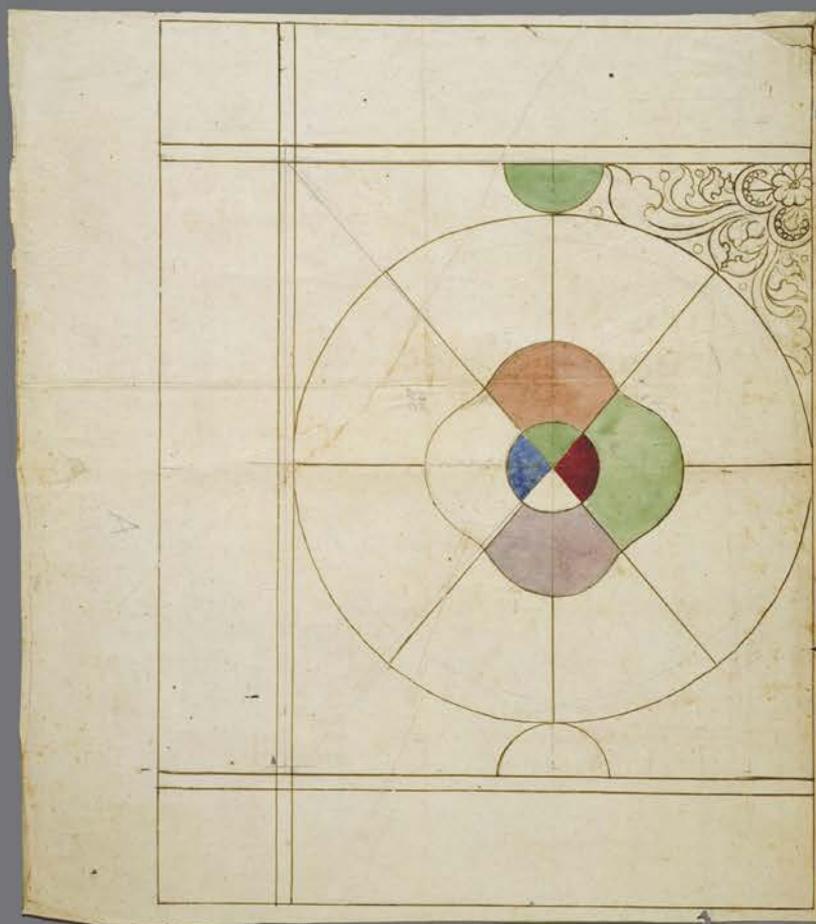


Enjeux numériques



L'agriculture numérique

UNE SÉRIE DES
ANNALES
DES MINES
FONDÉES EN 1794

N°19 - SEPTEMBRE 2022

*Publiées avec le soutien
de l'Institut Mines-Télécom*

ENJEUX NUMÉRIQUES

ISSN 2781-1263

Série trimestrielle - N°19 - Septembre 2022

Rédaction

Conseil général de l'Économie
Ministère de l'Économie,
des Finances
et de la Souveraineté
industrielle et numérique
120, rue de Bercy
Télédoc 797
75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68
<http://www.annales.org>

Grégoire Postel-Vinay
Rédacteur en chef

Gérard Comby
Secrétaire général

Alexia Kappelmann
Secrétaire générale adjointe

Magali Gimon
Assistante de rédaction et
Maquettiste

Myriam Michaux
Webmestre et Maquettiste

Publication

Photo de couverture
Prosper Lafaye, dessinateur,
Projet de panneau de vitrail
à décor abstrait, dessin,
XIX^e siècle. Musée Carnavalet,
Histoire de Paris © Paris Musées /
Musée Carnavalet

Iconographie
Alexia Kappelmann

Mise en page
Magali Gimon

Impression
Dupliprint Mayenne

Membres du Comité de rédaction

Jean-Pierre Dardayrol
Président du Comité de rédaction

Edmond Baranes

Godefroy Beauvallet

Côme Berbain

Pierre Bonis

Hélène Brisset

Serge Catoire

Nicolas Chagny

Éric Freyssinet

Jean-Marc Grognet

Arnaud de La Fortelle

Caroline Le Boucher

Bertrand Pailhès

Isabelle Piot-Lepetit

Grégoire Postel-Vinay

Maurice Ronai

Anne-Lise Thouroude

Laurent Toutain

Françoise Trassoudaine

Benjamin Vignard

La mention au regard de certaines illustrations du sigle « D. R. » correspond à des documents ou photographies pour lesquels nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont avérées infructueuses.

Le contenu des articles n'engage que la seule responsabilité de leurs auteurs.

Sommaire

- 05 Introduction
Le numérique, accompagner le changement
de la fourche à la fourchette
Isabelle PIOT-LEPETIT et Véronique BELLON-MAUREL

MIEUX PRODUIRE : VERS UNE AGRO-ÉCOLOGIE NUMÉRIQUE ?

- 08 How can precision livestock farming contribute
to the principles of agroecology?
Ludovic BROSSARD, Clément ALLAIN
& Jean-Baptiste MENASSOL
- 15 Le développement du numérique :
quelles perspectives pour l'agriculture biologique ?
Éléonore SCHNEBELIN, Pierre LABARTHE
& Jean-Marc TOUZARD
- 20 De la donnée au traitement autonome pour l'agroécologie
Roland LENAIN et Christophe AUBÉ

MIEUX S'INSÉRER DANS LES FILIÈRES : ACHAT, VENTE, CONFIANCE, RÉGIONALISATION

- 28 Perspectives logistiques et marketing
de la traçabilité agri-alimentaire par la *blockchain* :
Études de cas des usages de Walmart et Carrefour
Florent SAUCÈDE
- 35 Les plateformes numériques de vente :
quelle(s) opportunité(s) pour les producteurs ?
Romane GUILLOT, Magali AUBERT
& Anne MIONE
- 41 Reconfiguration of food value chains –
between logistics and traceability
Fatima EL HADAD-GAUTHIER
& Isabelle PIOT-LEPETIT
- 47 Quel effet de la digitalisation de l'agriculture
sur les services de conseil ?
Pierre LABARTHE
- 53 Outils numériques : enjeux de coordination d'acteurs,
de partage et de valorisation de la donnée
Soazig DI BIANCO et Mohamed GHALI

MIEUX PARTAGER, MIEUX APPRENDRE

- 60 Comment réussir un projet de *crowdsourcing* d'observations spatialisées en agriculture ?
Léo PICHON
- 67 Le numérique au service des différentes phases de création et d'utilisation des jeux sérieux en agriculture
Gilles MARTEL, Médulline TERRIER-GESBERT,
François JOHANY & Sylvain DERNAT
- 74 L'accès aux données agricoles :
les domaines d'intervention de la loi et du contrat
Laura TOMASSO
- 79 Le rôle des organisations professionnelles agricoles dans la construction d'un climat de confiance propice aux échanges et à la valorisation des données du secteur agricole
Guillaume JOYAU
- 85 La formation des agriculteurs peut-elle accompagner le développement de l'agriculture numérique ?
Béatrice DINGLI et Sylvie BOURGEOIS

LES VOIES DE L'INNOVATION EN AGRICULTURE NUMÉRIQUE

- 97 Start-ups and digital innovation in the agri-food sector
Isabelle PIOT-LEPETIT
& Mauro FLOREZ
- 103 Les voies de l'innovation en agriculture numérique :
les *living labs* et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation
Jacques-Eric BERGEZ, Mehdi SINÉ
& Muriel MAMBRINI
- 122 Quelle place pour les *hackathons* pour accompagner l'innovation numérique en agriculture ?
François BRUN, Mathieu RAJAIBA
& François GAUDIN
- 133 Le mobilab AgroTIC pour aller à la rencontre des agriculteurs
Bruno TISSEYRE et Simon MOINARD

**LE PANORAMA MONDIAL
DE L'AGRICULTURE NUMÉRIQUE**

- 139** Global adoption of digital agriculture
Simon COOK, Elizabeth JACKSON
& Davide CAMMARANO
- 148** Une agriculture numérique inclusive ?
Le cas de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest
Pascal BONNET, Jean-Daniel CESARO,
Chloé ALEXANDRE, Anna SOW,
Mathieu ROCHE & Nicolas PAGET
- 157** Déploiement du numérique en agriculture en France
Sarah DJAFOUR et Bruno TISSEYRE
-

- 163** Traduction des résumés
- 169** Biographies des auteurs

Ce numéro a été coordonné par

Isabelle PIOT-LEPETIT et Véronique BELLON-MAUREL

Introduction

Le numérique, accompagner le changement de la fourche à la fourchette

Par Isabelle PIOT-LEPETIT
INRAE - UMR MoISA, #DigitAg

Et Véronique BELLON-MAUREL
INRAE –UMR ITAP, #DigitAg

Le numérique s’invite dans l’agriculture et l’alimentaire, comme dans tous les secteurs de l’économie. Si les premières utilisations datent d’une trentaine d’années avec l’agriculture de précision, nous assistons depuis le milieu des années 2010 à une évolution notable des outils et services numériques agricoles, impulsée par quatre leviers techniques. Il s’agit de l’émergence de nouvelles sources de génération de données (objets connectés, satellites, téléphones portables...), des possibilités accrues de traitement de ces données (intelligence artificielle, traitement local ou déporté, HPC...), de la généralisation de la connectivité, qui facilite les échanges de données, d’informations et de connaissances, et permet la création de nouveaux produits et services, et enfin de la robotisation, qui se développe maintenant en milieu ouvert. Ces différents leviers peuvent être mobilisés pour contribuer à apporter des réponses aux besoins exprimés par nos sociétés et par les agriculteurs : la recherche d’une agriculture plus durable et plus saine, conservant de grandes capacités de production tout en réduisant son impact sur l’environnement et la santé, assurant à l’agriculteur un mode de vie correct et une juste rémunération, soutenant une alimentation territorialisée et porteuse de confiance, et enfin permettant le maintien de territoires ruraux vivants animés par une agriculture attractive pour les jeunes. Il est essentiel que les efforts de recherche et de développement se fassent dans cette perspective multi-objectifs.

Ainsi, le numérique traverse-t-il aujourd’hui toute la chaîne de production, « de la fourche à la fourchette », avec des contributions au niveau de la production agricole comme au niveau de la distribution¹, conduisant progressivement à une reconfiguration des systèmes alimentaires. Le caractère immatériel des données et des informations qui en découlent permet une fluidité des échanges entre les étapes successives de la chaîne de valeur, soutenant tout à la fois les flux de produits et d’informations entre les différents acteurs. Dans la tradition de partage et de mutualisation du monde rural (de la main-d’œuvre, des terres, des outils, des achats...), le numérique facilite la mise en commun du savoir, des expériences, ou plus simplement des données collectées par chacun. Ces dynamiques sont nouvelles, mais il est intéressant de noter qu’elles se développent dans tous les types d’agriculture et dans tous les pays.

¹ Nous avons volontairement écarté le « numérique dans l’usine agro-alimentaire », qui relève de logiques industrielles et qui est moins central dans cette révolution numérique que vit aujourd’hui l’agriculture.

Améliorer la production est le premier enjeu de l'agriculture numérique. Les dispositifs classiques de réduction des intrants, basés sur les principes de l'agriculture ou de l'élevage de précision, permettent de gérer la production à l'échelle *infra*, grâce à une connaissance fine des besoins des parcelles ou des animaux, et non plus à l'échelle de la parcelle ou du troupeau. Cela nécessite des capteurs spécifiques pour évaluer ces besoins et ajuster la décision. Pour l'instant, ce type d'agriculture est surtout plébiscité par les grandes exploitations, car il y a un coût de transaction à la mise en œuvre de ces capteurs et des systèmes de contrôle associés. L'objectif est aujourd'hui de dépasser ce stade du « numérique pour l'optimisation des apports ». L'enjeu est d'aller plus loin dans la transition en orientant le développement du numérique selon une optique d'accompagnement à la re-conception des systèmes de culture en suivant les principes de l'agroécologie, c'est-à-dire en tirant parti des interactions fonctionnelles entre les composants des écosystèmes (de la parcelle au paysage), en cherchant à recycler les nutriments (bouclage des cycles) et en passant d'une logique curative à une logique préventive. Cette hybridation entre numérique et agroécologie peut s'appliquer à différents types d'agriculture, ce qu'illustreront les exemples décrits dans la première partie de ce numéro spécial.

Le numérique est aussi un outil qui change les relations entre les acteurs de l'écosystème agricole, et ce, jusqu'à la commercialisation des produits. Les outils d'aide à la décision (OAD) font évoluer la manière dont est dispensé le conseil agricole. Les systèmes automatisés de surveillance et d'alerte ou de pilotage (par exemple de l'irrigation) ou les systèmes robotisés (par exemple robots de traite, d'affouragement, de nettoyage des stabulations ou de désherbage) changent aussi le rapport de l'homme au temps (temps libéré) et à son métier (changement des pratiques). Enfin, le numérique offre la possibilité de reconnecter les producteurs et les consommateurs *via* des plateformes de vente ou en offrant plus de transparence sur les produits (par exemple plus d'informations sur les modes de production, l'origine des produits...). Ce renouvellement des relations de travail et commerciales est abordé dans la deuxième partie de ce numéro spécial.

Enfin, le numérique permet de revisiter les modes d'échange et de capitalisation des données, des informations et des savoirs. Cela reste cependant un point ambivalent du numérique avec, d'un côté, des craintes légitimes exprimées par la profession agricole quant à la gouvernance des données produites par les agriculteurs, mais aussi, d'un autre côté, une ouverture extraordinaire pour co-construire ou coproduire des savoirs, avec un avantage certain pour les petits agriculteurs qui sont parfois assez éloignés des structures de formation. Cette question du partage des données et les conséquences en termes de gouvernance de ces dernières fait l'objet de la troisième partie de ce numéro spécial.

Ces différents leviers ne seront actionnables que si l'écosystème du monde agricole est préparé à cette transformation. Pour les usagers, d'une part, cela demande d'avoir atteint un certain niveau d'acculturation et de confiance dans le numérique, et pour les opérateurs de l'innovation (par exemple centres de recherche, pôles de compétitivité, entreprises...), d'autre part, de construire des trajectoires d'innovation nouvelles, plus participatives, qui garantissent que les technologies et services répondront aux besoins des utilisateurs finaux. La quatrième partie est consacrée à ce point essentiel, qui renvoie à la réussite de la transformation numérique en train de se mettre en place.

La cinquième partie de ce numéro spécial offre de changer de perspective en proposant un aperçu des initiatives et niveaux de développement du numérique à l'étranger, dans les pays du Nord comme du Sud. En effet, cette appropriation du numérique « de la fourche à la fourchette » n'est pas limitée aux pays du Nord. Elle se développe de manière très active dans les pays du Sud, avec des technologies plus simples et accessibles, créant un numérique utile et utilisé, dont nous pouvons nous inspirer.

Pour conclure, il apparait que nous sommes aujourd’hui à un tournant sur la manière dont le numérique peut se développer en agriculture. Initialement largement encouragé par une dynamique de type “*technology-push*”, le numérique en agriculture doit aujourd’hui se développer au service de toutes les agricultures, dans des démarches confrontant les opportunités ouvertes et les risques encourus, cela afin de réduire ces derniers et d’augmenter la confiance et l’adhésion des utilisateurs, au premier plan desquels les agriculteurs. De plus, l’innovation technologique, pour être réussie, doit être accompagnée d’innovations organisationnelles, économiques, sociales, voire politiques. Cette perspective constitue l’objet central du livre blanc Inria-INRAE « Agriculture et Numérique »², qui préconise *in fine* de s’appuyer sur les principes de la recherche et de l’innovation responsable pour relever ce challenge.

² BELLON-MAUREL V., BROSSARD L., GARCIA F., MITTON N. & TERMIER A. (2022), *Agriculture and Digital Technology: Getting the most out of digital technology to contribute to the transition to sustainable agriculture and food systems*, Inria-INRAE White book, 198 p., <https://doi.org/10.17180/wmkb-ty56-en>

How can precision livestock farming contribute to the principles of agroecology?

By Ludovic BROSSARD,

PEGASE, INRAE, Institut Agro, F-35590, Saint Gilles, France

Clément ALLAIN

Institut de l'Élevage, Monvoisin 35650 Le Rheu, France

& Jean-Baptiste MENASSOL

SELMET, L'Institut Agro Montpellier, CIRAD, INRAE,

Univ Montpellier, F-34000 Montpellier, France

Livestock farming systems are facing major currents of transitions with growing consideration for agroecology, “One Health and One Welfare” concepts, and increasing integration of digital technologies and sciences. Precision livestock farming technologies can contribute to the pillars of agroecology, for instance through precision feeding to reduce the inputs required for production; sensors and automata can also help to adopt management practices to improve global health and welfare of animals and farmers. Furthermore, digital technologies can help maintain or promote agroecological livestock farming systems through solutions that monitor animals, and facilitate the management and traceability of practices in more extensive systems, such as mountain farming or pastoralism. Therefore, new technologies have the potential to support agroecological transitions, but will not be the driving force behind these transitions. Possible negative externalities, such as environmental impact of digital technologies must also be weighed against their positive internalities for a successful and sustainable integration of digital tools into agroecological livestock farming systems.

INTRODUCTION

Agroecology is a scientific discipline and a movement that has been growing since the 2000s. It aims to stimulate natural processes to design agricultural systems that are weakly artificialized, productive, environmentally friendly, and less dependent on chemical inputs (Dumont *et al.*, 2018). Until recently, livestock farming systems have been little considered in agroecology despite the beneficial roles of animals in agroecosystems: producing proteins for humans from inedible resources (*e.g.* grasslands, by-products), providing ecosystemic services (*e.g.* biodiversity) and social benefits, and recycling plant nutrients (Gliessman, 2006). Dumont *et al.* (2013) proposed five principles to extend and apply agroecological concepts to livestock farming systems:

- adopting management practices aiming to improve animal health,
- decreasing the inputs needed for production,

- decreasing pollution by optimizing the metabolic functioning of farming systems,
- enhancing diversity within livestock farming systems to strengthen their resilience,
- and preserving biological diversity in agroecosystems by adapting management practices.

The “One Health/One Welfare” concepts can be integrated with these principles by repositioning the notions of animal health and welfare, respectively, within a holistic approach integrating animals, humans, and their environment, and across scales (local, national, and worldwide). In parallel with the development of these concepts, digital technologies and sciences (sensors, data processing, and transfer, automata, etc.) have been increasingly adapted and integrated into livestock farming systems, mainly intensive, offering new possibilities for monitoring animals and other components of the system as well as for controlling these systems (Faverdin *et al.*, 2020; Ingrand, 2018). Can these developments be integrated into a harmonious common approach? Can digital technologies being adapted to or facilitate the modifications and specificities induced by the application of agroecological principles in livestock farming systems? In the present paper, we first describe examples of contribution of digital technologies to agroecology pillars and One Welfare/One Health concepts in livestock farming systems. Next, we develop the main elements to be taken into account for an effective and responsible use of digital technologies, to maintain and promote agroecological livestock farming systems.

EXAMPLES OF CONTRIBUTION OF PRECISION LIVESTOCK FARMING TECHNOLOGIES TO THE PILLARS OF AGROECOLOGY

This section illustrates how digital technologies can contribute to the integration of the pillars of agroecology and One Health/One Welfare concepts within livestock farming systems. While two application cases are detailed, a summary table (see Table pp. 10-11) lists the possibilities and limits of the contribution of precision livestock farming for each of the pillars of agroecology.

Decreasing the inputs needed for production

Due to the importance of the environmental impact of animal feed production (use of arable land and water...), improving efficiency of feed utilization by animals is a way to reduce the inputs required for animal production (Dumont *et al.*, 2013). In ruminants and pig production, the individual monitoring of performance (growth, milk production, intake) through Radio Frequency IDentification (RFID) technologies, connected weigh scales, milk robots, and automatic feed dispensers allowed the development of precision feeding. This can be defined as an individual and daily adjustment of feed quantity and composition to the nutritional requirements of each individual in a herd, in order to spare feed and nutrient, improve feed efficiency and reduce nutrient excretion. In gestating and lactating sows, the combination of commercial automatic feed dispensers with biological models and data analysis algorithms allows to adapt feed nutrition depending on reproduction performances, feed intake, body composition, and data from previous parities. Experimental application of this method allowed a reduction of around 25% of the lysine ingested without decreasing feed intake, a reduction of 18.5 and 9% nitrogen and phosphorus excretions, respectively, and a decrease of around 4% of feed cost per gestation (so around €3.4 per gestation or €8 per ton of feed) (Gaillard and Dourmad, 2022). The same principles can be applied to growing pigs with expected reduction in nutrient use and excretion.

Table. Application cases of digital technologies as a support for the integration of agroecological principles in livestock production systems: Available possibilities and main limitations.

Agroecological principles	Possibilities	Limitations
Increasing knowledge dissemination and connections between stakeholders	<p><u>Mobile applications designed for exchanges between actors of a livestock sector</u>; allowing for a common shared information (e.g. on prices or technical figures), organization of the supply chain (collection route, volumes), traceability, and payments (J-D. Cesaro, personal communication).</p> <p><u>Mobile applications designed for exchanges with the consumers</u>; optical labels (barcodes) can be applied on the products to give information about production processes (e.g. grazing), and reinforce the link between the farmer and the consumer.</p> <p><u>Improved knowledge through easy access to many technical, economic, or environmental resources online.</u></p>	<p><u>Inequalities between populations in terms of knowledge, skills, access to technology, technology usability, and maintenance.</u></p> <p><u>Loss of knowledge and skills due to the transformation of the farmer as a profession, and the outsourcing of analyses, treatments, and sometimes decisions to digital tools and the associated external contractors.</u></p>
Preserving biological diversity in agroecosystems by adapting management practices	<p><u>Decision support tools aiming to preserve and promote virtuous farming practices (grassland pastoralism)</u>, such as rangelands management using GNSS technology to determine grazing routes or directly controlling animal grazing areas with virtual fences.</p>	<p><u>Technologies can comfort industrial farming practices with little to no direct outdoor connections for the animals.</u></p> <p><u>Animal standardization can be promoted through the selection of animals whom format and behavior are compatible with digital tools, such as a milking robot.</u></p>
Developing smallholders farms	<p><u>Low-tech developments can provide smallholders farms with dedicated digital tools, and allow for self-maintenance and adjustments of their functionalities based on local needs.</u> They can favor digital uptake and empowerment of rural populations.</p> <p><u>Reasoning technological needs by identifying and monitoring sentinel or leader animals to detect issues, rather than equipping all the animals within a group.</u></p>	<p><u>Livestock farms are frequently located in remote areas with often poor network coverage for data transmission and tool maintenance.</u></p>

Agroecological principles	Possibilities	Limitations
<p>Global health and welfare management</p>	<p>Early detection of illness and abnormal behavior helps preventing or diminishing their negative psychological and physiological impacts.</p> <p>Interconnected sensors and dedicated digital tools (based on artificial intelligence) can capture the complexity of a system. They enable an integrated approach to identify and correct the factors causing the disturbance, rather than only intervening on the symptoms caused by the disturbance.</p> <p>Sensors, automates, and digital tools can allow farmers to reduce workload (physical tasks, monitoring time), and bring flexibility.</p>	<p>Unpredictable on-farm events may trigger situations that are outside the operating range of the algorithms, and lead to inappropriate responses.</p> <p>A lack of interoperability between digital tools can trigger false or redundant alarms, increasing work and mental load, and decreasing confidence in digital solutions.</p>
<p>Limiting negative externalities, such as pollution</p>	<p>Precision and smart livestock production systems aim to reason the use of inputs while maintaining productive performances, thus limiting the associated potential pollution.</p>	<p>Digital technologies have negative impacts on the environment from the collection of primary resources, the production process to the waste management and recycling process.</p> <p>The functioning of digital technologies (data transfer and storage) has energy costs and a potential high carbon footprint.</p> <p>False positive alerts can sometimes lead to over medication.</p>

Adopting management practices aiming to improve global health and welfare

Supporting an integrated management of farm animal health requires a knowledge of the local environment as well as on the physiology and behavior of the animals, in order to understand and anticipate their reactions. When considering a set of criteria of different natures, originating and interacting at different scales of the farm, this knowledge can involve high levels of complexity in information processing. Digital tools, based on a combination of various sensors, can be used to improve the acquisition, management, processing, and sharing of this information in order to produce appropriate knowledge and action.

The alerts generated by these tools assist the farmer in their decision-making both in terms of prophylactic and curative treatments, and improve their precision in terms of targets (in the farm environment, on given individuals), quality (type of treatment), and quantity (doses are reasoned). In order to mitigate the effects of the physiopathological expression of the disease, these tools tend to favor predictive alerts whose performances (accuracy, range of application...) are dependent on the quality of the associated algorithms. The type of sensors used will be dependent on the main characteristics of the farming systems and their main health problems. For instance, in small ruminants, the results of the European TechCare project (Giovanetti *et al.*, 2021) show that, for all farming systems, the priority problems are associated with diseases (mainly lameness, mastitis, and dystocia), lack of available colostrum for newborns, and heat stress. For pasture-based systems, specific issues related to undernutrition as well as management of parasite pressure are to be considered. In the same way, for animals raised indoor, housing conditions and competition between animals are complementary factors that need to be considered. To address these issues, a set of measurements from sensor acquisition can be aggregated to provide a comprehensive analysis of animal behavior, and produce early warnings of abnormalities. The production of individual-based measures usually involves embedded sensors, although in some livestock systems fixed sensors may be used for this purpose. This is the case, for example, of machine vision algorithms that analyze images acquired from video recording, to identify the postural features of cattle and pigs that could correspond to early symptoms of illness (Nasirahmadi *et al.*, 2017). In other species, such as poultry, microphones placed in the building can identify abnormal vocalizations, locate their origins, and associate their occurrences with local housing conditions (Du *et al.*, 2018).

All these measures and alerts are likely to improve the health and welfare of animals, by anticipating the appearance of health problems or by detecting them early enough to prevent animals from suffering too long. But improving the welfare of animals can also go through the wellbeing of the farmer. Indeed, the concept of One Welfare recognizes the interdependencies between the welfare of animals and that of humans. For instance, new technologies can allow farmers to save time for automates and sensors replace recurring physical tasks (milking, feeding) while simplifying animal monitoring (reproduction events, health problems). Farmers also appreciate the flexibility to organize their work, and information provided can also lighten the mental load by anticipating events. The time saved allows equipped farmers to spend more time in the middle of the herd, the new information provided by these technologies provides them with more detailed behavioral, physiological or zootechnical knowledge, and the use of sensors and robots generate new relationships that did not exist before (learning to pass through robots, installing collars, ear tags, etc.). However, the mental load can sometimes be increased due to the complexity of the information to be managed, the multiplicity of alarms or alerts, or even the risk of more frequent breakdowns (Hostiou *et al.*, 2017). Finally, for farmers, these new technologies also give a more modern image of their profession, which would make it more attractive (Faverdin *et al.*, 2020).

DIGITAL TECHNOLOGIES TO MAINTAIN OR PROMOTE AGROECOLOGICAL LIVESTOCK FARMING SYSTEMS

Agroecological principles and consumer demands can lead to farming systems that allow more freedom for the animals with, for example, outdoor access for sectors accustomed to mainly indoor farming (pigs, poultry, veal calves). For these livestock systems, the challenge is then to continue to be able to monitor animals with the constraints linked to the distance from the buildings, but also to understand how the change in environment and farming system impacts the herd. More and more studies have been done in the recent years using sensors to better understand how the transition between indoor and outdoor access affects welfare, health, behavior, or growth of animals. Sensors like accelerometers, pedometers, or GPS are then useful to measure the standing/lying position, feeding behaviors, or even use of the outdoor shade (Spigarelli *et al.*, 2020).

Livestock sectors based on more traditional production methods and often already in line with some concepts of agroecology (low inputs, landscape maintenance, protection of biodiversity), such as mountain farming or pastoralism, face the difficulty of finding labor or solutions to monitor and protect their animals, which endangers the maintenance of these farms. Thus, digital technologies make it possible to provide solutions. RFID can be used for the recording of animals at fixed points (drinkers, trough). Positioning units (GPS) mounted on collars can determine animal movements over large areas, determine their habitat, and, somewhat, health and welfare. In combination with other sensors, such units can give information that helps to evaluate the welfare of free-ranging animals. Drones equipped with cameras can also locate and count the animals, as well as herd them. Digitally defined virtual fences can keep animals within a predefined area without the use of physical barriers, relying on acoustic signals and weak electric shocks (Herlin *et al.*, 2021).

Digital technologies can also directly respond to a need of traceability for production practices. For example, in response to consumers' demand, several European dairies have launched so-called pasture milk on the market guaranteeing consumers a minimum number of days of access to pasture for cows. The use of geolocation technologies coupled with artificial intelligence algorithms makes it possible to respond to this request in an automated and secure way (Allain *et al.*, 2020).

CONCLUSION

New technologies have the potential to support agroecological transitions, but will not be a driver for these transitions. Integrating digital solutions within agroecological livestock farming systems represent a great stake, partly because digital tools can be seen as intrinsically limited in terms of sustainability due to their negative environmental impacts (extraction, waste management, pollution in case of loss...), their resource consumption (electricity for data acquisition and management...), and, over a more or less long period, limited global resources for the raw materials that make up their plastic and electronic components (Pezzuolo *et al.*, 2021). On-farm, they can be used effectively to assist the management inputs of the farmer at various scales (information on the market, continuous monitoring on physiological, health, and behavior processes with associated alerts, waste production...), and with various objectives compatible with agroecology principles (waste management, better animal welfare, nutritional optimization, management of high level of diversity by integrating many aspects of the variations of the system, knowledge sharing...). The integration of digital tools within agroecological livestock farming systems should be considered by taking into account this balance between their positive internalities and negative externalities.

REFERENCES

- ALLAIN C., CHARPENTIER C., PHILIBERT A., LONIS W. & FISCHER A. (2020), "Traceability of dairy cows on pasture thanks to geotracking technologies", « *Rencontres. Recherche Ruminants* », 25, pp. 42-45.
- DU X., LAO F. & TENG G. (2018), "A sound source localisation analytical method for monitoring the abnormal night vocalisations of poultry", *Sensors*, 18(9), p. 2906.
- DUMONT B., FORTUN-LAMOTHE L., JOUVEN M., THOMAS M. & TICHIT M. (2013), "Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century", *Animal*, 7(6), pp. 1028-1043.
- DUMONT B., GROOT J. C. J. & TICHIT M. (2018), "Review: Make ruminants green again – How can sustainable intensification and agroecology converge for a better future?", *Animal*, 12(S2), pp. s210-s219.
- FAVERDIN P., BROSSARD L. & HOSTIOU N. (2020), « Le numérique au service de l'élevage : vers un élevage plus durable ? », in CHRIKI S., ELLIES-OURY M. P. & HOCQUETTE J. F. (éd.), *L'élevage pour l'agroécologie et une alimentation durable*, Éditions France Agricole, pp. 177-196.
- GAILLARD C. & DOURMAD J. Y. (2022), "Application of a precision feeding strategy for gestating sows", *Animal Feed Science and Technology*, 287, 115280.
- GIOVANETTI V., MOLLE G., DECANDIA M., MANCAS C., ACCIARO M., MORGAN DAVIES C., POLLOCK M., FAGOT B., GAUTIER J. M., ELHADI A., CAJA G., KENYON F., HALACHMI I., BAR SHAMAI A., GRØVA L., LLACH I., MENASSOL J.-B., DEBUS N. & GONZÁLEZ GARCÍA E. (2021), "State-of-the-art in precision livestock farming technologies for monitoring small ruminant welfare", communication at 72nd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, Davos, Switzerland, Wageningen Academic Publishers.
- GLIESSMAN S. R. (2006), "Animals in agroecosystems", in GLIESSMAN S. R. (éd.), *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*, 2nd edition, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 269-285.
- HERLIN A., BRUNBERG E., HULTGREN J., HÖGBERG N., RYDBERG A. & SKARIN A. (2021), "Animal welfare implications of digital tools for monitoring and management of cattle and sheep on pasture", *Animals*, 11(3), p. 829.
- 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", *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 21(4), pp. 268-275.
- INGRAND S. (2018), "Opinion paper: 'Monitoring te salutant.' combining digital sciences and agro-ecology to design multi-performant livestock farming systems", *Animal*, 12(1), pp. 2-3.
- NASIRAHMADI A., EDWARDS S. A. & STURM B. (2017), "Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs", *Livestock Science*, 202, pp. 25-38.
- PEZZUOLO A., GUO H., MARCHESINI G., BRSCIC M., GUERCINI S. & MARINELLO F. (2021), "Digital technologies and automation in livestock production systems: A digital footprint from multisource data", 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, pp. 258-262.
- SPIGARELLI C., ZULIANI A., BATTINI M., MATTIELLO S. & BOVOLenta S. (2020), "Welfare assessment on pasture: A review on animal-based measures for ruminants", *Animals*, 10(4), p. 609.

Le développement du numérique : quelles perspectives pour l'agriculture biologique ?

Par **Éléonore SCHNEBELIN**, **Pierre LABARTHE** & **Jean-Marc TOUZARD**
Institut national de recherche pour l'agriculture,
l'alimentation et l'environnement (INRAE)

Les technologies numériques sont mises en avant pour répondre aux enjeux de l'agriculture, quel que soit son modèle de production, conventionnel ou biologique. Pourtant les recherches conduites dans le cadre d'une thèse en région Occitanie montrent que les acteurs de l'agriculture biologique ont pour ces technologies des attentes, des perceptions, des projets et des usages en partie spécifiques. Si des enjeux du numérique sont communs à l'ensemble du secteur agricole, en particulier pour le partage d'information ou l'amélioration de conditions de travail, l'agriculture biologique se distingue par des pratiques techniques, des besoins de conception de systèmes, des normes et des valeurs qui jouent sur les attentes de ses acteurs envers le numérique. Les résultats révèlent des oppositions entre l'agriculture biologique et certains types de technologies numériques, mais ils pointent aussi l'existence de trajectoires d'innovation qui associent le numérique à cette agriculture, ce qui met en question l'évolution de son modèle.

Alors que les politiques publiques proposent de soutenir « le développement des équipements intelligents et connectés » pour « accélérer le développement et la diffusion de pratiques agroécologiques » (France Relance, 2021), des questions sont soulevées sur la capacité de ces technologies à favoriser ou non les différents modèles qui coexistent dans l'agriculture (Gasselín *et al.*, 2021). Le numérique se développe-t-il dans tous les modèles agricoles, et en particulier dans l'agriculture biologique ?

Cette question fait l'objet de débats et controverses (Bronson, 2019 ; Clapp et Ruder, 2020). Certains auteurs avancent que le développement du numérique pourrait renforcer le modèle « conventionnel » au détriment d'autres modèles agricoles ; il serait une étape supplémentaire dans la trajectoire d'industrialisation de l'agriculture. D'autres auteurs suggèrent que le numérique, en favorisant le partage d'information et la gestion économe de ressources, pourrait faciliter la mise en œuvre de pratiques agroécologiques, dont celles liées à l'agriculture biologique (Arbenz *et al.*, 2016). Cette controverse est peu étudiée alors que des moyens importants sont mobilisés pour le développement du numérique en agriculture, à travers des programmes de recherche, le financement de *start-up*, des aides à l'investissement agricole... Cette situation est d'autant plus paradoxale qu'il existe peu de connaissances sur les usages réels du numérique dans les exploitations agricoles françaises et sur leurs impacts sur les pratiques agricoles.

Cet article présente la synthèse d'une recherche conduite à différentes échelles du secteur agricole français, en enquêtant des acteurs représentant une diversité de modèles qui y

coexistent. À l'échelle globale du secteur, une quarantaine d'entretiens ont été réalisés avec des coopératives, syndicats, organisations professionnelles ou instituts techniques soutenant l'agriculture conventionnelle ou l'agriculture biologique, mais aussi auprès d'entreprises du numérique, de services de l'État et d'organismes de recherche. L'étude de ces entretiens a permis une première analyse des perceptions et projets par rapport à la digitalisation (Schnebelin *et al.*, 2021). À l'échelle des exploitations agricoles, des enquêtes ont été menées en région Occitanie sur un échantillon de 98 agriculteurs en grandes cultures, dont près de 40 % en agriculture biologique. Leurs analyses mixtes qualitatives et quantitatives ont permis de caractériser les profils d'usage du numérique, et de comprendre les liens entre ces usages et les modèles de production (Schnebelin, 2022), et en particulier celui de l'agriculture biologique.

PERCEPTIONS DES ACTEURS À L'ÉCHELLE DU SECTEUR AGRICOLE

En agriculture biologique (AB) comme en agriculture conventionnelle, les acteurs mentionnent le rôle important des organisations agricoles dans le développement du numérique, pour diffuser ces technologies, mais aussi pour les développer, gérer les données, former les utilisateurs et les accompagner dans leurs choix techniques. Au-delà d'innovations « poussées par l'offre technologique », les évolutions réglementaires (PAC, traçabilité...) et les normes sont vues par tous comme des facteurs qui favorisent la digitalisation du secteur. Tous les acteurs perçoivent aussi dans ces technologies des opportunités pour améliorer les conditions du travail agricole, optimiser des pratiques, gérer les risques, informer les consommateurs, former et informer les agriculteurs, ou encore améliorer la gestion des exploitations. Des risques, enfin, sont mentionnés par tous les acteurs, qu'il s'agisse de risques économiques liés à des investissements dont les effets et la rentabilité sont souvent encore incertains, ou de risques résultant de manque de compétences, de dépendance aux fournisseurs et de difficulté à réparer le matériel agricole ou encore de risques d'appropriation des données.

Mais les acteurs de l'AB et de l'agriculture conventionnelle expriment aussi des perceptions différentes, qui concernent avant tout les risques perçus et la « directionnalité » envisagée, c'est-à-dire l'orientation attendue pour la digitalisation :

- La digitalisation est vue par les acteurs de l'agriculture conventionnelle comme un processus d'innovation au service de la traçabilité, alors que les acteurs de l'AB évoquent au contraire un risque de standardisation, craignant que « l'industrialisation » des produits biologiques soit encouragée par les technologies numériques sous couvert de favoriser cette traçabilité.
- Les acteurs de l'AB souhaitent que le numérique les aide surtout à produire de nouvelles connaissances, à concevoir et à analyser de manière systémique leurs pratiques agricoles et expérimentations. Ils avancent que les technologies numériques ne seraient actuellement pas conçues pour cela, car plus segmentées qu'holistiques, plus *top-down* que *bottom-up*. Les acteurs de l'AB voient en cela un risque de divergence entre les technologies numériques et l'agriculture biologique, associé à une perte possible de pouvoir et de savoir-faire.
- Les acteurs de l'agriculture conventionnelle et les entreprises du numérique perçoivent la digitalisation comme un « nouveau facteur de production » permettant de créer de la valeur et d'améliorer la productivité du travail, mais aussi de favoriser l'image de l'agriculture et son attractivité, tout en limitant ses impacts environnementaux. Les agriculteurs conventionnels et leurs organisations insistent surtout sur les risques concernant la propriété des données.

Tous les acteurs n'envisagent donc pas la même orientation du numérique, et ceux qui sont liés à l'AB souhaitent que les technologies numériques soient peu coûteuses, réflexives plutôt que prescriptives, favorisant la conception systémique des modèles de production. Nos travaux montrent que ces différences d'attentes sont toutefois peu perçues par les entreprises du numérique, qui ont tendance à considérer que leurs technologies sont adaptées à tous les modèles agricoles. Il y a donc un risque de renforcer l'orientation des technologies vers les seules attentes et besoins de l'agriculture conventionnelle, conduisant à des effets de sélection ou d'exclusion d'autres modèles agricoles.

DES PROFILS D'USAGE POUR DEUX TYPES DE TECHNOLOGIES

Pour dépasser cette première analyse, nous avons étudié les usages effectifs du numérique à partir d'enquêtes auprès d'exploitations en grandes cultures (céréales, oléagineux...) et en distinguant deux catégories de technologies : d'une part, les technologies numériques de production (TNP) qui rassemblent des technologies utilisées pour ajuster les pratiques de production, telles que le guidage GPS, la modulation d'intrants (engrais, traitements phytosanitaires) ou des outils d'aide à la décision (OAD) ; d'autre part, les technologies numériques pour l'information et la communication (TNC) qui rassemblent les usages d'Internet et des réseaux sociaux pour accéder à de l'information ou échanger sur des connaissances. Nos enquêtes ont montré trois profils d'usage dans chaque catégorie.

Pour les TNP, un premier profil correspond aux agriculteurs qui utilisent peu ces technologies, avec une part importante d'exploitations en AB. Ces agriculteurs ont moins d'intérêt à utiliser des technologies, avant tout conçues pour tracer et optimiser des intrants dans un mode de production conventionnel. Un deuxième profil correspond aux agriculteurs qui utilisent quelques TNP (guidage, logiciel de gestion parcellaire, et parfois des OAD ou technologies d'irrigation connectées), avec cette fois une surreprésentation des exploitations conventionnelles. Le troisième profil rassemble les exploitations les plus utilisatrices de TNP (guidage, modulation, etc.) correspondant aux exploitations les plus grandes et à des exploitations « mixtes » qui ont à la fois des productions en conventionnel et en AB. Les technologies numériques ont permis à ces utilisateurs de mettre en place des cultures en AB tout en gardant un mode de production proche de l'agriculture conventionnelle, par exemple en substituant les intrants de synthèse ou en étendant le travail mécanique, facilité par le numérique.

Pour les TNC, un premier profil correspond à des exploitants agricoles qui utilisent peu Internet pour s'informer, un deuxième à ceux qui ont un usage fréquent de sites Internet spécialisés, et un troisième à ceux qui utilisent de manière importante les réseaux sociaux. Le fait d'être ou non en AB ne joue pas sur l'usage des TNC. En revanche, dans le deuxième profil sont surreprésentés les agriculteurs produisant des légumineuses ou faisant partie de groupe d'échanges entre agriculteurs.

LES SPÉCIFICITÉS DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Les perceptions et les usages du numérique sont donc différents selon que les agriculteurs s'inscrivent dans le modèle de l'agriculture conventionnelle ou de l'AB, dont les spécificités semblent peu prises en compte par les entreprises du numérique. En effet, la plupart des technologies numériques restent conçues selon les besoins, les référentiels technico-économiques, les connaissances et les modes de décision de l'agriculture conventionnelle.

Nos enquêtes révèlent d'abord des difficultés techniques entre le numérique et certaines pratiques de l'AB. Les intrants pris en compte dans la conception de technologies sont essentiellement ceux de l'agriculture conventionnelle (semences, pesticides, engrais), ce

qui peut impliquer des dysfonctionnements si celles-ci sont utilisées avec des intrants de la production biologique (semences paysannes, engrais organiques, biocontrôle...). De plus, des technologies ne fonctionnent qu'avec une ou quelques cultures, et s'avèrent donc mal adaptées aux systèmes diversifiés, promus par l'AB.

Une autre spécificité de l'AB tient à la réglementation, qui peut orienter les besoins et usages du numérique, par exemple pour la traçabilité des traitements (avec le logiciel de gestion parcellaire), la justification de l'apport d'engrais (avec la modulation d'azote) ou les traitements selon les conditions météo locales (avec la station météo connectée). Or ces exigences sont différentes en AB, du fait notamment de la non-utilisation de certains produits. Dès lors, les agriculteurs n'ont pas les mêmes besoins technologiques.

Cette divergence entre technologies numériques et AB renvoie aussi à des différences de raisonnement et de conception des systèmes de production. Certaines technologies numériques restent ciblées sur l'itinéraire technique d'une culture. Or nos enquêtes montrent que les agriculteurs en AB mettent en avant des systèmes plus complexes, la gestion des rotations, couverts et cultures associées, mais aussi les interactions avec des infrastructures paysagères, le territoire ou les consommateurs.

Des divergences sont aussi liées aux objectifs des technologies numériques. Celles-ci restent généralement basées sur la maximisation des rendements et l'optimisation des intrants (Bronson, 2019), ce qui peut limiter leur intérêt en AB où les systèmes sont généralement conçus pour utiliser moins d'intrants. Globalement, la capacité des technologies numériques à répondre à la diversité d'objectifs des agriculteurs, notamment en AB, peut être mise en question.

Des oppositions existent aussi au plan économique. Ainsi, des agriculteurs et organisations agricoles de l'AB cherchent à limiter les investissements et les coûts de production, ce qui est peu compatible avec l'achat de matériel numérique haut de gamme. La diversité des perceptions et des usages du numérique est aussi liée aux réseaux socio-économiques et filières dans lesquels s'insèrent les agriculteurs enquêtés. Des organisations comme les coopératives, les entreprises de semences ou les industries agro-alimentaires, proposent, incitent ou imposent l'usage de technologies numériques, dans une perspective de standardisation ou de contrôle de la qualité des produits agricoles.

Des oppositions peuvent enfin être liées aux valeurs et à la stratégie globale de l'agriculteur ou agricultrice. Par exemple, des agriculteurs en AB affirment vouloir réduire les dépendances de leur exploitation ou renforcer les circularités locales (bioéconomie territoriale, réintroduction de l'élevage, stabilisation des marchés dans le cadre de systèmes alimentaires territoriaux...). D'autres placent le rapport aux objets de nature (les plantes, le sol, les animaux...) comme primordial, associé à un rapport sensible peu pris en compte dans les technologies numériques déployées aujourd'hui.

DIFFÉRENTES VOIES DE DIGITALISATION POUR L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE ?

Au-delà de perceptions communes, les résultats de nos recherches montrent donc des points d'opposition entre l'AB et le développement de certaines technologies numériques. Les raisons sont d'ordre technique, mais renvoient aussi à la construction des connaissances, au modèle économique, à la régulation ou aux valeurs portées par les agriculteurs. Toutefois, des formes d'hybridation entre le numérique et l'AB sont aussi repérables chez certains, au-delà d'un usage croissant chez tous pour s'informer et partager des expériences (TNC). Tout d'abord, les technologies numériques (TNP et TNC) semblent utilisées de manière croissante dans les exploitations qui s'engagent dans une « industrialisation de l'agriculture biologique ». Ces innovations participent à l'augmentation des surfaces et de la production en AB. Mais cette voie est aussi critiquée pour remettre en cause

les principes et spécificités du modèle de l'AB, renvoyant aux débats sur sa conventionnalisation (Darnhofer *et al.*, 2010) et sur l'émergence de plusieurs modèles d'AB. Par ailleurs, une voie plus autonome semble s'ouvrir à travers des associations, réseaux ou « ateliers » de producteurs en AB, où s'amorce l'élaboration d'outils numériques *ad hoc*, par exemple pour partager des expérimentations ou gérer des ventes en ligne. Enfin, les attentes exprimées par les acteurs de l'AB, notamment pour des outils numériques favorisant la conception de systèmes agricoles plus complexes et associés au fonctionnement de leurs écosystèmes, pourraient être prises en compte par des entreprises du numérique pour penser d'autres modèles techniques, économiques et politiques du numérique en agriculture.

BIBLIOGRAPHIE

ARBENZ M., GOULD D. & STOPES C. (2016), "Organic 3.0 – for truly sustainable farming and Consumption", IFOAM Organics International, Bonn.

BRONSON K. (2019), "Looking through a responsible innovation lens at uneven engagements with digital farming", *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100294.

CLAPP J. & RUDER S.-L. (2020), "Precision technologies for agriculture: Digital farming, gene-edited crops, and the politics of sustainability", *Global Environmental Politics*, 20, pp. 49-69.

DARNHOFER I., LINDENTHAL T., BARTEL-KRATOCHVIL R. & ZOLLITSCH W. (2010), "Conventionalisation of organic farming practices: From structural criteria towards an assessment based on organic principles", *Agron. Sustain. Dev.*, 30, pp. 67-81.

GASSELIN P., LARDON S., CERDAN C., LOUDIYI S. & SAUTIER D. (2021), *Coexistence et confrontation des modèles agricoles et alimentaires*, Éditions Quae.

FRANCE RELANCE (2021), « Programme d'investissements d'avenir 4 - Deux stratégies d'accélération au service de la troisième révolution agricole et de l'alimentation santé », Paris, Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

SCHNEBELIN É. (2022), "Linking the diversity of ecologisation models to farmers' digital use profiles", *Ecological Economics*, 196, 107422.

SCHNEBELIN É., LABARTHE P. & TOUZARD J.-M. (2021), "How digitalisation interacts with ecologisation? Perspectives from actors of the French agricultural innovation system", *Journal of Rural Studies*, 86, pp. 599-610.

De la donnée au traitement autonome pour l'agroécologie

Par Roland LENAIN et Christophe AUBÉ
INRAE

Le développement des sciences du numérique est un véritable enjeu pour améliorer la prise de décision en agriculture, et tendre vers l'application de principes moins dommageables et plus agroécologiques. Au-delà de la décision, la réalisation de tâches agronomiques exigeant de hauts niveaux de précision, des fréquences de passage accrues et des capacités de discrimination, nécessite également des avancées significatives, empruntant aux technologies robotiques. Nous montrons dans cet article l'intérêt de telles technologies pour l'agriculture en général, et pour l'agroécologie en particulier. Après avoir dressé un court panorama de l'existant, nous présentons les attentes des différentes filières agricoles, les verrous persistants ainsi que les perspectives relatives pour cette robotique agricole, domaine émergent dans l'agriculture numérique. Ce domaine apparaît ainsi clairement comme une composante essentielle de l'évolution agricole vers des pratiques plus vertueuses.

DE LA PRISE DE DÉCISION À L'ACTION

L'avènement des technologies du numérique permet d'orienter la prise de décision afin de réaliser des interventions ciblées et précises, contribuant à réduire l'impact environnemental des activités agricoles, au regard des matières utilisées. Toutefois, de telles préconisations peuvent supposer des interventions plus fréquentes de manières localisée [1], requérant une mobilisation plus importante de la main-d'œuvre humaine. Ce qui peut impliquer un surcroît de ressources humaines pour des travaux peu valorisants, répétitifs, voire pénibles ou dangereux. En outre, c'est à mettre au regard des difficultés de recrutement dans les travaux agricoles¹, ou plus généralement de la baisse d'attractivité des métiers liés à l'agriculture². Aussi, l'application automatisée des traitements préconisés semble une étape fondamentale à la contribution du numérique dans l'agroécologie. Il convient donc de creuser plus en avant cette continuité entre planification et réalisation des travaux agricoles. À cette fin, la robotique apparaît comme une continuité de l'apport des technologies numériques. D'ores et déjà prometteuse, elle présente de premières applications réellement efficaces. Son développement offre des perspectives nouvelles et un levier considérable pour le déploiement des principes agroécologiques.

¹ Cf. GAUMONT S., « Offres pourvues et abandons de recrutement en 2021 », <https://images.pr-rooms.com/Handlers/HTFile.ashx?FZD=VeG4xINAF7meuS%2Fjmh%2FPLg%3D%3D>

² Cf. DARES, « Les métiers en 2030 », <https://www.strategie.gouv.fr/publications/metiers-2030>

ROBOTIQUES ET AGROÉCOLOGIE

De l'automatisation des agroéquipements

À l'instar du monde automobile, une première voie de l'essor de la robotique se focalise sur l'automatisation de la tâche de conduite [2]. Ces approches tirent parti des progrès réalisés en matière de géolocalisation par satellite, d'une part, et des avancées obtenues sur la vision artificielle, d'autre part. Elles permettent aujourd'hui aux constructeurs de proposer plusieurs concepts de tracteurs autonomes [3], dont quelques illustrations sont visibles dans la Figure 1. Les fonctionnalités proposées historiquement par les dispositifs d'aide à la conduite, popularisés dans la dernière décennie, se trouvent ici prolongées en permettant de maintenir un tracteur dans sa ligne de travail et de gérer l'ensemble des opérations dans la phase de demi-tour.



Figure 1. Concepts de tracteurs autonomes.

L'émergence du tracteur autonome, mis particulièrement en avant par les constructeurs historiques, est à mettre en relation avec la robotisation des outils, non seulement sur les capacités de réglages, mais également sur les fonctions d'interaction avec le sol ou la végétation. C'est notamment le cas pour les bineuses actives de désherbage mécanique pour réaligner un outil automatiquement sur le rang de culture à désherber, ou pour la coupure automatique de tronçons en pulvérisation permettant d'éviter de doubler la dose de produit phytosanitaire. Ces nouvelles fonctionnalités exploitent fortement les avancées technologiques de robotique pour tous les aspects de perception/détection, autorisant des traitements différenciés et précis au sein d'une parcelle. Indépendamment du mode de contrôle du porteur (manuel ou autonome), l'application de ces principes permet d'améliorer considérablement l'efficacité du désherbage ou de réduire drastiquement les quantités de produits chimiques utilisés [4], en agissant uniquement sur les plantes à traiter.

Des robots pour de nouvelles fonctionnalités

Le couplage de l'autonomie de déplacement d'un véhicule agricole et de l'outil associé est appréhendé comme une automatisation des itinéraires agricoles classiques. Pour autant, la synergie entre le contrôle autonome du porteur et de l'outil laisse entrevoir des solutions robotiques complètes, capables de répondre à des besoins spécifiques, pour soulager l'humain de certains travaux répétitifs, difficiles, voire dangereux. De fait, l'essor commercial de tels robots a été porté par le désherbage mécanique, notamment en maraîchage biologique [5], et les premiers robots ont visé la réalisation autonome de cette fonction, qui reste une demande importante, du fait de la nécessaire fréquence des passages pour l'entretien des parcelles. Le succès grandissant de ces concepts, dotés de différentes stratégies de navigation, ou de solutions de désherbage, invite à développer ces derniers dans d'autres cadres et domaines applicatifs. La Figure 2 présente quelques exemples de différents cadres d'application.



Figure 2. Exemples de robots agricoles pour de nouvelles pratiques.

	Désherbage		Traitement			Taille		Surveillance			Récolte		Assistance		
	Méca passif	Méca Actif	Pulvé précision	Pulvé localisée	Pulvérisation indig.	Rogègne	Coupe	Recueil	Localisé	Prélèvement	Fruit différencié	Récolte générique	Suivi simple	Suivi avancé	Assistance physique
Localisation/navigation "Outdoor"															
* Suivi absolu	■	■				■	■	■	■	■		■	■	■	■
* Suivi relatif			■	■					■		■	■	■		
* Fusion multi-capteur			■	■					■		■	■	■		
Supervision & Décision temps réel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interactions Humains-Robots							■	■					■	■	■
Contrôle d'outils embarqués															
* Interaction outil/robot		■		■		■	■	■	■	■	■				■
* Dvp outils préhension							■	■	■						
Sécurité / Sureté de fonctionnement / Intégrité															
* Obstacle	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
* Stabilité							■	■							
* Détection faute	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
* Maintien précision	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figure 3. Corrélation entre fonctions robotiques, besoins opérationnels et maturité (rapport SolRob).

