnelle (8/13 en grandes cultures) traitent des technologies pour la gestion des intrants. Il est d'ailleurs intéressant de constater qu'aucun article n'évoque cette problématique en élevage. Cette orientation se confirme via l'analyse des travaux de recherche scientifique (14/21 en grandes cultures). Au contraire, les technologies relatives aux deuxième et troisième niveaux sont moins connus et moins répandus. Certains acteurs mettent en avant le fait que des travaux sont en cours pour les développer. Les articles étudiés dans l'analyse bibliométrique ne traduisent pas cette tendance.

4.3 Relation entre agriculture de précision et les fondamentaux de l'agroécologie

4.3.1 Agriculture de précision et environnement

La majorité des acteurs ont évoqué le gain environnemental qui pourrait être observé via l'utilisation de l'AP, mais à différents degrés. L'optimisation et la réduction des intrants sont des sujets qui ont été abordés par une majorité d'acteurs (21/36), une partie d'entre eux précisant que cette optimisation ou réduction permettait de diminuer le gaspillage et de limiter les fuites vers l'environnement. Ces éléments ont parfois été abordés sous l'angle économique : réduire les intrants pour réduire les charges. Un animateur nous confie qu'il pense que c'est clairement le point d'entrée : « *Je n'ai jamais rencontré un agriculteur très high-tech qui nous dit spontanément, « moi j'ai fait ça pour faire de l'AE »* » (AC12). L'analyse de la presse professionnelle montre en effet qu'avant d'avoir un effet positif sur l'environnement, c'est une recherche de rentabilité qui est mise en avant. Des perturbations de l'écosystème et des sols pourraient être atténuées selon quelques experts (4/36), avec une réduction des passages des tracteurs dans les champs induisant parallèlement une réduction de la consommation de carburant.

En parallèle, la plupart des acteurs ont évoqué le fait que l'utilisation des technologies de précision pourrait encourager les agriculteurs à faire évoluer leurs pratiques vers plus d'AE. Cependant, le coût écologique associé à la construction des outils, l'utilisation des données et le recyclage des matériaux a été mentionné par une partie des acteurs (7/36) « *C'est un équilibre entre j'améliore le suivi des performances mais je le paye ailleurs parce que ces capteurs ont quand même un coût écologique* » (C9). Pour un autre agriculteur, la balance est en faveur du numérique « *L'investissement d'énergie qu'on fait au départ est largement compensé par ce qu'on gagne après* » (A6).

4.3.2 Agriculture de précision et dimension sociale

La question des conditions de travail est une thématique qui est ressortie assez facilement dans les entretiens. Les acteurs sont plutôt unanimes quant aux effets positifs apportés par l'utilisation de l'AP sur le travail (diminution de la pénibilité, gain de temps ou gain en souplesse de travail, du confort, …). Parmi les acteurs avec qui cette thématique a été discutée (31/36), seulement trois d'entre eux nuancent leurs propos. Par exemple, un agriculteur qui s'exprime suite à l'acquisition d'un robot de traite "*Dans mon cas, j'ai toujours gardé le même rythme de travail avec ou sans robot. Ça n'apporte pas forcément de souplesse car en face de ça il y a aussi des contraintes qui sont des contraintes de disponibilité* » (A3).

La charge mentale a été abordée par un quart des acteurs, plutôt vue comme diminuée grâce à l'AP pour la plupart : l'accès à des indicateurs techniques pourrait conforter l'agriculteur dans ses observations, le rassurer dans ces choix et lui permettrait une meilleure évaluation des risques. Ces éléments seraient d'autant plus intéressants en AE comme le mentionne un acteur « *Il faut aller vers des couverts complexes, et très souvent quand vous dites quelque chose de complexe, c'est compliqué donc vous augmentez la charge mentale et quand vous augmentez la charge mentale, vous réduisez la volonté des gens d'y aller. […] Le fait d'avoir de l'AP qui vient se mettre là-dedans est une façon de faire baisser la charge mentale parce que la machine prend en charge une partie de la complexité* » (C7). Cependant deux d'entre eux mesurent leur propos, évoquant des problématiques liées à la prise en main et à l'utilisation des outils « *Mettre en place l'AP peut être source de stress* » (E7).

La notion du remplacement de l'humain par la machine est également ressortie au cours des entretiens (15/36). Sur ce sujet, les avis sont mitigés. Parmi les acteurs qui en ont parlé, une partie d'entre eux (8/15) ont un avis plutôt positif sur la question. Certains n'ont aucune crainte parce qu'ils estiment que la machine ne peut pas remplacer l'humain : les technologies de précision n'ont pas la capacité de considérer la totalité des facteurs à prendre en compte. L'œil, la prise de recul et la force de travail de l'Homme resteront indispensables. D'autres pensent que l'arrivée des machines va pallier le manque de main-d'œuvre, problématique prenant de l'ampleur en France. Dans ce cas, cela peut être vu comme une aubaine « *Dans cette période de crise du monde agricole, les nouvelles technologies peuvent être un moyen de suppléer à ce manque de main-d'œuvre dont on aura besoin pour maintenir la qualité* » (C2) ou susciter un questionnement « *Deux éleveurs utilisent un drone pour surveiller leurs vaches car ils ne sont que deux pour 400 vaches. Mais est-ce que c'est souhaitable, du point de vue social, d'avoir deux éleveurs pour 400 vaches ?* » (AC3). D'autres (2/15) émettent des inquiétudes à ce sujet voire une opposition totale « *L'AP ne peut pas soutenir la transition agroécologique dans le sens qu'on en a, qui est d'intégrer cette question sociale. Elle doit permettre de réinstaller les agriculteurs, recréer de l'emploi en zone rurale* » (AC5). Globalement, la grande majorité des entretiens a fait ressentir une préoccupation sur le sujet, où l'AP ne devait en aucun cas se substituer à l'agriculteur mais devait plutôt l'accompagner et le soutenir dans ses démarches.

4.3.3 Agriculture de précision et connaissances

La plupart des acteurs (22/36) ont abordé l'apport de connaissances permis par l'AP via l'acquisition d'informations. Certains ont développé leur propos en évoquant le fait que les technologies permettent d'objectiver des savoir-faire empiriques grâce à des indicateurs techniques (3/22), d'accéder à des données inaccessibles jusqu'à maintenant (3/22) et la possibilité d'enregistrer et conserver des données (7/22). Un agriculteur estime que ça a été un plus dans sa gestion d'exploitation « *C'est un outil qui permet de me rassurer. Les informations sont plus précises parce qu'elles ne sont pas juste interprétées parce qu'on pouvait voir en salle de traite avant. Elles sont beaucoup plus nombreuses donc c'est beaucoup plus facile de prendre une décision et puis ça permet un historique. Nous on traite en moyenne 65 VL, je ne prétends pas connaître ce qu'il s'est passé il y a neuf mois sur tous mes animaux* » (A3). L'accès à cette connaissance, à des indicateurs est perçu comme un

moyen d'accompagner l'agriculteur pour un meilleur pilotage, de l'aider dans ses choix afin d'évoluer vers de meilleures pratiques. Pour un des acteurs, cela va jusqu'à sécuriser les prises de risque « *Plus on a de connaissance sur son environnement de travail, plus on est en capacité de réduire les risques* » (C4).

4.3.4 Agriculture de précision et autonomie décisionnelle

Globalement, la majeure partie des entretiens font ressentir de manière forte qu'il est essentiel de veiller à ce que l'agriculteur reste maître de ses décisions. Cependant, seulement une partie d'entre eux se sont clairement exprimés sur la question (9/36) avec des avis divergeant. Certains (3/9) voient une atteinte à l'autonomie décisionnelle des agriculteurs du fait que les décisions puissent être prises par les outils et non plus par l'agriculteur. D'autres (3/9) au contraire voient l'AP comme un moyen de donner plus d'autonomie à l'agriculteur car l'accès à cette masse d'informations lui permettrait par exemple, de trouver des solutions par lui-même « *L'outil numérique contribuerait à l'autonomie décisionnel des agriculteurs dans le sens où ils vont piocher l'information en autonomie et vont prendre ce qui leur semble pertinent* » (AC6). Une autre partie des acteurs (3/9) se montrent plus mitigés sur la question et s'interrogent plutôt sur comment les technologies vont évoluer à l'avenir.

4.4 Technologies de précision dans les exploitations écologisées

4.4.1 Public concerné par l'agriculture de précision

29 acteurs se sont exprimés sur la question du public concerné par l'AP. Une partie d'entre eux (12/29) ont mis en avant le fait qu'elle était, en théorie, destinée à toutes les agricultures. Cependant, il semblerait qu'en pratique les technologies de précision soient plus adaptées à certains publics, avec un profil d'agriculteur identifié lors des enquêtes : il a des connaissance en AP, sa formation ou son environnement professionnel sont des éléments qui ont été cités (12/29) ; un type de production (vaches laitières – où l'utilisation des robots est très démocratisée comparées aux grandes cultures (4/29), grandes cultures – où le marché est assez mature (7/29), élevages standardisés (3/29) ou cultures à haute valeur ajoutée) ; une taille d'exploitation (grandes surfaces et/ou intensive (13/29)) ; un type d'exploitation (taux d'équipement faible en agriculture biologique (2/29)). Globalement, ces éléments sont en lien avec la capacité d'investissement de l'exploitation qui a été évoquée spontanément par une partie des acteurs (7/29) et un des agriculteurs le confirme « *on fait trop peu de surfaces pour justifier ce type d'outils. [...] Si on avait des parcelles dans la plaine de la "Beauce", des rectangles de 30ha, ça justifierait plus. […] à mon sens ce n'est pas justifié, en tout cas pour rentabiliser ça* » (A3). Cependant, l'analyse de la presse professionnelle révèle que sur les nombreux articles traitant de l'AP, une petite partie (13/118) fait le lien avec l'AE en grandes cultures et seulement quelques articles (3/123) en élevage laitier.

4.4.2 Adaptabilité des technologies de précision et besoins en exploitations écologisées

32 acteurs se sont exprimés sur les problématiques d'adaptabilité des technologies et des besoins. Les opinions étaient majoritairement mitigées et nuancées (17/32) concernant leur adaptation aux exploitations écologisées. Certains acteurs avaient des avis plus tranchés, avec ceux qui répondaient qu'elles étaient adaptées (7/32) « *Grosso modo, on a atteint le high level* » (E3) à contrario de ceux qui pensaient qu'elles ne l'étaient pas (5/32) « *Si on veut accompagner des agriculteurs vers des pratiques agroécologiques, il n'y a rien sur le marché qui proposent des solutions pour des rotations complexes, associations de culture, petites surfaces…* » (C5). In fine, la majorité des acteurs s'accordent à dire qu'il est pertinent voire indispensable de développer de nouveaux outils (21/32) et qu'il est nécessaire d'identifier les besoins des agriculteurs (6/32) afin de répondre aux attentes, qui peuvent par exemple être

sociétales « *C'est la société aussi qui demande ! Produire dans les meilleures conditions, sans polluer et avoir des produits de qualité. A partir de là, il faut nous donner les outils qui peuvent répondre à ces exigences* » (A4).

Les acteurs ont suggéré des technologies manquantes liées à la gestion de l'eau (1), la gestion des maladies/adventices/ravageurs (9), la gestion du pâturage (1) et la mise en place du biocontrôle (3). Pour un des agriculteurs, la gestion des adventices est son principal frein pour aller vers plus d'AE « *Pour moi le nerf de la guerre c'est désherber. Dès l'instant où on arrivera à désherber mécaniquement, dans le détail, … pour moi c'est l'objet ultime, l'objet indispensable pour pouvoir prendre un grand tournant dans l'agriculture* » (A5). Il semblerait que la recherche scientifique se soit emparée de ces questions. En effet, l'analyse bibliométrique scientifique révèle des publications récentes de travaux sur ces thématiques même si la plupart méritent encore des ajustements. De nombreuses perspectives sont attendues pour la suite. Au-delà de la conception des technologies, certains acteurs ont évoqué la nécessité de promouvoir l'intérêt du collectif (9), de se préoccuper de la gestion et du travail des données (5) – un acteur évoquait leur collecte essentielle en grandes cultures car on n'avait pas autant de données qu'en élevage et un autre mentionnait le fait qu'une donnée brute n'avait aucune valeur, avec des systèmes pour capitaliser ces connaissances (6).

Pour finir, les technologies adaptées aux exploitations écologisées sont pour certains, des outils à la carte (2), low-tech/simples d'utilisation (4), repensés sur des petites surfaces (2) et capables de gérer les cultures diversifiées (4). Un des acteurs évoquait le fait qu'il fallait peut-être revoir la façon de concevoir les outils : « *Pour l'instant on a plutôt réfléchi sur l'AE et on essaye de prendre des outils existants mais on ne s'est pas vraiment posé la question « quels outils il faudrait pour répondre pleinement aux contraintes de l'AE ? ». Sachant qu'initialement, ces outils sont apparus dans une logique productiviste, sur des grandes parcelles, grands rendements…* » (C4).

4.4.3 Difficultés liées aux technologies de précision dans les exploitations écologisées

Spontanément, le coût de la technologie et l'absence de visibilité sur le retour sur investissement sont des éléments qui ont été majoritairement cités comme obstacle principal à l'adoption des technologies de précision dans les exploitations écologisées (24/36). Trois autres difficultés ont été identifiées par les acteurs. La première est liée à la prise en main et l'accessibilité des technologies par les agriculteurs (potentiel des outils non exploités (5) – surtout en élevage où la majorité des données accessibles via les robots ne sont pas utilisées, problèmes d'interopérabilité (3), évolution trop rapide des outils (5), méconnaissance des outils existants (5), nécessité de pouvoir prendre du recul (2), complexité de l'AP et des technologies (5)). Pour un des acteurs, l'utilisation du numérique en AE convient à effectuer deux transitions complexes en même temps « *La transition agroécologique aidée par le numérique, si elle facilite les choses dans la manière opérationnelle de faire, elle ne facilite pas les choses dans la façon conceptuelle de faire* » (C3). La deuxième difficulté concerne la complexité des systèmes agroécologiques (6). Contrairement aux systèmes conventionnels que l'on cherchait à simplifier, les systèmes agroécologiques sont très diversifiés et doivent considérer les conditions environnementales du territoire. Il est donc nécessaire que les technologies de précision soient adaptables à chacun des systèmes et qu'elles puissent gérer les leviers mis en place en AE (peuplement de deux espèces différentes, petites surfaces, terrains variés et diversifiés, …). Enfin la dernière difficulté est liée aux données et ses questions de propriété (6). L'absence de statut juridique est source de nombreux débats. Les acteurs s'interrogent globalement sur les conséquences qu'il pourrait y avoir si les données n'étaient plus la propriété des agriculteurs.