Le projet SolRob³, piloté par l'association RobAgri⁴, a mis en avant les principales attentes des filières agricoles vis-à-vis de l'exploitation des robots. Dans cette étude, le parallèle entre la maturité des fonctions robotiques et les attentes agricoles est mis en correspondance (voir la Figure 3). Cette réflexion permet d'identifier les verrous à lever et les pistes de développement à privilégier pour répondre aux besoins et à l'évolution des pratiques.

Cette analyse laisse par ailleurs entrevoir que l'évolution des pratiques vers l'agroécologie va nécessiter l'exploitation de nouveaux outils, pour réaliser à grande échelle l'implantation, l'entretien et la récolte de cultures plurispécifiques [6]. En effet, la conduite de cultures mélangeant plusieurs espèces dans de mêmes espaces, avec des saisonnalités et des spécificités différentes, implique de disposer d'outils adaptés et discriminants, pour lesquels le recours de façon massive à un travail manuel semble difficilement envisageable. Les capacités de perception et de commande d'outils robotiques apparaissent ici comme un levier mobilisable. Pour autant, comme le montre la Figure 2, un certain nombre de technologies doivent encore progresser pour être pleinement efficaces.

³ Rapport du projet France Agrimer SoRob-A mené par RobAgri de 2019 à 2020.

⁴ Association RobAgri, regroupant plus de 80 acteurs de la filière robotique agricole.

DES VEROUS À LEVER

Si l'application de la robotique aux agroéquipements permet de faciliter un certain nombre de travaux agricoles, l'intérêt réel de la robotique pour définir de nouvelles pratiques nécessite de progresser sur plusieurs volets. La Figure 4 synthétise ces différents verrous à une échelle générique.

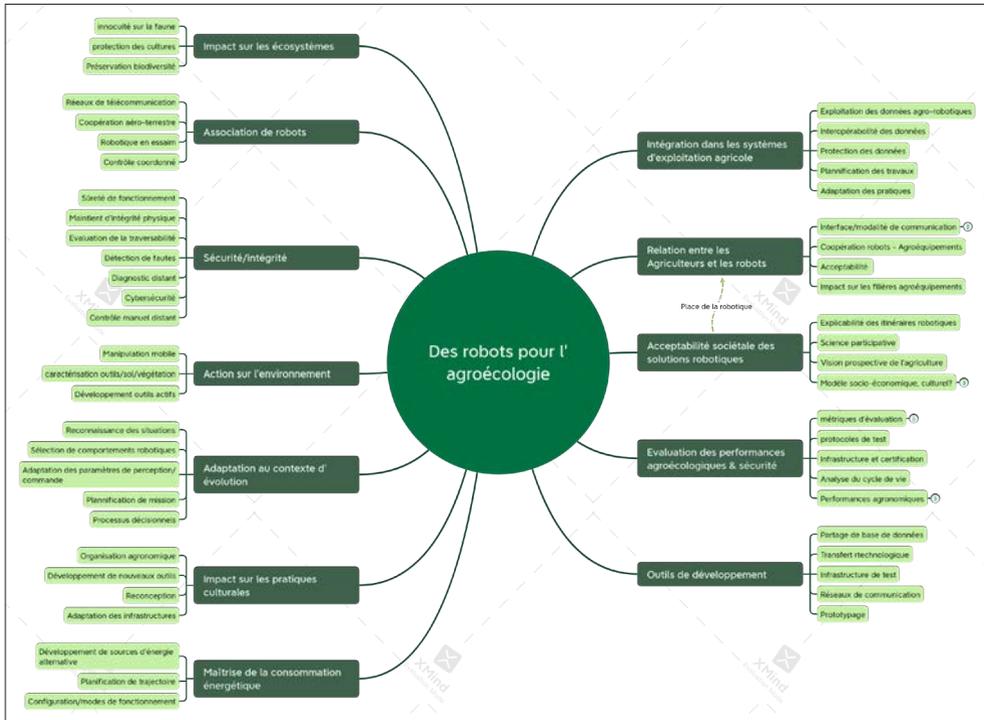


Figure 4. Verrous associés à la robotique pour l'agroécologie (Source : RobAgri).

Aspects scientifiques

Tout d'abord, la maturité de plusieurs fonctionnalités robotiques nécessite d'être approfondie, pour remplir les missions agricoles confiées aux robots. Dans ce cadre, plusieurs grandes thématiques scientifiques peuvent en particulier être mentionnées⁵.

L'adaptabilité des robots à la variabilité des contextes et des opérations

Il s'agit ici d'accroître la capacité des robots à analyser l'environnement et à modifier leur comportement en fonction de la situation reconnue et de la mission assignée. En empruntant tant aux méthodes de perception qu'à celles de l'intelligence artificielle (IA), de nombreux développements doivent être menés pour construire des référentiels partagés de modes de fonctionnement.

⁵ Ces fonctionnalités ont fait l'objet d'un travail de synthèse de la part des grands laboratoires nationaux travaillant sur la thématique (INRAE, CNRS, INRIA, CEA...) dans le cadre de contributions à la construction de la stratégie d'accélération pour des systèmes et équipements agricoles durables (Sadea).

La garantie du maintien de l'intégrité

La navigation autonome en milieux naturels est sujette à de nombreuses sources de perturbations et de risques (traversabilité, reconnaissance d'humains, intégrité de localisation, instabilité), qu'il convient de gérer dans une vision normative [7]. Cet aspect, à la fois scientifique, technologique et législatif, est aujourd'hui traité de façon spécifique à chaque application, bien souvent en requérant la présence humaine sur les parcelles, limitant de fait l'intérêt de l'usage de robots.

Les interactions homme-robots

Aussi perfectionnés que puissent être les robots, il existera quoi qu'il arrive des situations nécessitant l'expertise humaine, et de nombreuses applications envisageant un travail commun humain-robots [8] sont développées. Aussi, la mise en place d'interfaces de dialogue, que ce soit pour la supervision distante ou l'interaction directe, constitue une condition nécessaire pour établir une communication avec les machines.

L'interaction avec des corps déformables

La réelle finalité de la robotique pour l'agriculture passe par l'interaction des robots avec le sol et les cultures, qui sont par essence des éléments déformables et évolutifs. L'interaction avec des corps non rigides et de caractéristiques variables demeure un défi pour la robotique [9], dont les résultats sont très efficaces aujourd'hui dans des milieux très maîtrisés.

Des nouvelles technologies à apprivoiser

L'appropriation des nouvelles technologies a toujours constitué un défi sociétal dans toutes les révolutions industrielles. Elle est une condition *sine qua non* de la démocratisation de nouveaux équipements. Elle est particulièrement importante dans le domaine des agroéquipements robotiques, car il s'agit d'outils touchant directement les cultures. Aussi, si une utilisation correcte peut présenter de grands bénéfices, un usage inadapté peut amener à d'importantes conséquences (destruction des cultures, collision...). Il s'avère alors primordial pour les agriculteurs de bien comprendre le fonctionnement des robots pour en maîtriser les principes de fonctionnement et les paramètres, tout

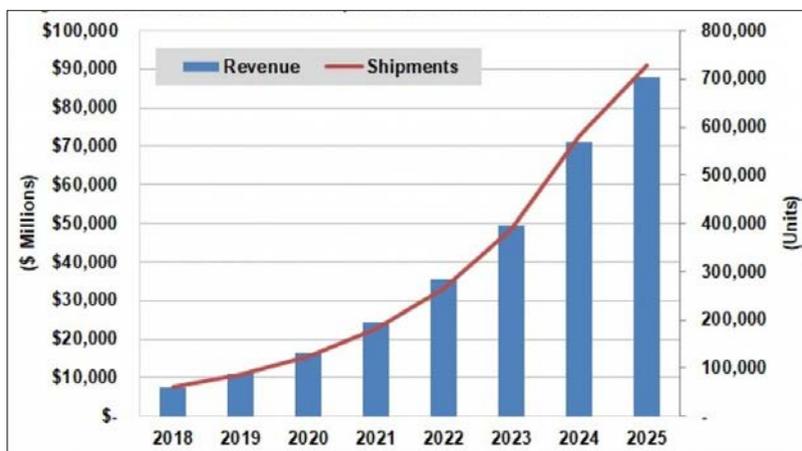


Figure 5. Évolution du marché des robots agricoles (Tractica, 2019).

comme ils maîtrisent et adaptent aujourd’hui les réglages des tracteurs et outils associés. L’appropriation du numérique dépasse le cadre de la formation, et passe par une adaptation des méthodes de travail en fonction des capacités et apports des robots.

Par ailleurs, la question économique associée à l’apport des nouvelles technologies est un point important de l’essor de la robotique en agriculture. Le coût et l’amortissement du matériel agricole ont toujours été une préoccupation centrale dans les exploitations. La mise en œuvre de ce matériel d’un genre nouveau (son acquisition, son déploiement et son exploitation) est encore un sujet de débats, comme l’exploitation collective, le partage des pratiques [10]... Si le modèle économique associé à l’essor des technologies numériques reste un point à construire, la robotique agricole constitue un marché avec des perspectives de croissance considérables [11]. En effet, le graphique ci-dessous (Figure 5) reprend les perspectives de croissance du nombre de robots, faisant de l’agriculture l’un des principaux marchés applicatifs.

De l’adaptation des pratiques

Comme évoqué précédemment, la maîtrise du fonctionnement d’agroéquipements robotisés est un élément important de l’essor des nouvelles technologies. Aussi, l’adaptation des itinéraires techniques constitue son corollaire. Tout comme la mécanisation a pu façonner les paysages et l’organisation des cultures [12], il apparaît probable que, pour des raisons de sûreté de fonctionnement, de praticité ou d’autonomie énergétique, l’organisation de la production puisse être adaptée, en adéquation avec les modifications des pratiques liées à l’essor des principes agroécologiques.

Ceci implique également de disposer des métriques d’évaluation du travail de ces robots afin d’adapter les itinéraires et les comportements robotiques, ainsi que de mesurer l’intérêt écologique, économique et agronomique global [13]. En effet, ces informations sont capitales, tant pour la prise de décision que l’adaptation des comportements robotiques. En ce sens, la robotique est très complémentaire du numérique concernant l’usage des données, tant sur leur acquisition (un robot génère beaucoup de données) que sur l’exploitation à des fins de décision, mais aussi d’évaluation.

INVENTER DE NOUVEAUX ITINÉRAIRES

Bien au-delà de l’automatisation d’opérations réalisées aujourd’hui manuellement, l’intérêt profond de la robotique réside dans la capacité des robots à proposer des outils en vue de développer des pratiques culturelles alternatives, centrées sur l’agroécologie. À cette fin, les développements mis en œuvre aujourd’hui ont vocation à accroître la modularité et les capacités des premiers robots actuellement sur le marché. Plusieurs voies robotiques sont aujourd’hui envisageables pour populariser de telles pratiques.

Des concepts de fermes autonomes

Afin de contourner les difficultés liées à l’adaptation des comportements robotiques au milieu et s’affranchir de problèmes de sécurité, une première piste tend à explorer les concepts de fermes robotisées avec l’exploitation de bras robotisés évoluant au-dessus de la surface de culture, ou de production en intérieur. La Figure 6 illustre de tels concepts au travers de deux exemples en cours de développement. De telles approches peuvent également se prolonger en extérieur par l’exploitation de nouveaux concepts, comme les robots à câble (utilisant des concepts similaires au système de prise de vue dans les stades), permettant de piloter un outil en six dimensions sur des surfaces de plusieurs centaines de mètres. De telles approches nécessitent toutefois des infrastructures considérables, et ne traitent que partiellement de l’aménagement du territoire et des multi-modalités de l’agriculture.



Concept NeoFarm



Concept Iron Ox

Figure 6. Concepts de fermes automatisées.

Des systèmes robotiques reconfigurables pour l'agroécologie

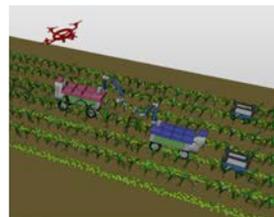
La réduction de l'impact environnemental, avec la précision et la modularité qu'elle implique, plaide plutôt, sur le long terme, en faveur de l'essor de robots élémentaires de taille relativement réduite et capables de coopérer, voire de s'associer. On considère alors un système robotique reconfigurable, adaptant ses caractéristiques (nombre de robots, configuration de la flotte) en fonction des travaux planifiés et du contexte d'évolution. De tels concepts, testés dans le cadre de robots petits et indépendants (voir la Figure 7 gauche) tend à être étendu à des robots élémentaires capables de différentes capacités de traitement et d'association. La promesse des recherches à mener pour l'autonomie de tels systèmes tend par ailleurs à lever les verrous scientifiques précédemment cités.



Concept de flotte, projet MARS (Fendt)



Prospero concept



Ninsar project concept

Figure 7. Concepts de robots coopérants.

Des trajectoires complémentaires pour relever un « Grand défi »

Les deux visions de long terme décrites précédemment sont complémentaires. Elles laissent entrevoir une pénétration progressive de la robotique dans le domaine de l'agriculture. Celle-ci suppose vraisemblablement des modalités de coopération entre agroéquipements contrôlés manuellement et de manière autonome, permettant de garantir des débits de chantier importants, avec des machines de taille restreinte et moins dommageables. Ce qui suppose des niveaux d'autonomie ajustables en fonction du contexte, et une adaptation des itinéraires culturaux, capables d'intégrer la robotique à une vision agroécologique. Ceci nécessite néanmoins une réflexion partagée sur la construction de tels itinéraires, avec une évaluation des travaux robotiques, ainsi que la mise en place de briques technologiques et d'outils de développements partagés. De tels instruments sont au cœur du « Grand défi », dédié au développement de la robotique pour l'agroécologie,

porté par l'association agricole RobAgri. Le cœur du projet est de structurer cette filière naissante, et la doter de tous les atouts pour mettre en œuvre une nouvelle agriculture, durable et centrée sur l'humain.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ANDERSON C. R., BRUIL J., CHAPPELL M. J., KISS C. & PIMBERT M. P. (2021), *Agroecology now! Transformations towards more just and sustainable food systems*, Springer Nature.
- [2] REID J. & NIEBUHR D. (2001), "Driverless tractors", *Ressource 8*, n°9, pp. 78.
- [3] ALBERTO-RODRIGUEZ A. *et al.* (2020), "Review of control on agricultural robot tractors", *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 11(3), pp. 920.
- [4] MAILLOT T., JONES G., VIOIX J.-B. & COLBACH N. (2020), « Des technologies innovantes pour optimiser le désherbage de précision », *Innovations Agronomiques*, vol. 81, pp. 209-225.
- [5] ALFÖLDI T. & SCHOTT F.-X. (2020), « Désherbage en grandes cultures avec les robots Dino et Ecorobotix—Expériences par les Digifermes ».
- [6] REBOUD X. *et al.* (2022), *Mobiliser les agroéquipements et le numérique pour des systèmes de culture sans pesticides*, Éditions Quae.
- [7] SEVASTOPOULOS C. & KONSTANTOPOULOS S. (2022), "A survey of traversability estimation for mobile robots", arXiv preprint arXiv:2204.10883.
- [8] COUVENT A., DEBAIN C., TRICOT N. & COUTAREL F. (2019), "Human-robot cooperation: Link between acceptance and modes of cooperation chosen by operator with a robot", *International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications*, pp. 142-148.
- [9] ZHANG B., XIE Y., ZHOU J., WANG K. & ZHANG Z. (2020), "State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, as well as their applications in agricultural robots: A review", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 177, p. 105694.
- [10] LENAIN R., PEYRACHE J., SAVARY A. & SÉVERAC G. (2021), *Agricultural robotics: part of the new deal? FIRA 2020 conclusions*, Éditions Quae.
- [11] LOWENBERG-DEBOER J., FRANKLIN K., BEHRENDT K. & GODWIN R. (2021), "Economics of autonomous equipment for arable farms", *Precision agriculture*, 22(6), pp. 1992-2006.
- [12] TEMPLE L., CHIFFOLEAU Y. & TOUZARD J.-M. (2018), *Une histoire de l'innovation et de ses usages dans l'agriculture*, Éditions Quae.
- [13] PRADEL M., DE FAYS M. & SEGUINEAU C. (2022), "Comparative life cycle assessment of intrarow and inter-rows weeding practices using autonomous robot systems in French vineyards", submitted.

Perspectives logistiques et marketing de la traçabilité agri-alimentaire par la *blockchain* : Études de cas des usages de Walmart et Carrefour¹

Par Florent SAUCÈDE

Maître de conférences à l'Institut Agro Montpellier, UMR MoISA

Pour restaurer la confiance des consommateurs dans les systèmes alimentaires, certains distributeurs ou fabricants mobilisent la technologie *blockchain* en support de la traçabilité totale de leurs chaînes d'approvisionnement, ou *supply chains*. Nous analysons comment Walmart et Carrefour, deux pionniers des *blockchains* alimentaires, utilisent cette technologie. Nous montrons comment elle contribue aux dimensions et enjeux de la traçabilité. Nous caractérisons deux approches contrastées. La première a pour objectif de maîtriser la sécurité sanitaire de l'alimentation en s'appuyant sur l'amélioration du pilotage et du fonctionnement de la *supply chain*, que la technologie permet. La seconde, orientée marketing, vise à restaurer la confiance des consommateurs en mobilisant les acteurs de la *supply chain* pour co-construire un ensemble de faits et de preuves, mis en récit pour apporter de la transparence sur l'origine des produits et les pratiques vertueuses des acteurs qui participent à leur qualité.

Plus de la moitié des consommateurs européens doutent de la qualité, de l'authenticité et de la durabilité de leur alimentation (EIT Food Trust, 2021). Seuls les agriculteurs sont épargnés par la crise de confiance des consommateurs, qui reprochent aux distributeurs, fabricants et pouvoirs publics leur manque de transparence et de prise en compte des attentes sociétales. La défiance des consommateurs puise dans des peurs alimentaires que nourrissent crises et scandales sanitaires (Lepiller et Yount-André, 2019). Elle favorise les modèles alternatifs, mais elle amène aussi les acteurs des filières agri-alimentaires (AA) à mieux intégrer les attentes sociétales.

Les crises sanitaires des années 1990 ont ainsi promu la traçabilité auprès du grand public. Le règlement CE 178/2002 "General Food Law" l'a rendue obligatoire, et définie comme la « capacité de retracer, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution, le cheminement d'une denrée alimentaire, d'un aliment pour animaux, d'un animal producteur de denrées alimentaires ou d'une substance destinée à être incorporée ou susceptible d'être incorporée dans une denrée alimentaire ou un aliment pour animaux ». La traçabilité relève donc de la qualité et de la logistique, mais elle peut être aussi un puissant allié du marketing. La confiance dans les circuits courts bénéficie d'une proximité relationnelle avec les producteurs ; pour les circuits longs, elle

¹ Ce travail bénéficie d'un financement de l'Agence nationale de la recherche (ANR-21-CE21-0001).

repose sur la proximité de processus, bâtie par le partage d'informations sur les origines du produit et ses processus de fabrication et de distribution (Costa *et al.*, 2005).

La *blockchain* (BC), dont le rôle premier a été de supporter le réseau de cryptomonnaie Bitcoin, est un « registre numérique, décentralisé et distribué dans lequel les transactions sont consignées et ajoutées par ordre chronologique pour créer des archives permanentes et infalsifiables » (Treiblmaier, 2018). Fin 2016, IBM a annoncé un partenariat avec le distributeur américain Walmart, pour tester sa capacité à améliorer la traçabilité et la sécurité alimentaire. Dès 2017, Carrefour mettait au point un cas pilote pour apporter, à partir d'une traçabilité par la BC, de la transparence aux consommateurs.

Nous examinons ce que la BC apporte à la traçabilité par l'analyse des cas d'usage de ces pionniers, pour comprendre comment elle peut contribuer à restaurer la confiance des consommateurs. Avant cela, nous faisons le point sur les fonctions et dimensions de la traçabilité, puis de la *blockchain* dont nous contextualisons les usages en grande distribution.

LA TRAÇABILITÉ TOTALE : FONCTIONS ET DIMENSIONS

La traçabilité se fait souvent de manière cloisonnée (modèle *one step up-one step down*) : une entreprise enregistre ses activités, la provenance de ses ressources et la destination de ses produits (Bosona et Gebresenbet, 2013). En cas de crise à gérer, il faut reconstituer l'historique d'un produit, de ses origines (pour trouver la source d'un problème) jusqu'à sa destination finale (pour organiser les retraits de produits). Assurer cette fonction *tracing* impose d'inspecter un à un les systèmes internes de traçabilité de chacun des acteurs de la *supply chain* (SC). L'intégration de ces systèmes permet d'apporter davantage de transparence sur les produits et de gagner du temps, mais il faut pour cela pouvoir interfacier des dispositifs internes qui ne sont pas forcément interopérables, ou déployer un système d'information inter-organisationnel souvent coûteux. Cette intégration offre un système de traçabilité totale, dont les enjeux de visibilité sont importants pour les logisticiens : développer une capacité de *tracking* qui repose sur le suivi dynamique et contextualisé des produits pour les localiser en temps réel (voir la Figure 1 page 30).

Développer ces fonctions dans une perspective de traçabilité totale suppose ainsi d'améliorer la profondeur du système (nombre de maillons intégrés), son accessibilité (vitesse de transmission de l'information), sa précision (granularité du système) et sa largeur (variété des informations associées à l'unité tracée) (*Ibid.*).

LA BC POUR LA TRAÇABILITÉ ALIMENTAIRE EN GRANDE DISTRIBUTION

La BC présente des atouts qui favorisent son emploi à des fins de traçabilité puisqu'elle enregistre des transactions de manière séquentielle et immuable dans une base de données partagée et synchronisée entre les acteurs (Hug, 2017). L'information est infalsifiable, car les données de chaque bloc sont synthétisées dans une empreinte cryptographique intégrée dans le bloc suivant, formant une chaîne unique, sensible aux informations contenues.

La BC permet l'automatisation des transactions par la programmation de contrats intelligents, ainsi que celle de la collecte de données par des objets et capteurs connectés qui communiquent avec elle *via* des oracles² (Vu *et al.*, 2021). Pour créer un système de traçabilité totale par la BC, les acteurs partagent des données sensibles. Ils se

² Intergiciels qui permettent d'interfacier une BC avec le monde physique.

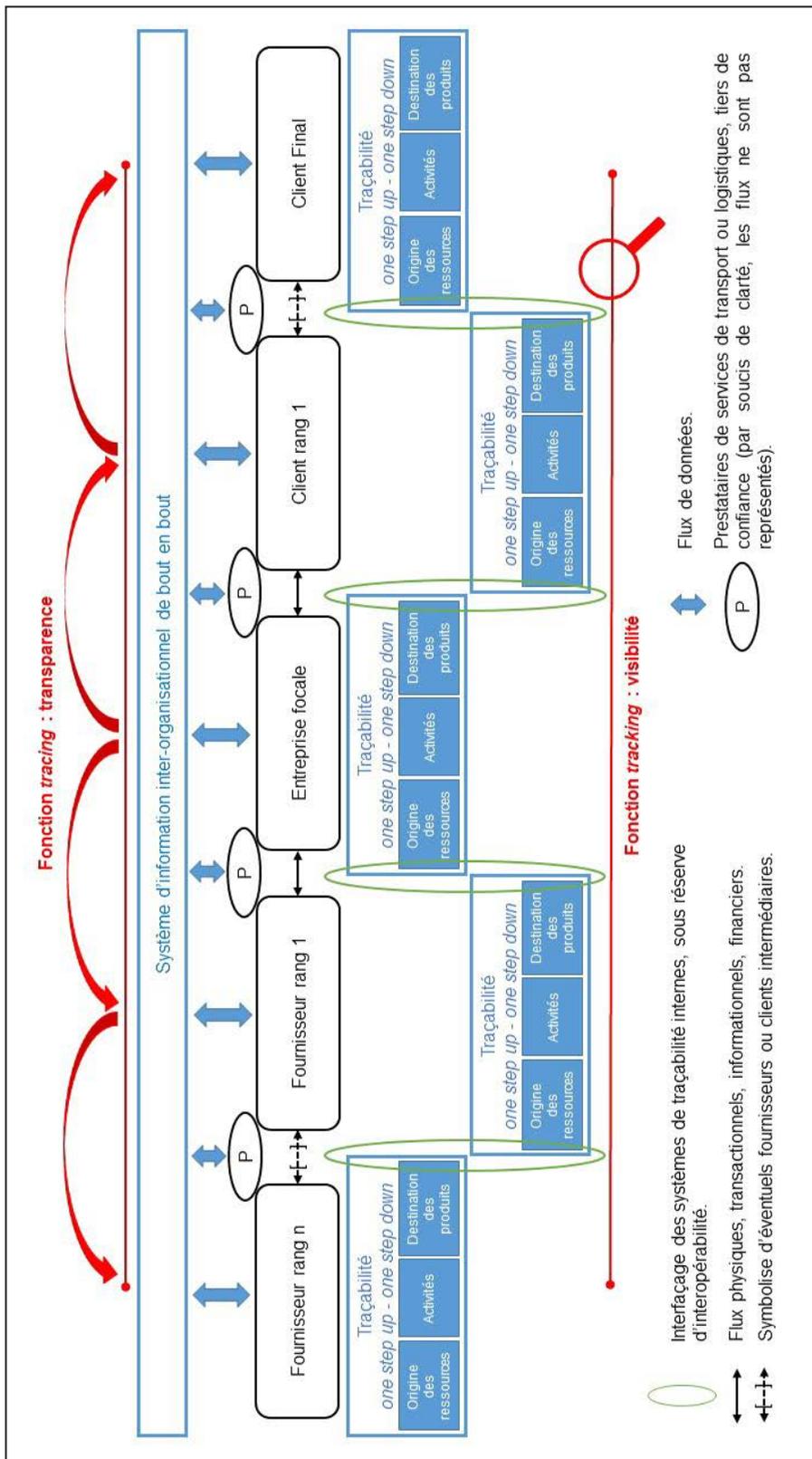


Figure 1. Modalités et fonctions de la traçabilité totale (adapté de Fabbe-Costes, 2014).

confrontent à un dilemme transparence-confidentialité, qui peut être atténué par le choix d'une BC à autorisations régissant la participation et les rôles des membres du réseau.

Les distributeurs ont eu recours à trois stratégies pour développer leurs BC alimentaires (Sia Partners, 2019) : en interne (Filières Qualité Carrefour - FQC), avec des prestataires animant des écosystèmes (IBM Food Trust et les collaborations Carrefour-Nestlé, Auchan et Te-Food) ou avec des acteurs du contrôle qualité ou sanitaire (produits bio d'Intermarché, SGS et Transparency-One).

Ces projets de traçabilité par la BC se manifestent aux consommateurs dans les rayons par des QR codes apposés sur des emballages augmentés, provenant de fabricants (Herta, jambon Engagé et Bon), de distributeurs pour leurs marques propres (Filières Qualité Carrefour – FQC), ou de collaborations entre distributeurs et fabricants (Carrefour et Nestlé).

DEUX CAS D'UTILISATION DE LA BC À DES FINS DE TRAÇABILITÉ PAR DES DISTRIBUTEURS

Walmart

Walmart veut apporter une réponse efficace aux risques menaçant la sécurité sanitaire, l'authenticité et la qualité des aliments (Kamath, 2018). Deux cas pilotes de traçabilité totale sont développés avec IBM dès 2016. Le premier cas, la SC du porc en Chine, montre que la BC peut intégrer des certificats d'authenticité. Les porcs sont identifiés par codes-barres et étiquettes RFID (*radio frequency identification*), des caméras capturent leurs mouvements dans les enclos et les activités des abattoirs, les camions embarquent capteurs de température et d'humidité, GPS et systèmes d'information géographique.

Le second cas concerne les importations de mangue tranchée d'Amérique latine. La BC intègre seize producteurs, deux conditionneurs, trois courtiers, deux entrepôts d'importation et un transformateur (Chang *et al.*, 2020). La BC permet de retracer les origines du produit en 2,2 secondes, contre 7 jours auparavant.

Walmart s'implique dans l'écosystème IBM Food Trust pour améliorer les retraits de produits et développer des standards internationaux (*Ibid.*). Pour endiguer la crise sanitaire meurtrière qui frappe les États-Unis en 2018, des millions de sachets de salade sont détruits par précaution. Walmart enjoint ses fournisseurs de légumes feuilles à mettre en place pour 2019 une traçabilité totale en temps réel avec preuves de certification selon des normes internationales, incluant leurs prestataires de service, *via* IBM Food Trust.

Carrefour

Carrefour met au point en 2017 une BC en interne avec Connecting Food et Crystalchain pour le poulet d'Auvergne FQC³, impliquant un syndicat d'éleveurs, un fournisseur d'aliments, un vétérinaire, un abattoir et un transformateur. La traçabilité préexiste, mais les données sont dispersées et de formats variés. La BC les rend accessibles instantanément avec une granularité au lot. Un QR code redirige les consommateurs sur un site *web* qui expose le cycle de vie du poulet, et valorise sa qualité et les bonnes pratiques des acteurs. Des certificats et des faits prouvent les allégations relatives à la qualité. Ce modèle sera adapté aux prochaines FQC en France et dans le monde. Hyperledger Fabric (une infrastructure de BC à autorisations) permet de cloisonner les différentes FQC pour garantir la confidentialité. Des contrats intelligents automatisent des tests de cohérence sur les quantités approvisionnées pour repérer les fraudes (SIA Partners, 2019). Carrefour

³ <https://actforfood.carrefour.eu/fr/pourquoi-agir/la-blockchain-alimentaire>

rejoint IBM Food Trust en 2018 pour collaborer sur des standards internationaux et avec des marques nationales.

La BC est alors déployée sur des produits pour bébés (Guigoz bio 2 et 3 avec Nestlé en 2019 ; bodies bio de sa marque TEX en 2021), puis en 2022 sur de premiers produits Carrefour Bio⁴. La durabilité est mise en avant pour le café équitable Myanmar de Malongo. Le QR code invite les consommateurs à s'immerger dans les activités des producteurs et informe sur la contribution de chaque village, le transport, la dégustation, la torréfaction des grains et les dates des contrôles effectués⁵.

DEUX USAGES CONTRASTÉS DE LA TRAÇABILITÉ PAR LA *BLOCKCHAIN*

Le Tableau ci-après synthétise ce que ces cas révèlent des contributions de la BC à la traçabilité alimentaire. Les éléments communs aux deux cas sont centrés.

Tableau : Synthèse comparative des cas.

Caractéristiques	Walmart	Carrefour
Produits tracés	À risque	Vertueux
Fonctions	<i>Tracing et tracking</i>	<i>Tracing</i>
Dimensions		
- Profondeur	De bout en bout	
- Précision	Lot, unité	
- Accessibilité	Quasi instantanée	
		Gestion de la confidentialité, information des consommateurs
- Largeur	Origines, acteurs impliqués, processus et dates clés, pratiques, certificats, dates limites de consommation	
	Données contextuelles (capteurs connectés)	Données personnelles (agriculteurs, tiers de confiance)
Enjeux Dominants	Logistique et Qualité	Marketing et Qualité
- Logistique	Efficacité et précision des retraits de produits	
	Optimisation de la SC, maintien de la qualité	
- Qualité	Suivi de bout en bout, certificats, conformité	
	Contrôle de sa préservation	Valorisation des pratiques, tests de cohérence
- Marketing	Construction d'une image de « sécurité » et « fiabilité »	Mise en récit de la transparence sur les origines, la qualité et les pratiques

⁴ <https://www.lsa-conso.fr/carrefour-applique-la-blockchain-a-ses-produits-bio-de-marque-propre,408776>

⁵ <https://www.lineaires.com/les-produits/malongo-lance-un-cafe-chez-carrefour-avec-la-technologie-blockchain>

Les cas montrent que la BC peut supporter la co-construction d'une traçabilité totale profonde, large, précise et accessible. L'analyse des enjeux de la traçabilité permet de caractériser deux approches contrastées.

- Walmart a choisi de tracer des produits qui ont fait l'objet d'une crise ou présentent des risques importants. Ce distributeur mobilise les caractéristiques de la BC pour contrôler les pratiques et la qualité en temps réel, et optimiser le pilotage et le fonctionnement des SC, afin de maîtriser la sécurité sanitaire des aliments pro-activement ou réactivement. Il mobilise l'efficacité logistique pour développer une image de « fiabilité » et « sécurité ». Son implication dans des collaborations internationales et la fermeté employée envers ses fournisseurs pour qu'ils adoptent la BC prouvent sa détermination à protéger les consommateurs, avec lesquels il propose un rapport basé sur la réassurance.
- Carrefour s'inscrit dans un registre différent. Il cible des produits qualitatifs et vertueux aux cahiers des charges exigeants, en adéquation avec un positionnement voulu en faveur de la transition alimentaire. L'approche, orientée consommateur, vise la construction de la confiance : il s'agit de crédibiliser, par la BC, l'intégrité et la bienveillance des acteurs des SC en substituant aux allégations des preuves. La BC favorise la co-création de valeur dans les SC, qui prend corps dans la mise en récit de l'origine des produits et des bonnes pratiques garantes de la qualité de l'alimentation. La transparence sert une proximité de processus qui offre aux acteurs de l'amont de s'adresser directement à des consommateurs qui ne les connaissent pas ou peu. L'usage de données personnelles sert la volonté d'établir aussi une proximité relationnelle rassurante. Les acteurs qui souhaitent s'engager dans cette voie doivent toutefois accepter de se dévoiler suffisamment, au risque, autrement, que des consommateurs n'y voient une volonté de maintenir une certaine opacité.

La BC est à la fois un dispositif de surveillance et un support pour des démarches collectives et participatives. Elle ne garantit pas que les SC parviennent à une traçabilité totale, performante dans toutes ses dimensions. La profondeur est sujette à la capacité à enrôler toutes les parties prenantes. La largeur et la précision reposent fortement sur la technologie, ce qui peut constituer un frein (digitalisation de l'agriculture, capacité d'investissement, rentabilité). La largeur est également soumise à ce que les acteurs acceptent de dévoiler des informations qu'ils détiennent. L'accessibilité peut être restreinte pour certains acteurs par la gouvernance de la BC (autorisations), le besoin de confidentialité ou la capacité à exploiter les *big data*. Les données sur les cas ne permettent pas d'évaluer comment les consommateurs perçoivent l'une ou l'autre de ces stratégies d'utilisation de la traçabilité par la BC. Finalement, les cas ne permettent pas de comprendre comment la BC modifie les interactions entre les acteurs des SC, les conditions qui permettent d'activer ses potentiels, et les risques associés à son déploiement. Ces éléments permettraient pourtant de comprendre comment ces approches, orientées l'une logistique, l'autre marketing, peuvent se combiner harmonieusement.

BIBLIOGRAPHIE

BOSONA T. & GEBRESENBET G. (2013), "Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain", *Food Control*, 33/1, pp. 32-48.

CHANG Y., IAKOVOU E. & SHI W. (2020), "Blockchain in global supply chains and cross border trade: A critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities", *International Journal of Production Research*, 58/7, pp. 2082-2099.

COSTA S., HERAULT-FOURNIER C. & SIRIEIX L. (2015), « Rôle de la proximité et de l'identification dans la fidélité des consommateurs au point de vente dans différents circuits de distribution », *Working Papers MoISA*, 201504, UMR MoISA.

EIT FOOD TRUST (2021), "Sustainable food choices and the role of trust in the food chain", EIT Food.

FABBE-COSTES N. (2014), « Pourquoi les logisticiens doivent penser "traçabilité totale" des *supply chains* », *Supply Chain Magazine*, 82/mars, pp. 154-155.

HUG M. (2017), « Un nouvel outil numérique pour la fiabilisation des supply chains : La blockchain », *Réalités industrielles - Annales des Mines*, août, pp. 106-108.

KAMATH R. (2018), "Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM", *The Journal of The British Blockchain Association*, 1/1, pp. 1-12.

LEPILLER O. & YOUNT-ANDRÉ C. (2019), « La politisation de l'alimentation ordinaire par le marché », *Revue des Sciences Sociales*, 2019/1, pp. 26-35.

SIA PARTNERS (2019), « Entretien avec Emmanuel Delerm : La Blockchain chez Carrefour, de la vision stratégique à la mise en œuvre ».

SRIVASTAVA A. & DASHORA K. (2022), "Application of blockchain technology for agri-food supply chain management: A systematic literature review on benefits and challenges", *Benchmarking: An International Journal*, en ligne avant impression.

TREIBLMAIER H. (2018), "The impact of the blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action", *Supply Chain Management: An International Journal*, 23/6, pp. 545-559.

VU N., GHADGE A. & BOURLAKIS M. (2021), "Blockchain adoption in food supply chains: A review and implementation framework", *Production Planning & Control*, en ligne avant impression.

Les plateformes numériques de vente : quelle(s) opportunité(s) pour les producteurs ?

Par Romane GUILLOT,

Doctorante DigitAg, Université de Montpellier, MRM

Magali AUBERT

Ingénieur d'Études, INRAE, UMR MoISA

& Anne MIONE

Professeur des Universités, Université de Montpellier, MRM

Le e-commerce pénètre aujourd'hui le secteur alimentaire, notamment *via* les plateformes numériques de commercialisation. Les acteurs du système alimentaire s'interrogent : ces organisations renforcent-elles le lien entre les producteurs et les consommateurs ? Favorisent-elles une rémunération plus juste des agriculteurs ? Introduisent-elles de nouveaux risques pour eux ? Ces plateformes facilitent l'échange d'informations et limitent certains coûts associés à la commercialisation. Elles peuvent néanmoins créer des asymétries de pouvoir et des déséquilibres dans le partage de la valeur. L'instabilité du secteur et l'arrivée des géants du numérique et de la distribution soulèvent de nombreuses questions quant à l'évolution des plateformes. Dans ce contexte, la vigilance des producteurs est indispensable pour choisir les plateformes les mieux adaptées à leurs besoins.

Depuis 2010, les plateformes numériques pour la commercialisation se multiplient dans le secteur agricole (Bavec *et al.*, 2017). En modifiant l'organisation des filières ainsi que les échanges entre les acteurs, elles créent de nouvelles opportunités de valorisation (Bellon-Maurel et Piot-Lepetit, 2021). Mais qu'est-ce qu'une plateforme ? Sont-elles toutes similaires ? Qu'apportent-elles concrètement aux producteurs ? Peuvent-elles constituer de nouveaux risques pour les agriculteurs ?

PLATEFORMES NUMÉRIQUES, DE QUOI PARLONS-NOUS ?

La loi du 7 octobre 2016 stipule qu'une plateforme numérique permet le « classement ou le référencement » ou « la mise en relation de plusieurs parties en vue de la vente d'un bien, de la fourniture d'un service ou de l'échange ou du partage d'un contenu, d'un bien ou d'un service »¹. Dans le secteur agricole, les plateformes pour la commercialisation offrent deux types de service : le recensement et la vente.

Les plateformes de recensement sont des annuaires en ligne où les clients peuvent localiser les producteurs à proximité. L'objectif est de créer un lien direct en indiquant les points de vente et les coordonnées du producteur. Ces plateformes sont souvent gérées

¹ Loi n°2016-1321, 7 octobre 2016 pour une République numérique, NOR : ECFI1524250L.

par des organismes publics comme les régions ou les collectivités territoriales. Ainsi, le site « Frais et Local » est une plateforme créée par le gouvernement pour répertorier les producteurs et les acteurs des circuits courts. Nombre de ces initiatives ont vu le jour lors des confinements de la crise sanitaire du Covid-19 pour aider les producteurs à faire face à la fermeture de certains débouchés (restaurants, marchés...).

Pour leur part, les plateformes de vente, sur lesquelles nous nous focalisons dans cet article, permettent d'acheter les produits des agriculteurs. L'achat peut se réaliser directement au producteur, moyennant une commission pour la plateforme, ou par achat-revente, la plateforme achetant le produit à l'agriculteur. Les produits peuvent être livrés à domicile, retirés en point relais ou lors des « distributions », semblables à de petits marchés. Ce principe cache en réalité une diversité de fonctionnements et d'objectifs. Un recensement effectué en 2021 en France révèle que sur 300 plateformes, 63 % sont des entreprises, 29 % des associations, 4 % des coopératives ou des GIE², et 4 % des organismes publics ou parapublics.

L'échelle d'action est aussi variée. Selon le même recensement, 21 % des plateformes s'approvisionnent à l'échelle nationale, 42 % à l'échelle régionale et 37 % à l'échelle départementale. De nombreuses plateformes sont organisées en réseaux nationaux (La Ruche qui dit oui !, Drives Fermiers, Cagette.net...). Ils comprennent des antennes locales qui bénéficient de plus ou moins d'autonomie. La Ruche qui dit oui ! dispose par exemple d'un cahier des charges précis sur la gestion des « Ruches », tandis que le réseau Cagette.net laisse une grande liberté aux groupes locaux. D'autres plateformes sont indépendantes et opèrent à l'échelle nationale (Pourdebon.com, Manger Français...) ou plus localement (LeCourtCircuit, Les Paniers de Thau...). Des groupes de producteurs se basent aussi sur des outils clés en main, proposés par des sociétés telles que Dynapse ou Socléo, pour créer leur plateforme (Drive Fermier Audois, Paniers du Cap...).

La diversité se retrouve enfin au niveau de la clientèle ciblée. D'après une enquête menée en 2021 auprès d'une centaine de plateformes, 72 % d'entre elles s'adressent uniquement aux particuliers, 22 % aux particuliers et professionnels (restaurateurs, cantines publiques et d'entreprises majoritairement), et 6 % exclusivement aux professionnels. Il faut ajouter à cela que 33 % des plateformes interrogées complètent l'offre des producteurs par des achats auprès de grossistes ou de fournisseurs à l'étranger.

UN RENFORCEMENT DU LIEN PRODUCTEURS-CONSOMMATEURS ?

Dans un rapport publié en janvier 2021³, le BASIC soutient que le numérique peut renforcer le lien producteurs-consommateurs. Les plateformes sont identifiées comme une opportunité pour créer ce rapprochement (Héroult-Fournier et Sigwalt, 2019 ; Bellon-Maurel et Piot-Lepetit, 2021). Virtuellement d'abord, à travers des fiches descriptives, véritables mines d'informations et vitrines pour les producteurs, qui peuvent aussi renvoyer vers leurs propres sites Internet et réseaux sociaux. Physiquement aussi, lors des distributions qui sont particulièrement propices aux échanges et aux discussions (Chiffolleau *et al.*, 2018). Tout ceci aide les consommateurs à mieux comprendre les enjeux et les efforts de production des agriculteurs, et accroît leur confiance dans les produits (Héroult-Fournier et Sigwalt, 2019 ; Bellon-Maurel et Piot-Lepetit, 2021).

En tant qu'intermédiaires entre producteurs et consommateurs, les plateformes peuvent adopter deux stratégies (Obstfeld *et al.*, 2014). La première est de se rendre indispensable

² Groupement d'intérêt économique.

³ Bureau d'analyse sociétale pour une information citoyenne (BASIC) (2021), « Enjeux et problématique de la numérisation ».

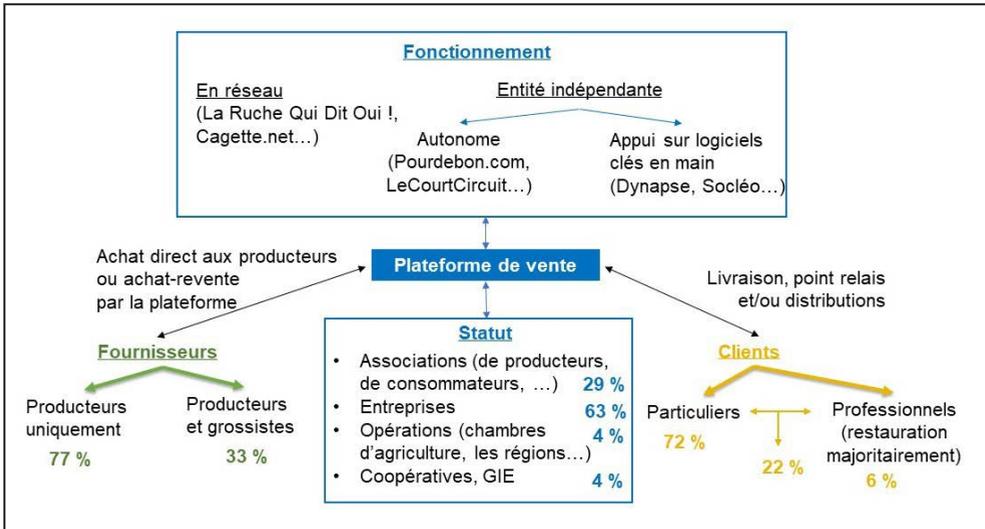


Figure 1. La diversité des plateformes de vente (D.R.).

en devenant l'unique interlocuteur. La plateforme donne peu ou pas d'informations, et n'organise pas de moment de rencontre. Cette stratégie, nommée "*tertius gaudens*", se retrouve chez des plateformes courantes, telles Airbnb, Blablacar ou Uber qui obligent les utilisateurs à passer par la plateforme pour échanger. La seconde stratégie, le "*tertius iungens*", consiste à rapprocher au maximum producteurs et consommateurs. La plateforme n'est pas indispensable mais elle mise sur sa capacité à faciliter la transaction par rapport à un échange direct. Cette stratégie se retrouve chez les plateformes qui fournissent beaucoup d'informations sur les producteurs et qui organisent des rencontres.

Au-delà de la stratégie mise en œuvre par la plateforme, les moments propices aux échanges comme les distributions pourraient se raréfier, les consommateurs souhaitant de plus en plus être livrés à domicile. La Ruche qui dit oui ! développe un service de livraison en Île-de-France pour répondre à cette demande, et de nombreuses plateformes lui emboîtent le pas. Cette évolution pourrait se réaliser au détriment d'un renforcement du lien « physique » entre producteurs et consommateurs, ne laissant place qu'à une relation virtuelle.

UNE RÉDUCTION DES COÛTS POUR LES PRODUCTEURS ?

Les plateformes sont considérées comme une opportunité de réduction des coûts de commercialisation (Bouroullec, 2020 ; Giampietri et Trestini, 2020). Elles limitent les coûts organisationnels de la vente en circuits courts, en simplifiant les tâches administratives grâce à des systèmes informatiques performants (logiciels de facturation, de gestion des stocks, *dispatch* des paiements...). La prise en charge de la livraison par la plateforme ou la possibilité d'effectuer des roulements entre producteurs pour les distributions constituent aussi des moyens de gagner du temps et de limiter les coûts de transport.

Si les plateformes permettent de réduire les coûts de commercialisation, elles impliquent des coûts additionnels humains, financiers et temporels. En effet, la familiarisation avec les différentes interfaces et la formation nécessaire pour maîtriser l'outil demandent un fort investissement en temps et en ressources intellectuelles. L'usage de la plateforme peut également être chronophage si celle-ci n'est pas soutenue par un équipement informatique performant qui permette une actualisation rapide des stocks et des commandes.

De plus, les fiches descriptives sont certes un excellent moyen de communiquer sur les pratiques, mais leur mise à jour peut être contraignante pour les producteurs, surtout s'ils doivent gérer leurs fiches sur plusieurs plateformes. Certains délèguent alors cette tâche à la plateforme, manquant l'opportunité de communiquer auprès des consommateurs (Chiffolleau *et al.*, 2018). Enfin, les coûts temporels et financiers augmentent fortement si la plateforme n'assure pas elle-même les services de livraison. De nombreux producteurs ont été obligés d'employer de la main-d'œuvre pour gérer cette logistique, influençant, de fait, leurs coûts de revient. Un arbitrage entre les gains et pertes potentiels s'impose donc pour les producteurs.

UN ACCÈS À DE NOUVEAUX DÉBOUCHÉS ?

Les plateformes de vente donnent accès au marché du *e-commerce*, en fort développement depuis plusieurs années⁴. Elles facilitent aussi l'accès au marché de la restauration collective publique, de plus en plus incitée à s'approvisionner en local pour répondre aux attentes de reterritorialisation de l'alimentation (loi Egalim). Les producteurs n'étant pas tous en mesure de répondre aux exigences de ce marché du fait de leurs faibles volumes, les plateformes de vente (ApproLocal, Réseau Manger Bio...) sont un excellent relais entre l'offre des producteurs locaux et la demande croissante des collectivités.

Cependant, les débouchés offerts par les plateformes se révèlent instables. La demande pour le *e-commerce* alimentaire, bien que croissante, reste incertaine⁵, et la *e-clientèle* s'avère volatile et difficile à fidéliser (Boistel et Laroutis, 2019). Cette incertitude se traduit par le fort taux d'échec des plateformes. Beaucoup d'entre elles, lancées lors des confinements, n'ont pas survécu aux déconfinements⁶. Elles ont joué un rôle d'ajustement ponctuel pour les producteurs et les consommateurs, qui ne les ont pas envisagées comme un nouveau débouché pérenne. Finalement, si les plateformes offrent de nouvelles perspectives en termes de débouchés, elles ne sont pas encore totalement perçues comme un canal de distribution viable sur le long terme.

VERS DES RELATIONS PLUS ÉQUITABLES ?

Les plateformes sont nombreuses à s'engager en faveur d'une alimentation plus juste et locale, qui rémunère davantage les producteurs. Beaucoup ne négocient pas les prix fixés par les agriculteurs, et soulignent qu'en réduisant les intermédiaires, elles permettent aux producteurs de récupérer une part importante du prix final. Ces éléments vont dans le sens d'une amélioration de la répartition de la valeur dans les filières et aident les producteurs à regagner du contrôle sur leur commercialisation.

Pourtant, certaines plateformes ont choisi d'augmenter leur taux de commission en se développant, remettant en question leur volonté initiale d'une valeur justement répartie entre les acteurs. D'autres choisissent des règles de fonctionnement peu collaboratives. Ainsi, certaines plateformes ne permettent pas à tous les producteurs qui le souhaitent de les rejoindre, et exigent parfois qu'un producteur ne vende que certains de ses produits. En parallèle, lors de l'enquête menée en 2021, il a été montré que seules 35 % des plateformes impliquent les producteurs dans les prises de décision. Le partage de décision est fortement corrélé au statut juridique des plateformes, les associations ayant souvent une gestion plus collaborative que les entreprises.

⁴ BASIC (2021), « Enjeux et problématique de la numérisation ».

⁵ Voir <https://www.fevad.com/e-commerce-alimentaire-la-consolidation-apres-lacceleration/>

⁶ Voir <https://france3-regions.francetvinfo.fr/grand-est/post-covid-apres-explosion-ventes-alimentaires-circuits-courts-essoufflement-clients-se-fait-sentir-1851358.html>

Par ailleurs, l'arrivée des acteurs de la grande distribution et du numérique dans le secteur inquiète. La plateforme Potager City a été rachetée début 2020 par Carrefour, afin d'accompagner la « transition alimentaire pour tous »⁷. Ce type d'acquisition peut alors faire basculer les relations dans un déséquilibre de pouvoir similaire à celui rencontré dans la grande distribution classique. Des craintes sont aussi émises quant à « l'ubérisation » des systèmes d'AMAP⁸ par les acteurs du numérique⁹. Si les sociétés telles qu'Amazon sont peu présentes sur le marché de l'alimentaire en France, le géant représente déjà 20 % des ventes alimentaires en ligne aux États-Unis¹⁰. Ceci génère des inquiétudes d'autant plus fortes qu'Amazon développe des intelligences artificielles pour négocier avec les producteurs et fixer automatiquement un prix maximal à ne pas dépasser en fonction de l'offre des concurrents¹¹.

CONCLUSION

Les plateformes de vente sont variées, en termes de statut (associatif, entrepreneurial...), de fonctionnement (en réseau, basé sur des logiciels clés en main...), de clientèles (particuliers, restaurateurs, collectivités...) et d'échelles d'approvisionnement (du local à l'international). Ces organisations ont le potentiel, en facilitant la logistique et l'échange d'informations, de révolutionner l'organisation des filières. Chaque plateforme offre différentes possibilités en termes de rapprochement entre producteurs et consommateurs, de gestion des transactions et d'équilibre de pouvoir. Les producteurs doivent alors choisir avec précaution les plateformes qu'ils utilisent selon leurs objectifs. Des outils se développent pour faciliter ce choix, comme celui proposé par le RMT Alimentation Locale¹². Néanmoins, des incertitudes persistent : ce mode de vente va-t-il se pérenniser, se stabiliser, se développer ? Quelles seront les conséquences de l'arrivée des géants du numérique et de la distribution dans ce secteur ? Autant d'interrogations que les acteurs des systèmes alimentaires doivent garder en tête.

RÉFÉRENCES

- BAVEC S., BOUROULLEC M. D. M., CHAIB K. & RAYNAUD E. (2017), "The determinants of farmers' participation in collective organizations and their governance: The case of French platforms supplying local produce", Conference: The 7th EAAE PhD Workshop, 14.
- BELLON-MAUREL V. & PIOT-LEPETIT I. (2021), « Le numérique : Levier de l'agriculture durable », *Les Cahiers du Cercle des Économistes*, pp. 29-35.
- BOISTEL P. & LAROUTIS D. (2019), « Sites e-marchand, e-fidélité et comportement du consommateur : Quelle réalité ? » *Recherches en Sciences de Gestion*, 132(3), pp. 123-145.
- BOUROULLEC M. D. M. (2020), « Les différentes gouvernances des circuits courts alimentaires de vente en ligne collective », *Économie rurale*, 371, pp. 59-75.

⁷ Groupe Carrefour, communiqué de presse du 20 janvier 2020 : « Carrefour acquiert Potager City, leader du circuit-court de fruits & légumes extra-frais et de saison en ligne ».

⁸ Association pour le maintien d'une agriculture paysanne : groupement de consommateurs qui s'engagent à acheter la production d'un agriculteur en avance, voir <http://www.reseau-amap.org/>

⁹ Voir <https://reporterre.net/La-Ruche-qui-dit-oui-uberise-t-elle-le-systeme-Amap>

¹⁰ Voir <https://www.iris-france.org/109993-amazon-nouveau-geant-de-lalimentaire/>

¹¹ BASIC (2021), « Enjeux et problématique de la numérisation ».

¹² Réseau mixte technologique formant un groupe de travail pour les circuits courts : <https://www.oad-venteenligne.org/>

CHIFFOLEAU Y., BOURRÉ M. & AKERMANN G. (2018), « Les circuits courts alimentaires à l'heure du numérique : Quels enjeux ? Une exploration », *Innovations Agronomiques*, 67, pp. 37-47.

GIAMPIETRI E. & TRESTINI S. (2020), “Analysing farmers’ intention to adopt web marketing under a technology-organisation-environment perspective: A case study in Italy”, *Agricultural Economics*, 66(5), pp. 226-233.

HÉRAULT-FOURNIER C. & SIGWALT A. (2019), « Chapitre 7. “Le numérique, support de lien au consommateur, au citoyen” », in KARINE D. *et al.* (éd.), *Les agriculteurs dans le mouvement de numérisation du monde*, Éducagri, pp. 193-211.

OBSTFELD D., BORGATTI S. P. & DAVIS J. (2014), “Brokerage as a process: Decoupling third party action from social network structure”, *Research in the Sociology of Organizations*, 40, pp. 135-159.

Reconfiguration of food value chains – between logistics and traceability

By **Dr Fatima EL HADAD-GAUTHIER**

Lecturer-researcher at the Mediterranean Agronomic Institute
of Montpellier (CIHEAM-IAMM)

& **Dr Isabelle PIOT-LEPETIT**

Senior Research Scientist at INRAE and the Scientific Director
of the Digital Agriculture Convergence Lab #DigitAg, Montpellier

The rise of digitalisation is fueling a dynamics of reconfiguration of food value chains. This article explores two rising challenges: Logistics and traceability. These issues are crucial for food value chains because of the very specific characteristics of food products, such as perishability, shelf life constraints, quality variability, sanitary risks, market uncertainty, and the increasing distance between producer and consumer due to the markets' globalization.

INTRODUCTION

Since the 1990s, food safety crises and large-scale frauds have reduced consumer confidence, and their perception of safety has considerably declined (Trienekens and Vand Der Vost, 2006). As a consequence, the demand for high-quality products, safety guarantees, and transparency regarding food products is increasing (Koss and Kloppenburg, 2019). Therefore, food product traceability, safety, and sustainability issues have become crucial concerns to food retailers, distributors, processors, and farmers (Kittipanya-Ngam and Tan, 2020), and is now a driving force for producers and companies to improve traceability of products along the value chain, but also to create new value.

Traditionally, the creation of value within food chains results from the relationships between actors-producers, transporters, processors, distributors, customers – that organize all the stages allowing them to obtain a competitive advantage, each link carrying value needing to be optimized. Digital technologies have introduced two major disruptions in this well-organized structure. First of all, disintermediation/remediation has made it possible to modify the historical positions of distributors, in particular because products and services carry a higher information intensity. Now, it becomes easier to aggregate products and services previously purchased separately (remediation) and to distribute them without necessarily going through historical circuits (disintermediation). Digital technologies also facilitate the development of network mediation, which make it possible for several actors to join forces to co-create offers through cooperation and the use of real-time information, pooling of skills, and optimization of distribution circuits.

Due to food scandals, sanitary or geopolitical crises, the fear of supply disruptions has become a real issue and has reinforced the need for a segmented massification of supply. In particular, it has led to the development of value chains' functioning in hybrid modes, where logistics and traceability play a transformative role and carry both complexity and resilience to adapt to consumer demand, market uncertainties, and sanitary and

supply risks. In this context, logistics and traceability systems are increasingly implemented using digital technologies, as a tool allowing the control of food quality and safety within value chains and supporting the enhancement of consumer confidence (Bosona and Gebrensenbet, 2013). The transformation of logistics and traceability systems is thus driven by an increase demand for services, which are becoming strategic in value chains to support both product flows and transparency regarding their quality attributes (safety, nutritional value, freshness...), the origin of the products as well as the conditions of product delivery.

INCREASINGLY HYBRID VALUE CHAINS

From the consumer side, digital innovations have radically transformed the way consumers look for information, buy, consume, talk about products and services, and share their experience. From the corporate perspective, digital innovations offer a new way to reach, inform, engage, sell to, learn about, and provide services to customers. As pointed out by Brandt and Henning (2002), the digital change of our society has enabled people to communicate across boundaries of time and space, access an array of information around the world, and make multiple real-time transactions. This breakthrough means that customers are not just searching for information about products and services, but that they are also able to create and share their own content across a large online network. This growing presence of consumers in value chains is leading value chain actors to increasingly diversify their contact points with consumers, breaking down walls that were previously prevalent between the different sales channels (short *vs.* global chains, online *vs.* offline sales...). For value chain actors, it is now essential to place the customer/consumer at the core of their strategic decisions. Indeed, the power of the latter is becoming preponderant, especially when they ensure a role of consumer-actor.

Nowadays, the creation of value depends on customer satisfaction. The more the supply of goods and services meet the uses and values of customers, the greater the value created. Providing a solution (products plus services), rather than just selling a product, becomes a source of strong competitive advantage, based more and more on the concept of usefulness and functionality of the product rather than on its intrinsic characteristics. Digital transformation supports, and even accelerates, these observed changes. In particular, it facilitates the (re)location of the value created, which consists in bringing value chains closer to customers. In this process, the challenge is to locate the value – and not only or not necessarily the production – with the objective of enabling a better match between supply and demand. As offers are becoming more personalized, transformations of value chains are required to develop new proximities – physical, relational, or functional – with customers.

As exchanges are more and more based on interactions that become virtual, new proximities can be created that are no longer limited to geography or territory, but also based on shared values, sharing of information on practices, the quality of the products, or the conditions of production and transport (zero carbon, zero pesticides, fair remuneration...). These needs of proximity find answers in many digital solutions (platforms, apps...), but also require a need for increased transparency on products, production and distribution processes, and a demand for better knowledge of the actors of the supply chains that goes beyond their sole activities to encompass their values and positioning regarding, for instance, the protection of the environment, or their contribution to ethical and societal challenges.

However, the shift from a context of commercialization and exchange based on physical products to a context of virtual proximity with a new role for consumers in value chains pushes the traditional operating structures of the value chains, and leads to the development of value chains that become multiple, more segmented, and hybrid.

THE DIGITAL: A DRIVING FORCE BEHIND THIS HYBRIDIZATION

In the 1980s and 1990s, companies and value chains were starting to face the challenge to create data to get information. Nowadays, data and information are considered as commodities. In this transformation process, those who are able to better use data can get a huge competitive advantage on markets. Indeed, the challenge is no more on how to get or produce data, but on how to use them and transform them into something with a business focus and a potential for value creation. It means, for decision makers, the need to upgrade their information and digital ecosystems to get knowledge and a right understanding of their customers, suppliers, and value chains, in order to create value and get a competitive advantage. This change is transforming the way value chains' actors understand power relationships and use information as a strategic tool for decision-making that support value creation.

The creation of capabilities for leveraging data analytics able to deeper understand value chains and the speed of new technologies appearance can create market disruptions and add continuous pressure to existing markets. The most adaptive and digital companies are often more profitable than their industry competitors, and find ways of creating more and/or new value, beyond their conventional markets. Especially, they try to predict what will happen and they optimize against plan, because the world is not predictable due to the changing nature of the demand curve and elements of uncertainty. Indeed, demands are more and more complex to meet, as companies develop offers that answer the consumer desire for more personalized products and services, delivered when and where they specify, very quickly, and at a low cost. To achieve this, companies digitalize and automate their value chains with the objective to better execute against the unplannable, by making their value chains more adaptable. Moving decisions away from headquarters and out in the field, where managers closest to the action can make rapid adjustments – based on “what if” decision analytics and technologies that provide real-time data –, gives people across the value chain more power to pivot operations, develop gains, deploy more accurate inventory and replenishment strategies, improve reliability and resilience, support more transparency, and, eventually, develop more efficient and sustainable value chains.

LOGISTICS AND TRACEABILITY AT THE CORE OF THE CHANGES

The general European Union regulatory framework (Regulation (EC) No 178/2002) defines traceability as “the ability to trace and follow a food, feed, food-producing animal or a substance intended to be, or likely to be, incorporated into a food or feed through all stages of production, processing and distribution”. The most widely used definition considers that “traceability is the ability to follow a product lot and its history through all or part of a production chain, from harvest to transportation, storage, processing, distribution, and sale” (Moe, 1998). Bosona and Gebrensenbet (2013) introduced a new, comprehensive definition of food traceability as “a part of logistics management that capture, store, and transmit proper information about a food, feed, food-producing animal or substance at all stages in the food supply chain so that the product can be checked for safety and quality control, traced upward, and tracked downward at any time required”. Furthermore, authors argue that three components are closely linked to traceability: Tracing (backward follow-up products), tracking (forward follow-up of products), and history (information flows associated with each product). As a result, they highlight the link between information and physical flows as a key factor in the implementation of effective and efficient traceability, and the lack of coordination of logistics activities affects the flow of products from farm to fork and therefore the effectiveness of food traceability efforts.

Logistics actors have already been using ICTs (Information and Communication Technologies) and data systems since the 1990s, due to the rise of mass retailing, which

has led to the massification of physical flows and therefore new organizational developments, such as the marginalization of traditional intermediaries (wholesalers) and the rise of new actors (retailers) having as a main strategic objective the optimization of flow management in order to reduce logistics and distribution costs. For example, EDE (Electronic Document Exchange), ERP (Enterprise Resource Planning), WMS (Warehouse Management System), TMS (Transport Management System) are among the best known digital tools that have been developed by the value chain actors. The main objectives of the use of these new technologies were productivity gains, cost savings, reduction of transaction costs throughout the whole value chain, optimal transport conditions to preserve food products (such as freshness of perishable foods, like fruits and vegetables). These technological innovations have enabled logistics to adapt to the emergence of the new organizational models of just-in-time and on-demand flows of mass market products with low differentiation.

However, from the 2000s onwards, digital technologies were mobilized with total different objectives, such as adaptation to market hyper-segmentation and increasing customization of products. In this rapidly changing environment, logistics met several challenges: Complexity of flow management, multimodal transport, urban logistics, and reduction of the environmental footprint. Online purchasing has increased expectations for greater fast delivery, personalized products, flexibility of delivery locations, information in real-time, and new services (return-product). The continuous growth of e-commerce and the development of omnichannel strategies, due to new consumer purchasing trends using simultaneous physical and digital channels as needed, make logistics activities and product traceability increasingly complex, posing a major problem of traceability, fraud, and food safety risks. This requires new technologies, such as smart food packaging technologies with the integration of data capture, to facilitate food traceability and monitor food quality conditions (Yam, 2012). Besides, Vanderroost *et al.* (2017) argue the growing importance of data collected from the Internet of Things (IoT) and Wireless Sensor Networks (WSN) to optimize logistic operations (transport, warehousing, cold chain, waste reduction...), and to develop intelligent food packaging defined as “a food package that in some way provided with one or more intelligent devices (sensors, RFID tags) to identify or locate a food package, or monitor the condition of a food package, its contents, or its environment.” Such packages also offer the perspective to facilitate bidirectional interactions for consumers and retailers and/or food companies.

FROM THE LINEAR VALUE CHAIN TO THE VALUE GRID/NETWORK

The concept of value chain, defined by Porter (1998), establishes a standard in the economics science by explaining the systematic structure of the set of activities needed to provide value-added products or services by companies. Porter also defined the value of information has a fundamental infrastructure to achieve efficient models, by helping optimize and support core activities of each enterprise in the value chain. However, in today's world, business transactions are no longer made in traditional ways (supplier, transformer, distributor, customer), but can be seen as a set of possible value connections and/or networks.

In this new way of rethinking value chains, organizations can overcome uncertainty and risk in the stages that are the most susceptible to disruption or to carry the most significant negative impact. For instance, when a company decides to serve a new market, launch a new product, or develop new distribution channels, it can turn volatility and unpredictability, which are overwhelming challenges, into sources of competitive advantage, by developing a flexible value chain and embracing digital advancements. However, these new technologies can be leveraged only if business partners are ready to these

changes as well. It becomes crucially important to work with value-chain partners, as they could facilitate and hinder technology advances. Nowadays, all value chain actors need to develop a wide view of their market landscape to catch the benefits and overcome the challenges of new digital technologies, as the imperative of being more agile is pressing.

However, doing so involves breaking free of linear thinking and viewing value creation from a multi-dimensional value grid perspective that provides great opportunities for developing value-enhancing activities in and outside the traditional, linear value chain, for managing risks, and responding to new threats. In order to develop a value network or grid approach, three dimensions can be explored for enhancing value creation: the vertical, horizontal, and diagonal directions (Pil and Holweg, 2006). Companies expand vertically, by looking beyond directly connected partners upstream or downstream, and by exploring opportunities in both directions from their adjacent partners in the value chain. In doing so, companies develop a nonlinear approach, as they seek new ways to interact with demand, obtain critical information, or penetrate the value chain at multiple points. Another way out of the linear approach is to develop horizontally, by identifying opportunities in parallel value chains through the spanning of similar partners in different value chains. By looking at multiple value chains, companies can leverage economies of scale across multiple sources of demand. However, it also enables companies to manage risks, sustain value creation, and explore novel ways of value creation. Finally, the diagonal direction deals with a more integrative approach, where companies explore more widely partners and value chains for opportunities to create value by offering packages built upon their own products and services with additional products and services coming from other companies, either in their value chain or across value chains. This strategy allows companies to mitigate risk by operating in value chains with orthogonal demands and risk patterns (Pil and Holweg, 2006).

Today, logistics is adapting to this dynamic of reconfiguring value chains by modifying their business models and their positioning in value chains. In particular, it participates in the phenomenon of product disintermediation by allowing delayed differentiation, in order to facilitate the offer of personalized products and meet the demand for agility and flexibility of the consumer, who increasingly adjusts their demand to their needs. The services thus offered by logistics allow it to position itself on different segments of the same value chain (*e.g.* fast delivery and in small quantities to the distributor or the consumer), on several value chains (*e.g.* delivery of fresh products and non-perishable products), or on integrated offers (*e.g.* delivery with packaging recovery), while at the same time positioning itself as a major actor in the need for traceability of products in real time.

Thinking non linearity within value chains can also be seen as a strategy that focuses on power dynamics between a company and other actors in its own value chain (vertical dimension). By assuming multiple positions through multiple entry points in a value chain in order to diversify demand, supply more than one partner, or limit a buyer's power, companies are less vulnerable to specific changes in demand and more able to capture value as it emerges. After initial opportunities have been exploited, the potential landscape for identifying new opportunities can be continuously enlarged. Not thinking linearly about demand helps companies identify customer solutions that fall outside their traditional value chain, allowing them to operate smaller, with more flexibility, and to produce at lower costs. In addition to helping companies create value propositions that would be impossible within a traditional, linear value chain, supplying several value chains provides access to more information and can help identify potential rivals. By reaching outside their established value chains, companies can create new threats to competitors in the market, or leverage their understanding to strategically lock competitors.

CONCLUSION

Digital changes are nowadays having a real impact on the organization of value chains and the creation of value within these chains, leading to a redefinition of the very notion of value, which is now co-created, co-transformed and co-captured by all actors: Consumers, competitors, strategic partners... Value-creating activities are recomposed within each company and between companies. This has implied a shift from a system where the same company provided all the stages of a value chain, to a system in which this value chain unfolds in several directions, with increasingly specialized actors and expanded partnerships, sometimes far beyond the value chain or sector of origin. Supported by digitalization, these changes are driven by a need for increasingly meeting consumer expectations, shifting value creation to a network system in order to bring out new opportunities and reduce uncertainty and risk. Moving from a linear value chain focus to a value grid focus requires managers to rethink the organization's value proposition and associated structures within and outside their existing operational spheres. Obviously, thinking in a nonlinear way is inherently complex as it requires companies to continually explore, evaluate, and map the broad competitive landscape, rethinking value creation and monitoring emerging dangers from other actors in the value network. Due to the specificities of food products, logistics is strongly linked to traceability. The ongoing development of new digital innovations, such as digital twins, will enable the design of more sophisticated logistics and traceability networks, where data is transformed into a valuable resource to create specific services, with traceability being one of them to meet the strong requirements of information and transparency of the consumers.

REFERENCES

- BOSONA T. & GEBRESENBET G. (2013), "Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain", *Food control*, 33(1), pp. 32-48.
- KITTIPANYA-NGAM P. & TAN K. H. (2020), "A framework for food supply chain digitalization: Lessons from Thailand", *Production Planning & Control*, 31(2-3), pp. 158-172.
- KOS D. & KLOPPENBURG S. (2019), "Digital technologies, hyper-transparency and smallholder farmer inclusion in global value chains", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 41, pp. 56-63.
- MOE T. (1998), "Perspectives on traceability in food manufacture", *Trends in Food science & technology*, 9(5), pp. 211-214.
- OLSEN P. & BORIT M. (2013), "How to define traceability", *Trends in Food science & technology*, 29(2), pp. 142-150.
- PIL F. K. & HOLWEG M. (2006), "Evolving from value chain to value grid", *MIT Sloan management review*, 47(4), pp. 72-80.
- PORTER M. E. (1998), *On Competition*, A Harvard Business Review Book.
- TRIENEKENS J. H. & VAN DER VORST J. G. A. J. (2006), "Chapter 10: Traceability in food supply chains", in LUNING P. A., DEVLIEGHERE F. & VERHÉ R. (éd.), *Safety in the agri-food chain*, Wageningen Academic Publishers, pp. 439-470.
- VANDERROOST M., RAGAERT P., VERWAEREN J. *et al.* (2017), "The digitization of a food package's life cycle: Existing and emerging computer systems in the logistics and post-logistics phase", *Computers in Industry*, vol. 87, pp. 15-30.
- YAM K. & DONG S. L. (2012), *Emerging food packaging technologies*, Woodhead Publishing, pp. 137-152.

Quel effet de la digitalisation de l'agriculture sur les services de conseil ?

Par Pierre LABARTHE

Directeur de recherche en économie à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) et directeur adjoint de l'UMR AGIR

L'objectif de cet article est de présenter les enjeux associés à la digitalisation de l'agriculture à travers l'exemple de l'effet des technologies numériques sur le conseil agricole. Les services de conseil ont joué un rôle très important dans les dynamiques de changement technique du secteur agricole. Ces services, historiquement fondés sur les compétences des conseillers et sur les interactions directes entre agriculteurs et conseillers (conseil individuel, conseil de groupe, etc.), utilisent de plus en plus d'outils numériques (logiciels, outils d'aide à la décision, applications pour tablettes et *smartphones*, etc.). Nous mettons en évidence trois enjeux fondamentaux liés à la digitalisation : l'effet des technologies numériques sur l'accès aux connaissances pour une diversité d'agriculteurs ; l'évolution des compétences au sein des organisations prestataires de conseil ; et les transformations plus larges induites dans le système d'innovation agricole.

INTRODUCTION

Dans la plupart des pays européens, les services de conseil ont connu un développement très important au XX^e siècle, contribuant à la modernisation de l'agriculture dans les décennies d'après la Seconde Guerre mondiale. Plus de 20 000 personnes exercent aujourd'hui des activités de conseil auprès d'agriculteurs en France. Ces services, historiquement fondés sur les compétences des conseillers et sur les interactions directes entre agriculteurs et conseillers (conseil individuel, conseil de groupe, etc.), utilisent de plus en plus d'outils numériques (logiciels, outils d'aide à la décision – OAD –, applications pour tablettes et *smartphones*, etc.) tant dans leur dimension de *front-office* (modalités d'interactions entre agriculteurs et conseillers) que de *back-office* (contribution du conseil à des activités et des réseaux de R&D, en dehors des interactions avec les agriculteurs) (Labarthe et Laurent, 2013).

Après un rappel des transformations récentes des services de conseil, nous mettons en évidence trois enjeux fondamentaux liés à la digitalisation : l'effet des technologies numériques sur l'accès aux connaissances pour une diversité d'agriculteurs ; l'évolution des compétences au sein des organisations prestataires de conseil ; et les transformations plus larges induites dans le système d'innovation agricole.

DÉFINITION ET TRANSFORMATIONS DU CONSEIL AGRICOLE

Définition et bref retour historique sur le conseil agricole

L'agriculture présente un ensemble de caractéristiques qui induisent des besoins spécifiques en matière de services. Le secteur est composé d'un grand nombre de

petites unités de production, encore principalement des exploitations familiales dans de nombreux pays, au Sud comme au Nord. Les conditions de production sont caractérisées par leur forte hétérogénéité et leur variabilité, par exemple en ce qui concerne les conditions pédologiques (relatives à l'étude des sols) et climatiques. Le secteur est associé à des coûts de production et à un capital fixe élevés, liés à des investissements spécifiques dans le foncier et dans des équipements (machines agricoles, bâtiments d'élevage, etc.). Enfin, le fonctionnement du secteur est fortement encadré par des politiques publiques, par le biais d'investissements et de normes portant sur des questions de sécurité alimentaire, de cohésion sociale, de santé au travail, d'environnement ou de biodiversité.

Dans ce contexte, le développement des services dans le secteur au XX^e siècle a été fortement marqué par le rôle central de l'État et d'organisations collectives d'agriculteurs, particulièrement en France. Ceci est vrai pour les différents services fournis aux agriculteurs : banque, assurance, comptabilité, éducation, formation et conseil agricole. Dans la plupart des pays européens, ces services étaient le plus souvent fournis aux agriculteurs directement par l'État ou par des organisations contrôlées par les agriculteurs, mais bénéficiant de soutiens publics. Ces organisations pouvaient avoir différents statuts : coopératives, syndicats, associations, Chambres d'agriculture, etc.

Le cas des services de conseil agricole en est une bonne illustration. Le conseil agricole peut être défini comme une activité de services qui vise à trouver des solutions à travers des relations de service entre conseillers et agriculteurs, qui permettent de produire des connaissances pour eux et avec eux (Labarthe et Laurent, 2013). Ces services ont été créés dès le XIX^e siècle dans certains pays comme les Pays-Bas, mais ils ont surtout pris de l'ampleur après la Seconde Guerre mondiale, pour accompagner la modernisation du secteur et augmenter sa productivité. Ils étaient fournis par des fonctionnaires et/ou par des organisations d'agriculteurs souvent soutenues par des fonds publics (par exemple par le biais de taxes sur le foncier ou sur les produits agricoles). Ces services étaient alors appelés « services de vulgarisation », leur objectif étant essentiellement de transférer et d'adapter des connaissances scientifiques pour les agriculteurs. Il existe depuis une forte diversité de terminologies liées aux services de conseil : conseil, vulgarisation, développement, facilitation, accompagnement, services de soutien à l'innovation, coaching, etc. La variété de ces termes est liée aux diverses conceptions et approches du conseil agricole (*top-down* face à *bottom-up*, individuel *versus* collectif, etc.).

Les grandes transformations du conseil agricole depuis les années 1980

Depuis la fin des années 1980, le conseil agricole a connu de profondes transformations. Ces transformations concernent aussi bien l'offre de conseil (avec un mouvement de désengagement de l'État) que la demande (transformation des structures de production du secteur).

Privatisation

On observe dans de nombreux pays des trajectoires de désengagement de l'État des services de conseil. Les causes sont multiples : elles ne se limitent pas à une volonté de réduire les dépenses publiques, mais renvoient aussi à de nouvelles doctrines. Le retrait de l'État était censé conduire à l'émergence d'un marché de consultants indépendants. Cette marchandisation du conseil devait réduire la bureaucratie et favoriser l'élaboration de services plus proches de la demande. Si cette idée a été soutenue par des institutions internationales telles que la Banque mondiale, elle est restée controversée (Garforth *et al.*, 2003) et s'est incarnée dans des trajectoires différentes selon les pays (Laurent *et al.*, 2006). Le désengagement de l'État a conduit à des paysages de conseil très complexes. L'offre de services est désormais caractérisée par une grande diversité d'acteurs (Knierim *et al.*, 2017), notamment en France. Des organisations de producteurs et des conseillers

« indépendants » cohabitent avec des conseillers « liés » qui fournissent du conseil intégré à d'autres services (comptabilité), à la vente d'intrants (semences, engrais, pesticides) ou à la collecte des productions (céréales, lait, etc.). D'autres acteurs fournissent des services de conseil agricole joints à des technologies numériques (logiciels, applications, outils d'aide à la décision...).

Transformation des structures de production du secteur

Les « exploitations familiales » ne sont plus la seule forme d'organisation du travail et des unités de production du secteur agricole. De nouvelles formes d'entreprises émergent (« agriculture de firme »), et les relations entre capital et travail sont de plus en plus complexes (Purseigle *et al.*, 2017). En conséquence, les profils des bénéficiaires potentiels du conseil évoluent et deviennent plus divers, incluant des dirigeants d'entreprises, des employés (permanents ou temporaires), des membres du ménage, des sous-traitants, etc. (Nguyen et Laurent, 2022). Dans le même temps, de nombreux éléments indiquent que les petites exploitations agricoles qui demeurent dans le secteur ont du mal à accéder aux services de conseil, en partie en raison des opportunités commerciales limitées qu'elles représentent pour les prestataires (Labarthe et Laurent, 2013 ; Sutherland *et al.*, 2017). Les exploitations agricoles sont également de plus en plus diversifiées dans leurs productions et leurs activités. Cette diversification entraîne de nouveaux besoins en matière de connaissances et de services. De nouveaux profils d'agriculteurs apparaissent par ailleurs dans le secteur. Certains peuvent avoir une expérience limitée de l'agriculture ; ils peuvent intégrer de nouveaux réseaux, opérant souvent en dehors des services de conseil traditionnels (Sutherland et Calo, 2021).

Nouvelles attentes politiques

Les objectifs des politiques agricoles et rurales ont évolué, passant du seul soutien à la production de produits agricoles à l'intégration d'enjeux écologiques et sanitaires. Les questions de justice et de cohésion sociale ont également pris de l'importance dans le secteur agricole. La combinaison d'enjeux écologiques et des nouvelles configurations productives du secteur induit des questions inédites pour le conseil en matière de conditions de travail et de satisfaction professionnelle des agriculteurs et des salariés agricoles (Hostiou *et al.*, 2017 ; Vik *et al.*, 2019).

LES ENJEUX ASSOCIÉS À LA DIGITALISATION

C'est dans ce contexte que se développent les technologies numériques dans le secteur agricole. Les méthodes et les approches à la disposition des conseillers et des agriculteurs sont profondément modifiées par les technologies de l'information et de la communication ainsi que par les réseaux sociaux (Narine *et al.*, 2019 ; Klerkx, 2020). De nombreuses questions de recherche émergent sur la capacité de la digitalisation à accompagner les défis associés aux transformations du conseil agricole, et réciproquement (Fielke *et al.*, 2020).

Sur la question de l'accès au conseil

Différents travaux de recherche ont montré que certaines populations agricoles avaient des difficultés d'accès à des services de conseil répondant à leurs besoins. Il peut s'agir d'exploitations agricoles de petite dimension économique, ou d'exploitations gérées par des agriculteurs ayant des profils spécifiques : agriculteurs pluriactifs, nouvellement installés hors cadre familial, etc. Dans le même temps, différents outils sont disponibles pour équiper agriculteurs et conseillers, par exemple pour l'accès à des informations techniques (*via* des stations météo, des systèmes d'information sur les prix agricoles, des outils d'aide à la décision pour l'irrigation, la fertilisation, etc.). La question se pose donc

de savoir si la digitalisation pourrait réduire les difficultés d'accès de certains agriculteurs à des informations, voire à des connaissances pertinentes. Une première condition réside dans la qualité de connexion dans les zones rurales et dans la suppression des zones blanches. Une deuxième condition réside dans la capacité des solutions numériques à intégrer les besoins spécifiques de différents usagers, notamment les exploitations de petite dimension ou celles inscrites dans des modèles de production alternatifs. Ces besoins spécifiques peuvent être liés aux caractéristiques techniques et physiques intrinsèques de ces exploitations (superficie des parcelles, diversité des cultures, nature des intrants utilisés, etc.), qui ne sont pas toujours compatibles avec les configurations des technologies numériques (voir article Schnebelin *et al.*, pp. 15-19). Mais ils peuvent être aussi liés aux conditions et modalités d'utilisation de ces technologies. Des travaux récents ont ainsi mis en avant que si les technologies numériques sont souvent pensées pour un usage individuel, elles peuvent être mobilisées par des collectifs d'agriculteurs et d'agricultrices, aussi bien dans les pays du Sud que des pays du Nord (Jönsson, 2018). Dans tous les cas, les travaux de recherche soulignent qu'il n'y a pas de substitution complète entre conseil agricole et outils numériques. Un défi réside dans la capacité des conseillers à accompagner les divers usages de ces outils pour élargir les cercles de bénéficiaires des services et des sources de connaissances.

Sur les nouvelles compétences des conseillers

Cette capacité des conseillers à accompagner le mouvement de digitalisation du secteur est souvent renvoyée à leurs compétences individuelles. Un enjeu serait alors de renforcer et d'évaluer la "*digital literacy*" (ou l'« habileté numérique ») des conseillers et des agriculteurs. Pour autant, la capacité des conseillers à déployer des solutions numériques dépasse la question de leurs compétences individuelles. Le développement du numérique se caractérise par une profusion d'initiatives (par des *start-up* et/ou des organisations professionnelles agricoles), soutenues par des politiques nationale et européenne qui promeuvent des réseaux public-privé d'innovation. Ce marché émergent est en partie lié à des politiques environnementales : différents OAD peuvent être utilisés par les agriculteurs pour attester de la conformité de leurs pratiques avec des normes réglementaires (par exemple, certains OAD utilisant des données satellitaires peuvent être utilisés pour attester de la conformité avec des réglementations sur l'utilisation des nitrates). Face à ce grand nombre d'initiatives, un enjeu pour les conseillers est d'être capables collectivement de recenser, évaluer, comparer et trier les solutions qui sont les plus efficaces et les plus appropriées à différentes catégories d'agriculteurs.

Sur les transformations du système d'innovation et de connaissances agricoles

Le développement du numérique en agriculture n'est donc pas qu'une question d'adoption et d'usage à l'échelle individuelle des agriculteurs et de leur relation avec les conseillers. La digitalisation se traduit par l'arrivée de nouveaux acteurs (*start-up*, industries aérospatiales, plateformes, etc.) qui modifient les investissements, les routines et l'organisation de la R&D du secteur agricole. De nouvelles politiques publiques et de nouveaux dispositifs de régulation apparaissent également, centrés eux aussi sur le soutien au développement d'un secteur de *start-up* dans le secteur agricole en France. Il est encore trop tôt pour mesurer exactement l'ampleur de ces transformations. Le système d'innovation du secteur agricole est historiquement caractérisé, notamment en France, par le rôle central d'organisations collectives d'agriculteurs (Chambres d'agriculture, coopératives, instituts techniques, associations) dans l'offre de conseil agricole et la recherche appliquée. Ces différents organismes, soutenus par des politiques publiques, jouent un rôle clé dans la mise au point, la validation et la diffusion des innovations. Il existe par exemple des dispositifs expérimentaux très conséquents, mobilisant des centaines de parcelles dans des centres

expérimentaux et chez des agriculteurs, coordonnées par des ingénieurs, pour valider les effets de nouvelles technologies (semences, pesticides, engrais, etc.). Ces systèmes sont inscrits dans une histoire longue, caractérisée par des formes de dépendance au sentier et de logiques d'exploitation des connaissances qui ont stabilisé des rapports de force entre acteurs, parfois au détriment de l'intégration d'enjeux environnementaux (Labarthe *et al.*, 2021).

Une question posée par la digitalisation est donc celle de ses effets sur la gouvernance et l'orientation de ce système d'innovation, et plus particulièrement des services de conseil. Pour les organisations sectorielles, l'enjeu est de conserver un contrôle sur le développement, la validation et la diffusion des innovations. Pour les acteurs publics, l'enjeu réside dans la capacité à se saisir de la digitalisation pour mieux intégrer des enjeux sociétaux dans ces dynamiques d'innovation. Enfin, pour les acteurs du numérique, l'enjeu est de nouer des partenariats avec les acteurs du conseil agricole pour diffuser des innovations, et surtout capter des données fournies par les agriculteurs pour établir de nouveaux marchés (comme l'assurance indicielle). C'est dans ce contexte que se développent de nouveaux modèles d'innovation ouverte, tels que des *living labs* et divers projets multi-acteurs pour la digitalisation du secteur. L'analyse de la gouvernance de ces nouveaux dispositifs est fondamentale pour comprendre le rôle que joueront les services de conseil agricole dans l'intégration des besoins d'une diversité d'agriculteurs et dans la prise en compte des enjeux environnementaux dans la conception de solutions numériques au sein du secteur.

BIBLIOGRAPHIE

FIELKE S., TAYLOR B. & JAKKU E. (2020), "Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: A state-of-the-art review", *Agricultural Systems*, 180, 102763.

GARFORTH C., ANGELL B., ARCHER J. & GREEN K. (2003), "Fragmentation or creative diversity? Options in the provision of land management advisory services", *Land Use Policy*, 20(4), pp. 323-333.

HOSTIOU N., FAGON J. & CHAUVAT S. (2017), "Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. A review", *Agronomie, Société et Environnement*, 21(4), pp. 268-275.

JÖNSSON M. (2018), Political economics of gender relations in information and communication technologies in agricultural development. The case of knowledge-based platforms for farmers in Kenya, doctoral dissertation, Paris-Saclay University.

KLERKX L. (2020), "Advisory services and transformation, plurality and disruption of agriculture and food systems: Towards a new research agenda for agricultural education and extension studies", *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 26(2), pp. 131-140.

KNIERIM A., LABARTHE P., LAURENT C., PRAGER K., KANIA J., MADUREIRA L. & NDAH T. H. (2017), "Pluralism of agricultural advisory service providers – Facts and insights from Europe", *Journal of rural studies*, 55, pp. 45-58.

LABARTHE P. & LAURENT C. (2013), "Privatization of agricultural extension services in the EU: Towards a lack of adequate knowledge for small-scale farms?", *Food policy*, 38, pp. 240-252.

LABARTHE P., COLÉNO F., ENJALBERT J., FUGERAY-SCARBEL A., HANNACHI M. & LEMARIÉ S. (2021), "Exploration, exploitation and environmental innovation in agriculture. The case of variety mixture in France and Denmark", *Technological Forecasting and Social Change*, 172, DOI 121028.

LAURENT C., CERF M. & LABARTHE P. (2006), "Agricultural extension services and market regulation: Learning from a comparison of six EU countries", *Journal of Agricultural Education and Extension*, 12(1), pp. 5-16.

NARINE L. K., HARDER A. & ROBERTS T. G. (2019), "Farmers' intention to use text messaging for extension services in Trinidad", *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 25(4), pp. 293-306.

PURSEIGLE F., NGUYEN G. & BLANC P. (2017), *Le nouveau capitalisme agricole : de la ferme à la firme*, Paris, Presses de Sciences Po.

SCHNEBELIN É., LABARTHE P. & TOUZARD J.-M. (2022), « Le développement du numérique : quelles perspectives pour l'agriculture biologique ? », *Enjeux numériques - Annales des Mines*, n°19, septembre, pp. 15-19.

SUTHERLAND L. A. & CALO A. (2020), "Assemblage and the 'good farmer': New entrants to crofting in Scotland", *Journal of Rural Studies*, 80, pp. 532-542.

SUTHERLAND L. A. *et al.* (2017), "New knowledge networks of small-scale farmers in Europe's periphery", *Land Use Policy*, 63, pp. 428-439.

VIK J., STRÆTE E. P., HANSEN B. G. & NÆRLAND T. (2019), "The political robot – The structural consequences of automated milking systems (AMS) in Norway", *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100305.

Outils numériques : enjeux de coordination d'acteurs, de partage et de valorisation de la donnée

Par Soazig DI BIANCO et Mohamed GHALI

Laboratoire de Recherches en sciences sociales (LARESS),
École Supérieure d'Agricultures d'Angers

L'essor d'outils numériques et la production massive de données qui l'accompagne transforment les modes de coordination des acteurs dans les processus d'innovation. Dans cet article, nous examinons la transformation et les enjeux de coordination des acteurs autour de deux axes : le partage et la valorisation de données ; la conception et l'utilisation de technologies numériques. À partir de données d'une enquête auprès d'acteurs du secteur bovin laitier et des parties prenantes de la conception et de l'utilisation du robot de traite et du drone agricole, nous montrons que l'essor des technologies numériques renforce les stratégies d'alliances bipartites pour le partage de données, et s'accompagne d'une normalisation des processus d'innovation. Nous discutons des effets de ces recompositions, notamment de la polarisation des jeux d'acteurs sur les dynamiques d'innovation en agriculture.

L'innovation¹ est « un processus qui résulte de l'interaction entre de nombreux acteurs, intervenant dans un contexte donné et exprimant une intention de changement » (Faure *et al.*, 2018). Dans un système d'innovation, composé d'acteurs, de réseaux, de connaissances et d'institutions, les coordinations d'acteurs renvoient aux processus de développement et aux impacts des innovations, comme Faure *et al.* (2018) et Touzard *et al.* (2014) le montrent pour les systèmes agricoles et alimentaires. L'essor des outils numériques comme innovations technologiques et leur génération d'une quantité massive de données impactent la transformation des modes de coordination entre acteurs. Nous proposons ici d'interroger ces enjeux de coordination, selon deux axes majeurs : les enjeux de coordination pour la production, le partage et la valorisation de la donnée ; et les enjeux de coordination pour le développement et l'utilisation des technologies numériques. Ainsi, nous nous appuyons sur deux études : la première vise à saisir les stratégies de partage et de valorisation de la donnée des acteurs de la filière d'élevage de bovins laitiers (Ben Arfa et Ghali, 2019 ; Thin, 2017) et la seconde traite les enjeux de conception d'outils et de services numériques aux agriculteurs et leurs effets sur la coordination d'acteurs (Fazli, 2021).

¹ La définition de l'innovation varie selon les *Innovation studies* (Fagerberg et Verspagen, 2009 ; Godin, 2014 ; Godin et Vinck, 2017) qui analysent les systèmes d'innovation à différentes échelles (nationales, régionales, locales, etc.) ou les *Sciences and technologies studies* qui, davantage portées par les sociologues, étudient les relations entre recherches scientifiques et société pour produire des innovations technologiques.

LES COORDINATIONS D'ACTEURS AUTOUR DE LA PRODUCTION, LE PARTAGE ET LA VALORISATION DE LA DONNÉE

En agriculture, les enjeux de la création et de la gestion des données vont au-delà de la production de nouvelles connaissances pour en créer une valeur économique, ils tiennent aussi compte de la sécurité et de la sûreté sanitaire des produits et de leur traçabilité. Pour les agriculteurs, l'utilisation de plusieurs sources d'information (imagerie satellitaire, données météorologiques, etc.), permet d'améliorer les performances technico-économiques de l'exploitation et de gagner en flexibilité. Par ailleurs, les données produites peuvent être valorisées par les entreprises de conseil ou d'autres acteurs de l'agriculture qui mobilisent de plus en plus d'outils et de données numériques (Ben Arfa et Ghali, 2019 ; Di Bianco, 2019). En élevage par exemple, plusieurs organismes gravitent autour de cette activité (organismes de contrôle de performance, de sélection, services vétérinaires, équipementiers, développeurs informatiques, etc.) dont les relations et les stratégies évoluent avec la quantité et la diversité des données disponibles en élevage.

Dans ce contexte, nous avons conduit une étude, en 2017, auprès de neuf opérateurs² d'élevages bovins laitiers visant à analyser les effets de la diversification des données d'élevage sur les stratégies et les interactions entre les acteurs de la filière.

Cette étude montre que l'ensemble des acteurs enquêtés accordent une importance centrale à la collecte de données : s'ils les utilisent principalement pour et vers l'éleveur et le conseiller, certains mobilisent les données pour assurer la traçabilité des produits et le contrôle du fonctionnement des équipements.

Malgré l'importance qu'ils disent accorder aux données, ces acteurs en font un usage très variable selon le type de données considérées. En effet, la plupart utilisent des données de production, de performance individuelle des animaux et de reproduction qui servent les mesures de performance et le pilotage des exploitations. À l'inverse, les données économiques ou environnementales, plus éloignées du cœur de métier des enquêtés, sont beaucoup moins utilisées. Toutefois, certains cherchent à les valoriser pour avoir une approche plus globale de l'exploitation, pour des outils de conseil, ou pour des questions de traçabilité. Ainsi l'utilisation de données d'élevage ne semble pas uniforme entre les acteurs ce qui indique, *a priori*, qu'ils sont porteurs de divers objectifs de valorisation, et potentiellement de diverses stratégies d'utilisation des données.

L'étude montre en outre une dépendance de certains acteurs, comme les équipementiers et les contrôles laitiers, vis-à-vis des données extérieures et révèle l'importance des partenariats établis pour accéder à ces données et les analyser. On distingue ainsi trois types d'acteurs selon leur stratégie d'accès et de valorisation des données :

- Type 1 : des acteurs ayant un large panel de partenaires et des données très différentes ;
- Type 2 : des acteurs ayant un nombre réduit de partenaires-clés et sont centrés sur des activités précises (performance, génétique, sanitaire) ;
- Type 3 : des acteurs multipliant les sources de leurs données tout en conservant une homogénéité dans les données récupérées.

² Nous avons enquêté : une entreprise, un organisme de contrôle de performance, un organisme de sélection et un de recherche, deux établissements départementaux d'élevage, un équipementier, une coopérative et un fabricant d'aliments.

Cette typologie rend compte de stratégies différenciées, qui reposent tantôt sur le développement d'une expertise spécifique (ex. génétique) auprès des éleveurs (Type 2), tantôt sur une expertise globale de l'exploitation (Types 1 et 3). Elle confirme également que les acteurs interrogés sont impliqués plus ou moins dans des interactions/partenariats autour de la donnée.

L'analyse de ces interactions, selon les catégories d'acteurs décrites par Godet (2006), montre que les coopérations entre acteurs s'inscrivent, pour chaque organisation, dans une stratégie plus globale de valorisation des données qui définit les données utilisées, la finalité et les moyens mis en œuvre pour leur valorisation. Une majorité d'entre elles adoptent une stratégie de diversification de leurs données portée par une internalisation de leur système d'information, ce qui renforce la concurrence entre les acteurs offrant des cartes de services similaires aux éleveurs. L'internalisation de la chaîne de valeur de la donnée permet à ces acteurs de mieux maîtriser le développement de leurs outils et services, de les ajuster aux demandes des utilisateurs et de développer leurs propres indicateurs.

L'intensité des partenariats développés autour de la donnée est ainsi étroitement liée à leur besoin de diversification des données valorisées : plus un acteur porte une stratégie de diversification de ses données, plus il recherchera des partenariats étroits avec un nombre plus important de partenaires.

Les coordinations d'acteurs autour des enjeux de valorisation des données numériques s'intensifient et sont ainsi indispensables à leurs activités de conseil auprès des éleveurs.

Les technologies numériques permettent de collecter davantage de données et encouragent les acteurs à investir dans une stratégie de diversification des données, collectées auprès des éleveurs ou d'autres acteurs de la filière. Elles tendent ainsi à transformer les coordinations d'acteurs, en privilégiant l'échange de données entre acteurs au détriment de l'accroissement de la collecte en interne³ et en développant des partenariats bilatéraux plutôt que des formes d'échange plus mutualisées.

COORDINATION POUR LE DÉVELOPPEMENT ET L'UTILISATION DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES : CAS DU DRONE ET DU ROBOT DE TRAITE

Nous avons vu que les acteurs de la filière bovin lait cherchent à structurer davantage leurs échanges afin de mieux valoriser, individuellement, les données d'élevage. Comment ces acteurs se coordonnent-ils lorsqu'il s'agit de développer et d'utiliser des technologies numériques ?

Alors que l'inégal déploiement des outils numériques est souvent expliqué par la technologie elle-même, qui ne serait pas suffisamment aboutie ou qui n'aurait pas trouvé son utilité dans l'activité des usagers (Xerfi, 2021), nous proposons ici de l'expliquer par les modalités de coordination des acteurs engagés dans le processus d'innovation. En prenant le cas du robot de traite et du drone, nous proposons d'examiner les interactions entre trois catégories d'acteurs : les concepteurs (fournisseurs de la technologie), les intermédiaires (organisations de conseil) et les usagers (expérimentateurs et agriculteurs).

³ Il s'agit d'une stratégie de minimisation des coûts liés à la collecte tout en maximisant les données accessibles.

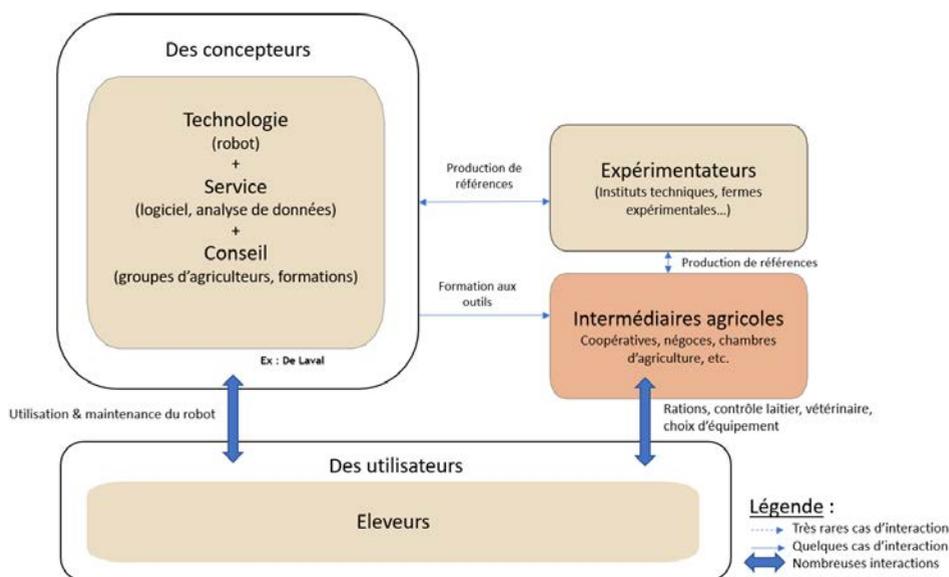


Figure 1 : Coordination d'acteurs dans la production et l'usage d'un robot de traite.

Le robot de traite : une coordination linéaire du processus d'innovation dominée par des firmes privées

Le marché des robots de traite⁴ est dominé par cinq acteurs principaux qui offrent une solution clé en main aux éleveurs : ils produisent à la fois l'artefact technique, les logiciels et les services d'analyse de données associés, et assurent l'installation et la maintenance des robots chez les éleveurs (voir la Figure 1). Les expérimentateurs n'interviennent qu'après la fabrication de l'outil, afin de produire des références permettant notamment aux intermédiaires de conduire des actions de conseil auprès des agriculteurs. Ces derniers en sont les seuls usagers finaux, et s'appuient sur les conseillers agricoles (intermédiaires) pour guider leur choix d'équipement ou pour organiser et suivre la production laitière associée (rations, mesures de qualité, santé animale, etc.).

L'analyse des usages et des critères d'évaluation du robot de traite fait apparaître une vision partagée entre les fournisseurs-concepteurs, expérimentateurs, intermédiaires et agriculteurs. En effet, la plupart des critères d'évaluation sont communs à l'ensemble des acteurs comme la mesure du coût, de la performance et de la fiabilité des données. À l'inverse, les critères qui diffèrent sont spécifiques au rôle de chaque acteur dans le processus : les conseillers évaluent par exemple la précision et la facilité d'utilisation de l'outil, et les agriculteurs évaluent sa capacité à améliorer leurs conditions de travail.

Le drone agricole : une coordination dispersée du processus d'innovation

Les services proposés à partir des drones visent la production de connaissances (surveillance, imagerie, comptage, mesures de biomasse), l'optimisation des pratiques agricoles (semis, fertilisation, traitement), et présentent des domaines d'application variés, aussi

⁴Nous avons enquêté auprès de huit acteurs participant à la conception du robot de traite (Fazli, 2021).

bien en productions animales que végétales⁵. Ces solutions présentent également la particularité d'être issues de la coopération, en amont, entre les concepteurs de drone (fournisseurs de technologie) et les fournisseurs de services qui proposent des services associés (ex. : analyse d'image) (voir la Figure 2). Elles sont principalement utilisées par des ingénieurs membres des services de recherche et développement (instituts techniques, organisations professionnelles agricoles) pour suivre des activités d'expérimentation, mais également par des conseillers agricoles, dont les structures s'équipent de drones pour offrir des services dédiés. Les expérimentateurs et les intermédiaires travaillent alors ensemble à inventer et à adapter l'offre de service du drone à l'activité agricole. Si nous avons trouvé de rares cas d'agriculteurs propriétaires de drones, la plupart d'entre eux externalisent le service d'analyse et font appel à des conseillers pour intervenir sur leur exploitation. Ils leur délèguent ainsi à la fois l'usage de l'outil et l'analyse des données produites à cette occasion.

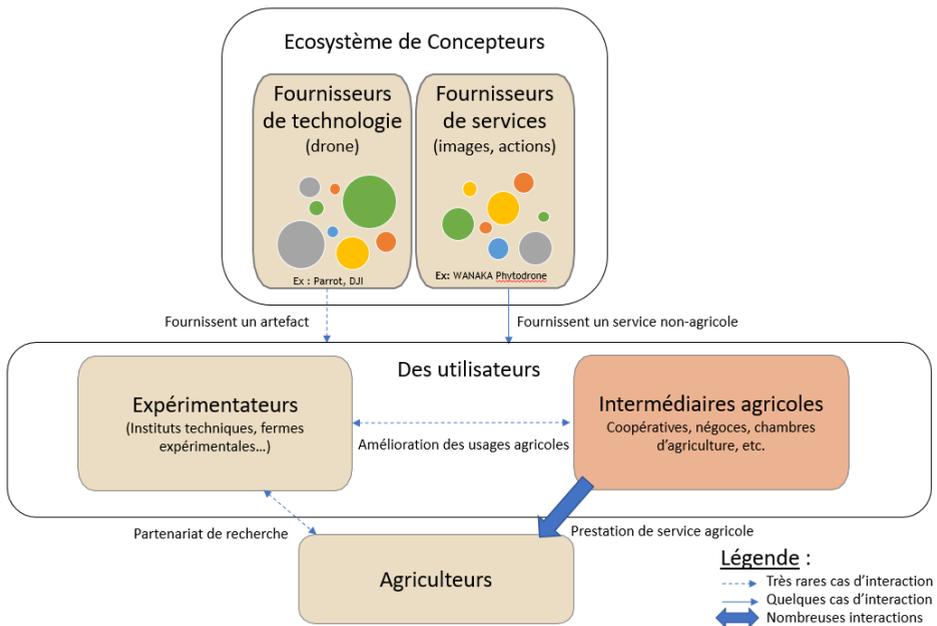


Figure 2 : Coordination d'acteurs dans la production et l'usage d'un drone en agriculture.

L'analyse des critères d'évaluation du drone montre un décalage entre les fournisseurs de drones et les intermédiaires de conseil : alors que les fournisseurs cherchent à améliorer et à communiquer sur la plus-value économique et environnementale de l'outil, les intermédiaires de conseil sont davantage préoccupés par des questions d'utilisation du drone qui ne leur semble pas adapté aux situations de travail agricole (conditions météorologiques trop exigeantes, hauteur de vol incompatible avec la couverture nuageuse en bocage, difficulté d'utilisation, etc.). Les conseillers se projettent sur une large palette d'applications potentielles du drone dans l'agriculture, mais la désorganisation des acteurs ne permet pas de partager ces propositions avec les concepteurs de l'outil et des services.

⁵ Nous avons rencontré quinze acteurs utilisant ou participant à la conception de services mobilisant des drones agricoles (Fazli, 2021).

Une place inégale laissée aux intermédiaires et aux utilisateurs dans le développement d'une offre de service

Le cas du robot de traite donne à voir une organisation linéaire et intégrée, distribuant clairement les rôles entre : les firmes privées, chargées de concevoir l'outil et le service associé à destination des éleveurs, désignés comme uniques usagers ; les expérimentateurs, chargés de produire les références techniques ; les intermédiaires de conseil, chargés de tisser, autour du robot, un ensemble de services permettant d'intégrer le robot dans l'élevage et d'organiser la production laitière. À l'inverse, le cas du drone donne à voir une organisation particulièrement dispersée : l'écosystème des concepteurs est particulièrement instable et se compose de plusieurs petites et moyennes entreprises, spécialisées soit dans la conception des drones (en tant qu'artefact technique) soit dans les services associés, et qui ne sont pas spécialistes de l'agriculture. Ce sont ainsi les expérimentateurs et les intermédiaires de conseil qui, tout en déléguant le traitement de certains services complexes (ex. : traitement des images) à ces concepteurs, œuvrent à tester et à développer une offre de service aux agriculteurs. Les drones ne sont ainsi pas conçus pour un usage agricole ni même pensés pour un utilisateur final, dont on ne sait pas s'il est, ici, expérimentateur, conseiller ou agriculteur.

Les cas du robot de traite et du drone donnent ainsi à voir la tension permanente entre l'organisation du processus d'innovation et la notion d'innovation elle-même : l'organisation du processus d'innovation, dans le cas du robot de traite, s'avère effectivement garante d'une bonne coordination des acteurs, et donc de l'ajustement entre le travail d'amélioration de l'outil et les difficultés d'usage effectivement éprouvées par les utilisateurs. Cependant, c'est bien la désorganisation de ce processus d'innovation qui conduit les intermédiaires et les expérimentateurs à tester l'outil dans une large diversité de situations et à inventer de nouveaux domaines d'application en agriculture. Pour autant, le partage de certains critères d'évaluation entre les acteurs (coût et fiabilité) montre que ces formes de coordination ne sont pas sans effet : elles entretiennent la promotion et la normalisation du sens associé à ces outils, ainsi que la normalisation de leurs modes de diffusion et de leurs usages.

CONCLUSION

L'analyse des enjeux de la coordination des acteurs pour le développement et l'utilisation des données des technologies numériques montre tout d'abord l'importance centrale des échanges de données pour l'ensemble des acteurs impliqués dans les processus d'innovation. La valorisation des données numériques se fait principalement à destination des agriculteurs, au travers d'outils de conseil, de pilotage du troupeau et d'informations sur la valeur génétique des animaux. La production massive de données incite les acteurs à revoir leurs modalités d'échange. Les enjeux qui sous-tendent ces coordinations sont alors liés à un besoin de minimisation des coûts liés à la collecte et de maximisation des données accessibles. À l'exception du Système d'information géographique (SIG), qui permet la mutualisation « institutionnalisée » de données, le partage se fait le plus souvent de manière directe et bilatérale, et non au travers de structures ou de plateformes, malgré une forte convergence de la valorisation des données pour beaucoup d'entre eux.

Les enjeux de coordination entre acteurs se donnent à voir également dans leurs stratégies contrastées de conception et d'utilisation d'équipements numériques. Le processus de développement des outils numériques n'est pas homogène et prend tantôt la forme d'une organisation linéaire du processus d'innovation, assignant un rôle clair à un nombre limité d'acteurs (cas du robot de traite), tantôt une forme plus chaotique (cas du drone). Le processus de développement du drone, notamment, n'est pas stabilisé, chaque acteur

faisant et défaisant sans cesse des liens avec d'autres, et apparaît ainsi exemplaire d'une désorganisation du processus d'innovation.