5 DISCUSSION

Cette discussion aborde trois thématiques principales : i) les relations entre l'AP et l'AE vues par les acteurs, ii) les similarités et les différences constatées entre grandes cultures et élevage ruminants et enfin iii) la mise en évidence des limites de l'étude et ses perspectives.

5.1 Relations entre agriculture de précision et agroécologie vues par les acteurs

Les relations entre agriculture de précision et agroécologie vues par les acteurs sont étudiées à travers les trois axes de travail définis dans la problématique de l'étude : i) la contribution des acteurs impliqués dans le déploiement des technologies de précision en lien avec la transition agroécologique, ii) la relation entre les technologies de précision et les fondamentaux de l'agroécologie, où une attention particulière est portée sur les thématiques liées aux bouclage des cycles biogéochimiques, à l'apport de connaissances et aux conditions de travail et iii) l'adaptabilité des technologies de précision aux exploitations écologisées.

5.1.1 Expressions contrastées des acteurs enquêtés sur les liens entre l'agriculture de précision et l'agroécologie

Suite aux entretiens, 95% des acteurs enquêtés ont jugé l'AP compatible avec l'AE. Toutefois, 15% émettaient des réserves en mentionnant le fait que son utilisation n'était pas anodine car la pollution pouvait être simplement déplacée ou pourrait empêcher d'étudier d'autres solutions existantes. Par ailleurs, plusieurs acteurs interviewés ont mentionné le fait que l'AP est actuellement revisitée pour répondre aux trois piliers du développement durable : économie, social et environnement. En effet, au-delà de l'approche générale, il semblerait pertinent de s'interroger autour du potentiel des technologies qu'elle intègre. Ces technologies pourraient répondre à certaines attentes et besoins exprimés en AE mais des travaux sont encore à réaliser pour atteindre cet objectif (Cacquet et al., 2020).

Par ailleurs, l'ensemble des résultats montrent une absence de convergence sur les différents thèmes étudiés. Les points de vue exprimés par les acteurs enquêtés pouvaient être totalement opposés. Le manque de lien entre les différents acteurs est une problématique qui a déjà été soulevée par le passé par Griffon et Ribier (2006). La recherche concrétise une idée en invention qui va être transformée en innovation par les équipementiers et introduite sur le marché. Ces technologies vont être transférées vers l'utilisateur final, l'agriculteur, par le biais des équipementiers mais aussi des animateurs et conseillers. Finalement, les différents acteurs ont tous un rôle à jouer le long de cette chaîne ce qui suggère une étroite collaboration entre eux, au risque de concevoir des outils non utilisés par les agriculteurs ou de ne pas répondre à leurs attentes, ou encore que ces outils ne puissent pas être mis en œuvre pour des raisons éthiques, sociales ou économiques. En effet, Li et al. (2020) mettent en évidence l'intérêt de consulter les utilisateurs finaux pour assurer une coproduction efficace des technologies de l'AP pour garantir leur alignement avec les besoins du terrain. Ils évoquent également la mise en place de formations pour faciliter l'adoption (Li et al., 2020). Cet accompagnement est nécessaire pour les agriculteurs mais aussi pour l'ensemble des acteurs de la chaîne car la révolution écologique et numérique requiert de profonds changement dans les manières de faire. Le cadre institutionnel, correspondant à l'ensemble des institutions et organisations qui sont créées et adaptées pour développer un modèle de production, est à reconstruire car il serait fondé plutôt sur une logique de gain de productivité agricole et est sans doute donc moins adapté aux attentes actuelles.

5.1.2 Les technologies de précision au service des fondamentaux de l'agroécologie

L'avenir de l'AE réside dans sa capacité à atteindre la triple performance, environnementale, sociale et économique. D'après notre étude, les technologies de précision

contribueraient à la fermeture des cycles biogéochimiques. Plusieurs articles et acteurs ont mentionné que l'AP ne permettait pas nécessairement de réduire les intrants mais qu'une augmentation des performances était constatée en parallèle. Une meilleure gestion des effluents, des fertilisants et des produits phytosanitaires en production végétale conduirait à réduire la pollution des eaux et des sols (Pellerin et Martinez, 2015) tandis qu'en production animale, les traitements pourraient être individualisés (Bocquier et al., 2016) limitant ainsi le gaspillage et le phénomène de résistances des bactéries aux antibiotiques. En ce sens, améliorer l'efficience d'utilisation des intrants répond aux exigences de production et aux enjeux environnementaux. Cependant, cette modulation des interventions nécessite d'une part, de disposer de matériels capables d'ajuster leur fonctionnement pendant l'accomplissement de la tâche et ce, de façon automatisée car hormis pour des configurations extrêmement simples, il ne paraît pas concevable de confier cette tâche supplémentaire à l'opérateur (Zwaenepoel et al., 1997). D'autre part, la modulation repose sur des connaissances spécifiques au système d'exploitation car nécessite un pilotage fin du système (Bocquier et al., 2016).

Les résultats de l'étude ont montré que 60% des enquêtés s'étaient spontanément exprimés sur l'apport de connaissances permis par l'AP grâce à la collecte de données. L'accès à cette connaissance se révèle être une opportunité pour les agriculteurs. Bien qu'ils aient accumulé des connaissances utiles à travers le temps, la gamme des améliorations possibles est très étendue (Griffon et Ribier, 2006). Les dispositifs mis en œuvre en élevage de précision ne visent pas à remplacer les connaissances des éleveurs mais à les compléter (Bocquier et al., 2016). On pourrait alors s'interroger sur le type de connaissances acquises par les capteurs. Diffèrent-elles de celles des agriculteurs acquises par expérience ? La trajectoire des agriculteurs en transition agroécologique est longue et difficile et nécessite un apprentissage progressif, sur plusieurs années, et souvent en évoluant d'une stratégie d'efficience vers une stratégie de substitution, avant de reconcevoir totalement son système (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2014). En ce sens, ces connaissances auraient une double conséquence dans l'accompagnement des agriculteurs. D'un côté, elles pourraient favoriser l'adoption de pratiques agroécologiques grâce à un meilleur suivi et donc de meilleures décisions. De l'autre, elles permettraient de les rassurer en les confortant dans leurs choix et les aideraient également à évaluer les risques. Ces derniers éléments ont un effet non négligeable sur l'allégement de la charge mentale, problématique répandue dans le milieu agricole (Midler et al., 2019).

L'AP peut aider à améliorer les conditions de travail dans les exploitations conventionnelles (Hostiou et al., 2017). Les résultats d'enquête montrent la même tendance dans les exploitations écologisées, 90% des acteurs qui s'étaient exprimés sur le sujet évoquaient un effet positif. La plupart des acteurs soulignent toutefois que cette contribution peut être amplifiée dues aux tâches plus complexes associées aux pratiques agroécologiques, qui peuvent parfois nécessiter plus de temps de travail et être pénibles physiquement. La recherche de diminution de la charge mentale est appréciée mais est encore sujette à controverse. La transition numérique n'est pas simple et l'utilisation de certains outils peut aussi être source de stress pour l'agriculteur d'où l'importance de structurer un accompagnement autour des technologies. Dans ce contexte, les technologies de précision répondent au pilier des performances sociales. Néanmoins, certains acteurs se sont interrogés sur l'effet de la montée des technologies vis-à-vis du remplacement de l'humain et de l'autonomie décisionnelle des agriculteurs. Les tâches substituées sont de plus en plus des actions cognitives (Jeanneaux, 2018). Le développement de la co-robotique pourrait en ce sens, répondre à cette inquiétude en diminuant la pénibilité des tâches, réduisant le temps de travail mais sans remplacer l'opérateur qui garderait la main mise sur les décisions. De plus, ces technologies pourraient être déployées dans les champs ouverts contrairement aux robots actuels. Gilbert Grenier promeut cette association robot-agriculteur comme une coopération plutôt qu'un remplacement (Lasserre et al., 2016).

Ces premiers éléments suggèrent les possibilités offertes par les technologies de précision au service des fondamentaux de l'AE. A contrario de l'AP qui offre une approche analytique, l'AE offre une approche systémique. Il est donc essentiel de considérer le coût écologique des outils. Cette problématique, peu présente dans la littérature a été mentionnée par certains acteurs, qui se demandaient si les bénéfices environnementaux permis par l'utilisation des technologies étaient supérieurs au coût écologique induit par l'utilisation de ces technologies. Leur conception, leur utilisation et leur recyclage ont un coût environnemental en termes de consommation de matières premières et d'énergies non renouvelables qui mériterait d'être davantage étudié. A ce titre, Soulignac et al. (2019) proposent d'évaluer la pertinence de l'usage des technologies de précision en AE à travers les trois dimensions du développement durable via la méthode « coût du cycle de vie » pour les questions économiques, « analyse sociale du cycle de vie » pour les questions sociales et « analyse du cycle de vie » pour les questions environnementales.

5.1.3 Des technologies de précision pas toujours adaptées aux contraintes des exploitations écologisées

L'analyse bibliométrique a montré que peu d'articles à ce jour, font mention des technologies de précision au service de l'AE. En effet, seulement 7% des articles de presse professionnelle et 0,3% des articles scientifiques (échelle Monde et deux productions confondues) traitant de l'AP font le lien avec l'AE. Les résultats d'enquêtes viennent confirmer ce constat, 50% des acteurs s'étant exprimés sur le sujet soutenaient qu'il y avait certes des technologies adaptées pour les exploitations écologisées mais ils identifiaient aussi un manque important : il y en a mais trop peu. De plus, 15% des acteurs étaient catégorique quant à l'absence de technologies adaptées. Bien que la recherche scientifique française soit contributrice en matière d'AE, elle l'est moins sur les questions de l'AP. Les technologies actuelles se veulent génériques, c'est-à-dire adaptées à un grand nombre de cas d'exploitations dans des contextes pédoclimatiques et de production différents (Salembier et al., 2020) - un robot de traite est le même dans de nombreux pays.

La manière de concevoir les technologies nécessiterait d'être repensée afin d'identifier les besoins spécifiques dans les exploitations écologisées plutôt que de chercher à adapter les technologies existantes. Ces questions sont d'autant plus importantes pour des exploitations écologisées puisqu'elles se veulent diversifiées, très liées au contexte local et sont souvent de plus petites dimensions par rapport aux conventionnelles. Cependant, les technologies de précision ne répondent pas toujours à ces besoins spécifiques. Cerf et Meynard (2006) font le constat d'un fossé entre l'usage des outils sur le terrain et l'utilisation attendue par les concepteurs. Pour inverser la tendance, la consultation des utilisateurs finaux s'avère nécessaire (Li et al., 2020). En parallèle, l'étude de Salambier et al. (2020) suggère la pertinence de s'inspirer des travaux de l'Atelier Paysan dans le développement des équipements adaptés et adaptables aux situations particulières auxquelles sont confrontés les agriculteurs.

Les résultats de l'étude mettent en évidence le coût économique des technologies comme le principal frein à l'adoption des technologies avec 65% des enquêtés qui l'ont spontanément pointé du doigt. Le soutien des pouvoirs publics et/ou le collectif constituerait des leviers intéressants. En effet, l'achat en groupe d'agriculteurs leur permet d'avoir accès à des technologies de précision qu'ils ne pourraient pas acheter personnellement. Par ailleurs, des interrogations peuvent émerger sur l'intérêt marchand des constructeurs. En effet, le contexte de développement de l'élevage de précision en systèmes extensifs est radicalement différent de celui observé en élevage intensif et peuvent être moins intéressantes pour les équipementiers puisque les charges de développement peuvent s'avérer lourdes sans garantie de retour sur investissement (Bocquier et al., 2016).

L'AP et les agroéquipements ont été identifiés comme des marchés prioritaires sur lesquels positionner la France dans le rapport du collège d'experts mandaté dans le cadre du pacte productif (Collège d'experts, 2020). Par conséquent, le développement de ces technologies va être promu et fortement encouragé. Il est donc nécessaire de faire en sorte qu'elles permettent de répondre aux besoins réels identifiés dans les exploitations écologisées et non concevoir des technologies qui vont créer le besoin. Un accompagnement des agriculteurs mais aussi des différents acteurs impliqués dans le déploiement de ces technologies est également essentiel afin qu'elles soient utilisées à bon escient. Cet accompagnement peut être fait sous différentes formes mais repose également sur un cadre institutionnel construit et adapté à ces nouveaux enjeux.

5.2 Différences constatées entre grandes cultures et élevage ruminants

L'étude met en évidence des différences entre l'élevage ruminants et les grandes cultures. Les résultats de l'analyse bibliométrique témoignent d'un fort intérêt pour les grandes cultures comparé à l'élevage ruminants. Après analyse des articles scientifiques traitant de l'AP et de l'AE, il s'est avéré qu'aucun d'entre eux ne faisait référence à l'élevage de ruminants. Cette distinction entre les deux productions est moins marquée dans l'analyse de la presse professionnelle. Cette différence de résultats peut s'expliquer par l'analyse manuelle des articles en AP qui a permis d'évaluer au cas par cas si l'article faisait le lien avec l'AE. Le lien entre AE et élevage de ruminants est moins évident qu'en grandes cultures. Par ailleurs, l'analyse bibliométrique scientifique révèle que la France se positionne plutôt en leader en termes de recherche sur la thématique de l'AP en élevage de ruminants alors qu'au contraire, elle est plutôt en retrait en grandes cultures. Par contre, sur la thématique de l'AE, la France se positionne en haut du classement dans les deux productions en termes de production de publications scientifiques.