Ainsi, l'accélération du développement d'une offre de services numériques en agriculture et l'accroissement de la pression concurrentielle conduisent les entreprises et les firmes du secteur agricole à revoir leurs modalités de coordination dans le processus d'innovation : elles développent des partenariats privilégiés pour échanger des données ou concevoir de nouveaux outils ou services, induisant ainsi une normalisation du processus d'innovation. D'autres modes de coordination émergent cependant, moins structurés, qui accordent une plus large place aux utilisateurs et à l'ensemble des parties prenantes dans le processus d'innovation. Nous observons ainsi une polarisation des acteurs de l'innovation, avec, d'un côté, des coalitions entre les principaux acteurs qui stabilisent leurs échanges en formalisant des partenariats privilégiés, et, de l'autre, des acteurs émergents qui peinent parfois à trouver leur place dans ces échanges.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Vianney THIN et Elyas FAZLI, qui ont contribué à la collecte et à l'analyse des données sur lesquelles repose cet article, ainsi que le RMT NAEXUS (Numérique Agricole, Enseignement et Usages) qui a bien voulu financer une partie de ces recherches.

RÉFÉRENCES

- BEN ARFA N. & GHALI M. (2019), « Le numérique dans la chaîne de valeur agroalimentaire : enjeux et opportunités », in DANIEL K. & COURTADE N. (éd.), « Les agriculteurs dans le mouvement de numérisation du monde », Dijon, Éditions Éducagri, pp. 161-186.
- DI BIANCO S. (2019), « Le conseil agricole à l'épreuve du numérique », in DANIEL K. & COURTADE N. (éd.), *Les agriculteurs dans le mouvement de numérisation du monde*, Éditions Éducagri, pp. 99-134.
- FAURE G., CHIFFOLEAU Y., GOULET F., TEMPLE L. & TOUZARD J.-M. (2018), *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires*, Éditions Quae, 260 p.
- FAZLI E. (2021), "Inventory of uses and evaluation criteria of digital solutions in agriculture: Milking robots and drones equipped with cameras", mémoire de fin d'études d'ingénieur, ISA Lille, 64 p.
- GODET M. (2006), *Creating Futures. Scenario Planning as a Strategic Management Tool*, Paris, Economica, 349 p.
- THIN V. (2017), « Technologies numériques en élevage bovin laitier : Impact sur le partage de données et analyse des stratégies d'acteurs », mémoire de fin d'études d'ingénieur, ISA Lille, 67 p.
- TOUZARD J.-M., TEMPLE L., FAURE G. & TRIOMPHE B. (2014), "Innovation systems and knowledge communities in agriculture and agrifood sector", *Innovations*, 43(1), pp. 13-38.
- XERFI (2021), « Les technologies de précision se diffusent dans l'agriculture », Paris, rapport d'étude sectorielle, réf. 21EEE16 / XR.

Comment réussir un projet de *crowdsourcing* d'observations spatialisées en agriculture ?

Par Léo PICHON

Ingénieur agronome, docteur en sciences agronomiques
et maître de conférences à l'Institut Agro Montpellier

L'agriculture a engagé des transitions (agro-écologique, numérique, etc.) pour répondre aux enjeux complexes et parfois contradictoires auxquels elle est confrontée. La collecte collaborative d'observations spatialisées est un outil pertinent pour construire collectivement les nouvelles connaissances nécessaires à ces transitions. Ce type de projet est pourtant encore peu développé en agriculture. Notre objectif avec cet article est de proposer des éléments de compréhension des spécificités des projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées en agriculture, afin d'identifier les facteurs ou les caractéristiques à favoriser dans ces projets pour qu'ils se développent plus largement. Les structures spatiale et temporelle des phénomènes étudiés, le caractère asynchrone et hétérotopes des jeux de données obtenus et le fait que les participants soient des professionnels semblent être les caractéristiques principales à considérer pour favoriser la réussite de ce type de projet.

INTRODUCTION

L'agriculture est actuellement confrontée à des enjeux complexes et parfois contradictoires. Pour y répondre, elle a engagé des transitions agro-écologique, climatique, énergétique ou encore numérique qui mobilisent l'ensemble des acteurs de l'agriculture, depuis les agriculteurs et leurs conseillers jusqu'aux chercheurs et aux décideurs politiques (Slimi *et al.*, 2021). Les projets qui mêlent au sein d'un même collectif des chercheurs et des acteurs ayant des points de vue variés semblent particulièrement adaptés à l'émergence de connaissances nouvelles permettant d'accompagner ces transitions (Moneyron *et al.*, 2017). Par exemple, le projet mené par Van Etten *et al.* (2019) est emblématique de cette approche qui mêle un collectif d'agriculteurs et de chercheurs pour générer de la connaissance sur des enjeux complexes. Ces auteurs ont proposé une méthode de recherche qui permet de comparer entre elles plusieurs variétés de semences en impliquant de nombreux agriculteurs qui expérimentent sur leurs fermes et partagent leurs observations. Elle offre des opportunités enthousiasmantes pour générer collectivement de la connaissance et accompagner l'agriculture dans ses transitions. Cette méthodologie, basée sur des informations collectées par la foule, s'appelle le *crowdsourcing*.

D'après Minet *et al.* (2017), il en existe trois types qui dépendent du type de contribution des participants. Tout d'abord, le *crowdsourcing* de connaissance, dans lequel les participants partagent leurs savoirs et leurs expériences, par exemple sous la forme d'une encyclopédie en ligne comme Wikipedia (<https://www.wikipedia.org/>) (Westerman,

2009). Ensuite, le *crowdsourcing* de tâches, dans lequel les participants réalisent, depuis leur ordinateur, des tâches unitaires de toutes natures. Ce type de *crowdsourcing* est beaucoup utilisé pour réaliser des tâches fastidieuses qui ne peuvent être faites que par des humains (Altwaijry *et al.*, 2016). Enfin, le *crowdsourcing* d'observations spatialisées, dans lequel les participants collectent des observations géolocalisées. La démocratisation des récepteurs GNSS, puis des *smartphones* a largement contribué à l'essor de ce type de *crowdsourcing* (Massad et Dalyot, 2018). Cette approche est particulièrement développée dans le domaine du suivi environnemental, par exemple pour caractériser et suivre la répartition spatiale d'une espèce d'intérêt (Sullivan *et al.*, 2009). En agriculture, les projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées présentent un intérêt particulier, car la réalisation d'observations spatialisées et datées est au cœur du métier d'agriculteur et d'agronome (Ebitu *et al.*, 2021), par exemple pour suivre des phénomènes biotiques (suivi de ravageurs...) ou abiotiques (suivi de la sécheresse...) à l'échelle régionale. Malgré le fort potentiel de ces projets (Van de Gevel *et al.*, 2020), leur développement reste encore limité en agriculture (Minet *et al.*, 2017).

L'objectif de cet article est de proposer des éléments de compréhension des spécificités des projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées en agriculture qui peuvent expliquer leur développement encore relativement faible au regard de l'intérêt qu'ils présentent pour l'agriculture. Pour cela, cet article énonce d'abord les facteurs génériques identifiés dans la littérature comme favorisant le succès des projets de *crowdsourcing*. Il décrit ensuite les spécificités des projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées en agriculture, afin d'identifier les facteurs ou les caractéristiques à favoriser dans ces projets pour qu'ils soient des succès et qu'ils se développent plus largement.

LES FACTEURS DE SUCCÈS DES PROJETS DE *CROWDSOURCING*

Un projet de *crowdsourcing* est considéré comme un succès si les contributions des participants permettent de répondre à la question posée. Ce succès dépend principalement d'un nombre important de contributions, et de contributions de bonne qualité (Rechenberger *et al.*, 2015).

La quantité de contributions

Les participants doivent être motivés pour garantir un nombre de contributions collectées important. La motivation des participants est certainement le facteur de participation qui a été le plus étudié dans la littérature. Batson *et al.* (2002) ont proposé un *framework* qui identifie quatre types de motivation chez les contributeurs.

Motivation égoïste

Les participants s'impliquent pour répondre à leur propre intérêt. Pour eux, la contribution peut alors donner lieu à une satisfaction directe (en s'amusant, etc.) ou indirecte (ex. : en obtenant de l'argent, de l'information, de la reconnaissance, etc.) (Kaufmann *et al.*, 2011). On parle respectivement de motivations égoïstes intrinsèque et extrinsèque.

Motivation altruiste

Les participants s'impliquent pour répondre à l'intérêt d'autres personnes pour lesquelles ils ressentent de l'empathie.

Motivation collectiviste

Les participants s'impliquent pour répondre à l'intérêt d'un groupe ou d'un collectif. Dans ce cas, le projet collectif est au centre, et c'est la volonté de créer du bien commun qui guide l'implication des participants.

Motivation pour un principe

Les participants s'impliquent au nom de principes moraux et d'intérêts supérieurs comme la liberté ou la justice. Le projet collectif n'est qu'une conséquence non intentionnelle ou un simple moyen pour servir cet intérêt.

Dans chaque projet de *crowdsourcing* et pour chaque participant, ces quatre types de motivation sont présents, mais leurs proportions respectives dépendent du type de projet et de la manière dont les objectifs sont présentés (Land-Zandstra *et al.*, 2016). De plus, ces proportions peuvent évoluer au cours du temps. L'égoïsme est souvent le type de motivation principal lors d'une première contribution, puis l'altruisme et le collectivisme peuvent jouer un rôle plus important dans le choix des participants de continuer à contribuer (Rotman *et al.*, 2012).

La qualité des contributions

- Bordogna *et al.* (2014) décrivent deux stratégies pour assurer des contributions de qualité dans les projets de *crowdsourcing*. La première stratégie, aussi appelée par certains auteurs "quality assurance" (Jonietz *et al.*, 2017), consiste à mettre en place des mécanismes qui se déroulent avant la collecte (stratégie *ex ante*) et qui garantissent que les données collectées seront de bonne qualité. Par exemple, ces mécanismes peuvent être la mise en place de formations pour les participants, la définition d'un vocabulaire commun ou de protocoles de collecte stricts (Criscuolo *et al.*, 2016). Kelling *et al.* (2019) insistent sur l'importance de collecter des informations, non seulement sur le phénomène étudié mais aussi sur le processus de collecte lui-même. D'après eux, la collecte de métadonnées associées aux contributions des participants (qui contribue, à quel endroit, à quelle date, selon quel protocole, etc.) n'améliore pas directement la qualité des données collectées, mais elle facilite leur compréhension et leur analyse *a posteriori*.
- La seconde stratégie, aussi appelée par certains auteurs "quality assesment" (Jonietz *et al.*, 2017), consiste à évaluer, une fois qu'elles ont été collectées (stratégie *ex post*), la qualité des données afin de pouvoir éventuellement éliminer celles qui sont de mauvaise qualité. Cette qualité peut être évaluée soit directement de façon experte (Criscuolo *et al.*, 2016), soit par la communauté en évaluant la réputation des participants (Jabeur *et al.*, 2018), soit, enfin, de façon automatique en étudiant les caractéristiques du jeu de données obtenu (Touya *et al.*, 2017) ou en comparant les contributions à des données de référence (Massad et Dalyot, 2018). Dans la littérature, ces trois approches sont fréquemment combinées (Fonte *et al.*, 2017).

LES SPÉCIFICITÉS DES PROJETS DE CROWDSOURCING D'OBSERVATIONS SPATIALISÉES EN AGRICULTURE

Les projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées en agriculture possèdent des spécificités par rapport aux autres projets de *crowdsourcing* qui sont dues à la fois au type de contributions (observations spatialisées) et au contexte agricole dans lequel ces contributions sont collectées.

Les phénomènes étudiés sont structurés dans le temps et dans l'espace

Les phénomènes étudiés répondent à des problématiques agricoles comme la présence de maladies, de ravageurs (Awuor *et al.*, 2019) ou de stress abiotiques (Dell'Acqua *et al.*, 2018). Ces phénomènes sont souvent dépendants de facteurs du milieu comme le sol (e.g. pédologie, topométrie) ou le climat (e.g. température, pluviométrie). Or, ces facteurs

du milieu sont généralement organisés dans l'espace (Colaço *et al.*, 2019). Ils peuvent également évoluer avec le temps et présenter une structure temporelle. Cela signifie que, pour la variable étudiée, deux observations collectées à des dates et sur des sites proches ont une probabilité plus grande de présenter des valeurs semblables que deux observations éloignées dans le temps et dans l'espace. De plus, les phénomènes étudiés sont généralement saisonniers et dynamiques. Naturellement, les participants qui cherchent à observer un phénomène ont donc tendance à réaliser leurs observations pendant la période durant laquelle celui-ci est observable. Il en résulte que le nombre d'observations au cours du temps varie très fortement et de manière cyclique dans ce type de jeux de données (Prudic *et al.*, 2017).

Les jeux de données sont asynchrones et hétérotopes

Les projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées fonctionnent généralement avec une stratégie de collecte opportuniste (Kelling *et al.*, 2019). La conséquence majeure est que les observations sont collectées à des sites et à des dates qui sont déterminés par les participants uniquement en fonction de leurs contraintes ou de leurs motivations individuelles. Ces sites et ces dates ne sont pas connus à l'avance et ne sont pas nécessairement optimaux pour l'observation du phénomène d'intérêt. Les jeux de données qui en résultent sont donc :

- asynchrones, c'est-à-dire que les observations faites sur deux sites différents sont généralement faites à deux dates différentes ;
- hétérotopes, c'est-à-dire que les observations faites à deux dates différentes sont généralement situées sur deux sites différents.

Ces caractéristiques sont pratiquement inexistantes dans les approches expérimentales classiques en agriculture. L'expérimentation repose habituellement sur des dispositifs randomisés avec répétition, où les mesures sont systématiquement effectuées à la même date et répétées sur les mêmes placettes, ce qui simplifie grandement l'analyse des données. Le caractère asynchrone et hétérotope de ces jeux de données est donc fondamental, car il va conditionner les méthodes de traitement des données qui permettent d'inférer des connaissances. Dans ce contexte, la collecte de métadonnées sur les observations est un enjeu majeur, car elle permet d'enregistrer et de connaître *a posteriori* les sites et les dates de collecte afin de gérer ce caractère asynchrone et hétérotope.

Les participants sont des professionnels

Les participants aux projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées contribuent à ces projets dans le cadre de leur activité professionnelle (Minet *et al.*, 2017). Ils sont donc majoritairement des acteurs du secteur agricole (agriculteurs, conseillers, etc.), et non pas des amateurs enthousiastes ou le grand public comme c'est le cas dans de nombreux projets de *crowdsourcing* (ex. : Prudic *et al.*, 2017). Cette caractéristique des participants influe sur leurs motivations, qui sont plutôt égoïstes et extrinsèques, c'est-à-dire qu'en contribuant, ils cherchent à répondre à un besoin en lien avec leur activité professionnelle – *e.g.* connaître les performances d'une variété (Van Etten *et al.*, 2019). Cette caractéristique des participants influe également sur leur connaissance des phénomènes étudiés. En tant que professionnels du secteur, ils contribuent à l'observation de phénomènes qu'ils connaissent bien. Il peut donc être fait l'hypothèse que leur niveau d'expertise est globalement plus élevé que dans d'autres projets de *crowdsourcing*, bien qu'à notre connaissance aucun article n'ait étudié cette hypothèse en détail. Enfin, les services d'extension sont un des acteurs clés dans les projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées. Comme pour l'adoption de n'importe quelle innovation en agriculture (ex. : de Souza Filho *et al.*, 2021), ils jouent un rôle important dans la contribution des agriculteurs aux projets de *crowdsourcing*, car ils bénéficient de leur confiance, ils sont généralement

bien implantés sur le territoire, et ils permettent d'assurer un lien entre les participants et l'organisation (Ryan *et al.*, 2018).

CONCLUSION

Les projets de *crowdsourcing*, en particulier ceux qui permettent la collecte collaborative d'observations spatialisées, présentent un intérêt fort pour la construction de nouvelles connaissances et pour l'accompagnement de l'agriculture dans sa transition. Ces projets possèdent des spécificités qui influencent leur réussite et limitent aujourd'hui leur diffusion. Pour développer ce type de projets dans les années à venir, il est nécessaire d'explorer des approches et des méthodes favorisant leur réussite. Concernant le nombre de contributions, la mise au point d'approches actionnant les différents leviers de motivation des participants professionnels agricoles semble être un enjeu fort. Par ailleurs, les phénomènes étudiés ont des caractéristiques qui donnent lieu d'envisager des approches originales pour évaluer la qualité *ex post* des données collectées. Leurs structures spatiale et temporelle ainsi que leur saisonnalité permettent d'estimer des valeurs attendues pour les phénomènes étudiés. Cela offre la possibilité d'identifier des observations qui s'éloignent de ces valeurs attendues, soit parce que le phénomène étudié présente effectivement une anomalie locale, soit parce que l'observation considérée est une erreur ou une saisie malveillante. L'exploration de ce type d'approches devrait permettre le développement des projets de *crowdsourcing* d'observations spatialisées en agriculture.

BIBLIOGRAPHIE

ALTWAIJRY H., TRULLS E., HAYS J., FUA P. & BELONGIE S. (2016), "Learning to match aerial images with deep attentive architectures", Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA, pp. 3539-3547, <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.385>

AWUOR F., OTANGA S., KIMELI V., RAMBIM D. & ABUYA T. (2019), "E-Pest surveillance: Large scale crop pest surveillance and control", 2019 IST-Africa Week Conference, IST-Africa 2019 Nairobi, Kenya, pp. 1-8, <https://doi.org/10.23919/ISTAFRICA.2019.8764824>

BATSON C. D., AHMAD N. & TSANG J. A. (2002), "Four motives for community involvement", *Journal of Social Issues*, 58(3), pp. 429-445, <https://doi.org/10.1111/1540-4560.00269>

BORDOGNA G., CARRARA P., CRISCUOLO L., PEPE M. & RAMPINI A. (2014), "On predicting and improving the quality of volunteer geographic information projects", *International Journal of Digital Earth*, 9(2), pp. 134-155, <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.976774>

COLAÇO A. F., MOLIN J. P., ROSELL-POLO J. R. & ESCOLÀ A. (2019), "Spatial variability in commercial orange groves. Part 2: Relating canopy geometry to soil attributes and historical yield", *Precision Agriculture*, 20(4), pp. 805-822, <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9615-0>

CRISCUOLO L., CARRARA P., BORDOGNA G., PEPE M., ZUCCA F., SEPPI R. *et al.* (2016), "Handling quality in crowdsourced geographic information", in CAPINERI C. *et al.* (éd.), *European Handbook of Crowdsourced Geographic Information*, London, Ubiquity Press, pp. 57-74, <https://doi.org/10.5334/bax.e>

DE SOUZA FILHO H. M., VINHOLIS M. M. B., CARRER M. J. & BERNARDO R. (2021), "Determinants of adoption of integrated systems by cattle farmers in the State of Sao Paulo, Brazil", *Agroforestry Systems*, 95(1), pp. 103-117, <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00565-8>

- DELL'ACQUA F., IANNELLI G. C., TORRES M. A. & MARTINA M. L. V. (2018), “A novel strategy for very-large-scale cash-crop mapping in the context of weather-related risk assessment, combining global satellite multispectral datasets, environmental constraints, and in situ acquisition of geospatial data”, *Sensors*, 18(2), <https://doi.org/10.3390/s18020591>
- EBITU L., AVERY H., MOURAD K. A. & ENYETU J. (2021), “Citizen science for sustainable agriculture – A systematic literature review”, *Land Use Policy*, 103, 105326, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105326>
- FONTE C. C., ANTONIOU V., BASTIN L., ESTIMA J., ARSANJANI J. J., LASO BAYAS J.-C. *et al.* (2017), “Assessing VGI Data Quality”, in FOODY G. (éd.), *Mapping and the Citizen Sensor*, London, Ubiquity Press, pp. 137-163, <https://doi.org/https://doi.org/10.5334/bbf.g>
- JABEUR N., KARAM R. & MELCHIORI M. (2018), “A comprehensive reputation assessment framework for volunteered geographic information in crowdsensing applications”, *Personal and Ubiquitous Computing*, 23, pp. 669-685, <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00779-018-1122-9>
- JONIETZ D., ANTONIO V., SEE L. & ZIPF A. (2017), “Highlighting current trends in volunteered geographic information”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(7), pp. 1-8, <https://doi.org/10.3390/ijgi6070202>
- KAUFMANN N., SCHULZE T. & VEIT D. (2011), “More than fun and money. Worker motivation in crowdsourcing – A study on mechanical turk”, *Proceedings of the Seventeenth Americas Conference on Information Systems*, pp. 1-11, <https://doi.org/10.1145/1979742.1979593>
- KELLING S., JOHNSTON A., BONN A., FINK D., RUIZ-GUTIERREZ V., BONNEY R. *et al.* (2019), “Using semistructured surveys to improve citizen science data for monitoring biodiversity”, *BioScience*, 69(3), pp. 170-179, <https://doi.org/10.1093/biosci/biz010>
- LAND-ZANDSTRA A. M., DEVILEE J. L. A., SNIK F., BUURMEIJER F. & VAN DEN BROEK J. M. (2016), “Citizen science on a smartphone: Participants’ motivations and learning. Public understanding of science”, 25(1), pp. 45-60, <https://doi.org/10.1177/0963662515602406>
- MASSAD I. & DALYOT S. (2018), “Towards the crowdsourcing of massive smartphone assisted-GPS sensor ground observations for the production of digital terrain models”, *Sensors*, 18(3), 898, <https://doi.org/10.3390/s18030898>
- MINET J., CURNEL Y., GOBIN A., GOFFART J.-P. P., MÉLARD F., TYCHON B. *et al.* (2017), “Crowdsourcing for agricultural applications: A review of uses and opportunities for a farmsourcing approach”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 142(A), pp. 126-138, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.08.026>
- MONEYRON A., LALLEMAND J. F., SCHMITT C., PERRIN M., SOUSTRE-GACOUGNOLLE I. & MASSON J. E. (2017), “Linking the knowledge and reasoning of dissenting actors fosters a bottom-up design of agroecological viticulture”, *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0449-3>
- PRUDIC K. L., MCFARLAND K. P., OLIVER J. C., HUTCHINSON R. A., LONG E. C., KERR J. T. & LARRIVÉE M. (2017), “eButterfly: Leveraging massive online citizen science for butterfly conservation”, *Insects*, 8(2), 53, <https://doi.org/10.3390/insects8020053>
- RECHENBERGER T., JUNG V. M. E., SCHMIDT N. & ROSENKRANZ C. (2015), “Utilizing the crowd – A literature review on factors influencing crowdsourcing initiative success”, PACIS 2015 *Proceedings*, p. 250, <http://aisel.aisnet.org/pacis2015%0Ahttp://aisel.aisnet.org/pacis2015/250>

ROTMAN D., PREECE J., HAMMOCK J., PROCITA K., HANSEN D., PARR C. *et al.* (2012), "Dynamic changes in motivation in collaborative citizen-science projects", *Proceedings of the ACM 2012 Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 217-226, <https://doi.org/10.1145/2145204.2145238>

RYAN S. F., ADAMSON N. L., AKTIPIS A., ANDERSEN L. K., AUSTIN R., BARNES L. *et al.* (2018), "The role of citizen science in addressing grand challenges in food and agriculture research", *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 285, <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1977>

SLIMI C., PROST M., CERF M. & PROST L. (2021), "Exchanges among farmers' collectives in support of sustainable agriculture: From review to reconceptualization", *Journal of Rural Studies*, 83, pp. 268-278, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.019>

SULLIVAN B. L., WOOD C. L., ILIFF M. J., BONNEY R. E., FINK D. & KELLING S. (2009), "eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences", *Biological Conservation*, 142(10), pp. 2282-2292, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.05.006>

TOUYA G., ANTONIOU V., OLTEANU-RAIMOND A.-M. M. & VAN DAMME M.-D. D. (2017), "Assessing crowdsourced POI quality: Combining methods based on reference data, history, and spatial relations", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(3), 80, <https://doi.org/10.3390/ijgi6030080>

VAN DE GEVEL J., VAN ETTEN J. & DETERDING S. (2020), "Citizen science breathes new life into participatory agricultural research. A review", *Agronomy for Sustainable Development*, 40(5), <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00636-1>

VAN ETTEN J., BEZA E., CALDERER L., VAN DUIJVENDIJK K., FADDA C., FANTAHUN B. *et al.* (2019), "First experiences with a novel farmer citizen science approach: Crowdsourcing participatory variety selection through on-farm triadic comparisons of technologies (Tricot)", *Experimental Agriculture*, 55(S1), pp. 275-296, <https://doi.org/10.1017/S0014479716000739>

WESTERMAN W. (2009), "Epistemology, the sociology of knowledge, and the wikipedia userbox controversy", *Folklore and the Internet*, pp. 123-158, <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/j.ctt4cgrx5.9>

Le numérique au service des différentes phases de création et d'utilisation des jeux sérieux en agriculture

Par Gilles MARTEL,
UMR BAGAP, INRAE, Institut-Agro, ESA, Angers

Médulline TERRIER-GESBERT,
Département ACT, INRAE, Rennes

François JOHANY
Université Clermont Auvergne, INRAE, AgroParis Tech,
VetAgro Sup, Plateforme GAMAE, UMR Territoires, Aubière

& Sylvain DERNAT
Université Clermont Auvergne, INRAE, AgroParis Tech,
VetAgro Sup, Plateforme GAMAE, UMR Territoires, Aubière

Les jeux sérieux se développent de façon importante, y compris dans le monde agricole. Bien que sérieux, ils doivent tout de même inclure les caractéristiques des jeux que sont le second degré, la prise de décision, les règles, l'incertitude et la minimisation des conséquences. En dehors de jeux vidéo comme *Farming Simulator*, l'offre de jeux du domaine agricole est très diversifiée, mais principalement « analogique ». Néanmoins, le numérique est présent dans les différentes étapes de création d'un jeu : la création des données incluses dans le jeu, le fonctionnement du jeu et la simulation des effets des décisions des joueurs, la capacité immersive du jeu, la diffusion et la capitalisation sur l'utilisation et les apprentissages liés au jeu. Le numérique est donc un allié de poids dans le développement des jeux sérieux, et dépasse largement une simple mobilisation dans le cadre des jeux vidéo.

Lorsqu'il pense jeu, numérique et agriculture, le lecteur associe probablement ces mots au jeu vidéo. Plus précisément, il pense sans doute au plus connu d'entre eux, *Farming Simulator* (de Giants Software), et à ses près de 28 millions d'exemplaires vendus dans le monde¹. À lui seul, ce chiffre est parlant et invite à y regarder de plus près, ne serait-ce que parce que, contrairement à beaucoup de jeux thématiques, il est plébiscité par les agriculteurs eux-mêmes (Walker, 2020). Ce type de jeu cache néanmoins la forêt : les jeux disponibles sur l'agriculture sont nombreux, et l'on observe une importante dynamique de conception, pour la plupart analogiques (c'est-à-dire ne mobilisant pas le numérique dans le jeu). Dans cet article, nous nous proposons ainsi de ne pas réduire le propos au seul jeu vidéo, mais bien de montrer toutes les places que peut avoir le numérique dans le jeu en agriculture. Pour cela, nous nous appuyons sur quelques exemples de jeux majeurs

¹ <https://www.jeuxvideo.com/news/1519653/farming-simulator-22-la-recolte-est-excellente-pour-giants-software.htm>

utilisés en France dans le domaine agricole. En effet, le jeu est aujourd'hui divers et, surtout, il est bien souvent sérieux.

CARACTÉRISTIQUES ET USAGES DU JEU SÉRIEUX, EN AGRICULTURE ET AILLEURS

Le jeu sérieux : quelques mots sur un oxymore

Si les premières apparitions du terme de « jeu sérieux » datent du XV^e siècle en Italie (Alvarez et Djaouti, 2012), son sens moderne est introduit en 1970 par Abt (1970). De fait, les jeux sérieux ont un objectif défini par les concepteurs. Le jeu sert à quelque chose : cet objectif peut ou non être connu des joueurs et/ou avoir été pensé ou non à la base par les concepteurs. Cette définition considère ainsi qu'un jeu sérieux peut être un détournement d'un jeu classique (Engström et Backlund, 2021). Si le divertissement n'est pas la priorité du jeu sérieux, il contribue à l'obtention du résultat souhaité.

Sérieux ou pas, le jeu se caractérise par un ensemble d'attributs particuliers (Brogère, 2012, 2005) : le second degré, la prise de décision, l'organisation du système de décision (les règles), l'incertitude sur le déroulé ou la sortie du jeu et la minimisation des conséquences. Ces caractéristiques permettent une immersion des joueurs, le *flow* (Csikszentmihalyi, 1990), et créent les conditions propices à l'apprentissage, aux échanges et à l'action. Ainsi, le jeu sérieux en agriculture peut être mobilisé dans une diversité de situations. On en distingue quatre principales.

Quatre grands domaines d'utilisation du jeu sérieux en agriculture

Un premier usage du jeu sérieux relève de la simulation, permettant de prendre des décisions et d'en observer les conséquences sans que cela puisse avoir d'effets dans le monde réel. Inspiré du domaine militaire, où ce type d'exercice a initialement été mis en place, il s'est démocratisé en agriculture au travers des capsules de simulation de poste de pilotage de véhicules agricoles (*Tenstar*²) ou encore la simulation de gestion d'exploitation (*Roots of Tomorrow, Gamabilis*³).

Les jeux sérieux sont ensuite mobilisés pour susciter des coopérations et des échanges de point de vue, notamment *via* des jeux de rôle et de concertation (*La Grange*⁴).

Les jeux sérieux sont également employés en vue de faciliter la mise en action dans le réel. Ici, les joueurs sont invités à repenser les pratiques agricoles et à concevoir de nouveaux itinéraires techniques, qu'ils iront ensuite tester et mettre en œuvre dans leurs exploitations (*Lauracle*⁵).

Enfin, un quatrième domaine d'utilisation des jeux sérieux en agriculture relève de la transmission de connaissances. Il ne s'agit plus de simuler des prises de décision, mais plutôt de faciliter la circulation des connaissances et de tester leur acquisition par les joueurs (*La Poul Genm*⁶).

² <https://www.tenstarsimulation.com/fr/>

³ <https://gamabilis.com/roots-of-tomorrow/>

⁴ <https://www6.inrae.fr/la-grange/Le-jeu-La-Grange>

⁵ <http://itab.asso.fr/activites/el-lauracle.php>

⁶ <https://www6.inrae.fr/agroecodiv-guadeloupe/Zoom-sur/Le-jeu-de-la-Poul-Genm-s-amuser-autour-de-la-transition-agroecologique-en-Guadeloupe>

Les jeux peuvent relever de plusieurs domaines que ce soit lors des différentes phases d'action, par exemple d'abord une transmission de connaissances, puis une simulation d'un nouveau système intégrant des pratiques apprises lors de la première phase (c'est le cas par exemple dans *Mission Ecophyt'eau*⁷) ou selon le contexte d'utilisation (avec des conseillers ou avec des étudiants).

Aller au-delà des jeux informatiques

Pour montrer l'importance de l'utilisation du jeu, le recensement mené par la plateforme GAMAE de l'INRAE (Dernat *et al.*, 2021) fait état de plus d'une centaine de jeux sérieux créés sur les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et du développement des territoires. Ces jeux sont conçus par une grande diversité d'acteurs : scientifiques, conseillers techniques, animateurs locaux, enseignants, associations... Seuls neuf jeux recensés se définissent comme jeux vidéo, la majorité étant donc « analogiques ». Toutefois, au-delà du seul jeu vidéo, il est possible d'observer une mobilisation du numérique à différentes étapes de la construction et/ou de la diffusion de la plupart des jeux recensés.

NUMÉRIQUE ET JEUX SÉRIEUX EN AGRICULTURE

Il est possible d'identifier cinq formes de mobilisation du numérique dans les jeux sérieux agricoles : en amont de la conception du jeu, au cœur du fonctionnement de certains jeux ou encore en tant qu'élément clé dans l'immersion des joueurs et dans la diffusion du jeu. Pour terminer, il est important de souligner une dimension encore peu investie à laquelle le numérique pourrait contribuer : l'évaluation de l'effet des jeux portant sur les thématiques agricoles.

Le numérique en amont de la conception des jeux

Les règles, le contexte et les processus représentés, c'est-à-dire le socle du jeu, sont souvent issus d'analyses de données. Ainsi, pour concevoir le jeu *C-real game*⁸ (Araba, 2020), dont l'objectif est d'initier les céréaliculteurs aux marchés financiers et au système de couverture financière, son auteur a réalisé une étude des fluctuations économiques autour du prix des céréales. Le jeu propose ainsi des événements aléatoires dont la fréquence et l'effet sont issus du travail d'analyse de données collectées sur le long terme et à l'échelle mondiale. De la même façon, l'analyse de données climatiques peut permettre de considérer l'évolution du climat sous la forme d'événements aléatoires, de séries climatiques ou de changements dans le temps des dynamiques écologiques des cultures comme un élément de jeu, tel que par exemple dans *Rami fourrager*⁹ (Martin *et al.*, 2011). Enfin, dans certains jeux, notamment ceux visant à créer un cadre propice à la concertation en vue de l'établissement de plans d'action par les acteurs eux-mêmes, il est souhaitable de travailler à partir d'un support de jeu représentant d'une façon réaliste le territoire physique en discussion. Les données spatialisées telles que le registre parcellaire graphique, des photos satellites, des données issues du recensement agricole ou encore de l'Agreste peuvent alors être mobilisées pour préparer le plateau de jeu : c'est le cas des jeux hybrides mobilisant la méthode *Commod*¹⁰ (Etienne, 2010) ou encore des jeux analogiques issus de la méthodologie du *Jeu de Territoire* (Angeon et Lardon, 2008).

⁷ <https://www.civam.org/accompagner-le-changement/mission-ecophyteau/>

⁸ <https://c-realgame.herokuapp.com/>

⁹ <https://www6.toulouse.inrae.fr/agir/Publications-et-outils/Outils/RAMI-FOURRAGER>

¹⁰ <http://www.commod.org>

Le numérique au cœur du jeu sérieux

Lorsque le numérique agricole est au cœur du jeu, c'est souvent parce que celui-ci mobilise un modèle de simulation pour représenter les effets des actions des joueurs. C'est le cas de plusieurs jeux de plateau tel *Interplay*¹¹ (Meunier, 2021), mais aussi des jeux numériques comme *SEGAE*¹² (Jouan *et al.*, 2021), *C-real game* (Araba, 2020) ou encore *Aquakultor*¹³ (Allal et Besson, 2019) et *Engèle*¹⁴ (Guerrier *et al.*, 2019). Il y a un manque de recul sur les caractéristiques des modèles de simulation qui font le cœur de ces jeux. Néanmoins, ils peuvent être très proches d'un modèle de recherche (dans *Engèle* par exemple), ou au contraire être simplifiés pour permettre une appropriation plus aisée du jeu (*Aquakultor*). Ouvrir la boîte noire de la programmation informatique du jeu est donc très important pour mieux comprendre ce à quoi l'on joue.

Le numérique pour aider à se projeter dans le jeu

L'aspect « second degré » du jeu, c'est-à-dire une irréalité dans laquelle les joueurs sont aptes à se projeter dans une situation particulière, est rendue possible par le réalisme visuel des mécanismes du jeu. Si, dans les jeux de plateau, cette dimension est importante et fait souvent appel à des graphistes professionnels, dans les jeux numériques, c'est l'une des principales problématiques à résoudre. La qualité des graphismes d'un *Farming Simulator* n'est ainsi plus à remettre en cause, et évolue depuis une quinzaine d'années au fil des améliorations techniques (moteur 3D, puissance de traitement des CPU...). C'est le cas également du jeu sur l'agroécologie *Roots of Tomorrow* qui apporte un soin particulier aux animations ayant trait aux évolutions saisonnières d'une exploitation agricole, pour rendre le jeu plus réaliste.

L'équilibre à trouver entre esthétisme et réalisme est un vrai enjeu de conception dès lors qu'il s'agit de jeux sérieux. Ainsi, par exemple, la représentation d'une ferme réaliste aux yeux des élèves joueurs a été centrale dans le travail de création du simulateur *Engèle* (Guerrier *et al.*, 2019). Des bâtiments visuellement trop propres, des bureaux trop bien rangés ont fait réagir les élèves, les sortant de l'objectif pédagogique.

Dans certains jeux, l'immersion visuelle peut aller même plus loin grâce à la réalité virtuelle ou augmentée. C'est le cas de *recyclage VR*¹⁵ qui place l'apprenant, équipé d'un casque de réalité virtuelle, en situation de trier différents objets et de choisir le bon *container*. Ces technologies restent néanmoins encore très coûteuses à développer, et c'est pourquoi elles sont présentes de manière ponctuelle dans des produits vidéoludiques à grand tirage tels que *Farming Simulator* ou dans des produits hyperspécialisés tels que *Tenstar simulation*, qui propose des simulateurs de tracteurs et de moissonneuses batteuses.

Le numérique pour aider à la diffusion

Créer un jeu sérieux n'est pas une fin en soi. L'objectif des concepteurs est que le jeu soit utilisé par les acteurs qu'ils ciblent pour atteindre l'objectif assigné. Diffuser et valoriser un jeu sérieux est une problématique complexe qui requiert de questionner simultanément plusieurs dimensions (qui sont les cibles ? quels acteurs relais de la diffusion ? quels supports de jeu sont les mieux adaptés ? quelles ressources annexes y associer ? quelle protection juridique ? quel modèle économique ? etc.). Les technologies numériques

¹¹ http://itab.asso.fr/downloads/flyer_interplay.pdf

¹² <http://sdvia.free.fr/segae/>

¹³ <https://www.ifremer.fr/Actualites-et-Agenda/Toutes-les-actualites/Aquakultor-un-jeu-sur-l-aquaculture-sur-smartphone>

¹⁴ <https://red.educagri.fr/outils/engele/>

¹⁵ <https://recyclagevr.com/>

peuvent contribuer à faciliter la diffusion et l'appropriation du jeu. Quatre types de contribution du numérique peuvent être distingués :

- Communiquer et faire connaître le jeu : proposer une page *web* pour présenter le jeu permet de communiquer sur celui-ci et de le faire connaître largement. De courtes vidéos « promotionnelles » peuvent également être réalisées à cette fin. Les réseaux sociaux fourmillent ainsi d'exemples de ces petites vidéos visant à promouvoir les jeux.
- Faciliter l'appropriation du jeu : ici, il s'agit de créer du contenu et des supports de diffusion en vue de permettre aux joueurs et aux futurs animateurs du jeu d'en maîtriser les règles, mais également les usages possibles. Pour cela, des vidéos de type tutoriel présentant les règles, mettant en scène une partie ou montrant les réactions des joueurs sont proposées par certains concepteurs. Un site *web* dédié peut également proposer des ressources connexes permettant une prise en main du jeu (livrets de l'animateur par exemple) ou la conception du dispositif au sein desquels mobiliser le jeu (scénarios pédagogiques par exemple pour *MYMYX*).
- Faciliter la diffusion du jeu : des jeux, initialement conçus comme jeux de plateau, peuvent être produits en version numérique. Par exemple, en lien avec le premier confinement de 2020, l'*escape game* « Pré pour les vacances », visant à faire découvrir les métiers de l'agriculture, a édité sa première version « en ligne » en juin 2021. Il peut également s'agir de transformer un jeu de plateau « matériel » en format *print & play*, accessible par téléchargement, imprimable constructible facilement à la manière du *do it yourself* (par exemple *La Grange*).
- Recenser, catégoriser et donner à voir l'ensemble des jeux agricoles disponibles : plusieurs sites internationaux tiennent à jour des bases de données permettant de rechercher des jeux agricoles répondant à des critères précis. Citons les sites de Games4sustainability.org et Isagagamesforsustainability.com ou, en France, le site de la plateforme GAMAE (Gamae.fr).

L'analyse des parties jouées et l'évaluation de l'effet des jeux

L'évaluation des jeux mobilisés sur l'agriculture (que ce soit en enseignement ou pour l'action : concertation d'acteurs, design de nouvelles pratiques...) est souvent négligée par les concepteurs, qui tendent à se focaliser sur le contenu du message à transmettre et sur des objectifs techniques (durée, nombre de joueurs, actions possibles pour les joueurs...). Les évaluations sont souvent faites « à chaud » en analysant le ressenti des joueurs, les concepteurs considérant souvent que le débriefing permet de capitaliser sur ce qui s'est passé pendant le jeu (Crookall, 2014). C'est en partie vrai, mais le numérique offre de nouvelles opportunités aux concepteurs de jeux. De fait, par exemple pour le jeu *payZZage*¹⁶ (Martel et Meslin, 2021), le site *web* propose aux utilisateurs du jeu de stocker les paysages produits lors des sessions de jeu afin de pouvoir les remobiliser lors des sessions de discussions de futures parties.

Sur un autre plan, le numérique, notamment *via* les captations vidéo et leur analyse automatique, pourrait produire des connaissances sur le déroulé d'une partie de jeu : dans quel ordre les actions ont été réalisées, qui interagit avec qui et même quel contenu a été échangé entre les joueurs (Dernat *et al.*, 2018). C'est notamment l'ambition du projet « Game-PLAAI », porté par la plateforme GAMAE, qui débute en 2022, et qui concevra et entrainera une intelligence artificielle pour l'analyse de parties de jeux agricoles avant de pouvoir la mobiliser en enseignement ou dans l'accompagnement agricole.

¹⁶ <https://payzzage.inrae.fr/>

CONCLUSION

Le numérique est donc un allié de poids dans le développement des jeux sérieux agricoles, que ce soit pour la création du support, la mobilisation du modèle, le design graphique et le déroulé du jeu, la diffusion ou encore l'analyse de ce qui se passe au cours d'une partie. Il dépasse en cela largement le seul « jeu vidéo », et est mis en œuvre aujourd'hui quasiment à tous les stades du développement et de la mobilisation de l'ensemble des jeux agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

ABT C.C. (1970), *Serious Games*, University Press of America.

ALLAL F. & BESSON M. (2019), « Aquakultor : le premier jeu de simulation en aquaculture », Journées de la recherche Filière piscicole.

ANGEON V. & LARDON S. (2008), "Participation and governance in territorial development projects: The territory game as a local project leadership system", *International journal of sustainable development*, 11(2-4), pp. 262-281.

ALVAREZ J. & DJAOUTI D. (2012), *Introduction au serious game*, Paris, Questions théoriques, 2^e édition.

ARABA N. (2020), *L'apport du numérique dans la mise en œuvre d'une garantie de prix : application aux marchés des céréales avec les contrats à terme et les options*, thèse de doctorat, Université de Montpellier.

BROUGÈRE G. (2012), « Le jeu peut-il être sérieux ? Revisiter, jouer/apprendre en temps de serious game », *Australian Journal of French Studies*, 49, pp. 117-129, <https://doi.org/10.3828/AJFS.2012.10>

BROUGERE G. (2005), *Jouer, Apprendre, Éducation*, Paris, Économica Anthropos.

CROOKALL D. (2014), "Engaging (in) gameplay and (in) debriefing", *Simulation & Gaming*, 45(4-5), pp. 416-427.

CSIKSZENTMIHALYI M. (1990), *Flow: The Psychology of Optimal Experience*, New York, Harper and Row.

DERNAT S., MARTEL G., REVALO A. & TERRIER-GESBERT M. (2021), « Les jeux sérieux en agriculture, alimentation, environnement, développement des territoires en France : Par qui ? Pour quoi ? », GAMAE, rapport d'enquête, version 1.2, novembre, 15 p.

DERNAT S., VERCHERE A., JOHANY F., SIMÉONE A. & LARDON S. (2018), « Évaluer l'effet de professionnels dans une activité collaborative au service de l'accompagnement de l'orientation des étudiants. Une entrée en animatique des groupes par l'étude des conflits socio-cognitifs », *Phronesis*, 7(1), pp. 24-44.

ENGSTRÖM H. & BACKLUND P. (2021), "Serious games design knowledge-Experiences from a decade (+) of serious games development", *EAI Endorsed Transactions on Serious Games: Online First*, 0(0), <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.27-5-2021.170008>

ETIENNE M. (2010), *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*, QUAE Éditions, 367 p.

GUERRIER F., BOULESTREAU-BOULAY A.-L. & DOURMAD J.-Y. (2019), « Comment apprendre autrement ? : Exemple d'un jeu sérieux en production porcine, le simulateur pédagogique Engèle », in ESPAGNOL S., BRAME C. & DOURMAD J.-Y. (éd.), *Pratiques d'élevage et environnement. Mesurer, évaluer, agir*, Éditions Quae, collection Savoir Faire, 978-2-7592-3061-7

JOUAN J., CAROF M., BACCAR R., BAREILLE N., BASTIAN S., BROGNA D., BURGIO G., COUVREUR S., CUIPAŁ M., DUFRÈNE M., DUMONT B., GONTIER P., JACQUOT A.-L., KAŃSKI J., MAGAGNOLI S., MAKULSKA J., PÉRÈS G., RIDIER A., SALOU T., SGOLASTRA F., SZELAĞ-SIKORA A., TABOR S., TOMBARKIEWICZ B., WEGLARZ A. & GODINOT O. (2021), “SEGAE: An online serious game to learn agroecology”, *Agricultural Systems*, 191, 103145, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103145>

MARTEL G. & MESLIN E. (2021), « PayZZage, un outil ludique pour explorer les interactions agriculture et biodiversité », Présentation lors des « Lundis d’agreenium », disponible à l’adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=SDk-9PMQA1M>

MARTIN G., FELTEN B. & DURU M. (2011), “Forage rummy: A game to support the participatory design of adapted livestock systems”, *Environmental Modelling and Software*, 26, pp. 1442-1453, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.08.013>

MEUNIER C. (2021), “INTERPLAY, a board game designed to support practitioners assessing the ecosystem services provided by a large range of cereal-legume intercropping options”, <https://www.remix-intercrops.eu/Home/Latest-News/INTERPLAY-serious-game-released>

WALKER S. (2020), “Cultivating pixels and plants: A look into why farmers do or do not play video games and the leisure activities they participate”, mémoire de master, University of Hawaii.

L'accès aux données agricoles : les domaines d'intervention de la loi et du contrat

Par Laura TOMASSO

Doctorante en droit privé à l'Université de Montpellier

L'accès aux données interroge les acteurs de l'agriculture numérique tant les textes de lois se font de plus en plus nombreux et laissent de moins en moins la place à la loi des parties. Néanmoins, le contrat vient en complément de la loi et conserve une place fondamentale puisqu'il est l'instrument juridique permettant d'encadrer les relations commerciales. Il est donc nécessaire d'étudier les domaines d'intervention de la loi et ceux du contrat au sujet de l'accès aux données agricoles, qu'elles soient publiques, privées, personnelles, non personnelles, agrégées ou non.

Les acteurs du secteur agricole (équipementiers, administrations, instituts de recherche, agriculteurs, etc.) produisent et collectent chaque jour au moyen d'objets et d'outils connectés de très nombreuses données, d'une grande diversité. Avant toute chose, les données sont définies comme « la représentation d'une information sous une forme conventionnelle destinée à faciliter son traitement »¹. Celles-ci peuvent être de différente nature (scientifique, publique, privée, à caractère personnel ou non, etc.) et issues de traitements de différents niveaux (données brutes, analysées, transformées, agrégées, etc.). L'ensemble des données agricoles ne répond pas à un seul et même régime juridique, mais différentes réglementations peuvent trouver à s'appliquer. En outre, des injonctions contradictoires compliquent la matière. Parfois, la loi organise la circulation des données quand il s'agit de les valoriser ou de diffuser l'information. Dans d'autres situations, elle encadre leur réservation lorsqu'il est question de protéger un investissement, par exemple. Aussi, différents dispositifs peuvent avoir vocation à s'appliquer de manière concomitante, voire contradictoire. Néanmoins, ce *patchwork* de droits ne répond pas à toutes les problématiques entourant les données issues de l'agriculture numérique, notamment sur les questions de l'usage des données, c'est alors le contrat qui entre en jeu. La question se pose de savoir quelle est la place de la loi et celle du contrat dans l'accès, l'utilisation et le partage des données agricoles.

L'étude de cette problématique suppose d'envisager, tout d'abord, le domaine d'intervention de la loi et du contrat dans l'organisation de l'accès aux données agricoles, pour ensuite s'intéresser à cette répartition dans l'organisation de leur protection juridique.

L'ORGANISATION DE L'ACCÈS AUX DONNÉES AGRICOLES

La disponibilité des données agricoles diffère selon leur nature et leur origine. Si la loi organise l'ouverture des données agricoles publiques, elle ne prévoit aucun régime d'ouverture des données privées, laissant alors place au contrat.

¹ Arrêté du 22 décembre 1981 portant sur l'enrichissement du vocabulaire informatique.

L'accès ouvert aux données agricoles publiques

Les acteurs du secteur agricole doivent parfois ouvrir l'accès aux données qu'ils produisent ou collectent en raison du caractère public de celles-ci, et favoriser leur réutilisation². En effet, l'ouverture des données a fait l'objet d'un encadrement juridique qui repose sur l'articulation de deux régimes cumulatifs³ : celui de l'accès aux documents administratifs et celui de la réutilisation des informations publiques.

En premier lieu, la loi CADA du 17 juillet 1978 prévoit que les données collectées ou produites dans le cadre d'une mission de service public, par une entreprise privée ou publique, sont soumises au régime du droit d'accès des documents administratifs des articles L. 300-1 et suivants du CRPA. Ce dispositif offre la possibilité pour chacun d'obtenir la communication des données détenues par l'administration, et cette dernière a pour obligation de publier les documents et les données qu'elle a en sa possession. Cette mise à disposition des données publiques doit être réalisée dans un standard ouvert afin que les données puissent être réutilisées et exploitées librement. En outre, la recherche publique produit également des données⁴ qui doivent être mises à disposition. De fait, l'article 30 de la LRN⁵ prévoit que les données issues ou produites lors d'une activité de recherche financée au moins pour moitié par des fonds publics doivent être publiées. Ces données doivent être aussi ouvertes que possible et pas plus fermées que nécessaire⁶.

En second lieu, l'ouverture des données publiques prévoit également le principe de libre réutilisation des données publiques au sens de l'article L. 321-1 du CRPA dans un but à caractère commercial ou non. La licence d'utilisation n'est pas obligatoire dans le cadre d'une réutilisation gratuite, mais le devient, dans de rares cas, lorsqu'elle est soumise à redevance. Les administrations peuvent utiliser une des licences types prévues par décret ou faire homologuer leurs propres licences par la Commission d'accès aux documents administratifs (CADA) (licence Creative Commons), qui ne peuvent restreindre la réutilisation que pour des motifs d'intérêt général et de façon proportionnée.

L'accès fermé aux données agricoles privées

Les données collectées en dehors d'une mission de service public sont des données que l'on peut qualifier de privées, tant elles ont vocation à rester confidentielles sans nécessairement que l'on conçoive sur celles-ci l'exercice d'un quelconque droit de propriété⁷. En l'absence de régime juridique, c'est le contrat, ou licence d'utilisation, qui permet d'en encadrer les différents usages. En effet, les données privées sont bien souvent accessoires à la réalisation d'un contrat de prestation de service. C'est alors au sein de ce contrat que les détenteurs de données organisent leur mise à disposition, ainsi que les droits de leurs

² Par exemple, les données collectées par les services de l'État, tels que l'Agence de service et de paiement (ASP) pour la Politique agricole commune (PAC) ou le recensement agricole, sont des données publiques, ainsi que les données produites l'Institut national de l'information géographique (IGN) pour le registre parcellaire graphique (RCG).

³ CLUZEL-METAYER L. (2017), « La loi pour une république numérique : l'écosystème de la donnée saisi par le droit », *AJDA*, p. 340.

⁴ Les établissements de recherche tels que l'INRAE ou le CIRAD produisent ou collectent des données satellitaires, par exemple, pouvant porter sur les sols, des informations géographiques ou environnementales.

⁵ Loi n°2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique : *JORF* n°0235, 8 octobre 2016.

⁶ ROBIN A. (2017), « Les données scientifiques au prisme du dispositif open data », *CCE*, n°9, ét. 14, pp. 7-14 ; « L'ouverture des données publiques scientifiques : de l'examen de la règle "open as possible, closed as necessary" », *CCE*, n°9, 2020, n°15, pp. 5-10. Pour une étude plus approfondie, voir aussi *Droit des données de la recherche*, Éditions Larcier, 2022.

⁷ La réservation par le secret n'est pas en effet assimilable à l'exercice d'un droit de propriété.

cocontractants d'utiliser, de transformer ou encore de redistribuer les données. Ainsi, il est possible d'organiser l'exclusivité des données détenues par une entreprise au moyen d'une clause de secret ou de confidentialité. L'utilisation de cette clause permet de mettre en œuvre le secret des affaires⁸. Au contraire, la clause de propriété est inefficace pour réserver l'accès et l'utilisation des données en raison de leur caractère non rival et reproductible qui empêche toute forme d'appropriation.

Pour compléter l'outil contractuel, les entreprises peuvent mettre en place des outils techniques afin de conserver l'exclusivité sur les données qu'elles détiennent, par la mise en place d'un système d'information. En effet, le droit pénal sanctionne les atteintes et les intrusions dans les systèmes de traitement automatisé de données (STAD). Dès lors, la mise en place d'un simple mot de passe, ou encore, d'un coffre-fort numérique permet de les protéger.

En définitive, seules les entreprises qui ont les moyens techniques et financiers d'organiser la réservation des données peuvent en contrôler l'accès et donc l'usage, au risque parfois de se voir reprocher un comportement prédateur potentiellement répréhensible sur le terrain du droit de la concurrence. Dans l'objectif de rééquilibrer les relations contractuelles, un droit souple a été élaboré par les syndicats agricoles⁹ autour des questions de l'accès et de l'usage des données agricoles. Mais sa portée est limitée dans la mesure où il n'est pas contraignant juridiquement, même si les juges peuvent s'appuyer dessus pour rendre leurs décisions. Aussi, le législateur européen a proposé l'adoption de nouveaux règlements¹⁰, afin de créer le cadre du partage des données et d'harmoniser les règles d'accès et d'utilisation des données à caractère non personnel en faveur de l'utilisateur d'objets connectés.

L'ORGANISATION DE LA PROTECTION JURIDIQUE DES DONNÉES AGRICOLES

Le droit organise la protection des données agricoles lorsqu'elles sont contenues dans une base de données ou lorsqu'elles contiennent des données à caractère personnel.

La protection des bases de données

Le droit offre une double protection pour celui qui a constitué une base de données. D'une part, le droit d'auteur protège la base de données originale dans sa disposition. D'autre part, le droit *sui generis* protège la base de données lorsque sa constitution, sa vérification ou sa présentation attestent d'un investissement financier, matériel ou humain substantiel.

La reconnaissance d'un droit *sui generis* au profit du producteur de la base de données lui permet d'interdire l'extraction ou la réutilisation des données qu'elle contient, tout en lui

⁸ Directive (UE) 2016/943, 8 juin 2016, sur la protection des savoir-faire et des informations commerciales non divulgués (secrets d'affaires) contre l'obtention, l'utilisation et la divulgation illicites : *JOUE* L 157, 15 juin 2016 ; directive transposée en droit français avec la loi n°2018-670, 30 juillet 2018, relative à la protection du secret des affaires : *JORF* n°0173, 31 juillet 2018.

⁹ FNSEA et JA, *Valoriser et sécuriser les données des exploitations agricoles dans les contrats, charte Data-agri*, 2018 et Copa-Cogeca, *Code de conduite de l'UE relatif au partage des données agricoles par accord contractuel*, 2018.

¹⁰ Commission européenne, proposition de règlement fixant des règles harmonisées pour l'équité de l'accès aux données et de l'utilisation des données (règlement sur les données - "Data Act"), COM(2022) 68 final, 23 février 2022; Commission européenne, Proposition de règlement sur la gouvernance européenne des données (acte sur la gouvernance des données), COM(2020) 767 final, 25 novembre 2020.

laissant la possibilité d'en organiser l'accès contre rémunération, notamment au moyen d'une licence d'utilisation à laquelle l'utilisateur légitime doit se soumettre. Cependant, il faut noter – car c'est une limite importante dans l'application de ce droit de propriété intellectuelle – que le droit *sui generis* protège les données obtenues et exclut celles qui sont créées par une activité principale¹¹. Ceci a pour effet, par exemple, d'exclure les éditeurs de logiciel de la protection. Les données enregistrées dans la nature, telles que les données des capteurs ou celles issues des observations satellites, n'ont pas encore fait consensus sur leur qualification dans la littérature juridique. Néanmoins, la tendance s'oriente dans le sens d'une qualification de « données créées »¹². De ce fait, celles créées au moyen de capteurs, de machines agricoles, de dispositifs reliés à l'Internet des objets, ainsi que toutes les données résultant de l'intelligence artificielle et les métadonnées, ne peuvent pas aujourd'hui être raisonnablement considérées comme appropriées par le droit *sui generis* des bases de données.

La protection des données à caractère personnel

Le Règlement général sur la protection des données (RGPD)¹³, applicable depuis le 25 mai 2018, définit la donnée à caractère personnel comme « toute information se rapportant à une personne physique identifiée ou identifiable » quel que soit le contexte de la collecte. Cette identification peut être directe ou indirecte, ce qui importe, c'est que seules ou agrégées avec d'autres, ces données permettent l'identification de la personne physique¹⁴. À titre d'exemple, les données GPS d'une machine agricole, une immatriculation, ou encore des habitudes professionnelles peuvent identifier l'agriculteur, personne physique. L'entreprise qui collecte des données à caractère personnel devient responsable de traitement, et doit faire reposer son opération de traitement sur l'une des cinq finalités prévues par le règlement¹⁵. En tant que responsable de traitement, elle peut également obtenir le consentement de la personne concernée ou opter pour l'anonymisation des données¹⁶.

En définitive, le droit des données à caractère personnel permet à l'agriculteur de contrôler l'usage des données le concernant, mais encore faut-il avoir conscience de l'existence de ces données et de ces droits. Aussi, la capacité des agriculteurs de contrôler les données qui les concernent se résume bien souvent aux seules données qu'ils fournissent pour créer leur compte utilisateur.

¹¹ CJCE, *The British Horseracing Board Ltd e.a. c/ William Hill Organization Ltd.*, aff. n°C-203/02, 9 novembre 2004, §31; CJCE, *Fixtures Marketing Ltd, c/ Organismos Prognostikon agonon podosfairou AE (OPAP)*, préc., §40.

¹² *Ibid.* HUGENHOLTZ B. (2018), "Against 'Data Property'", in ULLRICH H., DRAHOS P. & GHIDINI G. (éd.), *Kritika: Essays on Intellectual Property*, Elgar, Vol. 3, pp. 48-71. Dans sa proposition de règlement "Data Act" du 23 février 2022, le législateur européen souhaite consacrer le droit d'accès et d'usage en faveur du générateur de la donnée. Aussi, le producteur de la base de données ne pourra plus interdire l'extraction ou la réutilisation de ces données pour l'utilisateur d'un objet connecté.

¹³ Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016, relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE : *JOUE* L127-2, 23 mai 2018.

¹⁴ CJCE, 20 mai 2003, aff. n°C-465/00, n°C-138/01 et n°C-139/01, *Österreichischer Rundfunk*, point 64, CCE, 2003, act. 124, note. R. Munoz ; CJUE, 30 mai 2013, aff. n°C-342/12, *Worten* ; Europe 2013, comm. 291, note J. Dupont-Lassalle.

¹⁵ Traitement nécessaire à l'exécution d'un contrat, au respect d'une obligation légale, à la sauvegarde des intérêts vitaux, à l'exécution d'une mission d'intérêt public, ou à des fins d'intérêt général.

¹⁶ TOMASSO L., LAUGA B. & PINET F. (2021), « Chaîne de confiance : des données partagées en transparence et en sécurité », *Perspective agricole*, 1^{er} juin.

CONCLUSION

Si cet éventail de droits applicables aux données agricoles permet d'en contrôler l'accès et *a fortiori* d'en avoir la maîtrise, les agriculteurs n'ont pour l'heure aucun droit sur les données issues de leur exploitation, hormis celles ayant un caractère personnel. Ce sont donc les entreprises qui ont les moyens techniques et financiers d'en contrôler l'accès, qui détiennent la maîtrise de l'usage des données. Le contrat permet en partie de combler cette faille, afin de trouver un équilibre, notamment grâce au droit souple. Une intervention légale permettrait que soient pris en compte les intérêts des agriculteurs dans l'exploitation des données collectées à partir de leurs activités professionnelles, en organisant par exemple un droit d'accès et d'usage dont la granularité pourrait varier en fonction des intérêts en présence.

Le rôle des organisations professionnelles agricoles dans la construction d'un climat de confiance propice aux échanges et à la valorisation des données du secteur agricole

Par Guillaume JOYAU

Secrétaire général de l'association Numagri

Les données sont une source de grande préoccupation pour le secteur agricole. En effet, le potentiel de valorisation est très important, et il est absolument évident que, pour répondre positivement aux objectifs fixés par les différentes politiques nationales et européennes, l'exploitation des données du secteur agricole sera indispensable. Cependant, il semble crucial pour les organisations professionnelles agricoles que cette exploitation se fasse au bénéfice de tous, y compris des agriculteurs. Car ces derniers sont bien souvent les opérateurs économiques à l'origine des données, mais ils n'ont pas les capacités de conduire seuls l'exploitation et l'analyse de ces jeux de données. Aussi, les organisations professionnelles, et en premier lieu le syndicalisme agricole, se rassemblent sur ces questions en anticipation afin de mobiliser les outils adaptés et de poser un cadre réglementaire le plus équilibré possible. Enfin, l'initiative de la Commission européenne, initiée avec « la stratégie européenne pour les données » en février 2020, et les quatre règlements qui en découlent, rejoignent totalement les préoccupations portées par ces organisations.

CONTEXTE

La robotique, les outils d'aide à la décision (OAD) ou la production de données ne sont pas des nouveautés dans les exploitations agricoles et le secteur agricole. Les premières collectes à destination de la génétique animale remontent ainsi à la fin des années 1960, avec la création des ARSOE (à la suite de la loi Élevage de 1966). Néanmoins, avec l'apparition de nouveaux outils numériques et des objets connectés dans les entreprises du secteur, la quantité de données produites est aujourd'hui décuplée. Ces nouveaux outils d'analyse amènent à reconsidérer les enjeux et les problématiques autour de ces sujets, car générer et gérer des données fait désormais partie du quotidien des exploitants agricoles et est lié à l'acte de production en lui-même.

L'utilisation des nouvelles technologies digitales dans ce secteur est de plus en plus significative, et concerne l'ensemble des acteurs de la chaîne alimentaire. En premier lieu, la demande d'une traçabilité augmentée conduit les industriels, les distributeurs et les consommateurs à utiliser de plus en plus de données issues des filières de production agricole. Par ailleurs, on observe aussi les grands fournisseurs historiques de l'agriculture,

machinistes et agrochimistes, se positionner depuis quelques années sur le sujet, l'économie de la donnée constituant sans équivoque un nouveau relais de croissance pour eux. Enfin, les *majors* du numérique ont également identifié l'agriculture comme un secteur stratégique, et y investissent massivement.

Investissant aussi le sujet depuis quelques années, les organisations professionnelles agricoles (en particulier la Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles (FNSEA), Jeunes agriculteurs (JA), Chambres d'agriculture France, et les instituts techniques agricoles) ont aussi construit leur doctrine sur le sujet, et leur objectif n'est pas de restreindre les échanges, bien au contraire. L'interconnexion entre les exploitations et ces entreprises est d'une grande importance, et est nécessaire au fonctionnement de l'ensemble du secteur économique. En effet, au même titre que les produits et productions, les données sont nécessairement amenées à circuler entre les acteurs économiques, les pouvoirs publics, les acteurs de la recherche, etc. Cette circulation est souhaitable, car elle permet de mieux valoriser l'ensemble des actifs, les données constituant un outil essentiel pour réaliser la transition du secteur agricole telle que définie par les grandes stratégies européennes (« De la fourche à la table », le Pacte vert) ou par la Politique agricole commune.

Le potentiel est colossal pour l'amélioration des pratiques et des processus de production, l'efficacité et la performance économique et environnementale des exploitations agricoles. Mais il est assez évident que les agriculteurs ont besoin de l'aide de prestataires extérieurs pour exploiter au mieux ces données, car la taille souvent réduite des entreprises du secteur agricole ne leur permet pas de résoudre seuls ces questions. Cette interconnexion entre les structures est donc importante et nécessaire au bon fonctionnement du secteur tout entier.

On peut distinguer ainsi les usages et plus-values potentiels suivants, articulés autour de cinq axes :

- Mieux tracer : améliorer la transparence et la traçabilité, la connaissance des produits de la ferme à la table, contribuer aux réflexions sur les liens entre l'alimentation et la santé (*i.e.* One Health), *via* le croisement avec les bases de données « Santé » ;
- Mieux produire : développer des outils d'aide à la décision, des outils de performance agricoles (« la bonne dose au bon moment, et au bon endroit »), de surveillance sanitaire, s'adapter aux changements climatiques, atténuer en stockant du carbone et en mobilisant mieux la ressource en eau ;
- Mieux comprendre : comprendre le fonctionnement des sols et de la biodiversité, contribuer aux réflexions environnement-santé, intégrer l'agriculture dans les « *smart* territoires » et l'économie circulaire, le Pacte vert, et la production d'énergies renouvelables ;
- Mieux gérer : développer les approches systèmes qui peuvent être complexes à apprécier sans outils numériques et l'appui d'intelligence artificielle, réduire les coûts économiques et environnementaux, limiter la charge administrative, simplifier les contrôles, le pilotage des politiques publiques, le financement participatif ;
- Mieux vivre : simplifier les tâches, économie collaborative (*cofarming* avec échange ou partage de ressources, de compétences, de formations, etc.).

PROBLÉMATIQUE

Si le potentiel encore à exploiter est conséquent, il semble important de bien prendre en considération la structuration, assez singulière pour un secteur économique, du secteur agricole et agroalimentaire, avec des tailles d'entreprises très différentes, et une asymétrie de connaissances considérable entre les acteurs, où des multinationales

collaborent régulièrement avec des entreprises unipersonnelles. Ces asymétries sont susceptibles d'induire des biais dans les relations commerciales, qu'il est nécessaire, au minimum d'anticiper, au mieux de corriger.

Le secteur agricole est caractérisé par une quasi-absence d'hébergement et de stockage des données au sein des exploitations agricoles, l'essentiel étant hébergé dans les infrastructures et centres de données des fournisseurs (machines, services, etc.). Les agriculteurs ont donc une quasi-absence de visibilité (et de contrôle) sur les données issues de leurs exploitations agricoles et de leurs actes de production. Remédier à ce déficit de maîtrise a été considéré par les Organisations professionnelles agricoles (OPA), et en premier lieu la FNSEA et JA, comme un prérequis pour co-construire des écosystèmes en mesure de générer de la valeur au bénéfice de tous, et éviter la plateformes des données agricoles par des acteurs privés. La transparence et la maîtrise de l'usage sont des composantes essentielles et nécessaires à la construction d'un climat de confiance facilitant les échanges.

Enfin, la revue de ces cas d'usage initiée par les OPA a aussi permis de montrer l'éclatement, à date, des données dans une multitude de bases qui peuvent être soit privées, soit coopératives, soit publiques, soit associées à la recherche, etc. Cette dispersion, qui s'explique largement par la structuration du secteur et la diversité des acteurs y intervenant, complique sérieusement la valorisation, car l'accès aux bases de données est plus difficile, et génère des difficultés d'interopérabilité et d'interconnexion.

RETOUR SUR LES ACTIONS DES ORGANISATIONS AGRICOLES DANS UN ÉCOSYSTÈME FRANÇAIS ET EUROPÉEN

La FNSEA s'est mobilisée dès 2015, sous l'impulsion de son président de l'époque Xavier Beulin, car, sans encore en cerner tous les contours, il était alors déjà évident que l'explosion des usages numériques dans les exploitations allait avoir des conséquences importantes sur le travail des exploitants, mais aussi sur les relations qu'ils peuvent tisser avec leurs partenaires, car les vecteurs de valeur allaient s'en trouver fortement affectés.

S'il existe un droit applicable aux données personnelles avec le RGPD, les dispositifs réglementaires et législatifs n'étaient pas, ou mal, adaptés aux enjeux du secteur agricole, où circulent au sein des mêmes canaux des données personnelles et non personnelles.

C'est ainsi que l'idée d'une charte éthique sur l'usage des données agricoles est née, afin de protéger l'agriculteur et lui « redonner » le contrôle sur les données personnelles et non personnelles issues de son exploitation. La FNSEA et JA, en coordination avec le Conseil de l'agriculture française (CAF¹), et en tant que représentants des agriculteurs, sont apparus comme des organisations légitimes pour aborder la question de la propriété, du partage et de l'usage des données issues des exploitations, et porter des principes de bonnes pratiques dans ce domaine. Et comme évoqué précédemment, il était dans l'intérêt de toute l'agriculture d'instaurer un climat de confiance entre les agriculteurs et l'ensemble des acteurs économiques interagissant avec eux, afin de créer un contexte favorable à l'innovation et à la création de valeur.

Cette charte affirme treize principes organisés en quatre axes :

- La lisibilité : un contrat écrit, une information non ambiguë sous format accessible et lisible par tous sur le stockage et l'usage des données issues de son exploitation.

¹ Le Conseil de l'agriculture française réunit la Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles (FNSEA), Jeunes agriculteurs (JA) et la Confédération nationale de la mutualité, de la coopération et du crédit agricoles (CNMCCA), Groupama, la Mutualité sociale agricole (MSA), La Coopération agricole, la Fédération nationale du Crédit Agricole (FNCA). De plus, Chambres d'Agriculture France est membre associé du CAF.

- La transparence : une information transparente et préalable sur le lieu et le stockage, l'utilisation faite et la portabilité des données.
- La maîtrise de l'usage par l'agriculteur : droit exclusif de l'agriculteur qui doit donner un consentement explicite et préalable à tout usage (le collecteur de données doit fournir des explications sur les usages envisagés) et à toute cession des données à un tiers, et droit de résiliation.
- La sécurité : obligation de confidentialité, d'anonymisation et respect du cadre légal.

Cette démarche a été construite également avec la perspective de trouver un équilibre entre la maîtrise des usages et l'innovation. La démarche se décompose entre la charte sur l'utilisation des données agricoles et le processus de labellisation des entreprises utilisant les données des agriculteurs (*cf.* Data-Agri.fr)

Dans le même temps, le ministère de l'Agriculture, alors sous le mandat de Stéphane Le Foll, a acté la mise en place d'une délégation consacrée au sujet de la donnée agricole, qui a permis aux pouvoirs publics de monter en compétences sur les questions posées par ces développements.

En parallèle, le syndicalisme agricole a continué de renforcer ses analyses pour faire valoir les intérêts du secteur auprès des acteurs du numérique, et des instances européennes et françaises. Avec une maturité assez singulière par rapport aux autres secteurs, il a été mis en avant la nécessité de légiférer à propos des données non personnelles. Ces actions notamment ont permis d'intégrer l'agriculture parmi les secteurs stratégiques au sein de « la stratégie européenne pour les données », publiée en février 2020 par la Commission européenne. Au total, quatre propositions de règlements seront publiées pour mettre en œuvre cette stratégie, dont :

- Le “Data Governance Act” : il a pour objectif de favoriser la disponibilité des données en augmentant la confiance dans les intermédiaires de données, et de renforcer les mécanismes de partage de données dans l'UE ; il crée et encadre un nouveau statut d'intermédiaire de données. Ainsi, ce texte organise la « gouvernance des données », les conditions de leur partage, dans la perspective d'un marché unique de données.
- Le “Data Act” (toujours en cours de discussion dans les instances européennes) : il doit permettre de garantir une juste répartition de la valeur découlant de l'utilisation des données entre les entreprises, les consommateurs et les organismes publics responsables, mais aussi de faciliter la portabilité des données non personnelles.

Ces deux règlements européens sont fondamentaux dans la stratégie qu'ont tenté d'impulser les organisations agricoles. Par les dispositions qu'ils prennent (ou ambitionnent de prendre), ils confortent les analyses qui ont pu être faites sur la construction souhaitable et soutenable des futurs écosystèmes numériques européens utilisés par les opérateurs économiques de l'agriculture et de l'alimentation.

Au niveau national, en complément des initiatives des OPA, les pouvoirs publics ont joué un rôle dans le développement des outils techniques. Ils ont ainsi appuyé financièrement plusieurs projets d'intérêt collectif, *via* l'appel à projet de Bpifrance. Ces projets, issus de la recherche des instituts techniques agricoles², et portés par différentes organisations professionnelles agricoles et acteurs privés, ont pour but de fluidifier la circulation des données et d'appuyer les démarches de transparence. Ainsi sont nés Numagri, AgDataHub et Num-Alim.

² Les instituts techniques agricoles sont, en France, des organismes de recherche appliquée, spécialisés chacun dans une production ou une filière agricole particulière. Ils conduisent des activités d'expérimentation, d'expertise et de diffusion de la connaissance. Ce sont des organisations de droit privé (associations loi de 1901 ou Centres techniques industriels) dont la gouvernance est assurée par les agriculteurs.

Enfin, pour finir, les différentes actions et les analyses élaborées durant ces sept années ont été confortées et appuyées par le ministre de l'Agriculture, Julien Denormandie, et par le secrétaire d'État chargé du Numérique, Cédric O, dans le cadre d'une feuille de route « Agriculture et numérique » annoncée durant le Salon de l'agriculture de 2022.

LE DÉBUT D'UNE LONGUE CONSTRUCTION (COLLECTIVE)

Avec ces premières initiatives et raisonnements, autant les organisations professionnelles agricoles que les pouvoirs publics français et européens ont posé un premier cadre. Ce cadre juridique et technique qui doit désormais faire ses preuves, n'est, de façon évidente, qu'une première étape.

En effet, les premiers retours d'expérience montrent que les démarches volontaires ne sont absolument pas suffisantes. Si la plupart des organisations représentant les acteurs du secteur agricole y adhèrent, trop peu d'entreprises et d'acteurs économiques appliquent les principes proposés par ces codes dans le cadre de leurs échanges avec les agriculteurs. Cela est vrai pour l'initiative française, Data-agri, mais aussi pour l'initiative européenne, le COC³. Il semble donc nécessaire pour les représentants du monde agricole français et européens de rendre obligatoires certaines mesures. Le "Data Act", règlement en cours de discussion, devrait ainsi aller dans ce sens.

Par ailleurs, un certain nombre d'outils techniques ont déjà été développés. Ainsi les outils de gestion du consentement, tels que proposés par AgriConsent ou Agata, doivent permettre, à terme, aux agriculteurs de mettre en place une véritable gestion stratégique de leurs actifs numériques.

Évidemment, c'est, pour ces chefs d'entreprises, une nouvelle compétence à cultiver, avec de véritables enjeux quant à la formation. Cela sera nécessaire tant les vecteurs de valeur vont se trouver bouleversés par cette nouvelle économie de la donnée et les nouvelles missions qui seront potentiellement inférées à l'agriculture. Il sera, par exemple, bien plus facile de mesurer et de rémunérer les actions engagées par les agriculteurs contre le changement climatique et pour la protection de la biodiversité. À l'heure où les questions du revenu des agriculteurs et du renouvellement des générations sont au centre des préoccupations des institutions française et européennes, ces nouvelles sources de revenus seront fondamentales dans l'équation globale.

Les agriculteurs auront également besoin d'avoir une assurance sur la pérennité de leurs investissements. Car les cycles de productions agricoles, qui se mesurent en années, imposent une collecte sur le long terme pour acquérir une profondeur de données suffisante, pas toujours en adéquation avec l'évolution des technologies. De plus, la transmission à un futur repreneur de l'exploitation doit se poser dès à présent, tant le manque de droit et d'interopérabilité reste encore un obstacle.

La mise en œuvre de « l'espace européen commun de données » tel que proposé par la stratégie européenne de février 2020 débute tout juste. Cette construction collective s'inscrira nécessairement dans les orientations précitées et devrait, en toute logique, venir confirmer avec des éléments techniques les choix politiques retenus. Les mécanismes de prise en charge de ces déséquilibres de pouvoir devraient faire partie intégrante de cet « espace de données », pour garantir une compensation équitable à tous les acteurs concernés et un environnement de confiance qui incite à l'échange et au partage de données, et donc à la création de valeur.

³ Le « Code de conduite de l'UE relatif au partage des données agricoles par accord contractuel » est porté par le Copa-Cogeca, Cema, Fertilizers Europe, Ceettar, Ceja, Ecpa, Effab, Fefac, Esa, Climmar, AnimalhealthEurope.

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler que la souveraineté et la protection des infrastructures nécessaires à la production agricole et alimentaire font l'objet d'une attention particulière. Les événements sanitaires et diplomatiques connus des dernières années ont montré l'enjeu stratégique de l'alimentation et des moyens qui permettent de la produire. L'accès aux outils numériques, en tant que moyens, se retrouve par conséquent au centre de ces inquiétudes, et conditionnera aussi la capacité de l'Union européenne à préserver sa souveraineté alimentaire.

La formation des agriculteurs peut-elle accompagner le développement de l'agriculture numérique ?

Par **Béatrice DINGLI**
Directrice générale de VIVEA

et **Sylvie BOURGEOIS**
Directrice Développement et Innovation de VIVEA

Certain du rôle de la formation quant au développement du numérique au sein des entreprises agricoles, le conseil d'administration de VIVEA, le fonds d'assurance de formation des chefs d'exploitation agricole, a ouvert dès 2020 une nouvelle priorité de développement et de financement dans son Plan stratégique 2021-2026.

Après une étude prospective intitulée « Quelles compétences pour une agriculture numérique ? », menée en 2019 par les cabinets JBG consultants et Eurynome associés, et financée par VIVEA et la Direccte Occitanie, VIVEA a animé plusieurs ateliers en 2022 afin de déterminer, à ce jour, les compétences qui pourraient ou devraient être rapidement développées pour permettre aux agricultrices et agriculteurs qui le souhaitent de conduire leur(s) exploitation(s) en utilisant les outils numériques et alléger ainsi leur travail. L'agriculture numérique, c'est aussi construire l'échange, la concertation et le retour d'expérience.

Cet article vous présentera les enjeux du numérique en agriculture et les perspectives d'évolution à cinq ans, la vision des experts et la vision des chefs d'exploitation agricole et conseillers agricoles, une approche par filière de l'adoption du numérique, les freins repérés quant à son développement, l'impact sur le métier. Nous terminerons par les besoins repérés en formation et les cinq types de compétences que nous souhaitons mettre en avant et renforcer.

VIVEA accompagnera le développement d'une offre de formation visant à réfléchir aux besoins des chefs d'entreprise agricole induisant un choix éclairé sur les solutions numériques. Une appropriation de méthodes sur l'analyse des données nous semble également indispensable. Il nous appartiendra également de rendre accessible le numérique aux personnes les plus éloignées, et d'agir pour le bien commun de tous.

L'émergence du numérique date des années 1970 et 1980, avec notamment les premiers programmes d'observation de la Terre et les balbutiements des cartographies en agriculture. Les agricultrices et les agriculteurs ont toutes et tous été marqués par l'accès aux systèmes informatiques dans ces mêmes années pour réaliser, avec les premiers logiciels, leur comptabilité d'exploitation.

Le monde agricole est donc très sensibilisé au numérique et, au fil du temps, celui-ci est entré dans la vie des exploitants agricoles, principalement par la bureautique. De nombreuses formations ont alors été mises en place de 1980 à 2000 sur les nouvelles techniques de l'information et de la communication (NTIC), permettant à tout un chacun de réaliser déclarations, courriers, courriels principalement.

Nous vivons depuis une dizaine d'années une accélération de la mise en marché d'outils et de solutions digitales, et il est parfois difficile d'analyser les propositions face aux besoins, de trouver la solution adaptée et d'utiliser pleinement les données observées.

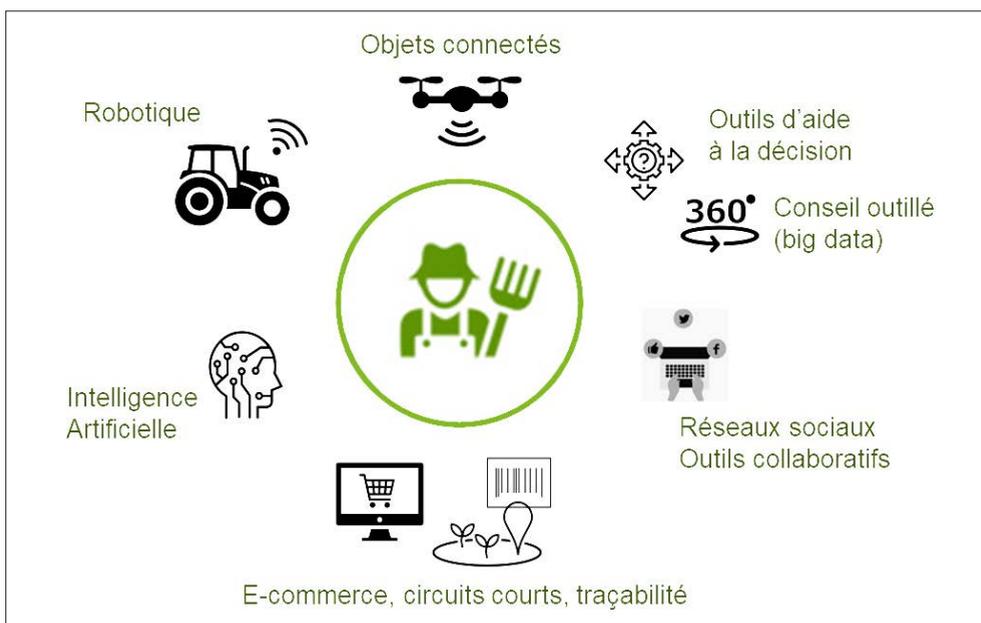
Déployer les solutions digitales est une des priorités stratégiques de développement de la formation, décidée par le conseil d'administration de VIVEA, le fonds d'assurance de formation des chefs d'entreprise agricole.

Quelles compétences développer pour permettre aux agriculteurs de réussir les transitions agronomique, climatique et organisationnelle par le numérique ? Le sujet est difficile à cerner, et doit être cependant analysé afin de limiter les fractures au sein du monde agricole.

LES ENJEUX DU NUMÉRIQUE EN AGRICULTURE

Le secteur agricole connaît sa troisième révolution, dite « numérique ». Applications, services, données, robots, drones, traçabilité... transforment l'agriculture. Le numérique étant désormais de plus en plus présent au sein des exploitations, voire indispensable pour certaines activités, il paraît de fait important d'accompagner les agriculteurs dans cette transition et de les guider dans leurs choix, face à cette nouveauté qui peut parfois faire peur, pour :

- répondre aux problématiques de terrain des agriculteurs ;
- améliorer la compétitivité des exploitations et les conditions de travail ;
- moderniser le secteur et l'attractivité du métier ;
- améliorer l'image de la profession.



LES IMPACTS SUR LE MÉTIER D'AGRICULTEUR



Au regard de ces évolutions et de l'impact que la digitalisation du secteur aura sur le métier d'agriculteur demain, VIVEA, en tant qu'acteur majeur pour la formation des chefs d'exploitation agricole, a décidé de mener une réflexion spécifique sur les besoins en compétences associées et sur les réponses que pourrait apporter la formation.

ANALYSE PROSPECTIVE

En 2019, VIVEA a conduit une étude prospective intitulée « Quelles compétences pour une agriculture numérique ? », réalisée par JBG consultants et Eurynome associés, et financée par VIVEA et la Direccte Occitanie, auprès d'experts du numérique en agriculture (INRAE, Chaire agrotic, Agri idées, Acta, Assemblée permanente des Chambres d'agriculture, la coopérative Seenovia et le Ceta 35) et quinze agriculteurs et techniciens agricoles.

Pour ces experts, l'agriculture numérique se représente par le nuage de mots ci-dessous :



Définition de l'agriculture numérique

L'agriculture numérique consiste en l'utilisation des données, depuis leur captation jusqu'à leurs usages et interprétations, dans le but de permettre une meilleure gestion :

- économique (compétitivité, maîtrise de la volatilité des prix, valorisation...);
- environnementale (maîtrise des risques, diminution de la consommation d'intrants...);

- des composantes sociétales (transparence, traçabilité, communication, information, vie sociale...) d'une exploitation.

Il est à noter que le numérique est un moyen et non une fin en soi au service des agriculteurs et des filières.

Les perspectives d'évolution à cinq ans

Quatre grands domaines ont été identifiés par les experts : l'agriculture de précision, l'analyse de données, la traçabilité et la robotique. Les thématiques de l'intelligence artificielle ne sont pas ressorties ni celle de l'e-commerce, cette dernière tendant pourtant à s'amplifier sur les exploitations souhaitant développer de la valeur ajoutée.

Un certain nombre de constats ont été faits qui peuvent à ce jour ralentir le développement du numérique, mais qui à terme disparaîtront par un marché moins atomisé.

	Technologie	Freins au développement	Perspectives /facteurs d'évolution
Agriculture de précision	Capteurs Satellite Géolocalisation Drone Pucés OAD ...	Marché atomisé autour d'une multitude d'acteurs de petites taille (start-up) ou par-agricole (instituts technique) → peu d'investissement pour un déploiement de masse Coût de certains outils encore très onéreux pour une adoption massive et un retour sur investissement Faible visibilité de l'utilité du service issue de ces données Technologie en constante amélioration mais ne couvrant pas encore tous les besoins	Prix plus accessibles (développement d'un segment du « low-tech ») Instituts nationaux avec des technologies de pointes → avancées R&D majeures à venir Interopérabilité des outils Des enjeux de valeur ajoutée mais pas que : pénibilité, confort, qualité vie, BEA...
Robotique	Robot Machinisme Agroéquipement	Règlementation Coût vs Retour sur Investissement	Innovation de rupture envisagée d'ici 5 à 10 ans Des enjeux de valeur ajoutée mais pas que : santé agriculture, réduction pénibilité, acceptabilité sociétale, environnement...

	Technologie	Freins au développement	Perspectives /facteurs d'évolution
Analyse de données / Data	Solutions logiciels Plateforme numérique Outils de captation de données (IoT, ...) Algorithme	Multitudes de données Verrou technique lié à l'interopérabilité des outils Enjeux autour de la gestion/propriété des données (projet Num'Agri) Multiplicité d'acteurs	Arrivée à prévoir de « gros » acteurs nationaux ou internationaux (Thalès, Microsoft, Google...) Standardisation des données et interopérabilité des outils Développement des outils d'acquisition et de traitement de la donnée
Traçabilité	Solutions logiciels Blockchain Plateforme d'échange	Marché peu développé à l'amont, avec des problèmes de partage de données (Num'Agri) et de business model des acteurs (Applifarm) Domaine stratégique / objet de concurrence entre industriels/coops et les réseaux de distribution	Sujet montant, autour duquel fleurissent de nombreux projets Standardisation/ Interopérabilité / Smartphone / IoT : gains de temps pour capter les données de traçabilité Protection de la donnée Plus-value dégagée du produit liée à la traçabilité / certification

Synthèse des perspectives à cinq ans

Le marché du numérique en agriculture est actuellement :

- Un marché non mature, qui se « cherche » en termes de *business model* / relation-partenariat / adéquation offre-demande ;
- Un marché atomisé autour :
 - d'acteurs historiques : fournisseurs de solutions (Isagri, Smag...), institutionnels (ACTA, INRAE...), coopératives et privés (John Deer, Syngenta, coopératives...), prestataires de services (chambres d'agriculture, contrôle laitier, CER...),
 - d'un foisonnement de *start-up* en partenariat ou non avec ces acteurs historiques,
 - un marché d'expérimentation / R & D (chaire entreprise, station-ferme expérimentale) plutôt que de masse.
- Des applications segmentées par production, par atelier, qui n'apportent pas un appui dans le pilotage globale du système d'exploitation ;
- Un marché sans réel investissement du fait du faible nombre de projets d'envergure nationale (voire multinationale) menés et de la multiplicité de petits acteurs (peu d'interconnexion et capacité d'investissement limitée).

Et demain ?

Une restructuration du secteur est à prévoir :

- une concentration des acteurs (fusion/rachat) afin d'assurer la pérennité des *business models* et l'interopérabilité des outils ;
- un changement de positionnement, côté *start-up* notamment, qui pour un bon nombre développent des solutions tous azimuts mais ne répondant pas aux besoins des agriculteurs.

Une entrée potentielle sur le marché de nouveaux acteurs « puissants » et structurés qui proposeront des solutions permettant de piloter l'exploitation dans sa globalité.

Du point de vue des technologies :

- des innovations technologiques marquées par la continuité plutôt que la rupture ;
- la majorité des évolutions majeures à venir dépendra de la capacité des acteurs à vouloir partager leurs données et assurer l'interopérabilité de leurs outils ;
- les technologies devraient être de plus en plus accessibles (coûts) et simples d'utilisation (*low-tech*).

Des questions se posent :

Le numérique sera-t-il :

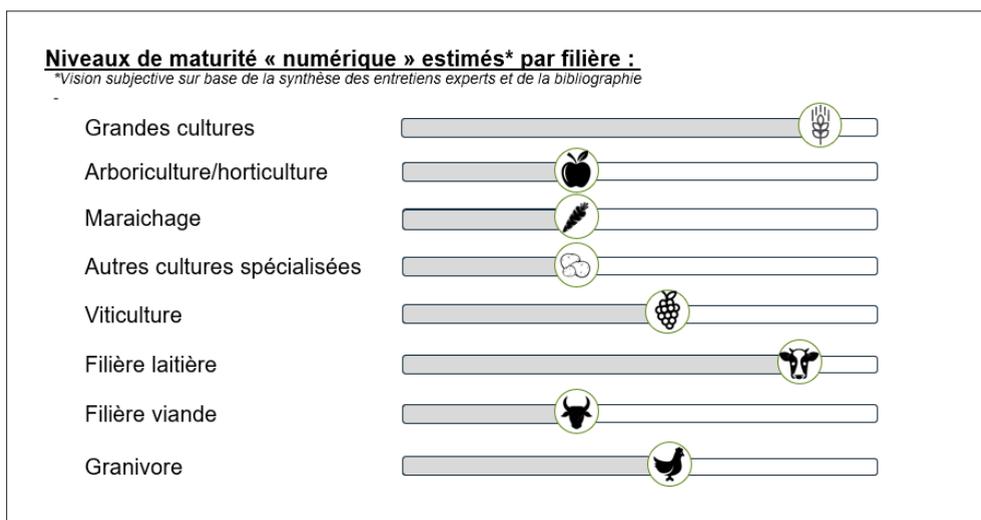
- Au service d'une agriculture responsable, durable et de proximité qui donnera de la lisibilité aux consommateurs ou d'une agriculture intensive qui permettra le pilotage à distance de grosses exploitations, robotisées et évoluant à partir de prédictifs ?
- Au seul profit d'un certain type d'agriculteurs « technophiles », connectés et ayant une vision macro des enjeux de l'agriculture de demain (présidents, élus, administrateurs...) ou de l'ensemble de la population agricole ?

Quid :

- De la capacité « intellectuelle » demain des agriculteurs à lire, interpréter et analyser de la donnée en vue de la prise de décisions éclairées et pesées ?
- De la capacité d'un bon nombre d'exploitations à investir dans des outils numériques ?
- De la capacité des agriculteurs à valoriser demain, au sein des filières, les données issues de leurs exploitations ?

Approche par filière

Toutes les filières sont touchées avec une dominance sur la filière laitière et les grandes cultures, malgré des niveaux de maturité hétérogènes.



Les impacts sur les métiers selon les experts

En fonction des interlocuteurs et des structures dont ils dépendent, les enjeux et les impacts exprimés ne portent pas sur les mêmes sujets :

- Approche macro : enjeu d'éducation au numérique et de connaissance des utilisations possibles des données :
 - maîtrise et propriété de la donnée,
 - capacité à analyser la donnée et être critique sur les résultats fournis, capacité à prendre du recul,
 - évaluation de l'utilité et la pérennité des différentes solutions du marché.
- Approche opérationnelle des outils « numériques » :
 - avoir les bons outils pour capter la donnée, l'analyser et permettre à ces différents outils de communiquer entre eux,
 - paramétrage des outils,
 - économie collaborative (échange d'informations, de produits, de services...).

Des interrogations

Les agriculteurs *via* le « numérique » vont-ils pouvoir prendre davantage d'autonomie dans leurs décisions ou seront-ils dépendants de tiers pour l'analyse des données et l'utilisation des outils (paramétrage, panne, transfert de données) ?

Aura-t-on un jour des outils qui permettront une approche systémique, globale de l'exploitation, avec une analyse multicritères issue de multi-sources ?

ANALYSE D'IMPACT SUR LE MÉTIER

Dans le but de mesurer l'évolution en compétences des agriculteurs, une quinzaine d'entretiens ont été réalisés auprès d'exploitants de filières disposant d'une maturité digitale différente. Les agriculteurs ont eu l'occasion de s'exprimer sur deux registres :

- l'utilisation actuelle ou à venir du numérique au sein de leur(s) exploitation(s) ;
- les besoins en compétences attendus et/ou identifiés.

Notion du numérique selon les interviewés

Quatre grandes notions apparaissent : la prise de décision, l'outil, le développement et la simplification. Nous sommes ici sur des aspects de gain plutôt que sur des aspects d'usage, ce qui, somme toute, semble logique. Le « ce que cela va me rapporter » prime sur le « ce que je vais en faire ».



L'utilisation du numérique par filière

L'éclairage des chefs d'entreprise agricole sur leurs pratiques a permis d'identifier les principales utilisations du numérique dans les exploitations :

	ROBOTIQUE	AGRI PRECISION	TRAÇABILITÉ	DATA	E-COMMERCE**
VEGETAUX	<ul style="list-style-type: none"> • Robots désherbage, récolte, taille... • Tracteurs connectés 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitements phyto • Gestion parcellaire • Prévision météo • Mesures agronomiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi culture • Certification 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion exploitation • Suivi des résultats • Modèles prédictifs 	<ul style="list-style-type: none"> • Achat /commandes
ANIMAUX	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation/ soin aux animaux • Traite • Gestion bâtiment et environnement (gaz, température, nettoyage) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reproduction et santé (chaleurs, vêlage, maladie...) • Gestion intra-parcellaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion / Suivi des animaux (identification, performance...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptation des rations suite analyse résultats • Consommation (eau...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vente directe

Arboriculteur – Maraichage – Cultures spécialisées



Fonctions	Utilisations	Outils cités	Evolutions attendues	Besoin compétence
TRAÇABILITÉ	- Cahier de cultures / suivi des actions dans les parcelles - Certification	Logiciel de traçabilité / suivi culture (SMAG, Isagri)	- Gain de temps par l'oralisation des données (≠ saisie manuelle)	
DATA	- Gestion et pilotage exploitation : tableau de bord (Tdb), résultats analyse lots, prise commandes	Tdb, Excel, extranet, application mobile	- Service de stockage données sur l'exploitation pour maîtriser les data	- Savoir organiser et gérer ses données
AGRI. PRECISION	- Prévisions météo - Traitements phyto - Cartographie du sol - Capteur/serre connectée - Irrigation - Stockage	Capteurs, appareils de mesure, outil d'aide à la décision (OAD), logiciel cartographique/topographique	- Amélioration OAD, lien avec satellite et imagerie - Meilleure précision pour fertilisation, dose engrais/semence	- Interpréter et lire les OAD, données capteurs et cartographique
ROBOTIQUE	- Désherbage - Récolte - Actions mécaniques dans parcelle (coupe, plantation...) - Téléguidage / GPS	Machinisme, robots, système de guidage	- Diminuer la dépendance aux fournisseurs /machinistes	- Diminuer la dépendance aux fournisseurs /machinistes

Grandes cultures

Fonctions	Utilisations	Outils cités	Evolutions attendues	Besoin compétence
DATA	- Elaboration des plans fertilisation* - Gestion/pilotage par analyse résultat	Tdb, Excel, Logiciel gestion et d'aide à la décision	- Avoir des outils qui se « parlent » - Plus de double, triple...ressaisie	
AGRI. PRECISION	- Fertilisation et traitements phyto - Drones pour carto, pilotage parcellaires - Mesures agronomiques et météo	Appareil de mesure, OAD, drone, application smartphone, télédétection (image)	- Volonté d'aller plus loin dans la précision des mesures /applications	- Connaître les applications et acteurs (Airinov en drone vient de déposer le bilan : alternative ?)
ROBOTIQUE	- Géolocalisation par balise RTK (semis) - Travail du sol	Machinisme, balise, matériel connecté		
TRAÇABILITÉ	- Suivi des cultures : date semence, traitement...	Logiciel de traçabilité / suivi culture (SMAG, Isagri)	- Volonté de s'améliorer sur la traçabilité (filère peu avancée // pomme)	- Volonté de s'améliorer sur la traçabilité
E-COMMERCE	- Commandes, livraisons, achats d'intrants - Disponibilité magasin, suivi expédition	Extranet, internet, smartphone	Très variables selon les coop/négociants	

* Pour les techniciens plus que pour les agriculteurs

Viticulture

Fonctions	Utilisations	Outils cités	Evolutions attendues	Besoin compétence
DATA	- Manipulation des données générées par les outils - Modèles prédictifs maladies	Tdb, Excel, OAD	- Développer modèles prédictifs	- Meilleure utilisation et analyse des données
AGRI. PRECISION	- Connaissances parcelles : modulation /dosage, prévention maladies - Cartographie sol - Adaptation fertilisation	Logiciel de cartographie, Outil gestion parcellaire, Application smartphone	- Outils météo plus précis - Traitements optimisés (pulvérisations avec assistance)	
TRAÇABILITÉ	- Règlementaire, suivi administratif et certification - Enregistrement des pratiques, suivi des travaux (travail à réaliser dans les vignes)	Logiciel traçabilité		

Lait

Fonctions	Utilisations	Outils cités	Evolutions attendues	Besoin compétence
DATA	- Données traites : analyses TP/TB, bactérie... - Données pâtures - Gestion du troupeau, notamment santé	Smartphone et logiciels		- Savoir lire et interpréter les données (ex : résultats TP/TB pour adapter la ration)
AGRI. PRECISION	- Suivi des parcelles/ cultures (assolement...) - Reproduction : suivi chaleurs, vêlage... - Modulation azote /ferti - Pilotage ration / alimentation	Logiciel gestion parcellaire, colliers de détection de chaleur, système de géolocalisation, capteurs		- Choix des outils : les outils pour les céréaliers sont-ils adaptés pour mes cultures (destinées à l'alimentation vache) et lesquels ?
ROBOTIQUE	- Traite - Caméra pour vêlages - Alimentation animaux - Distributeurs rations - Nettoyage automatique	Robot de traite, matériels connectés, DAC (Convertisseur Numérique Analogique))	- Coûts diminuent	
TRAÇABILITÉ	- Suivi insémination - Gestion fabrication aliment	Logiciel de suivi, enregistrement des pratiques, administratifs		



Autres élevages

Fonctions	Utilisations	Outils cités	Evolutions attendues	Besoin compétence
TRAÇABILITÉ	- Gestion animaux : identification, mise bas - Suivi animaux, performance bêtes, classement et indices	Logiciel gestion et traçabilité, puces et boucles	- Améliorer la traçabilité sur la chaîne amont-aval - Puces RFID (Identification par <u>Radio-Fréquence</u>)	
DATA	- Base de données clients, CA, troupeau... - Résultat abattage, consommation, amélioration des performances	Interface web, extranet, Tdb, Excel, application smartphone, logiciels gestion technico-éco		- Mieux gérer ses données et la protection
ROBOTIQUE	- Distributeur automatique - Bâtiment connecté (loges, ration, eau...)	Matériel connecté, robot	- Caméra thermique - Scan 3D pour connaître poids animaux	
E-COMMERCE	- Vente directe - Communication, marketing	Site internet	- Paiement et choix livraison en ligne	- Optimisation et développement de son site
AGRI. PRECISION	- Carto, modulation azote et fertilisation (pâturage) - Reproduction / alimentation	Capteurs, appareils mesure, logiciels gestion parcellaire	- Modulation produits phyto	



Les freins à l'utilisation du numérique

Ils sont nombreux, mais peuvent être levés :

- manque de temps ;
- manque de connaissances par rapport à l'offre et à la complexité des outils ;
- manque d'interopérabilité entre les outils (cet item est cité à l'unanimité) ;
- trop de manipulations, de saisies et ressaisies de données ;
- des outils non adaptés ;
- une mauvaise connaissance des bénéfices et donc du retour sur investissement ;
- manque de confiance.

Des besoins en formation exprimés

Parmi les besoins les plus cités apparaissent la veille et la prospective, le *benchmark* sur les acteurs et les offres disponibles (10/14 et 12/14). Viennent ensuite le traitement et la collecte de données (10/14), puis l'analyse de leur exploitation (8/14), l'éducation au numérique et le paramétrage et utilisation des outils (7/14). La protection des données et l'interconnexion entre outils font aussi, mais plus faiblement, partie de propositions de formations (4/14).

Les formats de formation préconisés

Les modalités d'animation préconisées sont les suivantes :

- des ateliers sur le terrain avec des mises en situation ;
- des interventions de partenaires et d'experts du numérique ;
- des « rencontres utilisateurs » entre agriculteurs déjà équipés et ceux qui se posent la question ;
- des quizz pour stimuler l'attention.

Les modalités pédagogiques plébiscitées sont les suivantes :

- des vidéos ;
- du *e-learning* ;
- de l'information en continue (veille) ;
- des formations courtes (3/4 heures en distanciel) ;
- des groupes homogènes par niveau de connaissance.

LES COMPÉTENCES À DÉVELOPPER

Le regard que VIVEA porte actuellement sur les compétences nécessaires à l'adoption d'outils ou de solutions numériques par les chefs d'exploitation agricole sera évolutif, car les besoins sont très mouvants. On repère à ce jour cinq types de besoin en compétences. Ils sont à distinguer par typologie de publics.

Pour ceux qui ont adopté les outils numériques

L'appropriation des différentes fonctionnalités des outils numériques est progressive, et ces derniers sont souvent en sous-utilisation. L'apprentissage des fonctionnalités de base est réalisé lors de la prise en main par les fournisseurs.

Les besoins en formation seraient donc de connaître les fonctionnalités plus avancées des outils.

Par ailleurs, les agriculteurs ou agricultrices utilisateurs(trices) de solutions ou d'outils numériques mettent en avant la nécessité de savoir où et comment rechercher l'information, comment la sélectionner et comment interpréter les données produites.

La donnée peut être un outil d'aide à la décision, mais a contrario peut aussi s'apparenter à un chargement de travail d'où l'importance... d'avoir la capacité de sélectionner et de traiter les données pour être autonome dans sa prise de décision.

Les données issues des outils numériques vont coexister avec les données issues de l'observation, et ne constituent pas une difficulté.

Enfin apparaît le besoin de savoir faire une maintenance de premier niveau.

Un premier type de compétences pourrait alors être de « maîtriser » l'usage des « outils numériques »

Au-delà de la prise en main des outils, il s'agira alors de :

- connaître et savoir utiliser les fonctionnalités plus avancées en fonction de ses besoins ;
- savoir sélectionner les informations issues de capteurs, du robot de traite, d'une console de guidage...
- savoir les utiliser, les analyser pour en faire des outils d'aide à la décision ;
- assurer la maintenance courante.

Pour ceux qui s'interrogent sur leur stratégie numérique ou le choix d'outils

Des études de terrain montrent que l'adoption d'outils numériques a des conséquences sur l'organisation du travail, sur l'autonomie de décision, sur le rapport aux animaux pour les éleveurs. Au-delà de l'aspect économique, un des facteurs de réussite de l'adoption des outils numériques est que ces conséquences soient anticipées et pensées en amont du choix des solutions numériques.

Comme le souligne Soizic Di Bianco, enseignante-chercheuse à l'ESA d'Angers, le choix dépend du projet de l'agriculteur.

Il s'agira alors de bien faire définir le type de gain en termes de production et d'organisation du travail que souhaite l'agriculteur :

- ce que je veux déléguer à l'outil, ce que je veux garder ;
- s'agit-il de diminuer mon temps de travail, de réduire les contraintes, de réduire la pénibilité ;
- s'agit-il d'avoir un pilotage plus fin.

Quelles solutions choisir ? Par quoi commencer ? Quelle est la solution la plus satisfaisante par rapport à mes besoins et mon investissement ?

Deuxième type de compétences : faire des choix raisonnés sur les solutions digitales les plus adaptées à son exploitation et anticiper les différents impacts (définir sa stratégie numérique)

- savoir définir ses besoins et évaluer les coûts / gains / impacts / risques en termes économiques, mais également organisationnels et de confort de travail ;
- pouvoir porter un regard critique sur les solutions proposées pour être acteur dans la relation au fournisseur et faire les bons choix (bien connaître ses besoins pour analyser les propositions) ;
- anticiper les impacts pour s'y préparer.

Question : qui peut animer ces formations ?

Aujourd'hui, ce sont surtout les fournisseurs de matériel. Les initiatives de type « Digifermes » et « fermes *leaders* » pour évaluer les outils sont nécessaires pour créer de la référence. Il subsiste un enjeu crucial à former des formateurs.

La question de la donnée produite en agriculture, de la prise de conscience de sa valeur et de son utilisation par les acteurs agricoles serait un troisième enjeu

Nous n'avons pas repéré d'attentes sur ce sujet par les agriculteurs eux-mêmes, mais plutôt du côté des responsables agricoles. Cette question se pose éventuellement aux agriculteurs quand il y a un changement d'outils

Des formations spécifiques sur ce sujet pourraient être mises en place pour les responsables agricoles et peut-être une sensibilisation dans les formations à l'utilisation des outils numériques pour les agriculteurs. La question est jusqu'où aller en termes de compétences (compréhension des enjeux, connaissance de l'environnement, connaissances juridiques),

Un quatrième type de compétences consisterait à permettre aux agriculteurs de comprendre le fonctionnement des capteurs ou d'outils numériques assez simples pour pouvoir contribuer à leur élaboration, voire à les élaborer eux-mêmes

L'enjeu serait alors de proposer des « formations action » aux groupes d'agriculteurs impliqués dans ces projets pour co-construire des outils numériques en comprenant comment ceux-ci fonctionnent.

Le mobilab a permis de démontrer la capacité des agriculteurs à construire des capteurs simples sur la base de composants existants. Le projet Occitanum en Occitanie, en lien avec l'Université de Montpellier, permet aux agriculteurs à la suite de l'analyse de leurs besoins de construire des capteurs leur facilitant la vie au quotidien (ex. une caméra reliée à l'ordinateur pour surveiller un troupeau éloigné de l'exploitation permet de gagner du temps en matière de surveillance).

Un cinquième besoin concerne les agriculteurs les plus éloignés des outils numériques

Il est cependant nécessaire de distinguer ceux qui le font par choix et ceux qui se sentent dépassés.

Pour ces derniers, il y a un enjeu de démystification des outils numériques et d'acculturation : il ne s'agit sans doute pas de mettre en place des formations spécifiques sur le sujet, mais de sensibiliser aux différents usages d'outils numériques de manière très concrète dans des formations techniques existantes (visite exploitation...).

CONCLUSION

L'offre de formation commence timidement à se structurer et porte aujourd'hui quasi exclusivement sur le premier type de compétences.

Le second nous paraît essentiel et primordial à développer afin que les agriculteurs puissent devenir acteurs de cette évolution. La difficulté de disposer de formateurs ayant une connaissance suffisante et distanciée vis-à-vis des différentes solutions numériques subsiste. Il appartiendra à la formation initiale de développer ces nouveaux profils d'accompagnants ou de mettre en place des partenariats avec des écoles spécialisées dans le déploiement du numérique, afin de mettre en avant de nouveaux talents.

VIVEA œuvrera dans les mois à venir pour aider à la structuration de ce type d'offre.

Start-ups and digital innovation in the agri-food sector

By **Dr Isabelle PIOT-LEPETIT**

Senior Research Scientist in Economics and Management at INRAE
and the Scientific Director of #DigitAg – Digital Agriculture Convergence Lab

& **Mauro FLOREZ**

PhD candidate at the University of Montpellier, INRAE
and #DigitAg – Digital Agriculture Convergence Lab

Start-up companies represent a powerful innovation process to push forward digital innovation and develop disruptive products and services based on digital technologies. At the same time, they challenge well-established companies that need to involve themselves in more ambidextrous innovation processes to stay competitive, pushing them to launch initiatives focusing on both internal innovations and organizational changes and external or open innovation opportunities.

INTRODUCTION

The entrance of digital technologies in agri-food value chains has taken place in stages. At first, digital technologies began with the development of web pages presenting information, before setting up new distribution channels and dematerializing a lot of documents and processes, such as, for example, declarations or registrations of fertilization practices. Since the end of the 2000s, digital technologies have developed new, more multimedia, more social, and more applicative attributes, allowed a change in the media used in communication strategies (such as farmers sharing practices on YouTube or Twitter), and contributed to new markets and business service models (e.g. apps or platforms for the sale and/or exchange of goods and services). These developments have been made possible thanks to the influence of two important phenomena: the end of the principle of product ownership in favor of the logic of service access, such as, for example, platforms for sharing agricultural machinery, and the development of the start-up ecosystem, at first in the Silicon Valley, characterized by a technological environment, a culture of innovation and risk, and a desire to push forward the boundaries of what already exists.