Quelques experts ont mentionné le fait que la robotisation en élevage était plus avancée et plus développée qu'en grandes cultures et que ces robots étaient à l'origine de la masse importante de données en élevage. Cela s'explique par l'interdiction aux technologies autonomes d'être déployées en dehors de structures cloisonnées, impliquant qu'aucun robot ne peut être utilisé en grandes cultures à ce jour. Alors que la robotisation pourrait s'annoncer prometteuse pour répondre à certaines problématiques de l'AE en grandes cultures, leur déploiement est largement freiné par des verrous d'ordre juridique. Par conséquent, le cadre institutionnel actuel n'est pas adapté pour promouvoir la robotisation. En élevage ruminants, le robot de traite, en développement croissant, tend à s'intégrer de plus en plus dans les systèmes pâturant. Un agriculteur évoquait le fait que cette pratique commençait à se démocratiser mais que certains avaient encore des réticences. Les publications scientifiques montrent aujourd'hui que robot de traite et pâturage sont compatibles dans certaines conditions (Brocard, 2019). De manière générale, certains experts ont évoqué la maturité du marché en grandes cultures et une apparition de maturité de marché en élevage.

5.3 Perspectives et limites

Les analyses bibliométriques pourraient être complétées. Concernant l'analyse scientifique, le choix a été fait d'étudier les articles utilisant textuellement le terme « agroécologie » ce qui a restreint la proposition d'articles. Il pourrait être intéressant d'élargir la recherche en intégrant des mots-clés autour de la notion de « durabilité » par exemple, terme potentiellement plus employé dans les publications scientifiques surtout à l'échelle mondiale. Pour ce qui est de l'analyse de la presse professionnelle, elle pourrait être complétée par des recherches d'articles sur des sites professionnels tels que Arvalis ou l'Idèle, et d'autres de presse agricole (TerraNet, le MelAgricole, etc.).

L'échantillon d'agriculteurs s'est révélé plutôt faible au vu du contexte particulier dans lequel s'est réalisé ce stage (impossibilité d'aller réaliser des enquêtes en face à face liée à la

crise sanitaire Covid-19). Il serait pertinent d'en interroger un nombre plus conséquent afin d'élargir les types d'agriculteurs tant sur leur niveau d'équipement que sur leur stade dans la transition agroécologique. Si des appréhensions au début du stage quant à la difficulté de trouver des agriculteurs avaient été exprimées, les prises de contact sur les réseaux sociaux, dans des articles de presse et la méthode « boule de neige » ont bien fonctionné. La quantité de l'échantillonnage pourrait donc être améliorée tout en maintenant sa qualité. Par conséquent, un meilleur échantillonnage couplé à une augmentation du nombre d'enquêtés permettrait de gagner en qualité d'informations pour identifier les besoins des agriculteurs et in fine, proposer un accompagnement adapté.

Finalement, étant donné les similarités observées entre cultures et élevage dans cette étude, il est légitime de s'interroger sur la répétabilité des tendances observées dans les autres productions. Toutefois, on pourrait s'interroger sur la complexité d'intégrer la notion de l'AE dans les élevages intégrés (porcs-volailles). En maraîchage, les petites surfaces en culture sont compensées par des produits à haute valeur ajoutée ce qui explique l'attrait de cette production pour la robotique. Mais on pourrait également s'interroger sur la pertinence avec l'AE. En effet, bien qu'ils puissent offrir des bénéfices environnementaux, ces robots sont déployés obligatoirement dans les serres.

6 CONCLUSION

La transition agroécologique est une priorité affirmée des pouvoir publics mais celle-ci peut s'avérer compliquée pour les agriculteurs. Il est donc primordial d'identifier les difficultés et de leur proposer des solutions pour les soulager et les accompagner dans leurs démarches vers plus d'AE. C'est dans ce contexte que les technologies de précision, de par les possibilités offertes, pourraient avoir un rôle clé dans l'adoption de nouvelles pratiques visant la triple performance économique, sociale et environnementale. Initialement développée dans une logique productiviste, il semblerait que l'AP soit désormais revisitée à l'échelle de l'AE. La dynamique de publications des travaux scientifiques et des articles de presse en témoigne, peu d'articles font le lien entre l'AP mais ils ont été majoritairement publiés récemment. Il semblerait donc que la communauté agricole s'empare de ces questions. Cependant, le fossé constaté entre les différents acteurs impliqués dans le déploiement des technologies de précision est révélateur d'une déconnexion qui pourrait s'avérer problématique. La transition agroécologique ne concerne pas que les agriculteurs mais bien l'ensemble des acteurs du monde agricole. Les technologies de précision doivent être conçues pour répondre aux nouvelles exigences agroécologiques or il existe aujourd'hui des verrous empêchant leur déploiement. Pour dépasser ces freins, des leviers existent et de nombreux travaux restent à définir mais il est essentiel de rétablir le lien entre les différents acteurs impliqués. De plus, en plaçant l'AP et les agroéquipements en marché prioritaire dans le Pacte Productif, le gouvernement va encourager les exploitations à s'équiper mais aussi encourager la conception de technologies. Afin de ne pas se lancer dans une déferlante de technologies de précisions qui ne seraient pas utilisés ou utilisables sur le terrain, il est nécessaire d'identifier les besoins et attentes du terrain en termes de technologies de précision au service de l'AE. L'implication des agriculteurs dans la conception des technologies pourrait être une solution.

Bibliographie

Allain C., Chandler J., Poulet J.L. (2016). Robots de traite : le nombre d'élevages équipés a doublé depuis 2010 ! Idèle [en ligne]. 03 mai 2016. [Consulté le 15 mars 2020]. Disponible à l'adresse : http://idele.fr/presse/publication/idelesolr/recommends/robots-de-traite-le-deploiement-continue.html

Aubert B.A., Schroeder A., Grimaudo J. (2012). IT as enabler of sustainable farming : an empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. In : *Decision Support Systems*, vol 54, p510-520

Bellon Maurel V. et Huyghe C. (2017). Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology. In : *OCL*, vol 24 (3)

Blais M., Martineau S. (2006). L'analyse inductive générale : description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. In : *Recherches qualitatives*, vol 26 (2), p18

Bocquier F., Lurette A., Debus N., Jouven M., Moulin C.H. (2016). Elevage de précision, solutions technologiques et acceptabilité dans les systèmes peu intensifiés. In : Elevage de précision, Chastant-Maillard S. et Saint-Dizier M., p183-209

Bonny S. (1994). Vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement ? In : *Cahiers agricultures*, vol 3, p385-396

Bournigal J.M., Houllier F., Lecouvey P., Pringuet P., (2015). 30 projets pour une agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement. In : Rapport Innovation Agriculture 2025, 70p. Disponible à l'adresse : https://agriculture.gouv.fr/agriculture-innovation-2025-des-orientations-pour-une-agriculture-innovante-et-durable

Cacquet T., Gascuel C., Tixier-Boichard M. (2020), Contribution des agroéquipements et du numérique à l'AE : renforcer la prise en considération du vivant. In : *AE – Des recherches pour la transition des filières et des territoires*, éditions Quae, p81-83

Collège d'expert (2020). Faire de la France une économie de rupture technologique. In : Rapport aux Ministre de l'Economie et des Finances et Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, 116p. Disponible à l'adresse : https://www.economie.gouv.fr/pacte-productif#

Déléage E. (2011). Les mouvements agricoles alternatifs. In : *Informations sociales*, n°164, p44-50

De Tourdonnet S., Gardarin A., Javelle A., Jouven M., Kazakou E., Le Velly R., Marsden C., Metay A., Navas M.L., Thoyer S. (2020). AE. In : MOOC Montpellier SupAgro. Disponible à l'adresse : https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:Agreenium+66001+session05/about

Duroy S. (2016). Identification électronique, capteurs embarqués, communication sans fil : voies d'entrée dans l'élevage de précision. In : Elevage de précision, Chastant-Maillard S. et Saint-Dizier M., p29-42

Duroy S. (2019). Identification électronique des bovins. Idèle [en ligne]. 01 avril 2019. [Consulté le 09 mars 2020]. Disponible à l'adresse : http://idele.fr/domaines-techniques/sequiper-et-sorganiser/identification-rfid/publication/idelesolr/recommends/la-rfid-bovine-utilisee-essentiellement-par-les-eleveurs-laitiers.html

Duru M., Bergez J.E., Fares M., Justes E., Kouzmine Y., Magrini M.B., Sarthou J.P., Therond O. (2014). L'AE en action : quelles voies pour la modernisation écologique de l'agriculture. In : *SDR Midi-Pyrénées, Série Les Focus PSDR3*

Hostiou N., Allain C., Chauvat S., Turlot A., Pineau A., Fagon J. (2014). L'élevage de précision : quelles conséquences pour le travail des éleveurs ? In : *INRA Prod. Anim.*, vol 27 (2), p113-122

Hostiou N., Fagon J., Chauvat S., Turlot A., Kling-Eveillard F., Boivin X., Allain C. (2017). Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. A review. In : *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, Presses Agronomiques de Gembloux*, vol 21 (4), p268-275

Idèle (2018). Bovins 2018 : productions lait et viande. In : Les chiffres-clés du GEB, 12p. Disponible à l'adresse : http://idele.fr/filieres/publication/idelesolr/recommends/chiffres-cles-bovins-2018.html

Idèle (2018). Caprins 2018 : productions lait et viande. In : Les chiffres-clés du GEB, 10p. Disponible à l'adresse : http://idele.fr/filieres/publication/idelesolr/recommends/chiffres-cles-caprins-2018.html

Idèle (2018). Ovins 2018 : productions lait et viande. In : Les chiffres-clés du GEB, 12p. Disponible à l'adresse : http://idele.fr/filieres/publication/idelesolr/recommends/chiffres-cles-ovins-2018.html

ISPA, International Society for Precision Agriculture. (2018). Precision Ag definition. [en ligne - consulté le : 25 janvier 2020]. Disponible à l'adresse : https://ispag.org/about/definition

Jeanneaux P. (2018). Agriculture numérique : quelles conséquences sur l'autonomie de la décision des agriculteurs ? In : *Agronomie et agriculture numérique, ce qui change pour les agronomes – agronomie, environnement & société*, vol 8, n°1, p13-22

Kosmopoulos C. et Pumain D. (2008). Révolution numérique et évaluation bibliométrique dans les sciences humaines et sociales. In : *Revue Européenne des Sciences Sociales*, vol 141, p73-86

Lasserre L., Roux M., Auverlot G., Bel M., Clergerie A., Gatouillat N., Poulain C., Poulet M. (2016). La Révolution numérique. In : *Alim'Agri*, n°1565

Lecocq R., (2018). AP : 100 à 150 €/ha de plus-value selon be Api. Pleinchamp [en ligne]. 07 juin 2019. [Consulté le 7 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.pleinchamp.com/grandes-cultures/actualites/culturales-agriculture-de-precision-100-a-150-ha-de-plus-value-selon-be-api

Martin A., Orduna-Maela E., Thelwall M., Delgado Lopez-Cozar E. (2018). Google Scholar, Web of Science and Scopus : A systematic comparison of citations in 252 subject categories. In : *Journal of Informetrics*, vol 12 (4), p1160-1177

Midler E., Belle T., Burens I., Caillou P., Deffontaines N., Hostiou N., Jacques-Jouvenot D., Kalainathan D., Nicot A.M. (2019). Les conditions de travail et de santé des actifs agricoles. In : *Actif'Agri, Transformations des emplois et des activités en agriculture, Notes et Etudes Documentaires,* p242

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (2013). Qu'est-ce que l'AE ? Ministère de l'agriculture et de l'alimentation [en ligne]. 22 avril 2013. [Consulté le 21 janvier 2020]. Disponible à l'adresse : https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-lagroecologie

Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt (2014). Annexe 1 – Les degrés de changement des systèmes de production : la typologie Efficience-Substitution-Reconception comme guide pouvant permettre de caractériser ces changements. In : *Guide méthodologique pour la mobilisation des mesures du FEADER en faveur du projet agroécologique*, 20p

Pellerin S. et Martinez J. (2015). Quels leviers pour une gestion plus durable des cycles biogéochimiques dans le cadre de la transition agroécologique ? In : *Innovations Agronomiques*, vol 43, p107-113

Rega C., Paracchini M.L., McCraken D., Saba A., Zavalloni M., Raggi M., Viaggi D., Britz W., Frappier L. (2018). Review of the definitions of the existing ecological approaches. In : *Deliverable 1.1 Lift project*, p59

Reichardt M. et Jürgens C. (2009). Adoption and future perspective of precision farming in Germany : Results of several surveys amond different agricultural target groups. In : *Precision Agriculture*, vol 10, p73-94

Ribier V. et Griffon M. (2006). Quelles politiques agricoles pour accompagner la transition vers l'AE ? In : *Agriculture durable : faut-il repenser les systèmes de culture ?* p145-163

Rouillé H. (2013). Pour des agricultures intensives. In : *Revue Projet*, vol 332, n°1, p25-32

Rosenwald F. (2012). Des grandes cultures dans deux tiers des exploitations. In : *Agreste : la statistique agricole*, n°283, 8p. Disponible à l'adresse : https://www.lafranceagricole.fr/actualites/cultures-deux-tiers-des-exploitations-produisent-des-grandes-cultures-recensement-1,0,85500626.html

Schaller N. (2013). L'AE : des définitions variées, des principes communs. In : *Centre d'études et de prospectives*, n°59

Smith G. et Lehr H. (2011). The Bright Animal Book : multidisciplinary approach to acceptable and practical precision livestock farminf for SMEs in Europe and worldwide, In : *Bright Animal, EU Framework 7 project*, p208

Soulignac V., Leveau L., Pinet F. (2019). Les technologies de l'information et de la communication dans la transition agroécologique. In : *Sciences Eaux & Territoires*, n°29, p34-37

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A Review. In : *Agron. Sustain. Dev.*, vol 29, p503-515.

Zwaenepoel P., Le Bars J.M. (1997). L'AP. In : *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, p67-69

Annexe 1 : Diversité des terminologies utilisées pour évoquer chacun des systèmes agricoles intégrant des pratiques écologiques, tiré de la littérature (Rega et al., 2018)

Farming systems clusters		Farming systems
Systems incorporating differing degrees of ecological practices	Agroecology	Agroecology
		Biodiversity-based farming systems
		Diversified Farming Systems
		Ecoagriculture
		Ecological Arable Farming System
		Permaculture
		Natural system agriculture
	Organic farming systems	Biodynamic
		Biological input-based farming systems
		Organic agriculture
		Organic farming systems
	Integrated farming systems	Integrated arable farming systems
		Integrated crop-livestock systems
		Integrated crop-range-livestock systems
		Integrated farming system
		Integrated perennial crop systems
	Low-input/Extensive systems	Extensive grass-based systems
		Extensive systems
		Low external input systems
		Low-input systems
		Low-intensity systems
		Reduced input systems
		Silvopastoralism
	Conservation agriculture	Conservation agriculture
		Conservative agriculture
		Minimum tillage systems
		No tillage systems
		Reduced tillage systems
		Strategic tillage systems

Annexe 2 : Articles scientifiques traitant de l'agriculture de précision et de l'agroécologie non retenus pour l'analyse qualitative de l'étude

AP = Agriculture de précision, AE = Agroécologie

ARTICLES	JUSTIFICATION
van Zonneveld, M., Turmel, M.-S., Hellin, J. (2020). Decision-Making to Diversify Farm Systems for Climate Change Adaptation. In : Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, art. no. 32. DOI: 10.3389/fsufs.2020.00032	Présentation de méthodes de travail entre agriculteurs et chercheurs pour la prise de décision concernant la diversification des systèmes de culture, de pâturage et d'agroforesterie sur l'exploitation tout en tenant compte de ces contraintes ; agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Messina, G., Praticò, S., Siciliani, B., Curcio, A., Di Fazio, S., Modica, G. (2020). Monitoring Onion Crops Using UAV Multispectral and Thermal Imagery: Preliminary Results. In : Lecture Notes in Civil Engineering, 67, pp. 873-880. DOI: 10.1007/978-3-030-39299-4_94	L'article montre la potentialité du couplage de l'imagerie multispectrale et thermique acquise par un véhicule aérien sans pilote (UAV) pour le suivi des cultures. Etude de cas sur la culture des oignons (Cipolla rossa di Tropea IGP)
Pan, H., Xiu, C., Liu, B., Wyckhuys, K.A.G., Lu, Y. (2020). Whorl-stage maize provides a microclimate refuge for predatory ladybeetles. In : Biological Control, 142, art. no. 104162, . DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104162	Lutte biologique (coccinnelles) contre les ravageurs herbivores du maïs Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Maestrini, B., Brouwer, M., Been, T., Lotz, L.A.P. (2020). Can We Use the Relationship Between Within-Field Elevation and NDVI as an Indicator of Drought-Stress? In : IFIP Advances in Information and Communication Technology, 554 IFIP, pp. 122-131.	Utilisation de données provenant d'une géoplateforme Akkerweb pour mieux comprendre la corrélation entre l'altitude du champ et l'indice différentiel de végétation normalisé ; ces données peuvent aider à comprendre les processus AE ; cultures de pomme de terre
Kearney, S.P., Fonte, S.J., García, E., Siles, P., Chan, K.M.A., Smukler, S.M. (2019). Evaluating ecosystem service trade-offs and synergies from slash-and-mulch agroforestry systems in El Salvador. In : Ecological Indicators, 105, pp. 264-278. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.08.032	Recherche d'indicateurs de terrains simples pour évaluer les services écosystémiques Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Kavitha, C., Sujatha, M.P., Tata, R. (2019). Spatial variations in soil micronutrients as influenced by agro ecological conditions in a tropical humid region. In : Tropical Ecology, 60 (3), pp. 362-378. DOI:10.1007/s42965-019-00037-w	Etude de la variation spatiale de la fertilité des sols en Inde par analyse d'échantillons de sol ; variabilité spatiale des propriétés du sol est dite essentielle pour l'agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Harrison, R.D., Thierfelder, C., Baudron, F., Chinwada, P., Midega, C., Schaffner, U., van den Berg, J. (2019). Agro-ecological options for fall armyworm (Spodoptera frugiperda JE Smith)management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. In : Journal of Environmental Management, 243, pp. 318-330. Cited 7 times. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.011	Lutte contre la légionnnaire d'automne, un ravageur agricole Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Debray, V., Wezel, A., Lambert-Derkimba, A., Roesch, K., Lieblein, G., Francis, C.A. (2019). Agroecological practices for climate change adaptation in semiarid and subhumid Africa. In : Agroecology and Sustainable Food Systems, 43 (4), pp. 429-456. Cited 1 time. DOI: 10.1080/21683565.2018.1509166	Pratiques AE mises en œuvre en Afrique Pas d'AP
Merienne, J., Larmure, A., Gée, C. (2019). Preliminary study for weed biomass prediction combining visible images with a plant-growth model. In : Precision Agriculture 2019 - Papers Presented at the 12th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2019, pp. 597-603. DOI: 10.3920/978-90-8686-888-9_74	Estimer la biomasse aérienne des cultures et des mauvaises herbes et de prévoir leur croissance grâce à une approche par images (images RVB) Pas d'AE

Hussain, A., Mahapatra, B., Rasul, G. (2019). Adaptation in Mountain Agriculture: Food Security in the Hindu-Kush Himalayan (HKH) Region. In : Springer Climate, pp. 211-236. Cited 2 times. DOI: 10.1007/978-3-319-99347-8_10	Agriculture en montagne face aux effets néfastes du changement climatique Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Huang, Y., Ren, W., Wang, L., Hui, D., Grove, J.H., Yang, X., Tao, B., Goff, B. (2018). Greenhouse gas emissions and crop yield in no-tillage systems: A meta-analysis. In : Agriculture, Ecosystems and Environment, 268, pp. 144-153. Cited 11 times. DOI: 10.1016/j.agee.2018.09.002	Technique du non-labour, gestion de l'agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Aguilar-Rivera, N., Algara-Siller, M., Olvera-Vargas, L.A., Michel-Cuello, C. (2018). Land management in Mexican sugarcane crop fields. In : Land Use Policy, 78, pp. 763-780. Cited 1 time. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.07.034	Pas pour de l'AE et production de canne à sucre
Sendhil, R., Jha, A., Kumar, A., Singh, S. (2018). Extent of vulnerability in wheat producing agro-ecologies of India: Tracking from indicators of cross-section and multi-dimension data. In : Ecological Indicators, 89, pp. 771-780. Cited 7 times. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.02.053	Etude de la vulnérabilité des régions productrices de blé pour une agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Paul, B.K., Frelat, R., Birnholz, C., Ebong, C., Gahigi, A., Groot, J.C.J., Herrero, M., Kagabo, D.M., Notenbaert, A., Vanlauwe, B., van Wijk, M.T. (2018). Agricultural intensification scenarios, household food availability and greenhouse gas emissions in Rwanda: Ex-ante impacts and trade-offs. In : Agricultural Systems, 163, pp. 16-26. Cited 13 times. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.02.007	Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Nguyen, H.D.D., Nansen, C. (2018) Edge-biased distributions of insects. A review. In : Agronomy for Sustainable Development, 38 (1), art. no. 11, . Cited 13 times. DOI: 10.1007/s13593-018-0488-4	Lutte contre les ravageurs Pas d'AP au sens où nous l'avons défini
Dougill, A.J., Whitfield, S., Stringer, L.C., Vincent, K., Wood, B.T., Chinseu, E.L., Steward, P., Mkwambisi, D.D. (2017). Mainstreaming conservation agriculture in Malawi: Knowledge gaps and institutional barriers. In : Journal of Environmental Management, 195, pp. 25-34. Cited 18 times. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.09.076	Agriculture de conservation Pas d'AP au sens où nous l'avons défini
Thierfelder, C., Chivenge, P., Mupangwa, W., Rosenstock, T.S., Lamanna, C., Eyre, J.X. (2017). How climate-smart is conservation agriculture (CA)? – its potential to deliver on adaptation, mitigation and productivity on smallholder farms in southern Africa. In : Food Security, 9 (3), pp. 537-560. Cited 36 times. DOI: 10.1007/s12571-017-0665-3	Agriculture de conservation pour une agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Mwongera, C., Shikuku, K.M., Twyman, J., Läderach, P., Ampaire, E., Van Asten, P., Twomlow, S., Winowiecki, L.A. (2017). Climate smart agriculture rapid appraisal (CSA-RA): A tool for prioritizing context-specific climate smart agriculture technologies. In : Agricultural Systems, 151, pp. 192-203. Cited 29 times. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.05.009	Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Shirsath, P.B., Aggarwal, P.K., Thornton, P.K., Dunnett, A. (2017). Prioritizing climate-smart agricultural land use options at a regional scale. In : Agricultural Systems, 151, pp. 174-183. Cited 14 times. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.09.018	Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Uskov, I.B., Yakushev, V.P., Chesnokov, Yu.V. (2017). Actual physical, agronomic, genetical and breeding aspects in agrobiological management. In : Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya, 52 (3), pp. 429-436. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.429eng	Plus tourné vers l'avantage productivité que l'environnement.

Asrat, P., Simane, B. (2017). Adaptation Benefits of Climate-Smart Agricultural Practices in the Blue Nile Basin: Empirical Evidence from North-West Ethiopia. In : Climate Change Management, pp. 45-59. Cited 3 times. DOI: 10.1007/978-3-319-49520-0_4	Etude sur les pratiques agricoles intelligentes pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Thakur, A.K., Uphoff, N.T. (2017). How the system of rice intensification can contribute to climate-smart agriculture. In : Agronomy Journal, 109 (4), pp. 1163-1182. Cited 7 times. DOI: 10.2134/agronj2016.03.0162	Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Torquebiau, E. (2017). Climate-smart agriculture: Making agriculture climate-friendly [Climate-smart agriculture: Pour une agriculture climato-compatible. In : Cahiers Agricultures, 26 (6), . Cited 1 time. DOI: 10.1051/cagri/2017048	Agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Williams, A., Davis, A.S., Ewing, P.M., Grandy, A.S., Kane, D.A., Koide, R.T., Mortensen, D.A., Smith, R.G., Snapp, S.S., Spokas, K.A., Yannarell, A.C., Jordan, N.R. (2016). Precision control of soil nitrogen cycling via soil functional zone management. In : Agriculture, Ecosystems and Environment, 231, pp. 291-295. Cited 4 times. DOI: 10.1016/j.agee.2016.07.010	Gestion du cycle de l'azote du sol mais pas d'AP au sens où nous l'avons défini
Blaes, X., Chomé, G., Lambert, M.-J., Traoré, P.S., Schut, A.G.T., Defourny, P. (2016). Quantifying fertilizer application response variability with VHR satellite NDVI time series in a rainfed smallholder cropping system of Mali. In : Remote Sensing, 8 (6), art. no. 531, . Cited 8 times. DOI: 10.3390/rs8060531	Etude sur la sensibilité du signal satellite et fertilité des sols mais ne s'intéresse pas réellement à l'AE
Thierfelder, C., Matemba-Mutasa, R., Bunderson, W.T., Mutenje, M., Nyagumbo, I., Mupangwa, W. (2016). Evaluating manual conservation agriculture systems in southern Africa. In : Agriculture, Ecosystems and Environment, 222, pp. 112-124. Cited 32 times. DOI: 10.1016/j.agee.2016.02.009	Pratiques agricoles plus durables et intelligentes pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Bourgeon, M.-A., Paoli, J.-N., Jones, G., Villette, S., Gée, C. (2016). Field radiometric calibration of a multispectral on-the-go sensor dedicated to the characterization of vineyard foliage. In : Computers and Electronics in Agriculture, 123, pp. 184-194. Cited 12 times. DOI: 10.1016/j.compag.2016.02.019	Maladies en viticulture
Cherlinka, V. (2016). Models of soil fertility as means of estimating soil quality. In : Geographia Cassoviensis, 10 (2), pp. 131-147.	Etude sur les modèles de fertilité des sols comme indicateur de qualité des sols ; modèle qui pourrait être utilisé comme indicateur de suivi de l'évolution de la fertilité des sols dans les systèmes d'AP mais pas de lien entre AP et AE
Kritee, K., Nair, D., Tiwari, R., Rudek, J., Ahuja, R., Adhya, T., Loecke, T., Hamburg, S., Tetaert, F., Reddy, S., Dava, O. (2015). Groundnut cultivation in semi-arid peninsular India for yield scaled nitrous oxide emission reduction. In : Nutrient Cycling in Agroecosystems, 103 (1), pp. 115-129. Cited 3 times. DOI: 10.1007/s10705-015-9725-2	Pratiques alternatives sur la culture de l'arachide et pas d'AP
Dawson, I.K., Russell, J., Powell, W., Steffenson, B., Thomas, W.T.B., Waugh, R. (2015). Barley: A translational model for adaptation to climate change. In : New Phytologist, 206 (3), pp. 913-931. Cited 68 times. DOI: 10.1111/nph.13266	Adapatation des cultures d'orge résistantes au climat mais pas d'AP au sens où nous l'avons défini
Hank, T.B., Bach, H., Mauser, W. (2015). Using a remote sensing-supported hydro-agroecological model for field-scale simulation of heterogeneous crop growth and yield: Application for wheat in central europe. In : Remote Sensing, 7 (4), pp. 3934-3965. Cited 38 times. DOI: 10.3390/rs70403934	AP pour de la simulation précise de la croissance et du rendement donc pas pour de l'AE