The rise of digital technologies has resulted in the explosion of the start-up phenomenon everywhere in the world, due to the ability of these high-potential and high-growth companies to seize new opportunities offered by these technologies, to imagine their uses, to associate them to existing products, and to create new needs. Gradually, all well-established companies have seen the emergence of new competitors, placing digital innovation at the center of their value proposition, modifying markets as well as the behavior of value chain actors. Thus, digital technologies not only inspire entrepreneurs around the world to develop new services, markets, or enterprises, but also impact established companies, through the development of more ambidextrous innovative processes, supported by both internal and external digital innovations.

DIGITAL INNOVATION IN THE AGRI-FOOD SECTOR

Many innovations are nowadays based on digital technologies that increase the human capacity to acquire, produce, disseminate, and use information at an unprecedented level and speed. This is made possible by a set of activities in which digital resources are combined in their design and use to create together new value propositions. Indeed, the proliferation of mobile devices and the ubiquity of Internet in everyday life have radically changed the expectations, preferences, and behaviors of customers, and have forced enterprises and industries to evolve.

The agri-food sector faces various challenges in terms of production, the environment, natural resources, and food waste, and has an urgent need for innovative solutions. One of the identified, potential approach is digitalization (FAO, 2020). Digitalization refers to the use of digital technologies, and often digitized information, to create value in new ways (Gobble, 2018). In the agricultural sector, it can be described as the process of applying digital innovations (Klerkx *et al.*, 2019) in the production activities and all along the value chains. Thus, it involves the development and adoption of digital technologies, taking into account the tasks on and off farm (Shepherd *et al.*, 2020). Precision agriculture is the use of digital technologies on farm to improve the production process, while digital agriculture is related to the use of digital technologies both on and off the farm (United Nations, 2017). Besides, the “farm-to-fork” approach refers to all the structures and activities of the agri-food chain, from production to consumption (Kamble *et al.*, 2020), meaning access to and production of inputs (*e.g.* fertilizers, seeds, machinery...), production of agricultural products (*e.g.* from land preparation to harvest), trade of raw agricultural products, food processing (*e.g.* from raw products to processed ones), transportation, retail, and consumption (Prause *et al.*, 2020) as well as food waste management.

Start-ups play a key role in innovation processes (Spender *et al.*, 2017). A start-up is a company, a partnership or a temporary organization designed to search for a repeatable and scalable business model. Through the start-up phase, new ideas are brought to the market and transformed into economically sustainable enterprises (Blank, 2013). Due to their smallness, start-ups can offer a dynamic and agile environment to develop breakthroughs in conventional innovation processes, or to offer disruptive products and services that impact value chains and dominant market positions. Concerning the French AgTech sector, start-ups are developing digital solutions all along agri-food chains. Florez *et al.* (2022) found that the different types of digital technologies used are mainly Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), big data, blockchain, cloud computing, robots and e-commerce. However, the services offered mostly focus on production and retail/consumption, with a predominance of AI, IoT, and e-commerce usage. AI is the only digital technology that is currently developed in all segments of agri-food chains.

INNOVATION AT THE CORE OF CORPORATE STRATEGIES

The rise of digital innovations based on new, disruptive technologies, such as AI, blockchain, augmented reality AR, virtual reality VR, connected objects (IoT), robots, autonomous vehicles..., will continue to influence human behavior, but also to change business models, organizations, value chains, and industries. Around the world, major corporations, and not just start-ups, are embracing the digital transformation and undergoing organizational changes. The opportunity to innovate by means of products incorporating digital services or by developing new services has become a challenge for well-established companies that have seen digital start-ups launching large waves of digital innovations over the past two decades (Svahn *et al.*, 2017). Now, all companies, and in particular large groups, face a new type of potential competition, coming from start-ups that innovate in terms of services, sales models, distribution or communication channels, and have a

strong capacity to grow quickly when they are able to raise important sources of funding. Thus, the start-up model has strongly reinforced the importance of innovation in corporate business strategies, in order to develop an ability to offer products in a new way, invent new products, increase market shares, and not be overtaken by the competition. The digital transformation is becoming a strategic imperative to maintain and enhance their competitive advantage, which requires accelerating investments to gain in the expertise, acquire promising start-ups, and display of digital innovations (Serval, 2018) in their value propositions.

Consequently, innovation, which was most often developed based on products and within companies, now emerges from multiple horizons. In particular, it leads large groups to opt for open innovation approaches, in order to enrich themselves with new ideas and increase their capacity for renewal. For not being confined to restricted initiatives, most large companies develop their innovation process in two directions. They conduct internal innovations within the boundary of the company, in the form of R&D projects, and open innovation, by sharing of knowledge inputs and resources with external partners (Du *et al.*, 2014). They navigate in a distributed innovation environment where ideas and knowledge derive from external sources, require companies to organize for agility (*i.e.*, the ability to detect and seize market opportunities with speed and surprise), while, at the same time, carry out transformation programs aiming to create a real culture of innovation (*i.e.*, evolving towards a less hierarchical model and more horizontal structures), by promoting collaborative work, developing multidisciplinary teams, and encouraging individual initiatives. In doing so, the innovation processes of companies are becoming more and more ambidextrous (Lewin *et al.*, 2011), with a need to keep a balance between their internal and external innovation components. Therefore, both internal innovation benefits and open innovation benefits are important for achieving superior innovation performance at the organizational level, and both internal and external value-creating mechanisms are developed.

OPEN INNOVATION APPROACHES

Open innovation can be accomplished by collaborating with science-based innovation partners, such as universities and research institutions with a large pool of scientific knowledge (Van Beers *et al.*, 2008). In addition, innovation can be jointly developed and commercialized with market-based partners, through collaborating with suppliers to improve input quality and reduce production costs, collecting new and valuable ideas from customers, and sharing production and marketing resources with competitors (Hensen and Dong, 2020). Collaborating with different types of innovation partners increases the likelihood to be exposed to different new ideas, gain access to a broader range of market information and complementary resources, benefit from the co-development of new products, or win new markets.

Among the open innovation approaches most often implemented by companies, we can find:

- The creation of venture capital funds makes it possible to invest in companies with an innovative business model to help them develop, while being able to observe their development and measure the impact of the innovations developed on markets. For example, the CapAgro Innovation venture capital fund, created in 2014 by five industrial groups and financial institutions, is committed to developing the agri-food and agro-industrial sectors, by investing, in particular, in new digital technologies.
- The participation in private or public acceleration programs by most often sponsoring a theme close to the corporate business core, which allows companies to develop strategic intelligence, while having a limited financial and human investment. For instance, Xavier Niel, already at the origin, in 2017, of Station F, a start-up campus

located in Paris, has launched, in 2022, Hectar, an incubator whose objective is to propel 80 agricultural start-ups in two years. On the public side, the FrenchTech has launched the FrenchTech Agri20 program in 2022, which supports breakthrough innovations in the agri-food sector, coming from high potential start-ups, in order to bring out technological champions.

- The launch of sectoral incubators or accelerators makes it possible, for companies, to identify the emergence of innovative projects, as early as possible, to guide them, and also to position themselves on a possible equity investment. For example, the « Les Champs du Possible » incubator, run by Le Village By CA (Crédit Agricole), welcomes 15 start-ups each year and offers a whole set of services that facilitates the emergence of start-ups, while allowing them to access a rich network of industrial partners, local authorities, financiers, and farmers.
- The establishment of a start-up studio, whose vocation is to launch multiple projects by internally developing many strategic and operational skills, such as business, legal, design, prototyping, development... For instance, the Crédit Agricole Group has launched in 2018 « La Fabrique by CA » to promote the Group's innovation, gain in agility and accelerate the time to market of new projects, by creating or promoting the growth of start-ups and supporting them for their financing as well as their commercial and operational development.
- The creation of an innovation lab can have various purposes, such as foresight (anticipation of the future in 5-10 years), agility and incubation (by adopting methods from start-ups), open innovation (aiming at disruptive innovations through the contribution of external assets), facilitation of collaborations... For example, the living lab "OccitANum – Occitanie Digital Agroecology", winner of the "Territories of Innovation" call for projects, has been created with the aim of testing full-scale services, tools, or new uses able to facilitate the digital transformation of agriculture while responding to the societal demands, such as the environmental preservation, fair compensation of producers, producing healthy and local food products... This new research-action device develops an innovation system where users are not simply end-users, but become actors and collaborators, and, in particular, farmers and consumers who are placed at the center of it.
- The sourcing of external ideas through the implementation of hackathons, reverse pitches, competitions, and other calls for projects, such as, for example, the Hackathon du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique, which took place in 2021, or the Global Wheat HEAd deTectioN Challenge on the Kaggle platform in 2020.

The different approaches are rarely exclusive. They are generally implemented in parallel, with most often relatively blurred boundaries between innovation labs, accelerators, and sourcing initiatives. Whatever the chosen options, the major issue remains the return on investment for companies, because it can take several years for start-ups or new activities to become profitable. This also involves major changes for companies, especially moving from their conventional innovation processes based on specific programs focusing on time-limited projects to a continuous and integrated approach at the very core of the corporate values and operations.

CONCLUSION

More than ever, companies must continue to innovate in terms of services, processes, sales models, distribution channels, or communication to remain competitive. Digital technologies offer tremendous opportunities and, guided by everyday uses that also tend to invade business activities, it constitutes in many areas a lever for value creation.

Driven by the emergence of increased competition, companies are forced to take new risks and launch new initiatives that materialize in open innovation programs together with the development of an internal transformation in terms of culture, working environment, and ways of collaborating. This also requires an increasing ability to continuously digitize their activities in order to ensure their resilience, sustainability, and transition to new sources of business. At the same time, companies have to manage and gain new markets created by the unfolding of digital technologies, either by integrating promising start-ups or by creating them from scratch. Thereby, models, such as incubators/accelerators and start-up studios seem to have a bright future ahead of them insofar, as they allow not only to be immersed in the innovation ecosystem, but also to potentially escape the inertia and the weight of the existing business activities.

REFERENCES

- BLANK S. (2013), “Why the lean start-up changes everything”, *Harvard Business Review*, 91(5), pp. 63-72.
- DU J., LETEN B. & VANHAVERBEKE W. (2014), “Managing open innovation projects with science-based and market-based partners”, *Research Policy*, 43(5), pp. 828-840.
- FAO (2020), “Realizing the potential of digitalization to improve the agri-food system: Proposing a new international digital council for food and agriculture. A concept note”, FAO Website, <https://www.fao.org/3/ca7485en/ca7485en.pdf>
- FLOREZ M., PIOT-LEPETIT I., BOURDON I. & GAUCHE K. (2022), “How do French agri-tech start-ups contribute to the sustainability of food value chains?”, *Journal of the International Council for Small Business*, 3(1), pp. 79-93.
- GOBBLE M. M. (2018), “Digitalization, digitization, and innovation”, *Research Technology Management*, 61(4), pp. 56–59.
- HENSEN A.H.R. & DONG J.Q. (2020), “Hierarchical business value of information technology: Toward a digital innovation value chain”, *Information & Management*, 57, 103209, KAMBLE S. S., GUNASEKARAN A. & GAWANKAR S. A. (2020), “Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications”, *International Journal of Production Economics*, 219(5), pp. 179-194.
- KLERKX L., JAKKU E. & LABARTHE P. (2019), “A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda”, *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91(11), <https://doi.org/10.1016/J.NJAS.2019.100315>
- LEWIN A. Y., MASSINI S. & PEETERS C. (2011), “Microfoundations of internal and external absorptive capacity routines”, *Organization Science*, 22(1), pp. 81-98.
- PRAUSE L., HACKFORT S. & LINDGREN M. (2020), “Digitalization and the third food regime”, *Agriculture and Human Values*, 38(3), pp. 641–655.
- SERVAL T. (2018), « Transformation digitale : quand les problématiques industrielles refont surface », *Le Journal de l'École de Paris du Management*, 132(4), pp. 15-22.
- SHEPHERD D. A., SOUITARIS V. & GRUBER M. (2020), “Creating new ventures: A review and research agenda”, *Journal of Management*, <https://doi.org/10.1177/0149206319900537>
- SPENDER J.-C., CORVELLO V., GRIMALDI M. & RIPPA P. (2017), “Startups and open innovation: A review of the literature”, *European Journal of Innovation Management*, 20(1), pp. 4-30.

SVAHN F., MATHIASSEN L., LINDGREN R. & KANE G. C. (2017), "Mastering the digital innovation challenge", *MIT Sloan Management Review*, 58(3), pp. 14-15.

UNITED NATIONS (2017), "Digital agriculture: Feeding the future", New York.

VAN BEERS C., BERGHÄLL E. & POOT T. (2008), "R&D internationalization, R&D collaboration and public knowledge institution in small economies: Evidence from Finland and the Netherlands", *Research Policy*, 37(2), pp. 294-308.

Les voies de l'innovation en agriculture numérique : les *living labs* et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation

Par Jacques-Eric BERGEZ,
AGIR, Univ Toulouse, INRAE, Castanet-Tolosan, France

Mehdi SINÉ
ACTA - les instituts techniques agricoles, Paris, France

& Muriel MAMBRINI
Collège de Direction, INRAE, Paris, France

La transition agroécologique nécessite des changements profonds des systèmes de production, de transformation et de consommation, qui requièrent des modes de gouvernance nouveaux. Les laboratoires vivants proposent un schéma de co-développement d'innovation responsable et partagé. Cependant, l'aspect intrinsèquement pluriel des données, des connaissances, des dispositifs, etc. milite pour la mobilisation de solutions numériques nouvelles. Notre hypothèse est que les laboratoires vivants pour la transition agroécologique vont ouvrir, dans le domaine du numérique, des capacités à se saisir de questions plus complexes, et des occasions pour mettre l'utilisateur au centre. En tout état de cause, ce sera un numérique ayant en perspective le service au bien commun, un numérique responsable. À travers un cadre d'analyse et l'opérationnalisation de ce cadre sur deux exemples (les Digifermes® et Occitanum), nous montrons les propriétés émergentes de ce numérique et les leviers qu'il reste à franchir pour un bénéfice partagé et durable.

INTRODUCTION

Nous connaissons tous les grands défis que notre planète a à affronter tels que le changement climatique (IPCC, 2022), le défi alimentaire (de Schutter, 2014), la raréfaction des ressources naturelles (FAO, 2021), l'extinction de la biodiversité (Pörtner *et al.*, 2021). Agir pour répondre à ces défis demande une transformation radicale de nos usages des ressources naturelles (passer du minier au durable), de nos pratiques de production (du global au local, du lissage au spécifique) et de consommation (sobriété, circuits courts).

Les acteurs de la production agricole et alimentaire jouent un rôle particulier, à la fois usagers de ressources naturelles et producteurs de ressources alimentaires, énergétiques et de services écosystémiques. L'agroécologie en tant que discipline scientifique (Caquet *et al.*, 2020), mouvement social (Altieri, 1989) et orientation aux politiques publiques (projet agroécologique pour la France, 2012) peut aider à mener cette transformation.

Le principe de l'agroécologie est de tirer parti des processus biologiques pour répondre aux attentes des agrosystèmes, et ainsi de réduire le recours aux intrants (<https://dicoagroecologie.fr/>).

Opérationnaliser un tel cadre nécessite de proposer des productions, transformations, commercialisations locales avec une plus grande diversité de produits agricoles à inclure dans une chaîne alimentaire renouvelée (processus de transformation, distribution et jusqu'aux nouveaux régimes alimentaires). Les changements dans la gouvernance des chaînes agri-alimentaires font partie de la refonte et de ces changements transformationnels. À la suite des approches post-normales développées dans les années 1980 (Funtowicz et Ravetz, 2003), l'implication des producteurs/consom-acteurs dans l'innovation apparaît comme une voie des plus souhaitables à la construction d'outils, de services, d'usages, mais aussi, si nous nous repositionnons face aux enjeux globaux et à ce que peut permettre l'agroécologie, de savoirs en situation.

Les nouvelles possibilités de collecte de données provenant de sources de connaissances hétérogènes, leur transformation en informations utiles, puis en services partagés par le plus grand nombre militent pour mobiliser les solutions numériques comme leviers. Nous reprendrons la définition de l'agriculture numérique proposée par Bellon-Maurel *et al.* (2022) : « agriculture et, au-delà, système alimentaire, qui utilisent les sciences et technologies du numérique telles que les sciences des données et technologies d'acquisition (satellites, capteurs, objets connectés, *smartphones*...), de transfert et de stockage (couverture 3G/4G/5G, réseaux bas débit terrestres ou satellitaires, *clouds*) et les technologies de traitement embarquées ou déportées (supercalculateurs accessibles par des réseaux de communication très haut débit, intelligence artificielle), ceci à toutes les échelles de la production agricole et de son écosystème : exploitation, services d'accompagnement, territoire, chaîne de valeur. »

L'innovation dans le numérique et le "*digital farming*" semble rester trop *top-down*, ancrée dans un solutionnisme technologique (Morozov, 2013). Afin d'éviter un plan Marshall 2.0, l'innovation numérique doit se faire au sein des fermes avec les acteurs principalement concernés que sont les agriculteurs. Depuis les années 2000, les technologies de l'information et de la communication ont été le secteur où se sont développés des dispositifs d'innovation ouverte élaborés pour consolider les innovations à partir des expériences des usagers, les laboratoires vivants. Leurs principes sont simples, ils regroupent des acteurs impliqués par l'innovation, pour co-concevoir, en conditions réelles. Fin des années 2010, les laboratoires vivants font leur entrée au sein des agroécosystèmes, avec l'objectif de renforcer la résilience des productions (McPhee *et al.*, 2021). Un numérique différent est-il alors possible ?

Cet article décrit deux dispositifs d'innovation ouverte menés en France, afin de faciliter la transition agroécologique au sein de fermes en mobilisant des outils numériques. Nous commencerons par présenter un cadre d'analyse des produits numériques sur l'innovation ouverte. Puis nous prendrons deux exemples assez différenciés pour montrer les spécificités du numérique co-développé dans ces laboratoires vivants. Dans une dernière partie, nous listerons certains avantages et inconvénients de cette agriculture numérique.

LE POTENTIEL DE L'INNOVATION OUVERTE, CADRE D'ANALYSE

Les laboratoires vivants, (*living labs*, LL) sont des dispositifs d'innovation ouverte fonctionnant sur trois principes : l'implication des usagers, la co-création, en conditions réelles (et avec des communautés réelles). Ils sont à la fois des organisations axées sur la pratique et l'échange de connaissances, des environnements ou des arènes de la vie réelle où sont menées des expériences, où de nouvelles solutions sont développées, et où les processus d'innovation par et avec les utilisateurs peuvent être étudiés. Les LL sont réputés produire trois types de valeurs : des affaires, du social et des connaissances.

Les LL ont été initialement conçus pour renforcer la place de l'utilisateur dans les innovations liées au développement des technologies de l'information et de la communication. Ils ont ensuite trouvé leur place dans d'autres secteurs d'activité, tels la e-santé, les villes durables, les nouvelles ruralités. Chaque secteur d'activité, voire chaque proposition locale, interprète à sa manière les trois grands principes sur lesquels les LL sont fondés, et possède des caractéristiques spécifiques.

Les LL des agrosystèmes ont des propriétés communes avec les LL des villes durables et des nouvelles ruralités : ils sont « situés », façonnés par les lieux ou les territoires au sein desquels ils entrent en action. Ils œuvrent pour une plus grande résilience des systèmes au sein desquels ils opèrent. Ils naissent souvent d'une volonté politique, réunissent des financements publics et privés, et combinent des préoccupations autour de biens publics, privés et communs. Au-delà, ils ont de véritables particularités en termes d'objectifs spécifiques, d'activités, de types de participants, et au regard du contexte au sein duquel ils s'établissent (Mc Phee *et al.*, 2021). Cela offre une bonne idée des orientations à donner aux composantes de la dynamique d'innovation pour réussir leur ouverture. Dans le projet européen ALL-Ready qui pose le cadre du futur réseau européen des laboratoires vivants et des infrastructures de recherche pour la transition agroécologique (www.all-ready-project.eu), Mambrini *et al.* (2022) ont identifié les particularités de LL à même d'accélérer la transition agroécologique (voir le Tableau 1, pp. 106-107). Ce cadre doit permettre de repérer les conditions d'un numérique différent, façonné pour la transition agroécologique.

Chacune de ces particularités fait écho à de nouveaux usages du numérique, et soulève aussi des enjeux de taille, tels que la capacité à opérer à différentes échelles, à combiner des données et des connaissances hétérogènes. Nous les avons soulignés dans le Tableau 1.

Notre hypothèse est que les LL pour la transition agroécologique vont ouvrir, dans le domaine du numérique, des capacités à se saisir de questions plus complexes, et des occasions pour mettre l'utilisateur au centre. En tout état de cause, ce sera un numérique ayant en perspective le service au bien commun, un numérique responsable.

Nous pouvons d'ores et déjà avancer sur cette hypothèse en analysant les origines et particularités de deux expériences emblématiques, visant au développement numérique au sein des agrosystèmes, ayant en perspective la contribution à la transition agroécologique.

LA PARTICULARITÉ DU NUMÉRIQUE AU SEIN DES DISPOSITIFS D'INNOVATION OUVERTE

Le dispositif

Origine et réalisations

Dans le but d'accompagner le mouvement de numérisation des exploitations agricoles, les instituts techniques agricoles ont dédié, depuis 2016, quelques fermes expérimentales à la mise en application des technologies numériques les plus récentes (<https://digifermes.com>). Ces fermes ont deux vocations principales : évaluer ces technologies et accompagner les entreprises innovantes à les développer à l'échelle de l'exploitation agricole (Bouttet *et al.* 2017). Ces dispositifs de terrain baptisés les Digifermes® ont depuis été étendus à plusieurs filières végétales et animales, et comprennent désormais quinze unités expérimentales réparties sur le territoire métropolitain et d'outre-mer (voir la Figure 1 page suivante).

Sur ces exploitations, qui préfigurent d'une certaine manière des « fermes d'avenir », les données produites sont à l'origine d'un cycle de prise de décision aboutissant à des

Tableau 1 : les particularités des laboratoires vivants pour favoriser la transition agroécologique de l'agri-food chaîne

Particularités	LL des agroécosystèmes	À considérer en plus pour accélérer la transition agroécologique
Objectif	<p>L'objectif général est d'œuvrer pour une plus grande durabilité et la résilience du système au sein duquel le LL opère.</p> <p>L'innovation peut s'exprimer sous forme de nouvelles pratiques, de management de l'activité ou de process.</p>	<p>L'option pour y parvenir est la <u>prise en compte constante de la biodiversité</u> sur le site et dans les environs.</p> <p>L'ancrage dans les « territoires » est essentiel.</p> <p>Les dispositifs ont des origines très diverses (des nouvelles pratiques de terrain aux cadres politiques expérimentaux), ainsi que les communautés impliquées (agriculteurs, décideurs politiques, consommateurs, citoyens...).</p> <p>En conséquence, <u>hétérogénéité et quantité de connaissances produites</u> sont particulièrement remarquables (des pratiques aux politiques).</p>
Activités	<p>La quantité et le niveau d'usage des données sont particulièrement élevés. Ils sont liés au besoin d'évaluer les performances associées aux propositions innovantes.</p> <p>La cyclicité des opérations est très particulière, les cycles d'innovation sont saisonnés et peuvent parfois être très longs.</p> <p>Lié à des facteurs externes et non contrôlables, le niveau d'incertitude des expérimentations et des essais est élevé.</p> <p>Le besoin de porter les résultats locaux à une échelle plus grande, en dehors du périmètre strict du laboratoire vivant est très important. Les nouvelles pratiques issues d'un LL doivent pouvoir servir au moins une filière.</p>	<p>Les résultats, quelle que soit la localité du LL, <u>s'évaluent au niveau du système</u> (chaîne de valeur, paysage, territoire) et de la transformation de ce dernier. Le besoin d'obtenir et d'enregistrer des données au niveau du système global est très élevé.</p> <p>Ces LL sont particulièrement <u>gourmands en connaissances</u>, les connaissances à mobiliser sont notamment hétérogènes (tacites et explicites, transgénérationnelles).</p> <p>Compte tenu de la diversité des parties prenante, il est nécessaire que le dispositif sache <u>éviter le fardeau de l'information, dispose d'une gouvernance agile</u> tenant compte des conflits d'intérêts, où la co-création est orchestrée.</p> <p>Comme les propositions plus agroécologiques amènent des produits plus divers sur l'ensemble de la filière, <u>la démonstration et l'itération exigent un effort important</u>, pour lequel l'expérience et le savoir-faire des processus d'innovation multi-acteurs sont un atout.</p> <p>S'agissant des connaissances produites, le rôle du LL pour <u>renforcer les capacités des acteurs de l'écosystème</u> est remarquable. Il permet également le partage de connaissances non encore stabilisées. Ces LL doivent s'inscrire sur le temps long. L'agroécologie ouvre la perspective de reconception du système de production et, car les propositions doivent s'adapter à un environnement changeant, emporte <u>une source supplémentaire d'incertitude</u>.</p>

Particularités	LL des agroécosystèmes	À considérer en plus pour accélérer la transition agroécologique
<p>Participants</p>	<p>La participation du secteur public est particulièrement déterminante. L'implication des chercheurs est particulièrement élevée.</p> <p>Le rôle des usagers peut être divers et évoluer dans le temps.</p> <p>En raison du nombre relativement élevé et de la diversité des partenaires impliqués, en plus de fournir des connaissances scientifiques, le schéma de gouvernance des LL est complexe afin de maintenir l'engagement des divers acteurs clés dans les territoires et tout au long de la chaîne de valeur. Les chercheurs interviennent également dans la conception du fonctionnement du LL.</p>	<p>La diversité des participants est assez élevée. <u>La notion d'utilisateur est plus diverse</u>, il peut s'agir du conseiller, de l'agriculteur, du consommateur, du citoyen ; leur rôle est fortement évolutif, par exemple l'agriculteur peut être soit l'utilisateur de l'innovation, soit le fournisseur d'une nouvelle pratique. L'ouverture du dispositif vers le consommateur est la préoccupation majeure.</p> <p><u>Le schéma de gouvernance</u> est encore plus complexe pour maintenir l'engagement des divers acteurs clés dans les territoires et tout au long de la chaîne de valeur. Les flux d'information sont plus complexes et englobent plus d'échelles. La décision est plus décentralisée.</p> <p>Ces LL produisent une combinaison de biens privés, publics et communs, et au service des <u>biens communs</u>, ce qui justifie un soutien gouvernemental et en recherche plus prégnant.</p>
<p>Contexte</p>	<p>C'est l'agroécosystème qui est considéré. Il est fait appel à de la recherche plus inter- et trans-disciplinaire.</p>	<p>Le contexte considéré est celui des enjeux du changement climatique et de la souveraineté alimentaire, au-delà de l'agroécosystème considéré, mis à l'échelle du territoire concerné.</p> <p>La demande de <u>développer des approches inter- et trans-disciplinaires</u> est encore plus forte.</p> <p>Connaître <u>l'origine des dispositifs</u>, qui trace ce qui aura incité à la confiance entre porteurs d'enjeux et à <u>la mise en partage des valeurs</u> est encore plus essentiel pour caractériser l'activité. Il en est de même pour le cadre réglementaire et les politiques qui auront incité à l'émergence du LL. Cela aide à suivre la trajectoire du LL et à identifier les conditions de sa longévité, et donc de sa contribution à la transition agroécologique.</p>

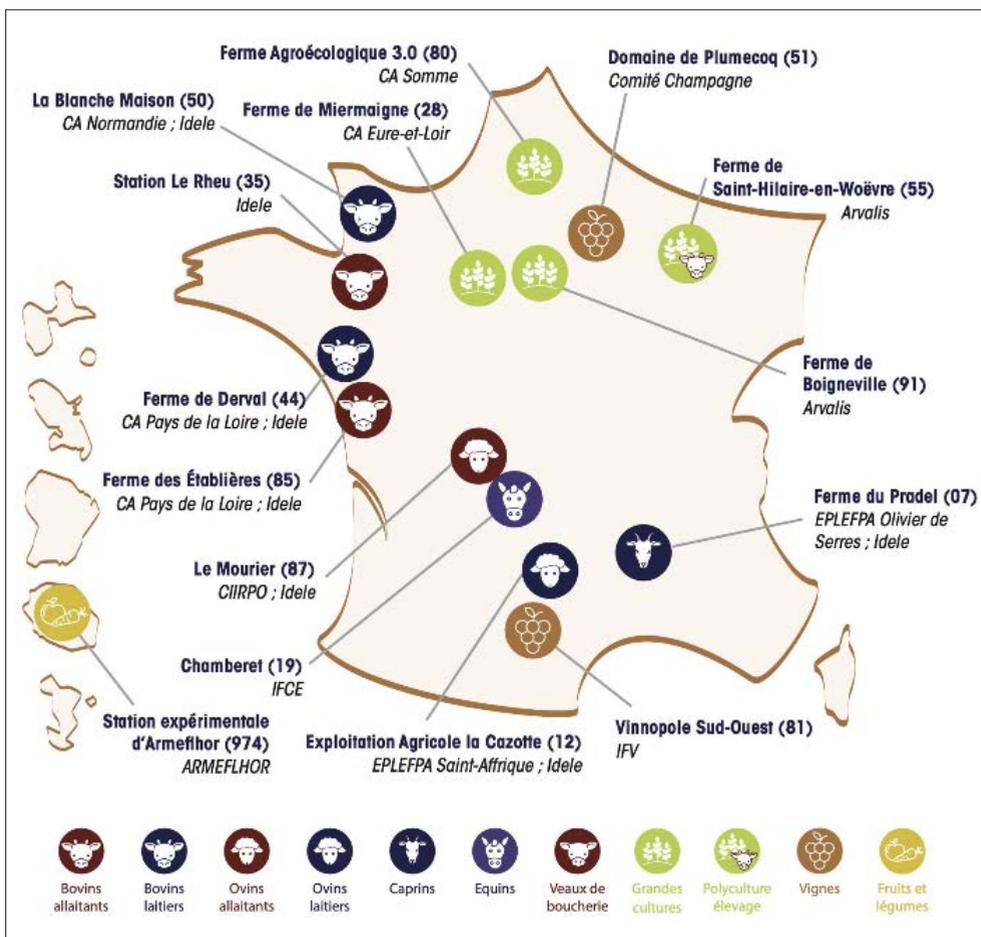


Figure 1 : Répartition des Digifermes en France
(Source : Digifermes.com)

interventions techniques qui sont donc « guidées par les données » (*data-driven*). Ce cycle passe par plusieurs phases de la collecte des données (capteurs), à leur transmission (réseaux), puis à leur stockage (*cloud*, IoT), leur traitement (algorithmes, intelligence artificielle), leur interprétation et leur visualisation (applications, OAD) dans le but d'aboutir à un processus de décision, et enfin à l'action qui peut être déclenchée par l'agriculteur lui-même ou déléguée à une machine (robotisation, agroéquipement de précision). Ce qui caractérise les Digifermes, c'est de travailler sur l'entièreté de ce cycle en veillant toujours à conserver au cœur du système les besoins des agriculteurs, notamment sur les aspects de confort de travail, de la multiperformance (économique, environnementale et sociale...) et de maîtrise des processus.

Le réseau des Digifermes constitue à ce titre un réseau d'innovation en agriculture numérique original, qui complète une offre assez large de dispositifs de recherche-développement-innovation-formation (UMT, RMT, chaires, pôles de compétitivité, SATT, villages de *start-up*...). Son positionnement sur l'échelle TRL se situe entre 6 et 9, c'est-à-dire dans les phases de maturation finale des technologies en pré-marché / pré-série ou au stade de technologies matures et disponibles pour les agriculteurs. Les Digifermes permettent de tester ces innovations numériques *in situ*, dans des conditions de fermes

réelles mais disposant de ressources humaines techniques et scientifiques permettant de tester des solutions dans le cadre de protocoles expérimentaux ouverts et rigoureux. Cela offre aux entreprises présentes sur le territoire de rayonnement des Digifermes un terrain d'accueil pour éprouver leurs solutions et les inscrire dans des systèmes de production permettant une évaluation multicritères et systémique. Ces dispositifs facilitent ainsi une prise de risque que ne peut pas se permettre un agriculteur souhaitant disposer de solutions déjà éprouvées sur le terrain et dont la valeur d'usage lui aura été démontrée notamment par les organisations de recherche et développement en qui il a confiance (instituts techniques, Chambres d'agriculture...).

La Digifirme va couvrir trois espaces d'innovation :

- L'espace de co-conception est l'espace où se noue le lien avec les *start-up* et les entreprises innovantes (plus d'une centaine ont déjà collaboré avec des Digifermes). Les Digifermes nouent des partenariats avec les entreprises innovantes des nouvelles technologies de l'agriculture (AgTech) qui souhaitent améliorer et accélérer leurs processus de conception et de maturation technologiques. Cela peut s'inscrire dans des projets de R&D disposant de co-financement public-privé.
- L'espace de test est l'espace où vont être évaluées des solutions matures en pré-série ou déjà sur le marché selon la démarche expérimentale. Les utilisateurs finaux – le plus souvent les agriculteurs eux-mêmes – souhaitent disposer d'avis neutres et s'appuyant sur une démarche méthodologique rigoureuse les aidant à apprécier la valeur ajoutée des technologies qui leur sont disponibles. Ici sont mobilisés les dispositifs expérimentaux terrain, l'expertise technique des agents des Digifermes et l'appui de méthodes et d'outils d'évaluation multicritères permettant de mesurer des indicateurs de la multiperformance (notamment économiques, sociaux et environnementaux). La valeur ajoutée du réseau est le partage des protocoles et des connaissances acquises.
- L'espace d'utilisation s'appuie sur la démonstration, la formation et l'accompagnement au déploiement. C'est ici que s'opère le lien avec les réseaux d'agriculteurs du territoire dans lequel s'inscrit la Digifirme, qui devient le lieu donnant à voir l'intégration des technologies et de mise en pratique. Cet espace permet de mesurer les freins à l'adoption aux technologies numériques, qui sont liés à différents aspects : l'ergonomie des solutions, leur coût d'accès, les questions d'interopérabilité, la confiance et la sécurisation des données, la nécessité de formation ou d'apprentissage, l'obsolescence, les problèmes de pannes et de connectivité... Cet espace doit aussi offrir des possibilités d'itérations avec les entreprises (évolution des usages, *feedback* utilisateur).

Analyse

Voir le Tableau 2, pp. 110-111.

Le dispositif

Origine et réalisations

Occitanum, lancé en 2020, se définit comme le LL qui met le numérique au service de l'innovation collective dans les territoires agricoles (<https://www.occitanum.fr/>). Occitanum a émergé sur le territoire d'Occitanie pour mettre en place et développer un dispositif d'innovation visant à participer à la convergence et à l'accélération des transitions de l'agriculture et de l'alimentation en mobilisant les technologies numériques. Déployé sur un archipel de sites, il propose d'expérimenter en grandeur nature avec l'ensemble des acteurs (recherche, développement, entreprises, agriculteurs, citoyens) l'apport des

	Enjeux	Réalisations effectives	À dépasser
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte constante de la biodiversité ; - Hétérogénéité et quantité de connaissances produites ; <p>L'ancrage au niveau du système d'exploitation est la particularité du dispositif. Chaque Digiferme se positionne comme un « phare » (<i>ighthouse</i>) au sein d'un territoire (JL) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - La mise en réseau permet la production et la dissémination des connaissances sur les technologies. 	<p>La force des Digifermes réside dans son effet réseau, offrant ainsi une diversité des situations pédo-climatiques, une diversité des filières couvertes, et des compétences variées pour des porteurs offrant ainsi des spécificités locales et une interconnexion produisant des connaissances qui vont se confronter les unes avec les autres et permettre d'imaginer des transferts de technologies d'une filière à l'autre.</p> <p>En termes de productions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - documentation pour l'expérimentation (protocoles expérimentaux, plans de gestion de données...); - partages sur les technologies testées (stations météo, capteurs, logiciels...). 	<p>Une caractérisation fine des environnements des Digifermes dans leur territoire est à réaliser (SIG...). Beaucoup d'indicateurs sur la multiperformance ont été établis et permettent d'évaluer en multicritères les systèmes d'exploitation, mais assez peu sur la biodiversité.</p>
Activités	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation du système ; - Production de connaissances / données ; - Apprentissage ; - Gestion des aléas. 	<p>L'évaluation est multicritères (mise au point d'une boîte à outils EMC à l'échelle de l'exploitation agricole), intégration des innovations numériques comme "input", mais aussi "output" du système d'exploitation.</p> <p>Les protocoles expérimentaux sont partagés ainsi que les synthèses des essais.</p> <p>Le renforcement des compétences fait partie de l'agenda (journées portes ouvertes, formations, séminaires...).</p> <p>Les applications sont co-développées et permettent ainsi de mieux gérer les aléas (climatiques, économiques...), les échanges aident au choix dans une diversité de solutions (le type OAD, ou couplage capteurs/actionneurs sur robot, matériels d'irrigation, de gestion des bâtiments d'élevage...).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Étudier davantage le pouvoir transformant du numérique dans l'exploitation agricole (dépasser l'optimisation et la substitution pour explorer davantage la reconception) ; - Mieux partager les données produites.

	Enjeux	Réalisations effectives	À dépasser
Participants	<ul style="list-style-type: none"> - La notion d'utilisateur est plus diverse ; - Gouvernance complexe et décentralisée ; - Orientation vers les biens communs. 	<p>Au sein des Digières participent des ingénieurs et techniciens, chefs d'exploitation agricole, des chercheurs, des entreprises.</p> <p>Les projets sont le plus souvent co-financés sur fonds publics et fonds privés, et correspondent donc à la croisée des attentes professionnelles et sociétales.</p> <p>Les questions de confidentialité, de secret des affaires, de concurrence et de confiance sont au cœur des préoccupations dans une gouvernance qui peut être complexe avec des positions opposées sur l'ouverture des résultats et des données par exemple, mais qui sont le plus souvent levées.</p> <p>Le financement public, national ou européen, de nombreux projets permettent de développer l'<i>open data</i> et l'<i>open source</i>, et donc vont vers le bien commun informationnel et des connaissances produites dans le réseau.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Traiter de quand et pour quel objectif privativer la fermeture des plateformes collectant des données.
Contexte	<ul style="list-style-type: none"> - Accueil d'approches inter- et trans-disciplinaires ; - Origine du dispositif, facteurs de confiance et de mise en partage des valeurs. 	<p>Les projets mis en œuvre réunissent des compétences variées et permettent surtout de rapprocher les agronomes et les métiers de l'informatique, mais aussi de plus en plus les <i>data scientists</i>, les ergonomes, les économistes et les spécialistes des questions environnementales (mesures d'impact, analystes des cycles de vie, énergie...). À noter aussi le développement dans ces projets des métiers de la communication et du marketing impliqués de plus en plus tôt. Le positionnement en TRL élevé au niveau des Digières implique davantage les sciences et techniques appliquées que la recherche académique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Intégrer davantage des compétences et questionnements dans le champ des sciences humaines et sociales dans les projets ; - Poser la question de la sobriété numérique, sujet encore situé au tout début des préoccupations et des développements.

technologies numériques pour le renforcement de l'agroécologie, l'accès à une alimentation locale et durable pour tous, l'amélioration des revenus des agriculteurs et le développement économique territorial. L'objectif d'Occitanum est de proposer une agriculture exemplaire, nourrissant le premier circuit alimentaire de proximité en France :

- Côté agriculture, les résultats attendus sont la création d'un écosystème entrepreneurial et une adoption plus rapide des technologies numériques du fait de leur co-conception, ainsi que l'amélioration de l'accompagnement par la formation et la démonstration. Dans les territoires concernés, ceci se traduira par la réduction de l'empreinte environnementale des productions (réduction globale visée de 20-30 %), l'adaptation au changement climatique, l'amélioration du revenu des agriculteurs et de l'attractivité des métiers agricoles. Occitanum contribuera à reconstruire le lien agriculture-société et l'image de l'agriculture en région Occitanie et au-delà, grâce à la répliquabilité de l'expérience et la généralisation des innovations.
- Côté alimentation, le résultat attendu est l'accès à une alimentation locale grâce au couplage d'une plateforme de produits locaux et d'une logistique efficace et durable, qui serait une première française.

Occitanum est organisé en sept "open labs", qui abordent chacun les questions relatives à une filière agricole, distribués en un « archipel » de territoires pilotes. Sur les territoires de chaque *open lab*, des projets innovants sont co-construits par divers acteurs, et des



Figure 2 : Répartition des sites des *open labs* en Occitanie.

-  Construire l'approvisionnement local par une logistique durable ;
 -  Aider l'apiculture professionnelle et la mobiliser au service de la biodiversité et de l'agroécologie ;
 -  Produire avec sobriété (en intrant) en arboriculture et diversifier les revenus ;
 -  Améliorer le bien-être animal et valoriser les systèmes d'élevage produisant à l'herbe ;
 -  Accompagner les grandes cultures vers l'agroécologie et diversifier les revenus ;
 -  Articuler "low tech" et "high tech" pour les exploitations en maraîchage ;
 -  Préparer la viticulture aux enjeux climatiques et environnementaux
- (Source : www.occitanum.fr).

solutions numériques sont déployées et évaluées quant à leur impact environnemental, leur valeur d'usage et leur conséquence économique, et améliorées par une interaction directe entre les acteurs impliqués dans le projet innovant (entreprise AgTech / usager / recherche / acteurs du territoire).

L'*open lab* est lui-même composé de plusieurs sites, pour être au plus près des réseaux d'acteurs mobilisés dans les projets innovants (unité d'œuvre d'Occitanum). Le processus d'innovation ouverte suit une démarche permettant partage et démocratie (voir la Figure 2 ci-dessous).

Ce processus est complété par un certain nombre de méthodes et d'outils permettant traçabilité et répliquabilité des approches malgré la diversité des filières. L'ensemble de ces méthodes et outils est regroupé dans une entité nommée le CORE, qui est le centre de valorisation et organe de pérennisation du projet, et permet animation, impulsion de nouveaux projets, formation, capitalisation, réplique, valorisation des données, expertise AgTech, interface avec les dispositifs de recherche.

Analyse

Voir le Tableau 3, pp. 114-115.

LE NUMÉRIQUE EN INNOVATION OUVERTE POUR L'AGROÉCOLOGIE, UN PAS VERS LE NUMÉRIQUE RESPONSABLE

Le cadre proposé pour relever les particularités du développement du numérique en agriculture *via* l'innovation ouverte – les caractéristiques uniques des laboratoires vivants à même d'accélérer la transition agroécologique – a été fertile. Il a permis de mettre l'accent sur la valeur transformative de programme en cours et de repérer les inflexions à donner pour un numérique responsable.

En termes d'objectifs, ces dispositifs « touchent au vivant », s'enrichissent de la prise en compte de la diversité et savent faire face à la plus grande hétérogénéité et quantité de connaissances produites

Digifermes, comme Occitanum, ont réussi à consolider un système intégré aux localisations multiples, à avoir à la fois un ancrage territorial fort, des dispositifs localement spécialisés, et dont les spécialisations se complètent dans une vision intégrée. Co-conception, ouverture aux usagers, flexibilité des organisations sont des principes communs qui rendent le dispositif bien vivant. De fait, c'est une forme de valorisation de la diversité du vivant que ces dispositifs intègrent jusque dans leur mode de fonctionnement et de gouvernance. Dès lors, la valorisation des processus biologiques demande de nouvelles façons de modéliser, de recueillir des données et de repenser en profondeur la chaîne agroalimentaire et son organisation en territoires, en fonction des besoins de consommation, comme un processus adaptatif qui se construit en avançant sur une trajectoire ne pouvant être définie à l'avance.

Certes, la modélisation pour la transition agro-écologique ajoute un niveau de difficulté supplémentaire, en cela elle mobilise de multiples niveaux d'organisation qui interagissent fortement entre eux. On peut par exemple distinguer une grande variété de niveaux d'échelle : l'échelle moléculaire et cellulaire, qui est celle de l'étude génétique ; l'échelle des organismes, de la physiologie et de l'expression phénotypique ; celle de la parcelle et de l'exploitation agricole ; et enfin, l'échelle des paysages et des communautés mobilisant l'écologie et les dynamiques des populations. Les modalités de

	Enjeux	Réalisations effectives	À dépasser
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> - L'ancrage dans les « territoires » est particulièrement essentiel ; - L'hétérogénéité et la quantité de connaissances produites sont particulièrement remarquables (des pratiques aux politiques). 	<p>Occitanum crée en Occitanie un terrain d'expérimentation et de démonstration en vraie grandeur de l'apport des technologies numériques à l'agriculture et au développement économique territorial. Ceci est rendu possible grâce à la mise en place d'un dispositif de sites et d'animations permettant le co-design de solutions numériques sur des thématiques de filières variées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Renforcer le nombre de sites et dépasser la logique filière qui pour l'instant prévaut dans Occitanum (innovation couplée).
	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte constante de la biodiversité 	<p>Les solutions proposées sont au service de la transition agroécologique, vue de manière assez large : réduction des intrants de synthèse par une meilleure connaissance des hétérogénéités et amélioration des services écosystémiques et du bien-être des agriculteurs et des animaux.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le lien à l'agroécologie est parfois tenu dans certaines innovations. Renforcer cette composante.
Activités	<ul style="list-style-type: none"> - Les résultats du LL s'évaluent au niveau du système ; - Activités renforcées de la capacité des acteurs ; - Dispositifs gourmands en connaissances, (connaissances sont en complément plus diverses, tacites et explicites). 	<p>Les solutions proposées doivent permettre aux populations d'avoir accès à une alimentation locale et durable. Pour ce faire, un <i>open lab</i> est ciblé sur l'alimentation de proximité.</p> <p>Les solutions numériques proposées doivent permettre aux agriculteurs de retrouver un revenu décent tout en ne les asservissant pas ; pour ce faire, un atelier mobile a été mis en place (mobilab, www.agrotic.org/mobilab/), qui est du type « atelier paysan » (www.lateilierpaysan.org).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>L'Open-Lab</i> centré sur l'alimentation de proximité cherche encore sa structure, sa thématique et son insertion territoriale. Sera à lier avec le développement des Plans alimentaires territoriaux : <ul style="list-style-type: none"> - L'évaluation des solutions numériques n'est pas encore finalisée. Les solutions étant diverses, les protocoles de recueil de données et d'analyse sont complexes. Les trois dimensions (environnementale, sociale et économique sont à prendre en compte).

	Enjeux	Réalisations effectives	À dépasser
Participants	<ul style="list-style-type: none"> - La diversité des participants est particulièrement élevée. La notion d'utilisateurs est plus diverse. 	<p>Afin de créer les trois niveaux de valeurs (bien social, bien financier, connaissance), Occitanum privilégie de faire converger les agriculteurs et leurs conseillers, les dépositaires des solutions numériques (entreprises de l'AgTech) et les chercheurs. Cependant, en lien avec l'ancrage territorial recherché, les acteurs des gouvernances locales peuvent également être parties prenantes (communauté de communes, mairie...).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aller vers une implication des citoyens. Cela pourra se faire plus facilement dans l'<i>open lab</i> « alimentation de proximité ».
Contexte	<ul style="list-style-type: none"> - Développer des approches inter- et trans-disciplinaires ; - Connaître l'origine du partage des valeurs. 	<p>Occitanum mobilise :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Des ressources scientifiques pluridisciplinaires et rompues à la recherche-action ; - Une dynamique d'innovation ouverte associant entreprises, collectivités, recherche, agriculteurs, consommateurs, citoyens ; - Un tissu entrepreneurial particulièrement mobilisé ; - Un réseau d'<i>open labs</i> territoriaux, lieux d'expérimentation et de démonstration ; - Un dispositif d'apprentissage et de capitalisation pour la réplication de l'expérience ; - Des investissements dans des entreprises innovantes du numérique agricole ; - Une durée de huit ans pour mettre en place, expérimenter, évaluer et diffuser des innovations. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les questions inter- et trans-disciplinaires ne sont pas facile à traiter. La friabilité des chercheurs (qui peut se comprendre de par les critères d'évaluation) doit être dépassée. Cependant, toute question de terrain n'est pas obligatoirement une bonne question de recherche. Il faut une présence terrain parfois difficile à assumer.

travail des Digifermes, comme celles d'Occitanum, indiquent une marche pouvant être suivie : celle de tenter, localement dans un objectif commun ambitieux et environné, d'acquérir et d'opérationnaliser des connaissances apportées par l'agroécologie.

En retour, leur expérience vient impulser des évolutions à la démarche modélisatrice classique ; pour les Digifermes, la suite est d'aller vers une caractérisation encore plus fine de leur environnement, et en particulier de sa biodiversité ; pour Occitanum, il s'agit de multiplier le nombre de sites, d'abonder ainsi la logique de filière. La question des variations et des aléas est alors dépassée. La modélisation mathématique appliquée à l'agriculture doit donc chercher davantage à combiner les approches classiques (analyses de données, statistiques, méthodes probabilistes...) aux approches mécanistes et systémiques. L'apport des grands volumes de données (*big data*) et des algorithmes d'intelligence artificielle (*machine learning*...) est prometteur, et trouve déjà de nombreuses applications notamment *via* des couplages capteurs-outils d'aide à la décision. Mais ils sont aujourd'hui essentiellement appliqués à des outils d'optimisation tactiques, et beaucoup moins sur des outils de simulation permettant d'aider aux choix stratégiques visant la reconception de systèmes agri-alimentaires.

En termes d'activités, les dispositifs sont « à l'épreuve du terrain », ils savent prototyper, mettre en place des évaluations rapides et partagées, co-concevoir

Dans les Digifermes, comme pour Occitanum, tester en conditions réelles est de mise. Les solutions co-conçues sont expérimentées dans des dispositifs larges et connectés en réseau ou selon des protocoles rigoureux mettant en place des répétitions pour tenir compte de la diversité des situations (pédo-climatiques, économiques, sociales...). Les démarches de co-construction dans ces dispositifs s'appuient sur des développements adaptatifs basés sur des prototypages rapides et des tests successifs, ce qui nécessite de mettre au point des méthodes innovantes (traque aux innovations, ateliers de co-conception...) et d'accepter le déploiement de solutions imparfaites qui vont s'améliorer par itération ou être arrêtées si les retours utilisateurs ne sont pas concluants (apprentissage / capitalisation et retours d'expérience). Cela entraîne mécaniquement de pouvoir disposer d'un soutien et d'un accompagnement pour absorber la prise de risque et la partager au sein des parties prenantes et des usagers. Ces dispositifs sont en capacité de combiner une grande quantité et hétérogénéité de connaissances (ils en sont d'ailleurs « gourmands »), mais ce n'est pas leur seule caractéristique. Ceci est combiné à un véritable engagement à faire du renforcement des compétences une de leurs activités essentielles.

Leur préoccupation pour la suite ? Un investissement des communautés scientifiques et des décideurs dans l'étude du pouvoir transformant du numérique dans l'exploitation agricole, dans, plus largement, l'évaluation des solutions numériques dans leurs dimensions économiques, environnementales et sociales.

En termes de participants, ces dispositifs savent être centrés sur l'utilisateur et partir des besoins, ils savent élargir la notion d'utilisateur en tant que de besoin, comme adapter l'ensemble de cette organisation, multi-centrée « par l'usage » et « en tant que de besoin »

Les Digifermes et Occitanum ont en commun la mise en avant et l'organisation du recueil des attentes des utilisateurs en se plaçant du point de vue des usagers, et non des fournisseurs de solutions technologiques. Cela passe par une implication directe des agriculteurs dans les processus de conception pour aboutir à des services réellement innovants,

utiles et ergonomiques. En intégrant les utilisateurs finaux dans les développements, dès les premières idées, le but est de créer des services plus personnalisés et adaptés aux usages opérationnels des acteurs de terrain. Ces recueils d'attentes permettent d'organiser la rencontre entre agriculteurs, recherche et entreprises pour veiller à l'adéquation entre offre et demande, et doivent s'intéresser à la « proposition de valeur » des services numériques, c'est-à-dire veiller à l'alignement entre services et fonctionnalités proposés et bénéfiques et usages attendus.

Leurs attentes ? Les moyens d'aller plus loin. D'un côté, il s'agira de se doter de règles de propriétés et de communautés, entre biens privés, publics et communs. Ceci est une question ouverte de recherche, mais, dans l'intermédiaire, anticipation des problématiques, logigrammes et partages d'expérience sont essentiels. D'un autre côté, la notion d'usager ne se limite plus au seul écosystème de l'innovation agricole, elle va jusqu'au citoyen, et là toute l'expérience des *living labs*, en particulier de ceux qui sont « situés » (villes durables, nouvelles ruralités), fera gagner du temps.

En termes de contexte, ils ne craignent pas de mobiliser un écosystème complexe incluant le regard sociétal, le digital responsable n'est pas un objectif supplémentaire, il se conçoit « en même temps »

Digifermes comme Occitanum font appel à des démarches interdisciplinaires, voire transdisciplinaires, en restant attentifs à ce que l'étape essentielle soit que toutes les parties prenantes s'accordent sur les valeurs. L'initiative des Digifermes fait se rapprocher les métiers de l'agronomie, de l'informatique, les ergonomes et les spécialistes des questions environnementales ; implique au plus tôt ceux qui normalement n'interviennent qu'une fois les produits finis (communication, marketing...). C'est une sorte de « recherche » ensemble.

Pour Occitanum, c'est aussi une combinaison de ressources, recherche-action, tissu entrepreneurial, réseaux d'acteurs du territoire, expérimentation, démonstration, apprentissage, investissements, capitalisation. De telles mobilisations demandent du temps et que ces dispositifs s'inscrivent dans la durée. La responsabilité se construit aussi au fur et à mesure de la confiance.

Leurs attentes ? Faire avec rigueur et sobriété. D'un côté, le souhait d'une implication du champ des sciences humaines et sociales, avec qui les questionnements pourraient également mieux se co-construire, et, d'un autre côté, consolider les moyens de penser « sobre » dès le début du cycle d'innovation. C'est la manière de faire que nous voudrions pointer dans le paragraphe suivant.

POUR ALLER PLUS LOIN, PENSER D'ABORD « SOBRE »

À l'aune de ces expériences, de leur analyse et de ce qu'il faut pour dépasser les limites actuelles, nous avons cherché à établir un *vade-mecum* du « comment penser “sobre” ».