Jiang, J.-A., Lin, T.-S., Yang, E.-C., Tseng, C.-L., Chen, C.-P., Yen, C.-W., Zheng, X.-Y., Liu, C.-Y., Liu, R.-H., Chen, Y.-F., Chang, W.-Y., Chuang, C.-L. (2013). Application of a web-based remote agro-ecological monitoring system for observing spatial distribution and dynamics of Bactrocera dorsalis in fruit orchards. In : Precision Agriculture, 14 (3), pp. 323-342. Cited 16 times. DOI: 10.1007/s11119-012-9298-x	Lutte intégrée contre les parasites en exploitations fruitières
Ayalew, B., Qu, J., Roper, W. (2013). Drought assessment and monitoring for sustainable production of tef crop and land management in ethiopia using geoinformation science. In : International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, RSETE 2013, pp. 801-805.	Cultures de tef
Bogdanski, A. (2012). Integrated food-energy systems for climate-smart agriculture. In : Agriculture and Food Security, 1 (1), art. no. 9, . Cited 32 times. DOI: 10.1186/2048-7010-1-9	Agroforesterie et systèmes intégrés culture-élevage-biogaz, agriculture intelligente pour le climat, donc pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Castoldi, N., Bechini, L., Ferrante, A. (2011). Fossil energy usage for the production of baby leaves. In : Energy, 36 (1), pp. 86-93. Cited 8 times. DOI: 10.1016/j.energy.2010.11.004	Performances économiques et energétiques de culture de plantes (maraîchage)
Loureiro, D.C., de-Polli, H., Ceddia, M.B., de Aquino, A.M. (2010). Spatial variability of microbial biomass and organic matter labile pools in a haplic planosol soil. In : Bragantia, 69 (SUPPL.), pp. 85-95. Cited 2 times. DOI: 10.1590/S0006-87052010000500010	Variabilité spatiale de la biomasse microbienne du sol et des réserves de matière organique du sol labile sous différents systèmes de gestion et couvertures végétales Pas d'AP au sens où nous l'avons défini
Makowski, D., Tichit, M., Guichard, L., Van Keulen, H., Beaudoin, N. (2009). Measuring the accuracy of agro-environmental indicators. In : Journal of Environmental Management, 90 (SUPPL. 2), pp. S139-S146. Cited 28 times. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.11.023	Evaluation d'indicateurs agro-environnementaux mais pas d'AP au sens où nous l'avons défini
Malhi, S.S., Johnston, A.M., Gill, K.S., Pennock, D.J. (2004). Landscape position effects on the recovery of 15N-labelled urea applied to wheat on two soils in Saskatchewan, Canada. In : Nutrient Cycling in Agroecosystems, 68 (1), pp. 85-93. Cited 21 times. DOI: 10.1023/B:FRES.0000012238.02635.7e	Etude de l'azote provenant des engrais mais pas de l'AP au sens où nous l'avons défini
Cook, S.E., Bramley, R.G.V. (2000). Coping with variability in agricultural production - Implications for soil testing and fertiliser management. In : Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31 (11-14), pp. 1531-1551. Cited 19 times. DOI: 10.1080/00103620009370524	La technologie de l'AP améliore considérablement la capacité à acquérir et à gérer davantage de ces informations mais dans cet article, on s'intéresse au bénéfice financier et non AE

Annexe 3 : Articles scientifiques traitant de l'agriculture de précision et de l'agroécologie retenus pour l'analyse qualitative de l'étude

AP = agriculture de précision, AE = agroécologie

REFERENCE DE L'ARTICLE	DATE	CONTENU	IMPORTANCE DU LIEN ENTRE AP ET AE	CULTURE /ELEVAGE
Idbella, M., Iadaresta, M., Gagliarde, G., Mennella, A., Mazzoleni, S., Bonanomi, G. (2020). Agrilogger: A new wireless sensor for monitoring agrometeorological data in areas lacking communication networks. In : Sensors (Switzerland), 20 (6), art. no. 1589, DOI: 10.3390/s20061589	2020	Capteur agricole AgriLogger (collecte de données agrométéorologiques dans des zones éloignées, difficiles d'accès et non desservies par les réseaux télécommunication)	Pas central L'AP est surtout présentée ici comme un moyen d'augmenter la production. Mais le capteur agrométéorologique en question et l'utilisation d'un drone permettent de fournir un suivi périodiques des conditions AE	culture
van Hulst, F., Ellis, R., Prager, K., Msika, J. (2020). Using co-constructed mental models to understand stakeholder perspectives on agro-ecology. In : International Journal of Agricultural Sustainability, . DOI: 10.1080/14735903.2020.1743553	2020	Etude sur les points de vue par rapport à l'AE selon les pays et les acteurs, ouvre la question du lien entre l'AP et l'AE	Central	culture
13th IFIP WG 5.11 International Symposium on Environmental Software Systems, ISESS 2020 (2020) IFIP Advances in Information and Communication Technology, 554 IFIP, 270 p.	2020	Travaux de recherche agroenvironnementale. Les technologies de l'AP peuvent servir à l'AE	**Pas d'accès à l'article**	culture/élevage
Jones, R.A.C., Naidu, R.A. (2019). Global Dimensions of Plant Virus Diseases: Current Status and Future Perspectives. In : Annual Review of Virology, 6, pp. 387-409. Cited 4 times. DOI: 10.1146/annurev-virology-092818-015606	2019	Maladies virales en production végétale et leurs effets négatifs sur les divers systèmes de production AE	Pas central L'innovation technologique est présentée comme un moyen de développer l'intelligence épidémiologique des menaces virales pour la production végétale	culture
Gage, K.L., Schwartz-Lazaro, L.M. (2019). Shifting the paradigm: An ecological systems approach to weed management. In : Agriculture (Switzerland), 9 (8), art. no. 179, . Cited 2 times. DOI: 10.3390/agriculture9080179	2019	Gestion intégrée des mauvaises herbes avec appui, par exemple, des nouvelles technologies	Pas central L'article évoque seulement le potentiel des nouvelles technologies "Les interactions agroécologiques devraient être étudiées à la lumière des nouvelles technologies de lutte contre les mauvaises herbes en développement."	culture

Zhang, F., Cao, N. (2019). Application and research progress of Geographic Information System (GIS) in agriculture. In : 8th International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2019, art. no. 8820476, . DOI: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820476	2019	Recherche d'application spécifique de la technologie SIG sur la gestion de l'information sur les ressources agricoles, le zonage agroclimatique, la prévention des catastrophes agricoles, la gestion de l'environnement agro-écologique, l'agriculture de précision, l'estimation et la surveillance du rendement des cultures, l'érosion des sols, la sensibilité écologique et la pollution de source non ponctuelle, etc.	**Pas d'accès à l'article**	culture
Mudereri, B.T., Dube, T., Adel-Rahman, E.M., Niassy, S., Kimathi, E., Khan, Z., Landmann, T. (2019). A comparative analysis of planetscope and sentinel sentinel-2 space-borne sensors in mapping striga weed using guided regularised random forest classification ensemble. In : International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 42 (2/W13), pp. 701-708. Cited 3 times. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-701-2019	2019	Gestion des mauvaises herbes dans les systèmes AE grâce à la détection plus précoce	Central Détection précoce des mauvaises herbes grâce à la télédection par satellite	culture
Maimaitijiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Maimaitiyiming, M., Hartling, S., Peterson, K.T., Maw, M.J.W., Shakoor, N., Mockler, T., Fritschi, F.B. (2019). Vegetation Index Weighted Canopy Volume Model (CVM VI) for soybean biomass estimation from Unmanned Aerial System-based RGB imagery. In : ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 151, pp. 27-41. Cited 7 times. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.03.003	2019	Etude sur les informations spectrales, structurelles et volumétriques dérivées de l'imagerie multispectrale et un modèle d'estimation de la biomasse aérienne des cultures (soja)	Pas central Il est avancé que la technique d'AP présentée pourrait être utile pour la gestion AE de précision	culture
Brogi, C., Huisman, J.A., Pätzold, S., von Hebel, C., Weihermüller, L., Kaufmann, M.S., van der Kruk, J., Vereecken, H. (2019). Large-scale soil mapping using multi-configuration EMI and supervised image classification. Geoderma, 335, pp. 133-148. Cited 7 times. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.08.001	2019	La carte des sols à haute résolution est utile pour les applications de modèles agro-écologiques afin de prévoir le stress des cultures en fonction des conditions environnementales limites (sol, disponibilité en eau, type de culture).	Central Gestion de l'hétérogénéité	culture
Magombeyi, M.S., Taigbenu, A.E., Barron, J. (2018). Effectiveness of agricultural water management technologies on rainfed cereals crop yield and runoff in semi-arid catchment: a meta-analysis. In : International Journal of Agricultural Sustainability, 16 (4-5), pp. 418-441. DOI: 10.1080/14735903.2018.1523828	2018	Gestion de l'eau dans les cultures céréalières	Central Technologies pour une meilleure gestion de l'eau	culture

Dunnett, A., Shirsath, P.B., Aggarwal, P.K., Thornton, P., Joshi, P.K., Pal, B.D., Khatri-Chhetri, A., Ghosh, J. (2018). Multi-objective land use allocation modelling for prioritizing climate-smart agricultural interventions. In : Ecological Modelling, 381, pp. 23-35. Cited 8 times. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2018.04.008	2018	OAD de hiérarchisation des priorités agricoles en fonction du climat	Central Les OAD sont présentés comme des technologies nécessaires pour aider les différentes parties prenantes à établir des priorités et donc à mettre en œuvre des interventions stratégiques appropriées. Ces interventions transforment les écosystèmes agricoles pour qu'ils résistent au climat, s'adaptent et soient efficaces.	culture
Reddy, P.P. (2017). Agro-ecological approaches to pest management for sustainable agriculture. In : Agro-ecological Approaches to Pest Management for Sustainable Agriculture, pp. 1-339. Cited 3 times. DOI: 10.1007/978-981-10-4325-3	2017	Intensification AE de la protection des cultures	Central L'AP est présentée comme une solution AE parmi d'autres **Pas d'accès à l'article**	culture
Sandhu, N., Singh, V., Sihag, M.K., Jain, S., Jain, R.K. (2017). Developing climate smart aerobic rice varieties for addressing the problems of water scarcity and global warming. In : Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments, pp. 75-85. DOI: 10.1007/978-981-10-4732-9_4	2017	Optimisation de la culture du riz, culture avec un fort besoin en eau	Central L'utilisation des nouvelles technologies est présentée comme une voie d'amélioration pour cultiver le riz plus efficacement (eau, énergie, MO) **Pas d'accès à l'article**	culture
Bellon-Maurel, V., Huyghe, C. (2017). Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology. In : OCL, 24 (3), art. no. D307, . Cited 7 times. DOI: 10.1051/ocl/2017028	2017	Rôle que les agroéquipements et les services numériques peuvent jouer dans la transition AE	Central Agroéquipements et services numériques au service de l'AE	culture/élevage (mais pas repéré par nos mots-clés)
Matzrafi, M., Herrmann, I., Nansen, C., Kliper, T., Zait, Y., Ignat, T., Siso, D., Rubin, B., Karnieli, A., Eizenberg, H. (2017). Hyperspectral technologies for assessing seed germination and Trifloxysulfuron-Methyl response in amaranthus palmeri (Palmer amaranth). In : Frontiers in Plant Science, 8, art. no. 474, . Cited 7 times. DOI: 10.3389/fpls.2017.00474	2017	Gestion des mauvais herbes (Amaranthus palmeri S. Watson, provoquant d'importants rendements de culture)	Central L'utilisation d'analyses basées sur la réflectance peut aider à mieux comprendre le caractère invasif d'A. palmeri, et ainsi faciliter le développement de méthodes de contrôle ciblées. Elle a également un énorme potentiel d'impact sur la gestion de l'environnement dans la mesure où elle peut être utilisée pour prévenir les applications inefficaces d'herbicides. Il peut également être utilisé pour cartographier la dynamique des populations dans les paysages agro-écologiques.	culture

Garbach, K., Milder, J.C., DeClerck, F.A.J., Montenegro de Wit, M., Driscoll, L., Gemmill-Herren, B. (2017). Examining multi-functionality for crop yield and ecosystem services in five systems of agroecological intensification. In : International Journal of Agricultural Sustainability, 15 (1), pp. 11-28. Cited 38 times. DOI: 10.1080/14735903.2016.1174810	2017	Etude sur un cadre analytique pour réaliser les objectifs de l'intensification AE (productivité, réduire dépendance aux intrants, amélioration des services écosystémiques)	Central L'AP est présentée comme l'un des 5 systèmes d'intensification AE	culture/élevage (mais pas repéré par nos mots-clés)
Varia, F., Guccione, G.D., Macaluso, D., Marandola, D. (2017). System dynamics model to design effective policy strategies aiming at fostering the adoption of conservation agriculture practices in sicily. In : Chemical Engineering Transactions, 58, pp. 763-768. Cited 4 times. DOI: 10.3303/CET1758128	2017	Etude sur l'approche de la dynamique des syst-mes pour favoriser l'adoption des pratiques AC en Sicile	Pas central L'article suggère que la mesure du programme de développement rural présentée dans l'article ne représente pas le seul élément moteur du système pour guider les agriculteurs vers le passage prévu de l'agriculture conventionnelle à l'agriculture en AC. Ce qu'il faut, c'est une intégration plus poussée avec d'autres politiques (politiques d'innovation) et d'autres interventions, par exemple les programmes de promotion de l'agriculture de précision	culture
Kassam, A., Brammer, H. (2016). Environmental implications of three modern agricultural practices: Conservation Agriculture, the System of Rice Intensification and Precision Agriculture. In : International Journal of Environmental Studies, 73 (5), pp. 702-718. Cited 5 times. DOI: 10.1080/00207233.2016.1185329	2016	Evaluation de trois systèmes de gestion sur les avantages financiers et environnementaux	Central L'AP fait partie des 3 systèmes étudiés	culture
Jat, M.L., Dagar, J.C., Sapkota, T.B., Yadvinder-Singh, Govaerts, B., Ridaura, S.L., Saharawat, Y.S., Sharma, R.K., Tetarwal, J.P., Jat, R.K., Hobbs, H., Stirling, C. (2016). Climate change and agriculture: Adaptation strategies and mitigation opportunities for food security in South Asia and Latin America. In : Advances in Agronomy, 137, pp. 127-235. Cited 34 times. DOI: 10.1016/bs.agron.2015.12.005	2016	Résumé des informations disponibles sur les stratégies d'adaptation et les options d'atténuation du changement climatique pour assurer la sécurité alimentaire en Asie du Sud et en Amérique latine.	Central Le nivellement au laser est présenté comme une technologie permettant de réaliser des économies d'eau, d'augmenter les rendements et améliorer l'efficacité d'utilisation des tracteurs (moins de GES, moins de carburant, …) = une des solutions possibles (parmi d'autres)	culture

Wyngaarden, S.L., Gaudin, A.C.M., Deen, W., Martin, R.C. (2015). Expanding red clover (trifolium pratense) usage in the corn-soy-wheat rotation. In : Sustainability (Switzerland), 7 (11), pp. 15487-15509. Cited 6 times. DOI: 10.3390/su71115487	2015	Utilisation du trèfle rouge dans la rotation maïs-soja-blé (renforce la résilience et la productivité AE par la fixation de l'azote) du blé jusqu'à la phase maïs. Evaluation des avantages AE et examination de l'application d'une technologie de précision	Pas central Le système proposé pourrait être encore affiné et amélioré par l'utilisation des technologies GPS/RTK	culture
Power, E.F., Kelly, D.L., Stout, J.C. (2013). The impacts of traditional and novel herbicide application methods on target plants, non-target plants and production in intensive grasslands. In : Weed Research, 53 (2), pp. 131-139. Cited 8 times. DOI: 10.1111/wre.12009	2013	Réduction de l'utilisation des herbicides par des améliorations technologiques dans l'application et la sélectivité des herbicides et de leur impact sur les espèces non ciblées	Central Etude sur la pulvérisation en couverture et manuelle VS pulvérisation automatisée	culture
Hergert, G.W. (2010). Sugar Beet Fertilization. In : Sugar Tech, 12 (3-4), pp. 256-266. Cited 20 times. DOI: 10.1007/s12355-010-0037-1	2010	Gestion des fertilisants	Central, mais travaux qu'à leur début Les applications de l'agriculture de précision pour la gestion élargie de sites spécifiques dans les betteraves sucrières ne font que commencer. Les travaux sur le maïs et le blé montrent qu'il est possible de créer différentes zones de gestion dans les champs et d'utiliser la télédétection ou la détection rapprochée pour déterminer le statut de l'azote pour les applications d'azote.	culture
Jat, M.L., Gathala, M.K., Ladha, J.K., Saharawat, Y.S., Jat, A.S., Kumar, V., Sharma, S.K., Kumar, V., Gupta, R. (2009). Evaluation of precision land leveling and double zero-till systems in the rice-wheat rotation: Water use, productivity, profitability and soil physical properties. In : Soil and Tillage Research, 105 (1), pp. 112-121. Cited 134 times. DOI: 10.1016/j.still.2009.06.003	2009	Evaluation des technologies de conservation des ressources basées sur l'AP et l'AC dans un double système de semis direct intégré au nivellement de précision des terres assisté par laser dans le système riz-blé	Central L'intégration des technologies de conservation des ressources basées sur l'agriculture de conservation avec les technologies basées sur l'AP dans une perspective systémique pourrait offrir une meilleure option pour les systèmes de production riz-blé durable.	culture
Seppelt, R. (2000). Regionalised optimum control problems for agroecosystem management. In : Ecological Modelling, 131 (2-3), pp. 121-132. Cited 19 times. DOI: 10.1016/S0304-3800(00)00270-2	2000	Etude sur les solutions aux problèmes de contrôle optimal d'apport d'engrais dont celle de l'identification d'unités homogènes dans la région observée par un SIG utilisant des cartes numériques	Central La méthodologie proposée soutient l'étape de l'aide à la décision dans l'agriculture de précision / amélioration de la fertilisation raisonnée	culture

Annexe 4 : Articles de la presse professionnelle faisant le lien entre agriculture de précision et agroécologie

AP = agriculture de précision, AE = agroécologie

REFERENCE DE L'ARTICLE (36/570)	DATE DE PARUTION	CONTENU DE L'ARTICLE
REUSSIR GRANDES CULTURES Désherbage mécanique - Le vidéoguidage pour un binage précis et rapide Michel Portier	2005	Désherbage mécanique : solutions de guidage Demande en agriculture biologique
REUSSIR GRANDES CULTURES Fertlisation en phosphore et potasse - Des solutions pour éviter les gaspillages Michel Portier	2009	Fertilisation raisonnée pour moins de gaspillage
REUSSIR GRANDES CULTURES Guidage par satellites - Gagnez à être précis grâce à l'usage du GPS Ludovic Vimond	2009	Gestion de la fertilisation, produits phytosanitaires GPS = économie de temps et d'intrants
REUSSIR GRANDES CULTURES Aide à la décision - Des outils pour piloter les traitements fongicides blé Christian Gloria	2013	Gestion des herbicides grâce aux outils d'aide à la décision
REUSSIR GRANDES CULTURES Un futur GIEE grandeur nature pour aller dans le sens de l'agroécologie Nicole Ouvrard	2014	Futur GIEE : coexistence de deux exploitations conventionnelles avec quatre en agriculture biologique Solutions de guidage
REUSSIR GRANDES CULTURES La digiferme grandes cultures de Boigneville connectée Christian Gloria	2016	Digiferme connectée : évaluation des gains économiques, techniques et environnementaux
REUSSIR GRANDES CULTURES La fertilisation intraparcellaire façon BeApi gagne du terrain Valérie Noël	2018	Fertilisation Be Api : meilleure précision de travail, économie d'intrants, réduction des impacts environnementaux
REUSSIR GRANDES CULTURES Les pièges connectés donnent l'alerte sur les ravageurs Marie-Pierre Crosnier	2019	Pièges connectés pour raisonner les traitements contre les ravageurs
REUSSIR GRANDES CULTURES La betterave sucrière se met au bio Christian Gloria	2019	Bineuse autoguidée pour le désherbage mécanique en agriculture biologique
REUSSIR GRANDES CULTURES Pulvé du futur - Jusqu'à 80% d'herbicides en moins grâce à la pulvé ultralocalisée David Laisney	2019	Pulvérisation ultra localisée : réduction des produits phytosanitaires
REUSSIR GRANDES CULTURES Les digifermes pour tester de nouvelles technologies utiles Charles Baudart	2019	Digifermes : permettent de faire le tri dans les outils numériques qui affichent des promesses alléchantes en matière de gain de temps, efficience des intrants, productivité ou un meilleur respect de l'environnement (article parle du désherbage mécanique)
REUSSIR LAIT Un programme robot et pâturage de précision Annick Conté	2013	Robot de traite et pâturage (programme de recherche)

REUSSIR LAIT Des herbomètres de nouvelle génération Sophie Bourgeois	2016	Herbomètre pour la pâturage de précision et clôtures virtuelles (essais non concluants)
REUSSIR LAIT Désherbage mécanique : la Cuma l'Orchidée veut pouvoir biner à 2cm en toutes conditions Véronique Bargain	2020	Désherbage mécanique avec solutions de guidage
REUSSIR BOVIN VIANDE Des génisses croisées finies à l'herbe avec la démarche Génie-Pâtures Cyrielle Delisle	2014	Pâturage de précision
REUSSIR BOVIN VIANDE Des clôtures pilotées à distance Michel Portier	2019	Clôtures pilotées (simplification du travail)
REUSSIR BOVIN VIANDE Spotifarm : les images satellites pour piloter le pâturage S.Bourgeois	2019	Pâturage de précision
REUSSIR BOVIN VIANDE PâtureVision, un outil de cartographie pour la pâturage S.Bourgeois	2019	Outil d'aide à la décision pour le pâturage de précision
REUSSIR MACHINISME Tout savoir sur le désherbage mécanique de précision Michel Portier	2020	Désherbage mécanique de précision
REUSSIR BOVIN VIANDE Un premier test de clôtures virtuelles par Arvalis S.Bourgeois	2020	Clôtures virtuelles : essais en cours
REUSSIR PATRE Des innovations pour suivre la pousse de l'herbe Damien Hardy	2016	Clôtures connectées et pâturage de précision (herbomètre)
REUSSIR PATRE Tech-Ovin - L'élevage ovin s'est retrouvé à Bellac Damien Hardy et Bérenger Morel	2017	Invention primée au salon des moutonniers : balises GPS pour les brebis
REUSSIR PATRE Le Ciirpo dessine la ferme ovine du futur Damien Hardy	2017	Digifermes : innovations numériques pour l'élevage de précision adaptées aux conditions terrain
REUSSIR PATRE Cabinet de gestion PatureSens - Des conseillers privés pour pâturer comme en Nouvelle-Zélande Damien Hardy et Olivier Guillon	2017	Pâturage de précision
REUSSIR PATRE Un réseau qui a de la suite dans les idées	2018	4ème rencontre internationale : atelier axé élevage de précision
REUSSIR PATRE Surveillance connectée, l'innovation au service des berges	2018	Projet Clochète : capteurs embarqués sur animaux et clôtures connectées
REUSSIR CHEVRE Le GPS facilite les lâchés de chèvres D'après une fiche Inosys-Réseau d'élevage réalisée par Christine Guinamard (Idele) et Séverine Pastorelli (Chambre d'agriculture du Var).	2017	Utilisation de balises GPS pour les lachés-dirigés par un agriculteur

FRANCE AGRICOLE Mutualiser et échanger pour développer des agroéquipements adaptés Tanguy Dhelin	2015	En lien avec le Rapport Innovation Agriculture 2025
FRANCE AGRICOLE L'inquiétude et les travaux français sur les big data	2015	Audition sur le big data agricole
FRANCE AGRICOLE 30 projets pour "développer une agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement" Vincent Gobert	2015	En lien avec le Rapport Innovation Agriculture 2025
FRANCE AGRICOLE Stéphane Le Foll détaille le nouveau plan C. Fr	2015	En lien avec le Rapport Innovation Agriculture 2025
FRANCE AGRICOLE Prendre le virage des solutions connectées Hors-série réalisé par Corinne Le Gall et Vincent Gobert	2016	Présentation de 50 solutions connectées (dont des solutions pour le bien-être animal, l'AE, …)
FRANCE AGRICOLE La ferme du futur grandeur nature Adèle Magnard	2016	Ferme Agroécologique 3.0
FRANCE AGRICOLE "Je ne veux pas opposer" le conventionnel et le bio AFP	2019	Agroéquipements engagés dans la transition agroécologique
FRANCE AGRICOLE L'INRAe, un mastodonte au service de l'agroécologie Corinne Le Gall	2020	Fusion : le nouvel institut de recherche fait de la transition agroécologique sa priorité mais forte dilution du machinisme
FRANCE AGRICOLE Trois axes prioritaires pour l'agriculture de demain Marie Salset	2020	En lien avec le Pacte Productif

Annexe 5 : Guides d'entretien des acteurs et exemples de retranscription

AP = agriculture de précision, AE = agroécologie

Chercheurs et Animateurs/conseillers

Nom de l'enquêté (C3) – date

1. Présentation de votre activité

- Rôle/poste dans l'entreprise/domaine de recherche

2. AE

- Définition de l'AE

Pas à l'aise avec le terme AE.

3. Niveau de compatibilité entre AP et AE

- Quelle est votre opinion/avis sur l'utilisation de l'AP dans des exploitations écologisées ?

Pas incompatible du tout mais il est important que l'agriculteur ait les moyens intellectuels et les connaissances afin qu'il puisse garder son aspect critique sur toutes les sorties du modèle numérique. La transition AE n'est pas que dans un « modèle strictement », c'est l'application aux particularités locales et on sait que dans le numérique y'a forcément un facteur extérieur qu'on n'a pas pris en compte. Ça peut être un support mais il faut que ce soit un support qu'on maitrise.

Numérique : Augmenter, compléter, confronter, partager son pouvoir décisionnel mais l'outil ne doit pas dépasser l'agriculteur, de son expertise !

Ces élevages (systèmes pâturant) ont bonne presse auprès du public de manière générale par leur supposé faible impact environnemental alors mettre des capteurs sur ces animaux-là peut pénaliser l'empreinte écologique de ces animaux (batterie, ça vient de Chine, fabrication initiale, …) donc l'idée c'est de maximiser la donnée qui peut être acquise et tirer le maximum d'information à partir d'un capteur. Comment créer un OAD qui est basé à partir d'un seul capteur et ne surtout pas multiplier les capteurs ! Philosophie de numérisation pas dans le numérique à tout prix, pas dans le gadget car l'objectif final est peut-être qu'in fine, l'éleveur n'ait plus besoin de capteurs chez lui car toutes les informations auront déjà été produites et auront été stockées dans des BDD. Mais ça commence forcément par des capteurs.

- Quel(s) type(s) d'exploitation écologisée pourrai(en)t être intéressé(s) par l'AP ?

Question très délicate. Plusieurs cibles :

- L'AgTech = milieu de commerciaux qui vendent des solutions, des concepts de solutions

Ce qui se vend c'est la donnée. Pas tant le matériel, pas tant le service ! Des gens de l'AgTech qui vont faire des levées de fonds sur des concepts, des principes, …un peu tendance pour construire des robots qui ne servent à rien, qui ne marchent pas.