Traiter la question de la donnée : pour qui, à qui, pour en faire quoi

En fonction du type de système numérique mobilisé, des données peuvent être envoyées vers différents stockeurs. La thématique des GAFAM (pour Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft) est une vraie question en agriculture (Rotz *et al.*, 2019 ; grain.org/fr/article/6596). Les données du fonctionnement des cultures, des élevages, des itinéraires techniques, des données climatiques, de comptabilité... sont très riches en expérience, en données personnelles, en potentialités de valorisation. Qui va bénéficier de ces données

et des produits qui pourraient en provenir ? Comment faire pour que l'agriculteur ait un retour sur ses propres données ? Comment faire pour que la valeur ajoutée en lien avec ces données soit reversée d'une manière ou d'une autre aux agriculteurs ? Il s'agit bien ici d'une question d'éthique de l'usage des données. Cette question peut parfois se traiter dès le début du processus de conception des innovations technologiques avec l'aide de chartes correctement rédigées (charte DataAgri, *Code of conduct* au niveau EU, loi sur les données "Data Act" 2022). Il ne s'agit pas d'en faire un frein à l'utilisation, mais bien de déterminer les conditions d'usage comme cela est d'ailleurs décrit dans les lois sur les données individuelles (livre blanc ACTA, 2016). Cependant, il est clair que ni les agriculteurs ni leurs conseillers, ou très peu, n'ont les compétences sur ces aspects juridiques autour du droit de la donnée. Il faut donc mettre en place et développer un soutien à ce processus. Des dispositifs tels que le Multipass est un début de solution (<https://numerique.acta.asso.fr/multipass-5-charte/>). Le projet Multipass lancé en 2018 visait à mettre à disposition des producteurs et des valorisateurs de données agricoles, un écosystème de gestion des consentements des agriculteurs protégeant les échanges de données des exploitations. En renforçant la confiance des producteurs nécessaire au partage de leurs données, le projet a permis de faire émerger de nouveaux services innovants (solution AgriConsent développée par AgDataHub). D'autres sont à co-construire.

Ne pas minimiser la fracture numérique : zones blanches et grises

La couverture numérique n'est pas totale en France. On y trouve encore, et surtout dans les campagnes, des zones blanches ou grises avec des accès difficiles, très limités ou inexistantes aux réseaux numériques, et de ce fait des mobilisations en temps réel de la donnée difficiles pour l'action. L'utilisation de certains systèmes de transfert n'y est pas fonctionnelle. Quels sont les risques de « fracture numérique » dans les territoires ? Ces questions doivent être intégrées aux processus de co-conception des solutions numériques pour les rendre davantage inclusives. Des choix technologiques peuvent être faits pour pallier ces difficultés (sobriété réseau, *edge computing*...). Des innovations dans le transfert des données, dans le *edge computing*, sont à attendre pour favoriser ce numérique agricole. En regardant la valeur du local, tout en s'inspirant de ce qui se fait à l'étranger (ex. les pays en développement où le signal est très faible), nous pourrions encore escompter des progrès.

Évidemment, ne pas omettre le coût

En fonction du type d'outil numérique concerné (capteurs, outils d'aide à la décision, robots, agroéquipements connectés, plateformes numériques...), les coûts seront bien différents. Certains de ces coûts sont simples, mais d'autres peuvent être cachés tels que les abonnements pour les « applis » pour des outils Android ou progiciels, mais aussi les capteurs (des stations météo...), les plateformes de vente collaborative... Il est important de bien déterminer tous ces coûts au regard des économies que l'application du numérique peut engendrer. Pour diminuer les coûts, la collectivisation des outils numériques est possible dans certains cas (ex. de CUMA d'outils numériques). Mais on l'aura bien compris, la notion de coûts / bénéfices n'est pas qu'une question financière. Il s'agit également de coûts et de bénéfices environnementaux et sociaux. Ces derniers sont également complexes à mesurer. Nous proposons d'aller vers une évaluation des intrants numériques et intrants technologiques, et de penser recyclage tout en réduisant les obsolescences abusives.

Estimer les apprentissages : voir comment démystifier, en étant imaginatifs

Le numérique fait encore peur. Tout un travail reste nécessaire pour faire comprendre ce numérique. Ceci doit être mené dès les premiers cycles de formation (dans les lycées agricoles en lien avec les exploitations d'application) ou encore en formation pour adultes en lien avec VIVEA et les Chambres d'agriculture. Mais le numérique est un secteur qui évolue très rapidement (loi de Moore). Toutes les technologies ne sont pas au même niveau de maturité, et il y a beaucoup d'obsolescences ou d'innovations – qualifiées de très prometteuses au départ mais ne se concrétisant pas – ce qui peut démotiver les « pionniers » (ex. échec de Air Innov, SigFox...). Il est important d'aller vers de la formation, de la co-construction, à l'instar des ateliers paysans qui traitent expressément de l'asservissement à la technologie. Il serait souhaitable de développer des *fab-labs*, des mobilabs plus nombreux.

Se rendre compte de la surcharge cognitive

C'est un vrai sujet, par exemple pour les éleveurs qui peuvent avoir de très nombreuses applis de gestion et de pilotage dans leurs exploitations (robot de traite, alerte chaleur, robot d'alimentation, clôture virtuelle, etc.) qui fonctionnent en permanence et qui peuvent envoyer des alertes SMS H24 sur leur *smartphone*. Le risque pour l'éleveur est qu'il ne puisse plus jamais « couper ». Quel droit à la déconnexion pour les professionnels ? Il s'agit ici d'un véritable choix sociétal. Quelques travaux ont déjà été menés sur ces nouveaux outils (Hostiou *et al.*, 2017 ; Martin *et al.*, 2021).

CONCLUSION

Plutôt qu'une conclusion, nous préférons rappeler ou faire un appel aux différentes communautés de l'écosystème d'innovation agricole, aux chercheurs, aux enseignants, aux producteurs, aux conseillers, aux porteurs des politiques publiques, aux citoyens, pour qu'ils donnent la chance aux laboratoires vivants des agroécosystèmes de vraiment faire « œuvre ». Ce sont des dispositifs que l'on ne peut réduire à une définition, à un *process*. Ils ont pour seul principe la co-conception, en conditions de réalités, avec les usagers. C'est tout... et c'est extrêmement fertile.

Dans nos secteurs de la production et de la transformation agricoles, ils ont des particularités qui les rendent uniques par rapport à d'autres laboratoires vivants et au sein de notre écosystème d'innovation, uniques et avec un potentiel de transformation et, comme nous venons de le voir, d'innovation responsable bien efficace, qui peut se produire en « faisant ».

Nous en appelons aux différentes communautés pour, de concert, déployer un numérique sobre en levant les limites que nous avons identifiées :

- pouvoir projeter sur le temps long ;
- investir dans les apprentissages et le développement de capacités de co-conception ;
- trouver les modalités pour co-construire des propositions et questionnements avec les sciences humaines et sociales ;
- développer des travaux sur la manière de régler la question des propriétés et celle des valeurs dans un mélange de biens privés-biens publics, biens communs. Il y a là besoin d'innovation ;

- investir dans l'étude du pouvoir transformant du numérique dans l'exploitation agricole et, plus largement, l'évaluation des solutions numériques, dans leurs dimensions économiques, environnementales et sociales ; fournir les données et les modèles pour la sobriété.

Ce qui est en train de se passer localement, exemplifié par les Digifermes et Occitanum, est riche d'orientations sensées, pour peu que l'on ait le cadre pour les révéler. Et le modèle économique pour les faire vivre.

RÉFÉRENCES

« Accord de Paris » (2015) Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, Nations unies, https://fr.wikipedia.org/wiki/fr:Convention-cadre_des_Nations_unies_sur_les_changements_climatiques

ACTA (2016), « L'accès aux données pour la recherche et l'innovation en agriculture. Position des Instituts techniques agricoles », 46 p.

ALAMM. & PORRAS J. (2018), "Architecting and designing sustainable smart city services in a living lab environment", *Technologies*, 6(4), p. 99, doi: 10.3390/technologies6040099.

AGOGUÉ M. *et al.* (2013), "Managing innovative design within the health ecosystem: The living lab as an architect of the unknown", *Management & Avenir Santé*, n°1(1), pp. 17-32, doi: 10.3917/mavs.001.0017.

ALTIERI M. A. (1989), "Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 27(1-4), pp. 37-46, doi: 10.1016/0167-8809(89)90070-4.

BELLON-MAUREL V. *et al.* (2022), « Agriculture et numérique : Tirer le meilleur du numérique pour contribuer à la transition vers des agricultures et des systèmes alimentaires durables », INRAE, livre blanc, 198 p.

BOUTTET D. & PIERSON P. (2017), « Digifermes® : Un laboratoire des technologies numériques », https://driaaf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/GTagri-02_05b-DigifermeBG-Article_cle812835.pdf

CAQUET T., GASCUEL C. & TIXIER-BOICHARD M. (2020), *Agroécologie. Des recherches pour la transition des filières et des territoires*, Paris, Quae.

DE SCHUTTER O. (2014), « Le droit à l'alimentation, facteur de changement », rapport soumis par le Rapporteur spécial sur le droit à l'alimentation », 10538.

FAO (2021), "The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point", Rome, synthesis report 2021, <https://doi.org/10.4060/cb7654en>

FUNTOWICZ S. O. & RAVETZ J. R. (2003), "Post-normal science", *Internet Encyclopaedia of Ecological Economics*, pp. 1-10, doi: 10.1007/978-3-8350-9053-8_13.

HOSTIOU N. *et al.* (2017), "Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. A review", *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 21.

IPCC (2022), "Summary for Policymakers", in PÖRTNER H.-O. *et al.* (éd.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press.

MAMBRINI-DOUDET M. *et al.* (2022), "Vision for building the network of living labs and research infrastructures for agroecology", deliverable 1.1 of the European project ALL-Ready, submitted. ALL-Ready (2021-2024) has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No

101000349; the conceptual framework is accessible on the website <https://www.all-ready-project.eu/all-ri.html>

MARTIN T. *et al.* (2021), “Robots and transformations of work on farms: A systematic review”, 2nd International Symposium on Work in Agriculture. Thinking the future of work in agriculture, March 29th – April 1st, 2021, France: Clermont-Ferrand.

MOROZOV E. (2013), *To Save Everything, Click Here: The Folly of Technological Solutionism*, New York, PublicAffairs, 432 p.

MCPHEE C. *et al.* (2021), “The defining characteristics of agroecosystem living labs”, *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), pp. 1-25, doi: 10.3390/su13041718.

PÖRTNER H. O. *et al.* (2021), “IPBES-IPCC co-sponsored workshop biodiversity and climate change”, *IPBES and IPCC*, 115(4), pp. 608-609, doi: 10.5281/zenodo.4782538. IPBES.

ROCKSTRÖM J. *et al.* (2009), “Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity”, *Ecology and Society*, 14(2), pp. 1-36, doi: 10.5751/ES-03180-140232.

ROTURIER C. (2019), « Les sciences et recherches participatives à l'INRA », *Revue Forestière française*, (2), p. 143, doi: 10.4267/2042/70625.

ROTZ S. *et al.* (2019), “The politics of digital agricultural technologies: A preliminary review”, *Sociologia Ruralis*, 59(2), pp. 203-229, doi: 10.1111/soru.12233.

Quelle place pour les *hackathons* pour accompagner l'innovation numérique en agriculture ?

Par François BRUN,

Responsable du pôle Agriculture numérique et Science des données
à l'Acta, les instituts techniques agricoles

Mathieu RAJAOBA

Doctorant en sociologie, Centre de sociologie de l'innovation,
i3 (UMR 9217), Mines Paris, Université PSL

& François GAUDIN

Conseiller productions volailles, Chambre d'agriculture de la Drôme

L'agriculture française et internationale est en pleine transformation numérique, mobilisant différentes technologies venant offrir un potentiel de développement de nouveaux services pour les agriculteurs et le monde agricole. Différentes formes d'animation ont émergé au sein de la communauté agriculture numérique : *start-up week-ends*, *hackathons* ou encore *data challenges*. Que se cache-t-il sous ces différentes animations et quel est leur rôle dans le processus d'innovation collectif ? Quel intérêt à organiser un *hackathon* au plus près des agriculteurs ? Quel apport des *hackathons* en agriculture pour l'innovation autour des données ?

L'agriculture française et internationale est en pleine transformation numérique. Ces technologies matérielles (capteurs, robotiques...) ou de l'information (science des données, applications, API, *blockchain*...) viennent offrir un potentiel de développement de nouveaux services pour les agriculteurs et le monde agricole. Avec ces développements, différentes formes d'animation ont émergé au sein de la communauté agriculture numérique : *start-up week-ends*, *hackathons* ou encore *data challenges*. Que se cache-t-il sous ces différentes animations et quel est leur rôle dans le processus d'innovation collectif ? Comment amener un tel dispositif au plus près des agriculteurs ? Nous proposons de présenter ces différents formats, leur intérêt et complémentarité. Puis nous prendrons l'exemple du dispositif « HackTaFerme », pour montrer plus en détail ce type d'initiative et en présenter les atouts et les limites. Enfin, nous pourrions analyser l'apport des *hackathons* en agriculture pour l'innovation autour des données, avec une approche de sociologie de l'innovation.

START-UP WEEK-ENDS, HACKATHONS ET DATA CHALLENGES

Actuellement, de nombreuses animations sont mises en œuvre dans notre écosystème de l'agriculture numérique. Le monde agricole, avec sa tradition de réflexion collective bien ancrée, a été curieux de nouvelles formes d'animation collective pouvant émerger dans d'autres domaines (numérique, industrie, médical...) et a ainsi pu s'approprier ces démarches qui avaient commencé à trouver leur place dans d'autres secteurs d'activité (Marlow, 2012 ; comme exemple du pourquoi des *hackathons* dans le monde des technologies numériques).

Nous pouvons distinguer trois grandes catégories de concours qui nous semblent particulièrement pertinentes pour notre communauté.

	Résultat attendu	Participants principaux
<i>Start-up week-end</i>	Une idée d'entreprise, avec une démonstration de son intérêt, positionnement et de son modèle économique	Entrepreneurs, experts du domaine, designers
<i>Hackathon</i>	Un prototype informatique d'application pour montrer son intérêt et sa faisabilité	Informaticiens, <i>data scientists</i> et experts de l'agriculture
<i>Data challenge</i>	Un modèle de prédiction sur une question et un jeu de données clairement défini	<i>Data scientists</i>

Tableau 1 : Comparaison des trois événements : *start-up week-ends, hackathons, data challenges.*

Le *start-up week-end* : une réflexion du service centrée sur le modèle économique

Un concours de type *start-up week-end* va consister à rassembler différents acteurs pour réfléchir à des idées de nouvelles entreprises, en formant des équipes dans le cadre d'un concours visant à faire la démonstration du concept. Si l'objet même du produit ou service proposé par l'entreprise peut être très large, dans le cadre d'une idée d'un futur service numérique ou d'une application, il s'agira de faire davantage la démonstration de l'utilité et du modèle économique que du fonctionnement technique du service lui-même. Ainsi, dans le cas par exemple d'une application, le rendu sera plutôt fait sous la forme d'une présentation insistant sur quelques visuels, mais rarement démontré sous la forme d'un véritable prototype basé sur un développement informatique. La force de ces événements est de proposer un argumentaire commercial mûrement réfléchi, permettant de valider à la fois l'opportunité d'un marché et la viabilité d'un modèle économique sous-jacent.

Dans le domaine agricole, les concours sous la marque Agreen Startup (<https://agreen-startup.chambres-agriculture.fr>) visent à faire émerger des projets innovants d'entreprise dans les domaines de l'agriculture, l'environnement et l'alimentation. Associé à des salons professionnels, cet événement se déroule sur deux jours avec des équipes rassemblant des candidats de tous métiers et horizons, pour hybrider au maximum les compétences (agriculture, agro-alimentaire, technologies de l'information et de la communication, numérique et robotique, gestion, marketing et commercial, design et créativité).

Le #DigitAg Challenge organisé en 2017 (www.digitag-challenge.fr) se rapproche aussi fortement de ce type de concours. Il mettait en avant le travail sur le concept et le modèle économique du futur service/entreprise, avec également une volonté de prototypage, mais pas forcément jusqu'à la mise en œuvre informatique. Ainsi, nous pouvons considérer que ce concours était proche aussi d'un *hackathon*.

Le *hackathon* : une preuve de la faisabilité du service par un prototypage informatique

Un concours de type *hackathon* va consister à rassembler différents acteurs pour faire la preuve par le code et le prototypage de la faisabilité et de l'intérêt d'un nouveau service sous la forme d'une application. Ainsi, en mettant comme livrable un prototype informatique d'une application, ce concours compte fortement sur des profils d'informaticiens, de *data scientists* ou de designers pour constituer le moteur de l'événement. Bien sûr, des experts du domaine d'application, dans notre cas de l'agriculture, doivent aussi être au rendez-vous, pour porter les besoins et orienter également l'équipe lors de l'événement.

Au niveau agricole, deux éditions d'un *hackathon* en 2017 et 2018 ont été portées par la plateforme API-AGRO (désormais opérée par la société AgDataHub). Puis, afin de mieux valoriser la participation du monde agricole, l'Acta (réseau des instituts techniques agricoles) et son réseau numérique et agriculture (désormais, le RMT Naexus) a proposé un dispositif de *hackathon* à la ferme, le « HackTaFerme » (www.hacktaferme.fr), en 2018, 2019 et 2021. Ce *hackathon*, véritable marathon de code en 48 heures, vise à réunir des groupes de développeurs autour de porteurs d'idées pendant une période réduite, afin de travailler de manière collaborative pour créer des applications informatiques et en faire la démonstration concrète. De fait, il s'agit d'un travail de conception d'une application informatique et de sa programmation informatique effective. Nous reviendrons plus en détail sur cet évènement dans la seconde partie de cet article.

Dans le domaine agricole, d'autres initiatives similaires existent : le *hackathon* « Digital & Animal Zoopole Développement » (à Ploufragan en novembre 2021) ou « AGRISPRINTT » organisé par Terrasolis, dans le cadre du programme H2020 « SmartAgriHubs » (avril 2021).

Lorsque le *hackathon* est centré exclusivement sur la valorisation de données existantes, les termes *sprint data*, *open data camp* ou *dataviz challenge* sont souvent également utilisés pour dénommer ces compétitions participatives.

Le *data challenge* : une amélioration des performances d'un service de prédiction

Un concours de type *data challenge* va consister à mettre en compétition des *data scientists* pour la construction d'un modèle de prédiction sur une problématique et un jeu de données déterminé. Dans ce cas, le problème auquel les candidats sont confrontés est clairement défini, aussi, le travail est rarement organisé en équipes, et ce sont souvent des candidats individuels qui concourent.

Au niveau agricole, nous pouvons mentionner le « Crop Data Challenge 2018 : Prédiction des rendements agricoles », co-organisé par l'Institut de convergence CLAND et le réseau Science des données et Modélisation pour l'Agriculture et l'Agroalimentaire (www.modelia.org). Il s'agit d'un concours de *data science* visant à comparer les performances de méthodes statistiques et d'apprentissage automatique pour prédire les rendements agricoles (blé et maïs) à l'échelle départementale en France, à partir notamment d'indicateurs météorologiques, mais aussi à promouvoir les échanges de connaissances autour des méthodes de prédiction pour l'enseignement et les applications agricoles. Par ailleurs, le « Global Wheat HEAD deTectioN Challenge » avec ses deux éditions (2020 et 2021) visait à résoudre la problématique de la détection des épis de blé à partir d'images de terrain, en créant une intelligence artificielle par apprentissage profond (<https://www.hdigitag.fr/fr/data-scientists-participez-au-global-wheat-head-detection-challenge-kaggle>). Il était organisé par UMT CAPTE (INRAE, Arvalis...), et soutenu par #DigitAg et des partenaires internationaux.

Après avoir décrit le principe de ces trois grands types d'évènement, nous allons désormais donner plus d'information sur la mise en œuvre du dispositif de *hackathon* au travers de l'expérience du « HackTaFerme ».

L'EXEMPLE DU « HACKTAFERME » : UN HACKATHON AU PLUS PRÈS DES AGRICULTEURS

Nous allons illustrer le principe, le déroulement, sur deux éditions du « HackTaFerme » (www.hacktaferme.fr) qui nous semblent les plus abouties. L'édition de 2019 dans le Gers était de son côté sans thématique fixée alors que celle de 2021 dans la Drôme, organisée dans le cadre du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique

était thématique en visant à mettre la donnée agro-climatique au service de la prévision et de la gestion agricole de crise.

Principe du « HackTaFerme »

Le principe du « HackTaFerme » est d'organiser un *hackathon*, c'est-à-dire un concours de création d'applications informatiques en un temps limité (48 h), en organisant directement l'évènement dans l'univers du monde agricole, pour être au plus près des agriculteurs, lors des différentes phases de l'évènement.

Ainsi, cet évènement, s'il dure 48 h, s'accompagne également d'un important travail à différentes phases, depuis la préparation en amont à la valorisation post-évènement, que nous allons détailler par la suite.

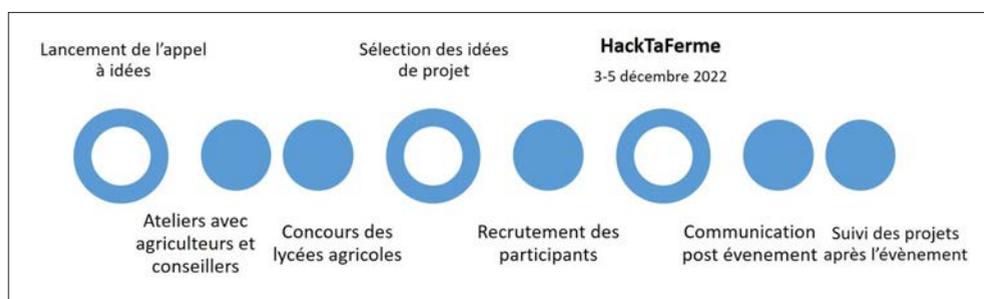


Figure 1 : Travaux préparatoires et phase post-évènement du « HackTaFerme » du Varenne de l'eau (Source : Acta).

Préparation : phase d'émergence des idées de projet

Si l'évènement du *hackathon* est concentré sur 48 h, la phase de préparation en amont du *hackathon* nous semble essentielle. En particulier, des efforts conséquents sont faits pour que l'évènement soit bien préparé en étroite liaison avec les agriculteurs et le monde agricole en général.

Sans entrer dans le détail, la logistique pour un tel évènement avec une cinquantaine de personnes est énorme et nécessite un gros travail de préparation pour assurer un déroulement en conditions optimales, des repas à la connexion Internet en passant par la mise à disposition des données.

Mais l'essentiel de la plus-value pour les projets de cette phase de préparation est à deux niveaux : la phase d'idéation, et le recrutement des profils diversifiés et de qualité.



Figure 2 : Le processus d'idéation repose sur quatre modalités complémentaires (Source : Acta).

Au niveau de la phase d'idéation, nous avons misé sur quatre dispositifs complémentaires :

- un appel à idées public, avec un formulaire dédié ;
- une animation sur les réseaux sociaux ;
- un concours d'idées à destination des élèves de BTS agricole ;
- des ateliers avec des agriculteurs et des techniciens sur la zone de l'évènement.



Un concours à destination des élèves en BTS Agricole a été organisé pour contribuer à faire émerger des idées d'applications informatiques sur la thématique de l'adaptation au changement climatique, et à impliquer les élèves, futurs agriculteurs et conseillers agricoles, à participer à cet évènement. Il s'agissait d'imaginer et de décrire un nouveau service informatique répondant à une problématique précise pour un utilisateur agriculteur ou conseiller sous la forme d'un poster mêlant textes et illustrations graphiques.

Figure 3 : Affiche du concours à destination des élèves en BTS Agricole lancé en amont du *hackathon* (20 octobre – 20 novembre 2021) : « Invente les applications pour gérer les risques climatiques pour le monde agricole » (Source : RMT www.modelia.org).

Par ailleurs, plusieurs ateliers ont été organisés par la Chambre d'agriculture de la Drôme de manière à recueillir les points de vue du terrain. Il s'agissait de s'intégrer à la démarche globale engagée par la Chambre d'agriculture de recensement des enjeux liés au changement climatique. Cela a pris la forme de rencontres par filière (arboriculture, viticulture, fourrage, PPAM...) avec les différents acteurs en présence sur le territoire. À la fin de ces réunions portant sur la globalité des problématiques, un zoom était fait pour poser la question de la place du numérique dans ces réponses. À titre d'exemple, on peut penser à la problématique de la lutte contre le gel en filière arboriculture, dans des contextes d'hiver doux. Cette situation a été expliquée, avec tous les enjeux de filières, techniques (luttés, sélection variétale...) et économiques. Des discussions est né le projet Frost, visant à optimiser l'utilisation des bougies antigel en ayant une meilleure connaissance des microclimats à l'échelle des parcelles.

On peut également penser aux problématiques en filières PPAM (pour plantes à parfum, aromatiques et médicinales), dans laquelle l'évolution du climat aura un impact certain sur la géographie de la production. De là est né le projet ADAPTAVIZ, qui se sert de données de prévisions climatiques, d'une part, et de données connues sur la physiologie des cultures pour bâtir des cartes simulant les zones d'implantation possible de ces cultures dans les années à venir, d'autre part. Cet outil pédagogique répond de fait à un besoin de pouvoir visualiser concrètement des prévisions climatiques parfois abstraites.

Évènement

L'évènement en lui-même s'est déroulé sur un temps limité à 48 heures, depuis les présentations (*pitches*) des idées de projet par les porteurs au jury.



Figure 4 : Déroulement du concours sur les 48 h (Source : Acta).

Au lancement, le *pitch* de chaque idée de projet vise à présenter l'idée de manière attractive afin d'attirer suffisamment de participants pour constituer une équipe autour du porteur. Puis, dès leur constitution, les équipes ont été installées dans la ferme expérimentale d'Étoile-sur-Rhône (26), où les attendaient 48 heures de travaux informatiques (ingénierie de projet, design, travaux sur les données et codage informatique).



Figure 5 : Illustrations des équipes à l'œuvre : *brainstorming*, codage, électronique et *coaching* (Source : Acta).

Au final, lors de cet évènement, les huit équipes ont chacune proposé un prototype fonctionnel :

- ADAPTAVIZ propose des pistes d'implantation de nouvelles cultures/espèces dans les territoires, dans une optique d'adaptation au changement climatique ;
- ALPHA évalue la pertinence des stratégies d'assolement *via* le suivi d'indicateurs agronomiques et climatiques ;
- CLIMATIPS permet l'anticipation des sinistres climatiques et l'analyse des pertes de rendements pour faciliter la gestion du risque climatique par les agriculteurs ;
- FLORAL quantifie l'exposition au gel ainsi que le risque lié à cette exposition en fonction du stade phénologique observé sur la parcelle ;
- FROST propose une gestion multi-performante des bougies antigel au moyen d'une cartographie en temps réel de la température des parcelles ;
- IFECHO quantifie la charge de stress thermique subi par les animaux ;
- NO STRESS quantifie l'évolution du stress thermique sur les parcelles au moyen de techniques de télédétection ;
- STRATÉ-VIZ compare différents scénarios d'adaptation des itinéraires techniques au changement climatique sur la base de critères technico-économiques, environnementaux et sanitaires.

Finalement, le jury, constitué de plusieurs représentants des agriculteurs, a retenu trois lauréats : CLIMATIPS, IFECHO et STRATÉ-VIZ, qui ont été récompensés avec une enveloppe totale de 8 500 euros, somme visant à être attractive pour faire venir les meilleurs développeurs au sein du monde agricole.

Accompagnement post-projet

Après chaque « HackTaFerme », une attention particulière est faite à l'accompagnement post-évènement des projets ayant concouru, lauréats ou non lauréats. À la suite du *hackathon* du Varenne de l'eau, nous sommes à ce jour encore en plein dans cette phase d'accompagnement. Dans les deux mois après l'évènement, un point complet avec chaque équipe a été fait pour voir avec chacun les vellétés de poursuivre et sous quelle forme. Puis un accompagnement personnalisé s'est fait pour chaque projet désirant aller plus loin.

Si pour l'édition 2021, il est encore trop tôt pour voir le bilan de ce côté-là, nous pouvons prendre trois exemples de transformation de prototypes issus de *hackathon* en un service véritable.

À la suite de l'édition du « HackTaFerme » de 2019, les porteurs du projet ASSOLIA ont fondé une société par actions simplifiées pour continuer leur projet (www.assolia.com). Incubée par Nubbo (Toulouse), la société a noué un partenariat avec Arterris (partenaire du *hackathon* de 2019) et elle offre un service opérationnel dès 2022. Cet outil vise à aider l'agriculteur à raisonner son assolement, c'est-à-dire la répartition et la rotation des différentes cultures sur son exploitation.

À la suite de l'édition du « HackTaFerme » de 2018, l'entreprise Wizifarm, qui avait proposé le prototype « Petits comptes entre agris » et constituait une équipe autour de celui-ci, a intégré dès 2019 ce service permettant l'entraide entre agriculteurs sur un concept d'échange de matériel dans ses applications diffusées (<https://wizi.farm/products/petits-comptes-entre-agris>).

À la suite de l'édition du « DigitAgChallenge » en 2017, le projet PulvEco a donné lieu à un outil interactif (www.pulveco.fr) pour comparer la qualité de pulvérisation obtenue sur vignes gérées par l'IFV, Institut technique de la vigne.

La communication

Au-delà de l'objectif de co-innovation, ces événements ont clairement un objectif de communication. En montrant que l'on peut faire venir des développeurs sur les exploitations pour élaborer en 48 h des prototypes fonctionnels convaincants, il s'agit de démontrer au monde agricole et aux agriculteurs que l'innovation numérique est accessible, qu'il est possible d'amener une première démonstration de valeur répondant à des besoins exprimés par des agriculteurs avec des moyens limités (deux jours de travail à cinq ou six personnes). Mais il s'agit également de montrer au monde de l'informatique et des sciences des données que les enjeux et les questions agricoles sont riches et passionnants, ce qui permet d'attirer ces talents très recherchés vers ce secteur.

Dans le cas des éditions 2018 et 2019, la communication était davantage au service du partenariat local, Chambres d'agriculture et coopératives, et des instituts techniques. Alors que pour l'édition 2021, la communication de l'événement commandité par le ministère chargé de l'Agriculture était plus en appui de la politique publique dans le cadre du Varenne agricole de l'eau et du changement climatique.

Après avoir présenté une typologie des événements et des illustrations concrètes récentes, nous souhaitons montrer qu'un point de vue de sociologie de l'innovation (Akrich *et al.*, 1988) peut contribuer à éclairer d'une manière originale le développement conjoint de l'agriculture numérique et d'événements de type *hackathon*.

À QUOI TIENT LE SUCCÈS DES HACKATHONS EN AGRICULTURE POUR L'INNOVATION AUTOUR DES DONNÉES ?

L'implication des agriculteurs : une condition de réussite des événements

Une première question, au croisement des spécificités des événements identifiés précédemment et des débats sur l'innovation responsable dans l'agriculture numérique (Bronson, 2019), est la suivante : comment comprendre et faire aboutir la recherche persistante de la bonne représentation des agriculteurs ?

Pour apporter des réponses, revenons au début de l'été 2017. Un événement, le « DigitAg Challenge », est organisé à Montpellier. Ce *hackathon* succède lui-même à un atelier d'imagination créative, « ImagineAgr », organisé au ministère chargé de l'Agriculture le 21 mars 2017. Cet atelier avait permis de faire exprimer dans des groupes de travail des besoins et des idées qui seront repris dans le « DigitAg Challenge ». Si le monde agricole devait être représenté dans ces groupes de travail qui ont, entre autres objectifs, servi de préparation au « DigitAg Challenge », la voix des agriculteurs eux-mêmes est principalement entendue par l'intermédiaire de leurs représentants au sein des organisations professionnelles. La mobilisation des pôles de compétitivité afin d'avoir un impact national est néanmoins notable et s'est traduite par l'organisation des demi-finales du *hackathon* en régions *via* différents pôles de compétitivité sur leur territoire. Dans certains événements, nous pouvons alors constater que, dans l'organisation en amont, la voix, les besoins et la figure des agriculteurs sont parfois principalement entendus par le biais de leurs représentants au sein des organisations professionnelles. L'ancrage territorial par différents corps intermédiaires, comme les pôles, se révèle être la variable distinctive.

Cet état de fait, qui dépasse le « DigitAg Challenge », suscite chez de nombreux acteurs publics et de la R&D une insatisfaction. Les « HackTaFerme » relèvent en réaction d'une organisation différente. En 2018, un premier « HackTaFerme » est organisé autour de

Châlons-en-Champagne par l'Acta – les instituts techniques agricoles en partenariat avec la plateforme API-AGRO et Terrasolis (le pôle d'innovation du Grand Est). Pour cette première édition, trois fermes accueillent les participants durant 48 heures. Pour l'édition 2019 dans le Gers, le partenariat local implique les groupes coopératifs Arterris et Val de Gascogne et les Chambres d'agriculture d'Occitanie et du Gers. L'édition 2021 en lien avec le Varenne de l'eau s'inscrit dans la même lignée, avec cette fois-ci la Chambre d'agriculture de la Drôme comme partenaire local. Le renforcement de l'implication de ces partenaires représente un élargissement d'une démarche d'innovation numérique participative promue par le « HackTaFerme ». La matérialisation principale de cette implication est l'organisation d'ateliers-agriculteurs en préparation du *hackathon*. Les agriculteurs et les conseillers agricoles participant aux ateliers préparatoires ne sont pas seulement les futurs hôtes de l'évènement. Les groupes coopératifs et les Chambres ont cherché à rassembler des agriculteurs intéressés par les questions numériques, et éventuellement motivés pour partager leurs données de production.

Une leçon du passage par ces ateliers est la suivante : ils ne permettent pas toujours de construire une chaîne directe de l'émission d'une idée par les agriculteurs à sa concrétisation. Cependant, le travail collectif avec les acteurs impliqués dans le processus permet, par la préparation et la reformulation des idées, d'en opérationnaliser certaines dont les agriculteurs pourront retrouver l'écho au cours du *hackathon*. Concrètement, les premières idées glanées auprès des agriculteurs sont retravaillées par Arterris et l'Acta, et impliquent parfois l'appel à d'autres partenaires. Certaines de ces idées sont parfois croisées entre elles à un moment de la réflexion en amont du *hackathon*. Par exemple, pour faire avancer un projet de saisie de données par commande vocale pour améliorer la traçabilité, Arterris suggère de contacter un autre partenaire, Orange. Le regroupement avec un autre projet de casquette connectée est aussi proposé. *In fine*, l'exploitante à l'origine de l'idée de saisie par commande vocale accueille le travail de l'équipe qui porte le projet de casquette Vizi-R, dans son exploitation, le temps du *hackathon*. Et elle participera activement à l'élaboration du *pitch* final. Le lien avec les agriculteurs n'est pas si direct qu'on le pense intuitivement. Pour résumer, la promesse d'impliquer directement les agriculteurs dans le processus d'innovation est principalement réalisée de façon concrète avec la constitution de partenariats, toujours renouvelés, comme avec les Chambres ou les coopératives.

Le travail concret et le matériel autour des données dans un processus multiple de démonstration de l'innovation

Comment mesurer leur portée ? Notre approche propose de ralentir le pas et d'observer l'importance de la mise à l'épreuve par le travail pratique. Nous suggérons de porter une attention au rôle des médiations et dispositifs comme les *pitchs*, les prototypes ou la preuve de concept (Delvenne et Macq, 2019). En prise avec leurs conditions de mobilisation, nous pouvons prendre la mesure de la dynamique propre de la valorisation des données et de démonstration de l'innovation (Rosental, 2013).

Pour commencer, il y a les *pitchs* si emblématiques, ces oraux d'évaluation en fin d'évènement. Dans le « DigitAg Challenge », les équipes sélectionnées à l'issue des demi-finales doivent présenter un *pitch* de 6 minutes, avec 3 minutes de questions. Une structure narrative émerge des *pitchs* avec comme séquences incontournables l'automatisation par les données, la description de l'application (mobile ou *web*), la comparaison avec l'existant et une histoire en lien avec le monde agricole. Lors de la remise des prix, la présidente du jury, directrice d'un pôle de compétitivité, insiste cependant sur certains aspects précis : « Le dénominateur commun des membres du jury, c'est une bonne connaissance du milieu de l'entreprise et de l'innovation ». Selon elle, il ne suffit pas de construire « une plateforme qui fait beaucoup de choses », il faut « du projet, du produit, un service ». Le *pitch*

semble à première vue consacrer une orientation très *business* du *hackathon* par une démonstration structurée du projet d'innovation.

Le cas du « HackTaFerme » permet d'enrichir le tableau. Le déroulement de l'évènement est proche, avec des *pitchs* comme épreuve. Si on se concentre sur le concours « application » et son règlement, nous retrouvons de nombreuses similarités avec les fonctionnements des autres jurys. Il y a néanmoins une insistance sur la nécessité qu'il y ait une démonstration des fonctionnalités de l'application codée lors des 48 h. Cette démonstration autre par rapport à l'exemple précédent est importante pour que le jury se fasse un avis, mais aussi en post-évènement pour valoriser les projets. Concrètement, il est clairement énoncé dans le règlement que les démonstrations d'applications doivent inclure une composante « informatique » (développement ou code), et non seulement une dimension « conceptuelle » ou narrative. Avec l'exercice économique et narratif de démonstration de l'innovation, il faut donc considérer la dimension pédagogique proprement portée sur les données et orientée vers l'extérieur. Selon l'identité des organisateurs, cet extérieur à atteindre peut être les agriculteurs à sensibiliser aux enjeux des données, mais aussi des informaticiens à sensibiliser à l'agriculture.

Pour revenir aux données, un certain nombre de médiations sont mobilisées pour s'assurer de la mise en visibilité de ces données. Pour certains *hackathons*, dont le « HackTaFerme », le travail sur le potentiel commercial avec des coachs *business* n'est pas aussi central que dans d'autres *hackathons*. Les démonstrations, sur la forme, doivent être des prototypes et éventuellement ressembler à des preuves de concept ou à des cas d'usage, ce qui relève souvent d'exigences orientées vers le travail de code. Le travail sur ces prototypes, dont la vertu est fortement promue dans un *hackathon* de la plateforme API-AGRO, doit être le plus concret possible. Ces prototypes sont associés à des objets standardisés de développement de produits : les produits minimums viables (PMV). Il ressort alors que les *hackathons* se distinguent autour de la façon dont ces PMV, les prototypes et les preuves de concept, sont plus ou moins utilisés.

CONCLUSION

Les *hackathons* constituent un type d'évènement largement mobilisé par l'écosystème de l'agriculture numérique, conjointement avec *start-up week-end* et *data challenge*, depuis quelques années. Mais, derrière l'étiquette *hackathon*, nous pouvons constater une diversité de mise en œuvre de ces événements avec notamment un gradient, depuis des événements misant plutôt sur la démonstration de l'intérêt et du modèle économique, et ainsi se rapprochant du *start-up week-end*, à des événements misant sur des travaux concrets autour des données et de l'élaboration d'un prototype informatique fonctionnel.

Dans tous les cas, pour favoriser l'adéquation entre production et attentes du monde agricole, il semble primordial de penser ces événements pour impliquer au maximum des agriculteurs ou encore des conseillers agricoles dans leur réalisation, dès la phase de préparation (phase d'idéation), mais aussi lors de la réalisation. En organisant les *hackathons* directement sur des exploitations agricoles, en lien fort avec des coopératives et des Chambres d'agriculture, le dispositif du « HackTaFerme » semble un bon moyen pour cela.

Si ces *hackathons* ont accompagné l'émergence de l'agriculture numérique ces dernières années en favorisant un processus de co-innovation, nous pouvons également nous poser la question de la suite. En effet, en fonction de la maturité des problématiques, nous pourrions nous attendre désormais à voir apparaître davantage d'évènements de type *data challenge* qui, sur une problématique bien définie, visent à améliorer des solutions existantes en optimisant leurs performances, en valorisant les données massives et en misant sur la participation en masse de *data scientists*.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Nelson NOUMBISSI (Acta), qui a œuvré à la dernière édition 2021 du « HackTaFerme », ainsi que toutes les personnes impliquées dans l'organisation des différentes éditions, qui sont des événements demandant une forte organisation. Nous remercions également tous les partenaires des différents « HackTaFerme » : les coopératives et Chambres d'agriculture, ainsi que les différents *sponsors* et soutiens. Enfin, nous remercions l'ensemble des participants qui nous ont fait confiance en venant à la ferme pour concourir à ces *hackathons*.

BIBLIOGRAPHIE

AKRICH M. *et al.* (1988), « À quoi tient le succès des innovations ? 1 : l'art de l'intéressement », *Gérer & Comprendre - Annales des Mines*, n°11, juin, pp. 4-17.

BRONSON K. (2019), "Looking through a responsible innovation lens at uneven engagements with digital farming", *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*.

DELVENNE P. & MACQ H. (2020), "Breaking bad with the participatory turn? Accelerating time and intensifying value in participatory experiments", *Science as Culture*, 29(2), pp. 245-268.

MARLOW J. (2013), "Why do we hackathon?", <https://www.wired.com/2013/03/why-do-we-hackathon>

ROSENTAL C. (2013), "Toward a sociology of public demonstrations", *Sociological Theory*, 31(4), pp. 343-365, <https://doi.org/10.1177/0735275113513454>

Le mobilab AgroTIC pour aller à la rencontre des agriculteurs

Par Bruno TISSEYRE et Simon MOINARD
UMR ITAP, Institut Agro Montpellier, INRAE

Introduit par le MIT en 2014, le concept du “*High-Low Tech*” concerne des innovations de nouvelles technologies à faible coût pouvant être réalisées en auto-construction. Leur prix accessible et leur utilité suscite un intérêt fort en agriculture, mais elles nécessitent certaines compétences qui ne sont pas assimilées aujourd’hui par le monde agricole.

Afin de vulgariser cet environnement auprès du secteur de l’agriculture, l’Institut Agro Montpellier a mis en place le mobilab AgroTIC, un dispositif mobile permettant de se déplacer chez les agriculteurs pour leur présenter toute la diversité des outils numériques *High-Low Tech*. Les animations du mobilab AgroTIC font émerger des besoins concrets de la part des agriculteurs, et les projets montés à la suite de ces besoins permettent d’alimenter des questions scientifiques et d’enseignements. La dynamique intéresse également les entreprises, qui y voient un moyen de sonder les agriculteurs sur la question du numérique.

INTRODUCTION

L’agriculture est certainement un secteur où l’adaptation, la création et le reconditionnement des équipements font partie intégrante du quotidien des professionnels. À notre connaissance, il existe peu d’études sur ce sujet (Franco *et al.*, 2020), mais la visite d’une exploitation agricole, quelle qu’elle soit, permet souvent d’identifier une adaptation ou un détournement d’équipements. La Figure 1 montre par exemple un système auto-fabriqués à partir de palettes et de roulettes, pour faciliter la manutention et le rangement des équipements agricoles remisés dans le hangar d’un domaine viticole. Cette culture du “*do it yourself*” (faire par soi-même) s’explique certainement par la présence d’un atelier de réparation et d’entretien équipé (avec poste à souder, établi, etc.) dans beaucoup d’exploitations agricoles, mais aussi par les périodes propices à la création et à l’adaptation d’équipements telles que l’arrêt de travail forcé dû aux caprices de la météorologie ou la saisonnalité des travaux pour certaines productions. Un autre facteur important est certainement le caractère unique de chaque exploitation agricole : en effet, l’organisation de ses bâtiments, le morcellement ou la forme des parcelles, le contexte pédologique (sols) et climatique, etc. y sont uniques, ce qui peut conduire à adapter à ces spécificités des équipements conçus de manière standardisée. En se référant aux travaux de Rechenberger *et al.* (2015), nous établissons que les motivations des agriculteurs ou des salariés agricoles pour adapter les biens et équipements sont de deux types (non exclusifs) : purement égoïstes – améliorer son cadre de travail, réduire la pénibilité de son travail, etc. – et/ou altruistes – exister auprès de ses pairs par ses propositions et sa capacité créative.



Figure 1. Illustration d'un système auto-fabriqué à partir de palettes et de roulettes.

Dans ce contexte, l'émergence du *High-Low Tech* (MIT, 2014) constitue une opportunité évidente pour l'agriculture. En effet, en permettant le développement de capteurs ou de systèmes automatiques simples et auto-construits, le *High-Low Tech* s'inscrit dans une continuité de pratiques habituelles pour beaucoup d'agriculteurs et de salariés agricoles. Pour ces derniers, c'est ainsi une possibilité de concevoir des outils numériques simples et maîtrisés, susceptibles d'améliorer leur quotidien et la pénibilité de certaines tâches (motivation égoïste), mais aussi de consolider un réseau de partage et d'échange (motivation altruiste).

Pour former les non-initiés à ces compétences nouvelles, des lieux ouverts de fabrication et de co-construction appelés *fablabs* (Fonrouge, 2018) ont été instaurés, et 400 lieux couvrent désormais le territoire français. La difficulté principale pour que le secteur agricole s'empare de cet élan d'innovation réside dans le fait que ces lieux sont principalement situés en milieux urbains.

LE MOBILAB AGROTIC : UN *FABLAB* SE DÉPLAÇANT AU PLUS PRÈS DES AGRICULTEURS

Fort de ce constat, l'Institut Agro Montpellier a conçu le mobilab AgroTIC : un outil permettant d'aller au contact de la profession agricole afin de vulgariser et de former ces acteurs à ces nouvelles technologies, habituellement réservées aux utilisateurs des *fablabs*. Le mobilab AgroTIC a été initié en 2019, et est porté par le collectif d'entreprises membres de la chaire d'entreprise AgroTIC ainsi que du projet territoire d'innovation (PIA) Occitanum (Occitanie agriculture numérique), dédié au numérique pour accélérer la mise en place de l'agriculture de demain en Occitanie. La Figure 2 montre le mobilab AgroTIC dans sa première version : il se compose d'une desserte d'atelier permettant de mettre à disposition du public une grande diversité de capteurs, systèmes de réseaux de capteurs et autres objets connectés à bas coût achetés sur Internet. Une veille constante sur les nouvelles technologies permet de mettre à jour les composants de cette « boîte à outils ».



Figure 2. Illustration d'une animation de vulgarisation du mobilab AgroTIC auprès d'agriculteurs.

Les animations proposées par le mobilab AgroTIC sont de deux types. Des animations de vulgarisation, dont l'objectif est de présenter différentes technologies numériques, leur fonctionnement ainsi que leurs applications possibles

Des démonstrations de chaînes de mesure « pré-conçues » sont ensuite réalisées. En fonction du public, de la demande et des filières de production, une grande variété de démonstrations est disponible ce qui facilite l'intérêt et l'interaction avec les professionnels. Ces démonstrations sont conçues pour que les agriculteurs puissent interagir en s'amusant. Ils peuvent par exemple manipuler des capteurs de présence, de distance, d'humidité, etc. Ces démonstrations visent à favoriser l'acculturation et à faire émerger de nouveaux usages de ces systèmes dans les exploitations agricoles des agriculteurs. Ces démonstrations permettent aussi de faire comprendre concrètement comment ces technologies fonctionnent, quels sont leurs potentiels et leurs limites, et visent à lever les éventuelles appréhensions. Ces animations de démystification et d'acculturation au numérique durent entre 15 minutes et 1 heure, et concernent l'ensemble des acteurs agricoles : les agriculteurs, les salariés agricoles, les conseillers, les techniciens, les formateurs, etc. Pour des raisons logistiques de déplacement, ces animations de vulgarisation sont aujourd'hui limitées à la région Occitanie.

Des ateliers de co-construction réalisés avec des agriculteurs « clés », identifiés lors des séances d'animation de vulgarisation, qui sont prêts à construire un outil *High-Low Tech* simple répondant à un de leurs besoins

Ces ateliers permettent d'aider à développer un outil fonctionnel avec un petit groupe d'agriculteurs ou de techniciens, avec l'outillage présent dans le mobilab AgroTIC : soudure, assemblage, imprimante 3D, etc. L'objectif est également de créer et d'animer un groupe fédéré d'agriculteurs, et de proposer des améliorations ou de nouveaux projets dans un processus itératif. Chaque mois, ce groupe se réunit pour construire et discuter

des possibles améliorations du système initialement développé. Le lieu de réunion est mis à disposition par des acteurs associés au projet Occitanum, et les tutoriels de construction sont en accès libre.

EXEMPLES DE PROJETS ISSUS DU MOBILAB AGROTIC

Plusieurs projets ont ainsi été mis au point dans le cadre du mobilab AgroTIC.

CoupDePouce

CoupDePouce est un système automatique d'activation de machines *via* l'envoi d'un SMS. Sur la Figure 3, CoupDePouce vise à faciliter l'allumage d'une pompe d'irrigation depuis une parcelle agricole, et permet ainsi de faire gagner du temps à l'agriculteur en lui évitant un aller-retour entre la parcelle et la pompe, cette dernière pouvant parfois être éloignée de plusieurs kilomètres. CoupDePouce est un servo-moteur (barette blanche), visible sur la Figure 3 ci-dessous, qui va tourner à la suite de l'envoi d'un message spécifique pour appuyer sur le bouton d'allumage de la pompe. Ce système coûte moins de 50 € (ainsi qu'un forfait de 2 €/mois) et permet de faire gagner environ 1 heure par jour à l'agriculteur. Il est désormais en cours de construction chez plusieurs agriculteurs.

PillowTech

PillowTech est un capteur d'humidité de sol installé à la parcelle (voir la Figure 4 ci-dessous). Il sert à détecter lorsque l'irrigation gravitaire atteint le bas de la parcelle, afin de savoir quand couper l'irrigation de ce secteur. Comme ce capteur permet également de connaître le taux d'humidité du sol, il est envisagé de l'utiliser pour une optimisation du pilotage de l'irrigation. Le capteur coûte 20 € et le gain de temps est considérable, notamment lorsqu'il est déployé sur l'ensemble de l'exploitation (ce qui est envisageable vu le faible coût du système).



Figure 3. Illustration du projet CoupDePouce.



Figure 4. Illustration d'un PillowTech : un flotteur est positionné au niveau de la terre.

L'Agrocam

L'Agrocam est un projet issu du besoin d'un agriculteur qui possède une parcelle particulièrement éloignée de son domaine. L'Agrocam est un système de surveillance de la vigne, qui s'installe sur un piquet de palissage du vignoble (Figure 5) et envoie une image par jour de la vigne au viticulteur. Ce dispositif permet de réaliser un suivi temporel de l'évolution de la parcelle : feuillage, stades phénologiques, travail du sol, enherbement, etc. L'Agrocam facilite le tour de plaine, puisque le viticulteur pourra se rendre sur la



parcelle si ce qu'il constate sur l'image pose question. La construction d'une Agrocams coûte 100 € et un abonnement 4G est nécessaire. Afin d'éviter les salissures liées aux traitements (biologiques ou conventionnels), l'objectif de l'Agrocams est muni d'un couvercle protecteur qui s'ouvre uniquement le temps de la prise d'une image.

Figure 5. Illustration de l'Agrocams positionné le long d'un piquet de palissage.

D'autres projets ont été initiés à la suite du passage du mobilab AgroTIC : un capteur de végétation mesurant un indice foliaire de feuillage des vignes, un détecteur installé sur un engin agricole permettant de compter et localiser les ceps de vigne manquants dans une parcelle, un réseau de capteurs de température permettant de suivre des épisodes de gel dans des vergers, un capteur de mesure automatique de hauteur de blé, etc. Cette diversité de projets met en évidence l'intérêt des professionnels pour imaginer des projets adaptés à leur(s) besoin(s), ainsi que l'intérêt du mobilab AgroTIC pour faire émerger ces idées créatives au plus près des professionnels de l'agriculture, pratiquement sur leur lieu de travail.

LE MOBILAB AGROTIC : UN CONTINUUM ENTRE L'ENSEIGNEMENT, LA RECHERCHE ET LES ENTREPRISES

Les projets listés ci-dessus et issus du mobilab AgroTIC ne sont pas seulement utiles aux agriculteurs, ils permettent également d'alimenter plusieurs axes de travail de l'Institut Agro Montpellier.

En effet, étant animés par une équipe associée à l'enseignement supérieur et la recherche, ces projets d'innovation permettent tout d'abord d'alimenter une veille constante sur les nouvelles technologies et les nouvelles dynamiques collaboratives, comme le projet Centipede RTK (Ancelin, 2022 ; INRAE, 2019), qui permet à quiconque de bénéficier d'une précision centimétrique pour des besoins tels que l'autoguidage des tracteurs. Le mobilab AgroTIC participe à la diffusion de ce projet. Tous ces travaux posent des questions scientifiques importantes sur l'évolution du numérique appliquée à l'agriculture, et certaines réalisations sont valorisées dans des articles scientifiques : l'Agrocams (Brunel *et al.*, 2021), le capteur de végétation d'indice foliaire (Moinard *et al.*, 2021), le capteur de hauteur de blé (Montazeaud *et al.*, 2021), ou encore le test de réseau bas débit (Brunel *et al.*, 2021).

Les projets issus du mobilab AgroTIC sont fédérateurs et intéressent un grand nombre d'étudiants, notamment les étudiants ingénieurs agronomes de l'Institut Agro Montpellier. Dans ce cadre, certains projets du mobilab AgroTIC sont intégrés à l'enseignement sous forme de pédagogie par projet, en particulier sur la formation aux capteurs et aux réseaux de capteurs. De même, un module d'enseignement de l'Institut Agro Montpellier nommé « Projet d'innovation technique » permet aux étudiants de développer pendant deux semaines un projet d'entreprise initié par le mobilab AgroTIC : en plus de l'étude de la faisabilité technique, les étudiants étudient l'aspect économique (*business model*, étude de marché, etc.).

Au-delà de la filière agricole, de l'enseignement ou de la recherche, le mobilab AgroTIC est une véritable occasion pour les entreprises actrices de l'agriculture et du numérique en agriculture : elles peuvent ainsi suivre les discussions issues des animations du mobilab AgroTIC à travers une synthèse des échanges, afin d'identifier plus facilement les besoins

concrets du monde agricole et les potentielles idées d'intérêt, pour envisager l'émergence de futurs services. De plus, *via* la vulgarisation faite aux agriculteurs, ces entreprises se retrouvent face à des utilisateurs aguerris, ce qui permet d'amorcer des discussions plus constructives autour des services numériques.

CONCLUSION

En apportant des ateliers et des animations sur le thème du numérique au plus près des agriculteurs, le mobilab AgroTIC permet d'amorcer une dynamique intéressante motivée par une demande forte des acteurs de terrain (agriculteurs et techniciens). Le projet montre que la dynamique impulsée s'inscrit bien dans une habitude de création et de conception d'équipements qui fait partie intégrante de l'agriculture. Le projet est aujourd'hui fortement soutenu par une chaire d'entreprises et le projet Occitanum. L'extension de cette expérience à d'autres régions de France est naturellement un enjeu. Il est probable que le mobilab AgroTIC soit en train de faire émerger un nouveau métier d'animation territoriale en agriculture, et le passage à une échelle plus large dépendra nécessairement du modèle économique pour ce type d'action. Ce modèle sera nécessairement à construire/co-construire avec les acteurs agricoles déjà présents dans les territoires agricoles (coopératives d'utilisation du matériel agricole, coopératives, etc.).