- Equipementiers historiques qui entament les transitions numériques (John Deere) qui rajoutent des capteurs et qui rendent intelligentes leurs machines

- Tout le monde qui va graviter autour de systèmes standardisés (dans leur produit, dans leur organisation ou dans les deux). Très développé en élevage porcin, recherche d'un produit très standardisé et donc la maîtrise des coûts associés donc les outils aident à garder cette précision pour gagner sur les marges

La locomotive en élevage c'est la VL et le robot de traite, ça fait très longtemps que s'est développé. Offre de service bien rôdé.

- Les opportunistes : les gars qui ont une bonne idée, qui identifient une offre, une nouvelle information, qqch d'un peu nouveau qui pourrait coller à un besoin qu'ils identifient (ex collier anti-loups ; clôtures virtuelles ; …)

Pas toujours les agriculteurs qui sont la cible ! Quand on croise le monde agricole avec le monde du numérique, il y a tout un tas de gens qui a tout intérêt à se faire de l'argent autour du travail de l'agriculteur ; avec parfois de bonnes intentions (réduire temps de travail, alléger charge mentale, charge physique) mais ça reste un milieu où l'objectif premier est de se faire des sous.

- Diriez-vous qu'il y a une augmentation de l'intérêt des agriculteurs dans des EA écologisées pour ces technologies ?

Oui, ils sont tous sensibles à ça car ils sont tous intégrés dans la société ! Le numérique est un facteur d'intégration sociale. De moins en moins d'agriculteurs/d'éleveurs, de plus en plus isolés ; ils ont besoin de communiquer et dans ce cas le numérique leur offre une porte ouverte au monde ; reconnecter avec les urbains. Dans les usages, on a de plus en plus d'animaux par éleveurs, on a des moyens de suivi qui peuvent être augmentés pour compléter son jugement et son analyse. Dans tous ces principes d'OAD, les éleveurs des systèmes extensifs sont très réceptifs à ça. Ils sont également réceptifs sur le fait que l'agri de précision permet d'objectiver des savoir-faire empiriques (pour aider à communiquer, rassurer dans ce qu'il observe, pour confirmer ce qu'il observe) ; l'outil GPS est détourné pour des déclarations de surfaces pâturées (mettre un GPS sur une des chèvres), preuve si passage contrôleur PAC ou pour des organismes de certification lorsque les CDC exigent des temps de pâturage spécifiques ou encore dans des systèmes de lâcher-diriger (animaux divaguent et sont récupérés en fin de journée, ce qui permet de savoir où elles sont quand l'éleveur veut aller les récupérer) ou systèmes d'alerte aux loups….

Ce n'est jamais tout blanc mais il y a quand même des bons points de l'AP sur la qualité de vie/travail. Il y a ceux qui suivent, se renseignent avec beaucoup d'attention ; ceux qui franchissent le pas le font pour des objectifs qu'ils se sont donnés eux-mêmes. En général, ils voient les objectifs sans identifier les contraintes qu'ils vont avoir au fil : Tu veux un GPS pour suivre tes chèvres en lâcher-diriger, tu fais le tour un petit peu des fournisseurs de solution, personne n'en produit donc tu vas prendre un GPS pour chat or ce GPS-là n'est pas paramétrable mais pour l'objectif visé il est plutôt correct. L'absence de solutions claires, identifiées, testées, prouvées induit de choisir des choses qui ne sont pas adaptés mais qui sont adaptables. Si c'est ce cheminement, ils sont satisfaits et sont même proactifs « si c'était comme ça, ça serait mieux etc. »

- Comment l'AP pourrait-elle soutenir la transition AE ?

Oui. Mais dans quel enchaînement et mental et physique se produit cette transition. Mêler transition AE avec la transition numérique, c'est mêler 2 engagements !

Un engagement dans la transition AE c'est un engagement vers l'identification d'un concept et l'identification des protocoles qui sont associés à ce concept et c'est exactement la même chose pour la transition numérique, l'identification d'un concept « qu'est-ce qu'on veut, qu'est-ce qu'on veut faire là-dedans » et le long de ce concept il faut être capable de s'approprier comment est produit l'outil, comment est produit la donnée, qu'est-ce qu'on peut en faire… Donc c'est mêler 2 niveaux de complexité différents d'engagement ! La transition numérique n'est pas forcément AE pour les principes des données, qui sont forcément non-écologiques (pour le moment en tout cas, question de recyclage…).

La transition AE aidée par le numérique, si elle facilite les choses dans la manière opérationnelle de faire, elle ne facilite pas les choses dans la façon conceptuelle de faire. Si on me dit de faire ça plutôt qu'autre chose, quel(s) moyen(s) j'ai de savoir que ce que je fais c'est vraiment le plus optimal par rapport à mes conditions, et ça c'est un des travers du numérique. Les modèles ont des limites de validité. La seule manière d'identifier si ma situation n'est pas sortie hors limite de validité de modèle, c'est d'être capable de critiquer les sorties de mes systèmes d'information. Et ça, l'agriculteur doit être capable de le faire tout seul.

- Selon vous, l'agriculture de précision intervient/pourrait intervenir à quel(s) niveau(x) d'écologisation (niveau 1 : efficience ; niveau 2 : substitution ; niveau 3 : reconception) ?

En l'état actuel des choses, l'agriculture de précision ne peut en aucun cas se substituer aux stratégies fines mises en place par l'agriculteur pour atteindre ses objectifs, quels qu'ils soient. Il s'agit d'avantage d'une aide, apportant des informations fines qu'il peut mobiliser ou non. Selon leur vocation première ou non. Le système d'information principal reste donc l'humain.

Je pense, sans trop vouloir remettre en question la question, que définir ces niveaux dépend de votre définition d'une exploitation agroécologique et qu'il ne faut pas les considérer comme des étapes indépendantes vers une ferme agroécologique.

L'agriculture de précision pourrait donc intervenir à toutes les étapes de cette transition en complétant le processus décisionnel de l'agriculteur-éleveur par des informations pertinentes et en démontrant comment ces informations peuvent contribuer à sa stratégie globale. Cela passe par des moyens de valorisation adaptés et adaptables aux différents contextes. C'est surtout par la capacité de prédiction des outils numériques, dont les différentes simulations de scénarios pourraient rassurer l'agriculteur-éleveur quant à ses différents choix et explorer certaines options plus radicales.

Dans un second temps, les gains en précision que peuvent apporter ces outils peuvent être mis à profit pour des fermes à grande échelle visant à s'intégrer dans des secteurs très concurrentiels (grande distribution par exemple sur des produits essentiels et sans appellations).

- Pensez-vous que l'AP puisse être un facteur d'adoption de pratiques AE ? ou l'AE un facteur d'adoption d'outils d'AP ?
- Faut-il favoriser le développement de l'AP dans les EA écologisées ?
    - Si oui :
      Qu'est-ce qu'il faudrait comme outils pour favoriser l'adoption de l'AP en AE ? Est-ce pertinent de les développer ? Est-ce faisable ? Quels sont les moyens à mettre en œuvre ?
    - Si non pourquoi

Oui et non. Il faut donner les moyens aux outils de s'adapter et pas faire des outils adaptés. Plus une solution au cœur avec un fonctionnement adapté en fonction des situations. Se baser sur des outils qui existent déjà mais les rendre adaptables à tout type de système.

Un capteur va générer de la donnée, et toujours plus que par rapport à ce dont on a réellement besoin : c'est comme ça que fonctionne la création d'OAD. Alors ce n'est pas grave, si on a un outil général qui permet de répondre ET aux besoins en élevages intensifs indoor ET aux besoins en élevages extensifs outdoor, oui on aura de la perte de données car les agriculteurs n'auront pas les mêmes besoins en termes d'information. (On pourrait se dire oui mais dans ce cas, le capteur coûte plus cher s'il permet d'avoir accès à pleins d'informations alors qu'on n'en a pas besoin) ; le prix du capteur ne sera bientôt plus un problème (sauf pour les gros robots type DAC, traite, …) et finira par ne plus être l'enjeu des discussions (cf box internet qu'on ne paie plus).

Important : identifier les attentes des éleveurs ! A chaque fois, avant de faire quoique ce soit, on co-construit l'outil avec l'éleveur « Qu'est-ce que tu voudrais ? Quelle(s) prédiction(s) est-ce que tu attends ? Est-ce que c'est faisable ? Du coup ça augmente le prix de tant, t'es toujours d'accord… ? »

En France, systèmes d'élevage hyper diversifiés dans leur façon de produire ! Toutes les entreprises commerciales qui proposent des solutions GPS ont un turn-over très rapide, en général c'est des start-ups qui ont une bonne idée mais qui durent 2-3 ans car on a toujours un éleveur qui est en zone blanche, ou un éleveur qui a un troupeau un peu particulier, … qui fait qu'ils avaient toujours trop de travaux de maintenance. Y'a quelques boîtes qui font des projets en développement avec des centres de recherche, elles, elles s'en sortent à peu près ; y'a les très grosses boîtes qui font du GPS et qui peuvent faire de l'environnement expérimental pour des animaux sauvages (2000€ le GPS) donc pour moi, il fallait que je trouve un intermédiaire entre un truc qui est disponible maintenant qui peut être adapté et adaptable pour les animaux d'élevage et qui ne coûte pas cher → GPS low-cost. Le marché n'est pas mature ! Surtout pas en élevage pour les outils numériques. En France particulièrement ! Car on reste encore sur des petites unités de production. Multiplication de petites unités de production = spécificité de l'élevage Français. Très mal vu par les fournisseurs du coup.

Des agriculteurs se retrouvent suréquipés et blindés de capteurs : ils connaissent le fonctionnement de la machine mais n'ont pas forcément conscience de la quantité de capteurs présents dans leur machine et la quantité de données qu'elle produit ! Ça ne leur est pas utile : sous-utilisation des capteurs ; potentiel non exploité ou alors ça ne sert à rien de mettre tout ce potentiel dans ces machines !

Pour l'instant, tout le monde s'en fiche de la donnée et à qui elle appartient car l'important c'est le service ! Mais l'enjeu demain, c'est bien la donnée ! Si on explore à fond le principe du retour sur investissement, cette donnée là à quoi elle sert à l'agriculteur ici et maintenant ? De plus, la donnée a un impact écologique donc le but serait quand même de réduire toute donnée qui ne servirait pas d'information opérante ; il faut donner l'occasion à l'éleveur d'identifier à quoi elle va servir sa donnée, qu'il est la compréhension de ce qu'il produit ; qu'il s'engage en connaissance de cause.

Le fait que les élevages extensifs AE soient « en retard » sur la numérisation parce qu'il y a peu de solutions disponibles, c'est une chance. Ça va justement permettre aux acteurs (éleveurs, conseillers, maîtres de conf, …) de se concerter et de réfléchir à où on va et qu'est-ce qu'on en fait de tout ça ! On a le recul de ce qui se passe en production végétale, le recul de ce qui s'est passé chez les êtres humains pour faire qqch en connaissance de cause ! C'est le moment de se servir de ce retard comme une opportunité. Force collective.

Oui et non. Il faut donner les moyens aux outils de s'adapter et pas faire des outils adaptés. Plus une solution au cœur avec un fonctionnement adapté en fonction des situations. Se baser sur des outils qui existent déjà mais les rendre adaptables à tout type de système.

Un capteur va générer de la donnée, et toujours plus que par rapport à ce dont on a réellement besoin : c'est comme ça que fonctionne la création d'OAD. Alors ce n'est pas grave, si on a un outil général qui permet de répondre ET aux besoins en élevages intensifs indoor ET aux besoins en élevages extensifs outdoor, oui on aura de la perte de données car les agriculteurs n'auront pas les mêmes besoins en termes d'information. (On pourrait se dire oui mais dans ce cas, le capteur coûte plus cher s'il permet d'avoir accès à pleins d'informations alors qu'on n'en a pas besoin) ; le prix du capteur ne sera bientôt plus un problème (sauf pour les gros robots type DAC, traite, …) et finira par ne plus être l'enjeu des discussions (cf box internet qu'on ne paie plus).

Important : identifier les attentes des éleveurs ! A chaque fois, avant de faire quoique ce soit, on co-construit l'outil avec l'éleveur « Qu'est-ce que tu voudrais ? Quelle(s) prédiction(s) est-ce que tu attends ? Est-ce que c'est faisable ? Du coup ça augmente le prix de tant, t'es toujours d'accord… ? »

En France, systèmes d'élevage hyper diversifiés dans leur façon de produire ! Toutes les entreprises commerciales qui proposent des solutions GPS ont un turn-over très rapide, en général c'est des start-ups qui ont une bonne idée mais qui durent 2-3 ans car on a toujours un éleveur qui est en zone blanche, ou un éleveur qui a un troupeau un peu particulier, … qui fait qu'ils avaient toujours trop de travaux de maintenance. Y'a quelques boîtes qui font des projets en développement avec des centres de recherche, elles, elles s'en sortent à peu près ; y'a les très grosses boîtes qui font du GPS et qui peuvent faire de l'environnement expérimental pour des animaux sauvages (2000€ le GPS) donc pour moi, il fallait que je trouve un intermédiaire entre un truc qui est disponible maintenant qui peut être adapté et adaptable pour les animaux d'élevage et qui ne coûte pas cher → GPS low-cost. Le marché n'est pas mature ! Surtout pas en élevage pour les outils numériques. En France particulièrement ! Car on reste encore sur des petites unités de production. Multiplication de petites unités de production = spécificité de l'élevage Français. Très mal vu par les fournisseurs du coup.

Des agriculteurs se retrouvent suréquipés et blindés de capteurs : ils connaissent le fonctionnement de la machine mais n'ont pas forcément conscience de la quantité de capteurs présents dans leur machine et la quantité de données qu'elle produit ! Ça ne leur est pas utile : sous-utilisation des capteurs ; potentiel non exploité ou alors ça ne sert à rien de mettre tout ce potentiel dans ces machines !

Pour l'instant, tout le monde s'en fiche de la donnée et à qui elle appartient car l'important c'est le service ! Mais l'enjeu demain, c'est bien la donnée ! Si on explore à fond le principe du retour sur investissement, cette donnée là à quoi elle sert à l'agriculteur ici et maintenant ? De plus, la donnée a un impact écologique donc le but serait quand même de réduire toute donnée qui ne servirait pas d'information opérante ; il faut donner l'occasion à l'éleveur d'identifier à quoi elle va servir sa donnée, qu'il est la compréhension de ce qu'il produit ; qu'il s'engage en connaissance de cause.

Le fait que les élevages extensifs AE soient « en retard » sur la numérisation parce qu'il y a peu de solutions disponibles, c'est une chance. Ça va justement permettre aux acteurs (éleveurs, conseillers, maîtres de conf, …) de se concerter et de réfléchir à où on va et qu'est-ce qu'on en fait de tout ça ! On a le recul de ce qui se passe en production végétale, le recul de ce qui s'est passé chez les êtres humains pour faire qqch en connaissance de cause ! C'est le moment de se servir de ce retard comme une opportunité. Force collective.

- Comment voyez-vous l'évolution de l'AP dans les années à venir dans ces systèmes ?
- L'AE peut-elle se développer sans le numérique ?

Il y aura toujours des réfractaires du numérique, qui diront que le numérique n'a rien à faire dans la transition AE / la transition AE passe par le numérique, la précision passe par le numérique et l'AE doit être précis / intermédiaires qui sauront pas trop, qui suivront des schémas prémâchés sans trop les remettre en question et qui feront mal ou bien sans trop s'en rendre compte ; les investis qui sauront comment se démarquer, comment mieux faire = il y a ceux qui seront l'utiliser à bon escient.

Equipementiers

Nom de l'enquêté – date

1. <u>Présentation de votre activité</u>

2. <u>Précisions sur l'activité liée à l'AP</u>

- Quels types d'équipement/outils de précision commercialisez-vous ? Comment se développe la vente de ces outils ?
- A qui sont destinés les outils de précision que vous vendez ? *Public visé*
- Quelles sont les possibilités offertes par l'AP ?
- Quelles sont les motivations et freins à l'adoption des agriculteurs ?

3. <u>Niveau de compatibilité entre AP et AE</u>

- Quelle est votre opinion/avis sur l'utilisation de l'AP dans des exploitations écologisées ?
- Proposez-vous des outils adaptés aux exploitations écologisées ?
- Comment l'AP pourrait-elle soutenir/appuyer/aider à la transition AE ?
- Qu'est-ce qu'il faudrait comme outils pour favoriser l'adoption de l'AP en AE ? Est-ce pertinent de les développer ? Est-ce faisable ? Quels sont les moyens à mettre en œuvre ?
- Comment voyez-vous l'évolution de l'AP dans les années à venir dans ces exploitations AE ?
- L'AE peut-elle se développer sans le numérique ?

Agriculteurs

Nom de l'enquêté – date

1. Présentation de l'exploitation

- Année d'installation
- Description des productions
- SAU/UGB
- Description du parcellaire
- UTH
- Objectif(s)

2. Niveau d'engagement en AE

- Quelles sont les pratiques écologiques que vous avez mis en place ? Pourquoi (quelles raisons) ? Quand ?
- Prévoyez-vous de faire évoluer votre système pour améliorer vos pratiques AE ?

3. Opinion par rapport à l'AP

- Quelle est votre opinion/avis sur l'utilisation de l'AP ?
- Etes-vous équipés d'outils de précision/outils numériques ?

  Si oui :
  - Quels types d'équipement/outils de précision utilisez-vous ?
  - Depuis quand êtes-vous équipés ?
  - Quelles sont les raisons qui vous ont motivé à vous intéresser aux équipements de précision ?
  - Quelles sont les raisons qui vous ont convaincu d'acquérir des équipements de précision ?
  - Etes-vous satisfaits de votre/vos acquisition(s) ?
  - Qu'est-ce que ça vous a apporté ? Avez-vous constaté des changements suite à l'acquisition de ces équipements ?
  - Aimeriez-vous ou envisagez-vous de nouvelles acquisitions concernant du matériel de précision ?
  - Parmi ces équipements, lesquels sont indispensables (ou utiles ou souhaitables, ou encore possiblement intéressants = gradient du indispensable à l'application potentiellement utile) pour la mise en œuvre de l'AE
  - Comment faites-vous le lien entre l'AP et l'AE sur votre exploitation ?

  Si non :
  - Quelles sont les raisons qui vous bloquent concernant l'acquisition d'outils de précision ?
  - Aimeriez-vous ou envisagez-vous de vous équiper dans les années à venir ?

- Si on définit 3 niveaux d'écologisation pour tendre vers l'AE Efficience – Substitution – Reconception ; pensez-vous que l'AP peut intervenir sur l'un ou plusieurs de ces 3 niveaux

- Quels sont, selon vous, les types d'exploitation qui s'intéressent aux équipements de précision ?
- Comment voyez-vous l'évolution de l'AP dans les années à venir dans ces exploitations AE ?
- Quel est votre avis sur les outils existants ? Sont-ils ou non adaptés ? Qu'est-ce qu'il faudrait comme outils pour favoriser l'adoption de l'AP en AE ? Est-ce pertinent de les développer ? Quels sont les moyens à mettre en œuvre ?
- L'AE peut-elle se développer sans le numérique ?

Annexe 6 : Tableau reprenant les grandes questions de l'étude (relation entre l'agriculture de précision et les fondamentaux de l'agroécologie, la compatibilité entre les deux approches et le niveau d'adaptation des technologies de précision et besoins) pour lesquels les éléments de l'enquête ont été classés en différentes catégories

AP = Agriculture de précision, AE = Agroécologie

Type d'expert			**Chercheur**
Entreprise			
Nom Prénom			**C3**
Rôle dans l'entreprise			
Relation AP et fondamentaux AE	**Connaissances**		L'AP permet d'objectiver des savoir-faire empiriques (aide à communiquer, rassure dans ce qu'il observe, confirmer ce qu'il observe) ; déclarations de surfaces pâturées ; preuve si contrôleur PAC ou OC (CDC)
	Social	**Travail**	Ce n'est jamais tout blanc mais bons points dans l'amélioration qualité de vie/travail Aide dans les systèmes de "lâcher-diriger"
		Remplacement de l'humain	De plus en plus d'animaux par éleveurs. Moyens de suivi qui peuvent être augmentés pour compléter son jugement et son analyse. L'AP ne peut en aucun cas se substituer aux stratégies fines mises en place par l'agriculteur pour atteindre ses objectifs, quels qu'ils soient. Il s'agit d'avantage d'une aide, apportant des informations fines qu'il peut mobiliser ou non. Selon leur vocation première ou non. Le système d'information principal reste donc l'humain.
	Autonomie/Indépendance		Le numérique doit augmenter, compléter, confronter, partager son pouvoir décisionnel mais l'outil ne doit jamais dépasser l'agriculteur, son expertise.
	Environnement		Les élevages peu intensifiés ont bonne presse auprès du public par leur supposé faible impact environnemental donc mettre des capteurs sur ces animaux peut pénaliser l'empreinte écologique Impact écologique de la donnée donc objectif = réduire toute donnée qui ne servirait pas d'information opérante

Place de l'AP en AE	**Compatibilité AE-AP**	Pas incompatible du tout
	Niveau(x) d'écologisation concerné(s)	L'AP pourrait intervenir à toutes les étapes de cette transition en complétant le processus décisionnel de l'agriculteur-éleveur par des informations pertinentes et en démontrant comment ces informations peuvent contribuer à sa stratégie globale.
	Difficultés (transition AE)	AP est un support à maitriser Mêler transition AE et transition numérique, c'est mêler 2 niveaux de complexité d'engagements différents. Un engagement dans la transition c'est un engagement vers l'identification d'un concept et l'identification des protocoles qui sont associés à ce concept. La transition numérique n'est pas forcément AE pour les principes des données, qui sont forcément non-écologiques actuellement La transition AE aidée par le numérique, si elle facilite les choses dans la manière opérationnelle de faire, elle ne facilite pas les choses dans la façon conceptuelle de faire. L'agriculteur doit être capable de critiquer les sorties de ses systèmes d'information. Difficile d'identifier le retour sur investissement
	Evolution du numérique	
Technologies de l'AP et AE	**Public visé/concerné**	En agriculture, les systèmes plutôt standardisés : gagner en précision pour gagner sur les marges. La locomotive en élevage = VL. Mais les agriculteurs ne sont pas les seuls cibles : l'AgTech (commerciaux), équipementiers historiques, start-ups
	Intérêt/Demande des agriculteurs	Oui ils sont tous sensibles car tous intégrés dans la société. Le numérique est une porte ouverte au monde ; reconnecter avec les urbains
	Technologies adaptées	
	Besoins	En général, les agriculteurs voient les objectifs sans identifier les contraintes ; l'absence de solutions claires, identifiées, testées, prouvées, induit de choisir des choses qui ne sont pas adaptés mais adaptables : ils sont satisfaits et même proactifs "si c'était comme ça, ça serait mieux..." Il faut donner les moyens aux outils de s'adapter et pas, faire les outils adaptés. Plutôt une solution au coeur avec un fonctionnement adapté en fonction des situations ; se baser sur des outils qui existent déjà mais les rendre adaptables à tout type de système. L'idée est de maximiser la donnée qui peut être acquise et tirer le maximum d'information à partir d'un capteur : comment créer un OAD qui est basé à partir d'un seul capteur ; ne surtout pas multiplier les capteurs et s'assurer que l'agriculteur ait conscience des données qu'il produit ; c'est ce qui permet d'améliorer les OAD, cette masse d'informations Il faut maximiser la donnée qui peut être acquise et tirer le maximum d'information à partir d'un seul capteur. L'objectif final est peut-être qu'in fine, l'éleveur n'ait plus besoin de capteurs chez lui car toutes les informations auront déjà été produites Nécessité d'identifier les attentes (besoins et moyens) des éleveurs
	Coût économique	Le prix du capteur (sauf robots, DAC, ...) ne sera bientôt plus un problème (maximiser les infos acquises par les capteurs) Ce qui coûte cher c'est la donnée, pas les services ni l'outil
	Difficultés (technologies)	Mais il est important que l'agriculteur aient les moyens intellectuels et les connaissances pour garder l'aspect critique sur toutes les sorties du modèle numérique Agriculteurs souvent suréquipés et blindés de capteurs = potentiel de ces capteurs non exploités par les agriculteurs Contraintes à prendre en compte : animaux mobiles, soumis à l'environnement, grands troupeaux, faible VA par animal Outils général qui répond aux besoins en élevage intensif intérieur et en extensif extérieur

l'institut Agro agriculture • alimentation • environnement	Diplôme : Master Spécialité : Biologie Agrosciences Spécialisation / option : Sciences de l'Animal pour l'Elevage de Demain Enseignant référent : Anne-Lise Jacquot

Auteur(s) : Manon Lebrun Date de naissance* : 01/04/1996	Organisme d'accueil : Campus agronomique VetAgro Sup Adresse : 89, avenue de l'Europe 63370 LEMPDES
Nb pages : 20 Annexe(s) : 6	Maîtres de stage : Nathalie Hostiou, Benjamin Nowak et Philippe Jeanneaux
Année de soutenance : 2020	

Titre français : Agriculture de précision et transition agroécologique des exploitations : regards croisés des acteurs du monde agricole

Titre anglais : Precision farming and agro-ecological transition of farms: a crossroads of views from stakeholders in the agricultural world

Résumé : La transition agroécologique en France est fortement encouragée par une volonté gouvernementale. Pas toujours évidente à mettre en œuvre pour les agriculteurs, il semblerait que les possibilités offertes par les technologies de précision puissent répondre à certaines problématiques rencontrées. Les objectifs de ce travail visent à évaluer la place de l'AP dans la transition agroécologique des exploitations d'élevage ruminants et de grandes cultures. Une analyse de la bibliométrie scientifique et de la presse professionnelle, et des enquêtes de 36 acteurs impliqués dans le déploiement des technologies de précision ont été réalisées. Ces enquêtes mettent en évidence le point de vue des acteurs sur la compatibilité et la relation entre les deux thématiques et l'adaptation des technologies de précision aux exploitations en transition agroécologique. Les résultats montrent que peu d'articles font le lien entre les deux approches. Par ailleurs, l'analyse des enquêtes révèle des points de vue contrastés et une absence de convergence forte sur les différents thèmes. Les technologies de précision peuvent être au service des fondamentaux de l'AE mais elles ne sont actuellement pas toujours adaptées aux contraintes des exploitations en transition agroécologique. Dans un contexte où le développement des technologies va être promu par l'intermédiaire du Pacte Productif 2020, il est essentiel d'accompagner l'ensemble des acteurs impliqués, au risque de concevoir des outils non utilisés par les agriculteurs ou de ne pas répondre à leurs besoins.

Abstract : The agro-ecological transition in France is strongly encouraged by a governmental will. Not always easy to implement for farmers, it would seem that the possibilities offered by precision technologies can respond to some of the problems encountered. The objectives of this work are to assess the place of precision farming in the agro-ecological transition of ruminant and crops. An analysis of scientific bibliometrics and the professional press, and surveys of 36 actors involved in the deployment of precision technologies were carried out. These surveys highlight the stakeholders' views on the compatibility and relationship between the two themes and the adaptation of precision technologies to farms in agro-ecological transition. The results show that few articles make the link between the two approaches. Moreover, the analysis of the surveys reveals contrasting points of view and a lack of strong convergence on the different themes. Precision technologies can be at the service of the fundamentals of agroecology but they are not always adapted to the constraints of farms in agro-ecological transition. In a context where the development of technologies will be promoted through the 2020 Productive Pact, it is essential to support all stakeholders involved, at the risk of designing tools that are not used by farmers or do not meet their needs.

Mots-clés : agriculture de précision, agroécologie, ruminants, grandes cultures, élevage

Key Words : precision agriculture, agroecology, livestock, crops, ruminant