RÉFÉRENCES

- ANCELIN J., POULAIN S. & PENEAU S. (2022), « jancelin/centipede: 1.0 », Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5814960>
- BRUNEL G., MOINARD S., DUCANCHEZ A., CRESTEY Th., PICHON L. & TISSEYRE B. (2021), "Empirical mapping for evaluating an LPWAN (LoRa) wireless network sensor prior to installation in a vineyard", *OENO One*, <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.3102>
- BRUNEL G., MOINARD S., PICHON L. & TISSEYRE B. (2021), "Potential of time series of VIS images from connected static camera for decision support in vineyard", *Precision agriculture '21*, https://doi.org/10.3920/978-90-8686-916-9_98
- FONROUGE C. (2018), « Les fablabs et l'émergence de figures alternatives de l'entrepreneur », *Projectics*, n°19, <https://doi.org/10.3917/proj.019.0041>
- FRANCO W., BARBERA F., BARTOLUCCI L., FELIZIA T. & FOCANTI F. (2020), "Developing intermediate machines for high-land agriculture", *Development Engineering*, 5, <https://doi.org/10.1016/j.deveng.2020.100050>
- INRAE (2019), « Le réseau Centipede RTK - Centipede RTK », consulté le 3 mai 2022, <https://docs.centipede.fr/>
- MIT (2014), *High-Low Tech*, consulté le 3 mai 2022, <https://highlowtech.org/>
- MOINARDS., BRUNEL G., DUCANCHEZA., CRESTEYTH., ROUSSEAU J. & TISSEYRE B. (2021), "Testing the potential of a new low-cost multispectral sensor for decision support in agriculture", *Precision agriculture '21*, https://doi.org/10.3920/978-90-8686-916-9_49
- MONTAZEAUD G., LANGRUME CH., MOINARD S., GOBY C., DUCANCHEZ A., TISSEYRE B. & BRUNEL G. (2021), "Development of a low-cost open-source ultrasonic device for plant height measurements", *Smart Agricultural Technology*, 1, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100022>
- RECHENBERGER T., JUNG V., SCHMIDT N. & ROSENKRANZ CH. (2015), "Utilizing the crowd – A literature review on factors influencing crowdsourcing initiative success", PACIS 2015 *Proceedings*, <https://aisel.aisnet.org/pacis2015/250>

Global adoption of digital agriculture

By **Simon COOK**,
College of Science, Health, Education and Engineering (SHEE),
Murdoch University

Elizabeth JACKSON
Curtin University

& **Davide CAMMARANO**
Aarhus University, Dept. of Agroecology, iClimate,
Centre for Circular Bioeconomy (CBIO)

The term “digital agriculture” inspires excitement, confusion, and skepticism amongst investors and scientists alike. Rapid growth in the use of digital technology in agriculture seems inevitable, if only because adoption in food systems must, at some stage, accelerate simply to match that of other sectors. But how is this adoption occurring globally? This short paper explains the contrasting forms digital agriculture is likely to take in four types of systems that are based on: Commodities; high-value product; subsistence farming; and nature-based solutions.

INTRODUCTION: DIGITAL AGRICULTURE – WHAT DOES IT SIGNIFY?

The term “digital agriculture” instigates equal measures of excitement, confusion, and skepticism amongst investors and scientists alike. It is a new term, appearing only since about 2015, and we understand it as the “use of detailed digital information to guide decisions along the agricultural value chain” (Shepherd *et al.*, 2020). The term Agriculture 4.0 is also used by some to portray a system revolutionized by digital technology in the same way that digital technology has totally transformed many sectors of our economic and social life (Trendov, Varas & Zeng, 2019). Reports from the McKinsey consultancy, however, suggest that agriculture is lagging the least digitized sector of those economies (Manyika *et al.*, 2015; Blackburn *et al.*, 2017).

Rapid growth in the use of digital technology seems inevitable, if only because agriculture must, at some stage, accelerate adoption simply to match that of other sectors. Readers who search the Internet will find an impressive array of technologies to support adoption, at different entry point of the food system. Further investigation will reveal that many organizations, including the World Bank and FAO, see digital technologies as vital to agricultural development to meet future demand (FAO, 2022; S. E. Cook and Jackson, 2019; World Bank, 2021). Economic analysis from Australia anticipates an additional \$20B annually in agriculture there though the adoption of digital technology over the next few years (Australian Farm Institute, 2018).

But what pathways will adoption follow, and how will these appear in vastly different systems that comprise global agriculture? While blind optimism, of the type we read from some commercial proponents, seems unhelpful, so too is blanket pessimism. We

therefore consider four different types of food system (commodity, high-value, subsistence and nature-based) to identify the contrasting forms that digital agriculture is likely to be adopted within a global wave of digital technology growth.

DIGITAL AGRICULTURE OFFERS A SUBSTANTIAL PORTFOLIO OF TECHNOLOGIES

A casual search for digital agriculture will reveal a substantial portfolio of technologies on offer to agriculture. While some of these are basically 'rebranded' from precision agriculture (PA), we note that digital agriculture is actually quite different in scope to PA (Baker *et al.*, 2021; S. Cook *et al.*, 2021). While some technologies, such as satellite remote sensing have been repurposed for new uses, others, such as robotics, value chain modelling, blockchain, or the 'omics' are new in agricultural practice. So too are many of the ways in which technology is applied, in particular a shift from a focus on production to much broader applications within food systems.

To make sense of these changes, we suggest that readers consider four aspects of the adoption of digital agriculture to anticipate change:

- Think where digital agriculture will operate within food systems, because change occurs in different locations within these systems, depending on the relative value of change and ease of technology use;
- Consider the range of digital technologies that is available or emerging, because many are new to agriculture and their use is likely to grow with experience;
- Identify how technology is expected to create value, because the process of adoption is driven by value creation;
- And finally consider who will benefit from the IP, because sustained adoption is supported by value sharing amongst partners who enable endogenous change of the system.

Where will digital agriculture operate within food systems?

While PA focusses on production gains, through precision management of variable production systems, digital agriculture targets gains at loci throughout food systems, largely within value chains. About half of the investments in digital agriculture occurs downstream from the farmgate, and seek opportunities to acquire value through responses to consumer demand (Burwood-Taylor *et al.*, 2021). Other applications of digital agriculture are growing to support management of soil, water, and other natural capitals. Yet, there are others that are being used to support financial and systemic support. We found it useful to consider change in four domains: production domain; market domain; capitals; and control (S. Cook *et al.*, 2021).

What range of digital technologies is available?

A cursory search on the Internet reveals the deployment of a bewildering array of technology, much wider than that associated with PA. We find it useful to organize these technologies into four classes – data; control; modelling; and comms [see Table 1]. Together substantially expanded the power and reach of digital technologies throughout food systems.

<p style="text-align: center;">Data (D): Cheap and plentiful data</p> <p>Yield and quality sensors, high-resolution satellite, airborne or UAV sensor platforms, GPS, within-stream sensors (<i>e.g.</i> RFID).</p>	<p style="text-align: center;">Control (C)</p> <p>Variable rate technology, robotics, selection technology, processors, decision tools.</p>
<p style="text-align: center;">Modelling (M)</p> <p>Multi-dimensional modelling of large complex datasets to characterize complex production, processing or environmental systems.</p> <p>VR/AR. Near real-time predictive modelling of climate effects. Product quality monitoring and control.</p>	<p style="text-align: center;">Communication and networking (N)</p> <p>Social media networking for disruptive business models. Distributed ledger technologies.</p>

Table 1. Examples of digital agriculture technologies and the 4 types of technology in digital agriculture. The information in the Table is non exhaustive.

How is technology expected to create value?

Change is driven by the identifiable value opportunities created by the technology. Value is created when digital technology clearly improves processes within the food system. Improvement can occur in a variety of ways, such as greater productivity; improved selectivity leading to better product quality; preserved value through digitally enabled tracking or certification, reduced environmental costs through monitoring and evaluation. Digital agriculture can be said to have been adopted when it identifiably changes one or more steps within value chains.

Who will benefit from the IP digital technology creates?

As we have commented, the range of value sharing arrangements on which change is supported is broader than PA, which was commonly a deal between machinery suppliers – who supply technology – and farmer purchasers – who believe they can manage better as a result. We now understand more about the complexity of change and technology-driven innovation, and the wide range of business models that can emerge (Lajoie-O'Malley *et al.*, 2020; Klerkx, Jakku and Labarthe, 2019). While many observers stress the potential for digital technology to disrupt, (Spanaki *et al.*, 2022; Bryan *et al.*, 2020), we observe – in developed economies at least – that incumbents may seek to use digital technology to strengthen their positions within value chains through the process of IP accumulation. Malerba (2006) explains the range of behaviors for adopters of technology. Distinct patterns of technology adoption have been observed in manufacturing according to the size and knowledge content of organizations that are adopting (Pavitt, 1984).

WHAT THESE FACTORS MEAN FOR THE GLOBAL ADOPTION OF DIGITAL AGRICULTURE IN FOUR TYPES OF FOOD SYSTEM

Most reports of digital agriculture focus on changes within specific geographies or type of farming system. Alternatively, reports attempt to focus on a discipline, such as innovation. Neither approach can explain the diversity of change that digital agriculture represents globally.

We suggest using a food system approach to organize concepts. Food systems are increasingly used as a concept to direct science and political action (von Braun *et al.*, 2021). Food systems are extremely diverse so balance is required to ensure that the

concepts they assemble are sufficiently broad to identify global or national targets, but precise enough to define specific actions necessary for change (von Braun *et al.*, 2021).

Béné *et al.* (2019) identify the dynamics and complexities of such systems. Here we apply the framework above to describe plausible future scenarios for the adoption of digital agriculture in four different types of food systems that together account for an important large sector of global activities.

We select four systems to characterize the diversity of adoption patterns for digital agriculture that we label as commodity; high-value; subsistence; and nature-based.

Commodity

Systems dominated by production of tradeable commodities, such as wheat, maize, milk rice, or meat. These systems have developed to meet global demand for major foodstuffs and are characterized by high levels of labor productivity, input use, and capitalization. They predominate in North America, parts of Latin America, Europe, and Australasia. The value chains are highly agglomerated to handle bulk commodities through relatively few intermediaries that diminish somewhat the sensitivity to consumers.

High value

Systems producing value products, such as coffee, cacao, quality meat, and dairy products for urban markets. These systems respond to specific demands of consumers, and handle small or moderate quantities of product through well-defined value chains. Such chains can change rapidly to meet consumer preference or specific value opportunity. Production tends to be restricted to suitable production areas distributed throughout the world, rather than the extensive regions observed for bulk commodities.

Subsistence

Systems in which production is predominantly used to support the needs of farmers, with uncertain or insignificant production capacity for markets. Such systems predominate in large areas within lower and middle income countries in which agriculture still accounts for a large proportion of GDP (Byerlee *et al.*, 2007). While development and market opportunities can shift people out of subsistence agriculture quickly, even here, many people may be left behind (Byerlee *et al.*, 2007). Farmers are often highly vulnerable to risk, input use if often minimal (Dixon *et al.*, 2001; Kemp-Benedict *et al.*, 2011).

Nature-based

Systems which provide environmental services, through carbon, water, or biodiversity. These are seen as increasingly important to the resilience and sustainability of global food systems (World Bank, 2020; UNEP, 2021; Costanza *et al.*, 2017; Rockström *et al.*, 2020). The focus in these systems is the balance between production natural and human capital (UNEP, 2018).

What are the scenarios for digital agriculture in these four types of food systems?

Commodity systems

For systems dominated by commodities, most change is expected in the production domains. The major goals are to increase increasing efficiency of input use, including fertilizer, labor, agrochemicals, and germplasm. Highly mechanized production systems provide platforms on which to embed digital technology to monitor outputs (yields), inputs (variable applications), and performance.

Demands for plant and animal protection provide opportunities for patented chemicals and germplasm (including GMOs) that embed digital technology in advanced research and production techniques.

In addition to moves to increase production efficiencies for bulk producers, digital grain trading will provide opportunities for some diversity of supply chains to specialist commodities. But incumbents within value chains seem likely to benefit most from digital technologies as they use it to manipulate logistics between closely monitored production and demand.

For food systems characterized by high value chains

Images of digital agriculture often show lettuces, tomatoes, or similar high value chains that clearly demand the use of digital technology for ultra-precise control – and have done so for decades. The most emblematic examples are vertical production systems, which are clearly high value, low volume systems to supply specific urban consumers. But there are many other examples that exemplify the use of data technologies to connect producers with specific consumers, such as Cropster.org, which connects coffee consumers with roasters and producers to preserve value through product tracing. About half of the digital agriculture investments recorded by the annual AgFunder reports (e.g. Burwood-Taylor et al. 2021) are oriented towards consumers.

The types of AgTech they deploy include data acquisition, modelling, and analysis; product certification and tracing. Some high profile start-ups also use social media to communicate with clients and intermediaries.

These applications tend to be more agile. Opportunities for disruption are greater in this type of food system, since economies of scale are less powerful where product and consumer diversity is greater.

Digital agriculture in subsistence food systems

The World Bank and CGIAR have substantial expectations of the power of digital agriculture to support development on behalf of the world's poorest (World Bank, 2021; CGIAR, n.d.). Subsistence agriculture is understood to provide basic human requirements as a pre-requisite for development of market productivity, opportunities for digital agriculture in subsistence agriculture focus on support for food security and protection of capitals for livelihood support. While some high profile applications of digital agriculture indicate an important move towards markets, the much greater challenge remains for digital agriculture to support smallholder productivity. Examples do so through applications to manage climate risk (e.g. data-rich financial instruments (Amarnath, Malik & Taron, 2021; Nieto et al., 2012; Hazell, Pomareda and Valdés, 1986; World Business Council for Sustainable Development, 2021), fertilizer input (Webb et al., 2011), seed selection, or crop protection (“AgTech Accelerator Formed by Bayer, Syngenta, Other Investors”, 2016).

Data, data modelling and comms networking are the major agtech contributions. Substantial weight of expectations are loaded on mobile phone networks to support change, even though network coverage remains patchy and smartphone ownership even more so.

The value from digital agriculture is expected largely from improvements in risk management – for farmers and suppliers, access to markets, access to credit and financial services, and farmer-to-farmer networking. The World Bank and others anticipate the process to be highly disruptive, with many start-ups anticipated where conventional businesses have failed to invest.

Nature-based solutions

The final type of food system we discuss is one in which nature-based solutions (NBS) are emerging with the support of digital agtech. Such systems are described as “agriculture to deliver nutrition for people worldwide while restoring nature and the climate” (Miralles-Wilhelm, 2021). While the areas dedicated to NBS are currently modest, we include them because such areas are likely to increase as people wake up to the urgent need to re-invest in natural capital, even while pursuing goals of food and income security.

A role for digital agriculture technology in such systems includes monitoring change of land use and soil condition over large areas using remote sensing or proximal soil measurement and the use of such data to support valuation of ecosystem services.

Such processes are likely to rely on existing financial institutions to scale up, so the acquisition of IP is likely to be cumulative. Data and modelling technologies will also support regulation and governance at national or global scales.

Systems	Locis for change	Main AgTech class*	Value proposition	Predominant BM type
Commodity	Production	D, C,	Increased productivity	Cumulative
Hhigh Value	Market Processing	D, C, M, N	Increased value per unit	Disruptive
Subsistence	Production Capitals	D, M, N	Reduced risks Market access	Disruptive
Nature-based	Natural and human capitals	D, M	Natural capital growth	Cumulative

Table 2. Summary of characteristics of adoption pathways in four types of food systems.

*D= data; C= control; M= modeling and N= Comms and networking

Role of science to support adoption of digital agriculture technologies

Finally, what is the role for science and research to support the growth and use of digital technologies in agriculture? We ask this because – if our experience of precision agriculture is repeated – some of the most capable scientists, who also happen to be the most deeply embedded in existing scientific paradigms, will struggle to adapt to the new opportunities offered by digital agriculture. Conversely, we take issue with those from the data sciences, who discount what conventional science, especially that grown from field experience, has to offer digital agriculture. We propose that advance occurs in the space between three disciplines: data sciences; social sciences; and agricultural sciences, according to the following general ‘rules’:

- Data sciences offer unparalleled depth, breadth, and precision of observations to agriculture, and the capability to control processes as never before.
- Social sciences explain how the human systems around the technology organize and adapt in order to acquire sustainable and inclusive change within food systems.
- Agriculture sciences provide knowledge of the biological processes within food systems that determine its performance in an uncertain and changing world.

We suggest that for scientists to contribute substantially to the development of digital agriculture, they must explore the linkages between at least two of these domains.

SUMMARY

Digital agriculture is exciting investors and scientists who see the massive scope for improvement of food systems through digital technologies. It is also disappointing some, because the adoption pathways are rarely clear or progressive, and many are new to experienced scientists.

We explore possible adoption characteristics for digital agriculture within four contrasting types of food systems to illustrate the diversity of change that is likely to occur globally, and suggest that for many scientists, the change will demand inter-disciplinary exploration that will place many outside their comfort zone.

REFERENCES

- AMARNATH G., MALIK R. P. S. & TARON A. (2021), “Scaling up Index-based flood insurance (IBFI) for agricultural resilience and flood-proofing livelihoods in developing countries”, International Water Management Institute (IWMI), <https://doi.org/10.5337/2021.213>
- AUSTRALIAN FARM INSTITUTE (2018), “Digital agriculture could unlock production gains of \$20.3 Billion”, blog, www.farminstitute.org.au/P2Dproject
- BAHLO CH., DAHLHAUS P., THOMPSON H. & TROTTER M. (2019), “The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, January, pp. 459-66, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.007>
- BAKER D., COOK S., JACKSON E., WYSEL M., WYNN M. & LEONARD E. (2021), “Investment in agri-food digital transformation: Avoiding the technical fallacy”, 65th Annual Conference of the Australasian Agricultural and Resource Economics Society, Australasian Agricultural and Resource Economics Society.
- BASSO B. & ANTLE J. (2020), “Digital agriculture to design sustainable agricultural systems”, *Nature Sustainability*, 3(4), pp. 254-56, <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>
- BÉNÉ Ch., PRAGER S. D., ACHICANOY H. A. E., ALVAREZ TORO P., LAMOTTE L., BONILLA CEDREZ C. & MAPES B. R. (2019), “Understanding food systems drivers: A critical review of the literature”, *Global Food Security*, 23, December, pp. 149-59, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.04.009>
- BLACKBURN S., GARTNER D., FREELAND M., KELLEY A., PICKOVER S., THOMASSIAN S. & UBALDI N. (2017), “Digital Australia: Seizing the opportunity from the fourth industrial revolution”, McKinsey & Company.
- BRAUN J. von, AFSANA K., OTTILIE FRESCO L., HASSAN M. & TORERO M. (2021), “Food system concepts and definitions for science and political action”, *Nature Food*, 2(10), pp. 748-750, <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00361-2>
- Shane B., Fiocco D., Issler M., Mallya Perdur R S & Taksyak M. (2020), “Creating value in digital-farming solutions”, Waltham, McKinsey & Company.
- BURWOOD-TAYLOR L., LECLERC R., CHAUHAN R. & AGFUNDER INC (2021), “2021 AgFunder AgriFoodTech investment report”, 58.
- BYERLEE D., DE JANVRY A., SADOULET E., TOWNSEND R. & KLYTCHNIKOVA I. (2007), “World development report 2008”, World Bank.
- CGIAR. n.d. “CGIAR Platform for Big Data in Agriculture”, <https://bigdata.cgiar.org/>

COOK S. E. & JACKSON E. (2019), "The promises and pitfalls of global digital food systems", 30th Australasian Conference on Information Systems, Fremantle, Australia, <http://hdl.handle.net/20.500.11937/77235>

COOK S., JACKSON E. L., FISHER M. J., BAKER D. & DIEPEVEEN D. (2021), "Embedding digital agriculture into sustainable Australian food systems: Pathways and pitfalls to value creation", *International Journal of Agricultural Sustainability*, July, pp. 1-22, <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1937881>

COSTANZAR., DE GROOT R., BRAAT L., KUBISZEWSKI L., FIORAMONTI L., SUTTON P., FARBER S. & GRASSO M. (2017), "Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?", *Ecosystem Services*, 28, December, pp. 1-16, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>

DÍAZ NIETO J., FISHER M., COOK S., LÄDERACH P. & LUNDY M. (2012), "Weather indices for designing micro-insurance products for small-holder farmers in the tropics", *PloS One*, 7(6), e38281.

DIXON J., GULLIVER A., GIBBON D. & HALL M. (2001), "Farming systems and poverty. Improving farmers' livelihoods in a changing world", Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, http://www.fao.org/3/Y1860E/y1860e04.htm#P1_2

FAO (2022), "Status of digital agriculture in 47 sub-saharan African countries", FAO, ITU, <https://doi.org/10.4060/cb7943en>

HAZELL P. B. R., POMAREDA C. & VALDÉS A. (1986), *Crop insurance for agricultural development: Issues and experience*, IICA Biblioteca Venezuela.

KEMP-BENEDICT E., COOK S., ALLEN S. L., VOSTI S., LEMOALLE J., GIORDANO M., WARD J. & KACZAN D. (2011), "Connections between poverty, water and agriculture: Evidence from 10 river basins", *Water International*, 36(1), pp. 125-140, <https://doi.org/10.1080/02508060.2011.541015>

KLERKX L., JAKKU E. & LABARTHE P. (2019), "A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda", *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, pp. 90-91, December, 100315, <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>

LAJOIE-O'MALLEY A., BRONSON K., VAN DER BURG S. & KLERKX L. (2020), "The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents", *Ecosystem Services*, 45, October, 101183, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101183>

MALERBA F. (2006), "Sectoral systems: How and why innovation differs across sectors", in FAGEBERG J. & MOWERY D. (éd.), *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford, Oxford University Press, <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0014>

MANYIKAJ., RAMASWAMYS., KHANNAS., SARRAZIN H., PINKUS G., SETHUPATHY G. & YAFFE A. (2015), "Digital America: A tale of the haves and have-mores", McKinsey Global Institute.

MIRALLES-WILHELM F. (2021), "Nature-based solutions in agriculture: Sustainable management and conservation of land, water and biodiversity", FAO & TNC, <https://doi.org/10.4060/cb3140en>

NEETHIRAJAN S. & KEMP B. (2021), "Digital livestock farming", *Sensing and Bio-Sensing Research*, 32, June, 100408, <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2021.100408>

PAVITT K. (1984), "Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory", *Research Policy*, 13(6), pp. 343-373, [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90018-0)

- ROCKSTRÖM J., EDENHOFER O., GAERTNER J. & DECLERCK F. (2020), “Planet-proofing the global food system”, *Nature Food*, 1(1), pp. 3-5, <https://doi.org/10.1038/s43016-019-0010-4>
- SHEPHERD M., TURNER J. A., SMALL B. & WHEELER D. (2020), “Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the ‘digital agriculture’ revolution”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(14), pp. 5083-5092, <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>
- SPANAKI K., SIVARAJAH U., FAKHIMI M., DESPOUDI S. & IRANI Z. (2022), “Disruptive technologies in agricultural operations: A systematic review of ai-driven AgriTech research”, *Annals of Operations Research*, 308(1-2), pp. 491-524, <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03922-z>
- TRENDOV N. K., VARAS S. & ZENG M. (2019), “Digital technologies in agriculture and rural areas - briefing paper”, Rome, FAO.
- UNEP (2021), “State of finance for nature 2021”, Nairobi, United Nations Environment Programme.
- UNEP & KYUSHU UNIVERSITY (2018), “Inclusive wealth report 2018”.
- WEBB M. J., NELSON P. N., ROGERS L. G. & CURRY G. N. (2011), “Site-specific fertilizer recommendations for oil palm smallholders using information from large plantations”, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174, pp. 311-320.
- WORLD BANK (2020), “Mobilizing private finance for nature”, *World Development Report 2021: Data for Better Lives*, Washington, World Bank.
- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2021), “Digital Climate advisory services (DCAS) for smallholder resilience: Opportunities and challenges to scale to 300 million farmers”, Geneva, www.wbcsd.org

Une agriculture numérique inclusive ? Le cas de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest

Par Pascal BONNET (auteur correspondant), Jean-Daniel CESARO, Chloé ALEXANDRE, Anna SOW, Mathieu ROCHE & Nicolas PAGET
CIRAD, DG, Montpellier, France

Les auteurs présentent une analyse préliminaire de l'arrivée des technologies numériques dans l'agriculture familiale africaine, et ouvrent des pistes de recherche sur les conditions dans lesquelles le numérique peut contribuer à un développement inclusif ou au contraire creuser des fractures déjà fortement ancrées entre villes et campagnes, et entre l'agriculture salariale d'exportation et l'agriculture familiale, prédominante sur le continent et dont les besoins diffèrent. Au travers de quelques illustrations de services et de technologies utilisés par les ménages agricoles, les auteurs montrent que l'agriculture numérique *sensu largo* est prédominante par rapport à l'agriculture de précision *sensu stricto*. Ils y présentent les acteurs impliqués dans le développement des services : entreprises de filière, État, organisations professionnelles. Enfin, ils concluent sur quelques cadres d'analyse qu'il serait utile de mobiliser pour conduire de futurs travaux de recherche sur l'effet de ces technologies en matière d'inclusivité et de fracture.

Les technologies numériques suscitent beaucoup d'intérêt pour développer l'agriculture africaine et contribuer à un développement économique et social inclusif (Huet et Morinière, 2020 ; FAO, 2022). L'agriculture numérique se greffe ainsi aux agendas pré-existants en matière de développement¹, mais reste sujet d'interrogations (Deichmann *et al.*, 2016) dans un contexte de forte fracture numérique.

L'AGRICULTURE NUMÉRIQUE EN AFRIQUE, UNE RÉALITÉ DÉJÀ PRÉSENTE MAIS POUR QUI ? POUR QUELLES TECHNOLOGIES ? QUELS USAGES ?

Diversité des exploitations, des filières agricoles et des systèmes d'activité en Afrique

En Afrique, l'agriculture numérique doit se mettre au service de différents systèmes de production, beaucoup plus divers et complexes que dans les pays de l'OCDE par la diversité des techniques et pratiques des agricultures essentiellement familiales (Sourisseau *et al.*, 2012). L'agriculture africaine se traduit aujourd'hui par la coexistence de différentes catégories socio-économiques : une agriculture de subsistance (autoconsommation), une

¹ ODD : Objectifs du développement durable.

agriculture familiale inscrite dans les marchés et souvent pluriactive (métiers de services en ville), et enfin une agriculture spécialisée tendant vers la monoculture et orientée sur les marchés des capitales (fruits et légumes, bétail) ou vers l'export (café, cacao).

Diversité des technologies

Les équipements

Le spectre des équipements numériques est très vaste entre l'agriculture de précision (à la parcelle) et l'agriculture numérique *sensu largo* (pour les filières et territoires). Parmi ceux utilisés en Afrique subsaharienne, on trouve une diversité d'objets technologiques (téléphonie, capteurs, GPS), de données (imagerie satellite et drones, audio, vidéo, textes) et de services (portails de connaissances, boîtes vocales pour le conseil, systèmes d'information et de décision).

Si la plupart des grandes entreprises agricoles utilisent les technologies liées au marché des équipementiers du machinisme agricole ou à l'offre AgTech mondiale², le téléphone portable a une place de premier plan dans l'agriculture familiale. Depuis 2018, plus de 45 % de la population a souscrit au moins un abonnement téléphonique et un tiers de ces abonnés possède des *smartphones* (Berrou et Mellet, 2020). Dans l'agriculture, ces derniers servent à la diffusion d'informations (prix, alertes sanitaires), aux échanges entre pairs, à la consultation de plateformes de service soit par l'exploitant soit par son conseiller.

Les usages d'outils et de services numériques pour les agriculteurs

Les outils numériques les plus utilisés par l'agriculture familiale sont diversifiés. Les plateformes d'information sur les prix, les marchés, et les services d'aide à la décision et de conseil (centres d'appel, serveurs vocaux interactifs) sont généralement développés par des services de l'État (ministères de l'Agriculture et de l'Élevage notamment) ou des organisations de conseil (entreprises et ONG), et souvent soutenus par des financements extérieurs. Elles fournissent une grande diversité d'informations plus ou moins bien actualisées, et pas toujours accessibles aux techniciens de terrain et aux producteurs faute d'équipements informatiques, de réseau 2G à 4G, et par défaut d'électrification rurale. Les systèmes d'information d'entreprises liant les producteurs et les transformateurs permettent de suivre l'état de la production et des livraisons, de planifier les collectes et la mise en marché (ananas au Bénin, lait au Sénégal), et plus rarement d'assurer la traçabilité du produit (cacao en Côte d'Ivoire pour certains exportateurs). Les outils de paiement (*e-banking*) sont fortement développés comme moyen de paiement, alors que l'Afrique est faiblement bancarisée. Ils ont permis en Afrique de sauter l'étape de la carte bancaire, et sécurisent les transferts monétaires.

Des usages plus sophistiqués émergent, mais concernent à ce jour peu d'agriculteurs individuels du fait de leur coût (relevé topographique par drone) ou de leur fiabilité encore incertaine (pilotage de la fertilisation minérale). Enfin, des preuves de concepts de la recherche se transforment en solutions opérationnelles comme pour l'évaluation par imagerie multi-échelle de la production de mangue sur pied (arbre, verger, région) (Sarron *et al.*, 2018).

Finalement, l'utilisation la plus répandue d'outils numériques chez les agriculteurs est informelle et générique, et concerne les réseaux sociaux. L'usage de WhatsApp ou de Messenger est très répandu, permettant à des groupes de toutes sortes (jeunes agriculteurs au Bénin, éleveurs de lapins au Burkina Faso), de se mettre facilement en relation afin d'échanger conseils et connaissances, faire des visites virtuelles de ferme, organiser l'approvisionnement en intrants et chercher des débouchés commerciaux.

² Paysage de l'AgTech, <https://agfundernews.com/2019-06-04-agtech-landscape-2019-1600-startups>

Diversité des processus et importance des infrastructures et du traitement des données

Les processus à l'œuvre pour fonder l'agriculture numérique sont très divers entre la consultation d'un portail, le simple échange téléphonique et le traitement préalable des *big data* pour produire un service informationnel d'alerte. En effet, pour mettre en œuvre des méthodes de *data science* (intelligence artificielle, *text mining*) exploitant les données des capteurs, les données textuelles et autres traces numériques, le manque d'infrastructure de stockage et de traitement des données massives reste un point crucial en Afrique, ainsi que la problématique juridique associée³. En outre, les connaissances locales ne sont pas nécessairement véhiculées ni exploitables avec les données disponibles (presse, contenus du *web*) utilisées dans les phases d'entraînement des algorithmes d'apprentissage automatique. Par ailleurs, l'exploitation des données textuelles multilingues et hétérogènes reste une difficulté, car les langues vernaculaires sont sous représentées dans les écrits (au contraire de l'anglais), voire entremêlées (Zoumbara *et al.*, 2020). Ce problème est crucial en Afrique où l'oral a une place importante dans les échanges, ce qui pose la question méthodologique et sémantique de la manière d'exploiter et de représenter des données avec des spécificités langagières comme le wolof au Sénégal. Plus généralement, ces considérations méthodologiques doivent prendre en compte les ressources numériques peu dotées en Afrique⁴.

DEUX RETOURS D'EXPÉRIENCE

Parmi les illustrations possibles, nous avons sélectionné un exemple de développement de service en zone blanche au Sénégal qui montrera la possibilité de dépasser l'obstacle des infrastructures, et un autre exemple sur le conseil agricole au Burkina qui montrera la diversité des solutions nécessaires pour toucher le plus grand nombre de ménages agricoles.

Développement par l'État ou les entreprises de systèmes d'information de filière et de marché (SIM) en zone agropastorale au Sénégal

L'élevage pastoral est un secteur fortement utilisateur d'information nécessaire à son fonctionnement. Chaque éleveur décide de la mobilité du troupeau ou de ses parties en fonction de l'état des ressources naturelles, mais aussi des marchés. Les éleveurs transhumants ont fait évoluer leurs pratiques grâce au téléphone en Afrique de l'Est (Butt, 2015) comme de l'Ouest. Ainsi au nord-est du Sénégal, la collecte du lait est une fonction essentielle à la valorisation des excédents de production permis par l'intensification alimentaire. Mais cette zone pastorale du Ferlo demeure la principale zone blanche du pays, en dehors des zones connectées sur les réseaux routiers et les quelques forages-marchés. Un système d'information basé sur le digital s'y est cependant développé (Cesaro et Sow, 2021).

Une enquête menée en 2021 auprès de 350 campements montre que 82 % des répondants détenaient un téléphone portable et 7 % un *smartphone*. Les places de marchés hebdomadaires, réparties dans la zone pastorale, servent de nœuds relais dans la diffusion des nouvelles technologies numériques avec le développement de nouveaux métiers (vendeurs et réparateurs de *smartphones*, vendeurs ambulants de puces téléphoniques) offrant de nouvelles opportunités d'emploi aux jeunes ruraux. Les éleveurs investissent dans ces

³ RGPD : règlement général sur la protection des données personnelles, droit émergent sur l'intelligence artificielle.

⁴ <https://sites.google.com/view/africanlp-workshop>



Figure 1 : QR code dans le système d'information de la Laiterie du Berger au Sénégal (© J. D. Cesaro).

outils pour échanger sur des réseaux sociaux et commercer notamment avec les solutions d'*e-banking*, qui permet d'éviter de transporter une trop grande quantité d'argent liquide et diminue le risque récurrent des vols.

L'État et les ONG se sont montrés particulièrement attentifs à ce genre de transformation, en développant des solutions d'appui-conseil avec la plateforme de système d'information marché et le développement de systèmes d'alerte précoce. Le SIM⁵ Bétail du ministère de l'Élevage du Sénégal en est l'illustration. Il collecte l'information de manière hebdomadaire auprès de trente marchés à bétail répartis sur l'ensemble du territoire, en mobilisant le réseau national d'agents vétérinaires. Toutefois, s'il répond à son objectif premier de rendre la situation des marchés plus transparente pour l'État (cotations), la redistribution locale de l'information auprès des agents techniques et des communes fait encore défaut. Les éleveurs et acteurs des marchés quant à eux ne souffrent pas de cette asymétrie grâce à l'étendue et au dynamisme de leurs systèmes d'information et réseaux commerciaux reposant sur l'usage des *smartphones* ou des téléphones simples.

Certaines entreprises locales ont dématérialisé leurs transactions et élaboré des systèmes numériques fonctionnels. Ainsi, la Laiterie du Berger, en lien avec la coopérative départementale des producteurs et la plateforme d'innovation lait (PIL) de Dagana, a digitalisé ses flux d'informations entre 2019 et 2020, et développe des applications numériques répondant à des besoins spécifiques de l'entreprise (identifiant d'éleveur QR codé – cf. Figure 1 ci-dessus, *e-paiement* Wizall⁶, *apps* diverses). Le système, bien que perfectible, a permis de mettre en place treize nouvelles boutiques rurales en réseau et de supporter une forte augmentation du nombre de fournisseurs, passant de 450 éleveurs en 2019 à plus de 1 500 en 2022 signant une forte inclusion des producteurs dans le marché, dont une grande partie sont des femmes. Si l'entreprise est légitime pour améliorer sa gestion des flux d'informations et apporter un meilleur service aux éleveurs, elle collecte

⁵ Système d'information marché (SIM).

⁶ <https://www.wizallmoney.com/accueil>

maintenant à la fois du lait et des données, et la question de la transparence et de l'utilisation de ces données est posée. Comment ces données pourront permettre demain un accompagnement individualisé des éleveurs dans leur itinéraire technique afin d'améliorer leur productivité et diminuer leur coût de gestion est la question au cœur du développement futur de nouvelles applications-conseil par l'entreprise.

Développement de dispositifs immatériels de conseil technique et de gestion au Burkina Faso

Au Burkina, les agriculteurs disposent d'un capital de connaissances et d'un niveau d'expérience très variables conduisant à des besoins et formes de conseil spécifiques. En outre, les besoins en conseil évoluent avec l'amélioration de la technicité, l'augmentation du volume à commercialiser ou bien le développement d'une nouvelle activité (transformation, commerce, travail saisonnier en ville) (Rigourd et Dugué, 2019). Des compétences de base peuvent être apportées aux producteurs isolés techniquement *via* des services d'alphabétisation fonctionnelle ou la vulgarisation technique. À l'inverse, des producteurs maîtrisant les techniques de production et de gestion des exploitations nécessiteront un accès à des services de conseil plus spécialisés et le développement d'une diversité de solutions numériques (Alexandre et Bationo, 2019).

Une étude menée au Burkina Faso entre 2018 et 2019 a permis d'identifier quinze solutions numériques pour le conseil, comprenant des services d'information par SMS ou messages vocaux (prix de marchés, météo), des serveurs vocaux interactifs ; des centres d'appel ; des plateformes d'information ; des sites de vidéos ; des OAD⁷ sur *smartphone* et des groupes d'information sur réseaux sociaux. Développées par une diversité d'organisations, des OP⁸, des ONG, mais aussi des entreprises privées, l'État ou la recherche, ces solutions n'ont pas toutes les mêmes fonctionnalités, notamment par rapport à la qualité des interactions qu'elles permettent et à la personnalisation des informations et connaissances transmises.

L'étude de ces fonctionnalités permet de différencier ces solutions en trois catégories. Premièrement, les SIM, SVI⁹ et les sites de vidéos permettent d'envoyer des informations à un grand nombre d'agriculteurs mais sans interactions, dans une logique de transfert de connaissances, et peuvent répondre à des besoins de conseil de base. Néanmoins, les enquêtes montrent que ces services prennent rarement en compte les spécificités des agriculteurs et du contexte dans lequel ils évoluent. On peut alors douter de leur pertinence et de leur intérêt pour les agriculteurs. Deuxièmement, les centres d'appel et les réseaux sociaux apportent des informations personnalisées et facilitent les interactions à distance entre agriculteurs et conseillers. Ils permettent de répondre à des besoins de conseil plus avancés. La couverture des groupes d'échanges sur les réseaux sociaux est toutefois plus limitée que celle des centres d'appel, car l'usage des réseaux sociaux observé au Burkina suppose que les agriculteurs soient lettrés et disposent d'un *smartphone* et de données mobiles, ce qui est encore une part minoritaire (moins de 30 %). Troisièmement, les plateformes d'information et les applications sur *smartphone* sont développées pour être utilisées par les conseillers d'OP ou des services de conseil d'État. Les agriculteurs bénéficient alors d'un service intermédié par un opérateur qui parle la langue (français, anglais) dans laquelle ces applications et plateformes sont développées. Cela permet de suivre les agriculteurs sur le temps long, et de les accompagner dans des changements de pratiques ou la résolution de problèmes plus complexes.

⁷ OAD : Outils d'aide à la décision.

⁸ OP : Organisations professionnelles.

⁹ SVI : Serveur vocal interactif.

QUELS CADRES CONCEPTUELS MOBILISER POUR ÉVALUER LES EFFETS DE L'USAGE DU NUMÉRIQUE DANS L'AGRICULTURE FAMILIALE ET LES RISQUES EN MATIÈRE D'INCLUSION ET EXCLUSION ?

Diffuser les technologies numériques dans l'agriculture familiale africaine nécessite de comprendre comment elles peuvent contribuer à renforcer les moyens d'existence des ménages, de comprendre les risques associés et de limiter la fracture numérique sous toutes ses formes. L'analyse en cours du développement de l'agriculture numérique dans le monde permet déjà d'envisager certaines transformations (Aker *et al.*, 2016 ; Prause *et al.*, 2020). Certaines technologies peuvent accentuer les différences de développement entre acteurs (renforcement de positions de pouvoir, verrouillage technologique, écart entre les services offerts et les besoins et capacités réelles des usagers), créer plus de pauvreté relative, et même renforcer les inégalités et les fractures.

Les dimensions de l'inclusion économique et sociale

Comment utiliser au mieux les potentialités du numérique pour favoriser et accompagner des développements appropriés, inclusifs et durables de son usage dans un contexte d'agriculture africaine très hétérogène ? Le cadre théorique des moyens d'existence constitue un premier cadre éprouvé pour analyser les actifs dont les ménages agricoles africains disposent, et évaluer les effets des technologies et services numériques, positifs ou négatifs. Selon Chambers et Conway (1991), les ménages combinent cinq capitaux : un capital financier (*e-banking*, plateformes de vente), un capital social (groupes WhatsApp), un capital humain (savoir-faire numérique intergénérationnel dans les familles), un capital physique (téléphones et *smartphones*), un capital naturel (pâturages, terres). Il est utile d'y adjoindre spécifiquement le capital informationnel, l'information étant devenue, notamment du fait du numérique, une matière fortement échangée (information agro-hydro-climatique, état des pâturages, SIM).

Les dimensions de la fracture numérique

De nombreux auteurs abordent l'état et la caractérisation de la fracture numérique par les infrastructures (Fuchs et Horak, 2008 ; Loukou, 2012). Pour aller au-delà, les approches économiques (Youssef, 2004) ou sociologiques (Van Dijk, 2013) se complètent. Van Dijk (2013) propose un cadre structurant l'étude des déterminants et des conséquences de la fracture numérique selon un cadre conceptuel d'analyse relationnelle des inégalités. Les individus sont caractérisés par des inégalités liées à des caractéristiques individuelles (âge [jeune, âgé], genre [homme, femme], ethnie [majorité, minorité], personnalité [extraverti, introverti], santé [capable, handicapé]) et positionnelles (travail [employé, sans emploi], éducation [avancée, limitée], foyer [famille, personne seule]). Pour Ben Youssef (2004), on doit étudier plusieurs dimensions de la fracture : celle liée à l'accès aux équipements (téléphones) et infrastructures (réseau électrique, téléphonique, Internet) variant selon les écarts de revenus des ménages et le niveau d'équipement et d'électrification des territoires¹⁰ (*cf.* Figure 2 p. 154) (FAO et ISU, 2022) ; celle liée à l'inégalité dans les capacités d'usage des technologies (illettrisme et illettrisme des agriculteurs ou des conseillers), capacités en partie déterminées par l'offre (forme / ergonomie et contenu / multilinguisme) et la possibilité d'utiliser des données et connaissances locales pertinentes ; celle liée à l'effet avéré des usages (bénéfice ou baisse de performance des

¹⁰ Au Sénégal, à titre d'exemple, on note 47,82 % d'accès à l'électricité en zone rurale, 57,66 % de possession de téléphone portable, 113,95 souscriptions téléphoniques pour 100 habitants, 73,65 % de couverture 4G (données 2019, FAO et ITU, 2022)



Figure 2 : Photo d'une cheffe d'exploitation laitière chargeant son téléphone sur un système solaire au Sénégal (© J. D. Cesaro).

individus, entreprises ou groupes). Dans un contexte de fort illettrisme et d'illectronisme africain où l'écrit n'est pas dominant, il est important de construire une grande diversité de formes de services : bulletins, SMS, centres d'appel, SMS sans mémoire, messages vocaux, information personnalisée. La multiplication des plateformes de connaissances proposées par des ONG ou associations bénéficie ainsi à de nombreuses organisations de producteurs comme le montre l'exemple des vidéos de formation multilingue d'Access Agriculture¹¹ (Bede *et al.*, 2021).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

En Afrique, il existe des opportunités de développer une agriculture numérique *sensu largo* pour l'agriculture familiale, car le secteur du numérique est une option à la diversification nécessaire de l'économie et à l'avenir des emplois des jeunes, dans un secteur agricole et agroalimentaire aussi attendu comme futur pourvoyeur de nouveaux emplois (Pesche *et al.*, 2016). De plus, l'Afrique est assez bien armée comme en témoigne son secteur de la recherche en informatique, qui teste ses preuves de concept dans l'agriculture et les zones rurales (Seye *et al.*, 2021). Enfin, les applications du numérique dans l'agriculture peuvent accélérer certaines transformations structurelles connues (diversification, spécialisation) pour certaines exploitations (Losch *et al.*, 2013), mais à certaines conditions ; si elles sont assez variées, si leur design est orienté *a priori* sur les usages et si les recherches sur les impacts augmentent.

¹¹ <https://www.accessagriculture.org/fr>

Sous réserve de réguler les différents degrés de fracture, les technologies numériques à base de développements frugaux et innovants pourront être utiles aux producteurs et productrices agricoles, à leurs organisations et aux entreprises des filières, notamment en contribuant au désenclavement rural, à davantage d'équité sociale et à l'autonomisation de certains acteurs individuels ou collectifs, en particulier des femmes et des jeunes (Chaudhuri et Kendall, 2021). Le numérique promet, entre autres, de faciliter l'insertion des producteurs dans les chaînes de valeur (paiements dématérialisés, « plateformes » BtoB¹² pour la fourniture d'intrants, la location de matériels, ou BtoC¹³ pour la relation avec les consommateurs, l'optimisation de réseaux logistiques de collecte et de mise en marché). Au-delà d'un modèle individuel de l'économie numérique, le modèle chinois des villages connectés, « Taobao », peut en illustrer des directions possibles (Li, 2017).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Institut Convergences #DigitAg en agriculture numérique, source d'inspiration et de développement d'une recherche de pointe dans sa communauté.

Les auteurs remercient le ministère français des Affaires étrangères et de l'Europe, qui finance le projet « Fractures numérique dans l'agriculture en Afrique de l'Ouest », débuté en 2021 pour étudier ces dimensions au Sénégal, au Bénin et en Côte d'Ivoire dans trois territoires et filières agricoles contrastés.

BIBLIOGRAPHIE

- AKER J. C., GHOSH I. & BURRELL J. (2016), "The promise (and pitfalls) of ICT for agriculture initiatives", *Agricultural Economics*, 47(S1), pp. 35-48, <https://doi.org/10.1111/agec.12301>
- ALEXANDRE C. & BATIONO M. F. (2019), « Une transformation des services de conseil agricole grâce au numérique ? », *Grain de Sel*, (77), pp. 8-9.
- BEDE L., OKRY F. & VODOUHE S. D. (2021), "Video-mediated rural learning: Effects of images and languages on farmers' learning in Benin Republic", *Development in Practice*, 31(1), pp. 59-68.
- BEN YOUSSEF A. (2004), « Les quatre dimensions de la fracture numérique », *Réseaux*, 5, pp. 181-209.
- BERROU J.-P. & MELLET K. (2020). « Une révolution mobile en Afrique subsaharienne ? » *Réseaux*, n°219(1), pp. 11-38.
- BUTT B. (2015), "Herding by mobile phone: Technology, social networks and the 'transformation' of pastoral herding in East Africa", *Human Ecology*, 43(1), pp. 1-14.
- CESARO J.-D. & SOW A. P. (2021), « Des outils numériques pour gérer un bassin laitier d'agro-pasteurs en Afrique de l'Ouest », *Grain de Sel*, (81), pp. 20-21.
- CHAMBERS R. & CONWAY G. (1991), "Sustainable rural livelihoods: Practical concepts for the 21st century", Brighton, *IDS Discussion Paper*, n°296, 33 p.
- CHAUDHURI B. & KENDALL L. (2021), "Collaboration without consensus: Building resilience in sustainable agriculture through ICTs", *The Information Society*, 37(1), pp. 1-19.

¹² BtoB : *Business to Business*.

¹³ BtoC : *Business to Consumers*.

DEICHMANN U., GOYAL A. & MISHRA D. (2016), "Will digital technologies transform agriculture in developing countries?", *Policy Research Working Paper*; n°7669, World Bank, Washington DC.

FAO & ITU (2022), "Status of digital agriculture in 47 sub-Saharan African countries", *Report*, Rome, <https://doi.org/10.4060/cb7943en>

FUCHS C. & HORAK E. (2008), "Africa and the digital divide", *Telematics and Informatics*, 25(2), pp. 99-116.

HUET J.-M. & MORINIÈRE L. (2020), « Le numérique pour sauver l'agriculture africaine ? », *Futuribles*, n°440(1), pp. 65-80.

LOSCH B., FRÉGUIN-GRESH S. & WHITE E. (2013), *Transformations rurales et développement. Les défis du changement structurel dans un monde globalisé*, Paris, Pearson, 298 p.

LOUKOU AF (2012), « La diffusion de l'Internet en Côte d'Ivoire. Obstacles et implications », *Netcom*, 26-3/4, pp. 307-328.

LI A. H. F. (2017), « Le e-commerce et les villages Taobao », *Perspectives chinoises*, 2017/3, pp. 65-71.

PESCHE D., LOSCH B. & IMBERNON J. (2016), *Une nouvelle ruralité émergente. Regards croisés sur les transformations rurales africaines*, Montpellier, Cirad, NEPAD, 76 p.

PRAUSE L., HACKFORT S. & LINDGREN M. (2021), "Digitalization and the third food regime", *Agriculture and Human Values*, 38(3), pp. 641-655.

RIGOURD C., DUGUÉ P. & TEYSSIER J. (2019), « Relancer le conseil et la vulgarisation agricoles en Afrique subsaharienne. Pour de nouvelles politiques en cohérence avec les réalités de terrain », *Notes Techniques AFD Agence Française de Développement*, n°55, juillet, 121 p.

SARRON J., MALÉZIEUX E., SANE A.B. & FAYE E. (2018), "Mango yield mapping at the orchard scale based on tree structure and land cover assessed by UAV", *Remote Sensing*, 10(12), 21 p.

SEYE M., DIALLO M., GUEYE B. & CAMBIER C. (2021), « Systèmes de réseau de communication pour les zones blanches », *Journal of Interdisciplinary Methodologies and Issues in Sciences*, mai, Agriculture Numérique en Afrique – en ligne, <https://doi.org/10.18713/JIMIS-120221-8-3>

SOURISSEAU J.-M., BOSCH P.-M., FREGUIN-GRESH S., BÉLIÈRES J.-F., BONNAL P., LE COQ J.-F., ANSEEUW W. & DURY S. (2012), « Les modèles familiaux de production agricole en question. Comprendre leur diversité et leur fonctionnement », *Autrepart*, 10.3917/autr.062.0159, (62), pp. 159-181.

VAN DIJK J. A. G. M. (2013), "The digital divide : The internet and social inequality in international perspective", in RAGNEDDA M. & MUSCHERT G. W. (éd.), Routledge.

ZOUMBARA C., ROCHE M., DIWERSY S., OUÉDRAOGO Y. & MARTIN P. (2020), « Combinaison d'étiqueteurs morphosyntaxiques, de lexiques flexionnels et de marqueurs de glose pour détecter les néologismes en français du Burkina », Communication aux 15^{es} Journées internationales d'Analyse statistique des Données textuelles JADT 2020, France.

Déploiement du numérique en agriculture en France

Par Sarah DJAFOUR et Bruno TISSEYRE
L'Institut Agro Montpellier

L'Observatoire des usages du numérique en agriculture a été créé en 2016 avec le soutien d'une chaire d'entreprises (Chaire AgroTIC) et d'un « Institut Convergences » (institut #DigitAg). Son objectif est d'apporter des informations objectives sur l'adoption des outils et services professionnels numériques en agriculture en France. Les études réalisées reposent sur une approche participative impliquant fortement les entreprises de services du numérique en agriculture. Ces études se focalisent sur un outil ou un service numérique particulier, et visent à quantifier son niveau d'adoption. Depuis la création de l'Observatoire, onze études ont été menées sur différentes technologies, ce qui permet de consolider une vision exhaustive de l'adoption des outils et services numériques en France. Au regard de ces études, les technologies numériques les plus adoptées sont celles qui apportent un bénéfice perçu immédiat (confort de travail, ergonomie, etc.), qui sont faciles à utiliser et dont le déploiement n'est pas affecté par des problèmes de compatibilité avec les autres équipements de l'exploitation agricole.

GENÈSE DE L'OBSERVATOIRE DES USAGES DU NUMÉRIQUE EN AGRICULTURE

En 2016, lorsque l'Observatoire des usages du numérique en agriculture a été mis en place, il n'existait aucune donnée fiable pour rendre compte de l'état d'adoption des outils et services numériques dans le monde agricole. En effet, les organismes officiels en charge des statistiques agricoles (AGRESTE) n'intégraient pas (et n'intègrent toujours pas) le recensement de ces services dans leurs enquêtes visant à dresser un état des lieux de l'agriculture française.

Dès 2016, l'obtention d'informations objectives sur l'adoption des services numériques en agriculture (SNA) s'avérait essentielle pour différents acteurs, que ce soit :

- les entreprises de services pour lesquelles une connaissance de l'adoption était nécessaire, afin d'orienter la conception, l'évolution et le développement de nouveaux services ;
- l'enseignement agricole et les organisations d'agriculteurs, afin de mieux définir la formation initiale et continue en vue d'accompagner les besoins de montée en compétences des professionnels de l'agriculture actuels et futurs ;
- de même que les institutions régionales ou nationales, afin de définir des stratégies et des politiques de soutien à la profession agricole (Tey et Brindal, 2012).

C'est afin de répondre à ces enjeux que l'Observatoire des usages du numérique en agriculture a été initié. Il est issu d'une dynamique conjointe entre, d'une part, les entreprises et les utilisateurs de services numériques fédérés au sein d'une chaire d'entreprises

(Chaire AgroTIC), portée par l'enseignement supérieur agronomique, et, d'autre part, le monde académique de la recherche fédéré au sein d'un « Institut Convergences » sur le numérique en agriculture (institut #DigitAg).

COMMENT ÉTUDIER L'ADOPTION DU NUMÉRIQUE EN AGRICULTURE

Paradoxalement, au niveau international, il existe peu de structures officielles ayant intégré l'étude de l'adoption des services numériques en agriculture. La littérature technique et scientifique fait état d'études ponctuelles, et souvent ciblées sur un pays ou un groupe de pays et sur une technologie spécifique (Lewellyn et Ousman, 2014 ; Paustian et Theuven, 2017). Cette situation a conduit les animateurs de l'Observatoire à mettre en œuvre une approche originale et agile basée sur la réalisation d'études ciblées avec une fréquence rapide, tous les trois mois. Ces études ciblées s'intéressent à une technologie numérique identifiée comme importante en agriculture. Le parti pris est que l'ensemble des études ainsi réalisées permettent de consolider une vision exhaustive de l'adoption du numérique en agriculture en France.

Les technologies à étudier, et donc les études à réaliser, sont priorisées au regard des besoins collectifs exprimés par l'ensemble des partenaires de l'Observatoire. Des ateliers de travail réunissant l'ensemble de ces partenaires sont organisés deux fois par an. Lors de ces ateliers, les partenaires travaillent en petits groupes, mêlant des représentants d'entreprises de chaque partie de la chaîne de valeur des SNA (coopératives agricoles, équipementiers, fournisseurs de services) afin de faire émerger, entre autres, les technologies et services numériques d'intérêt et dont l'étude est à prioriser par l'Observatoire.

Pour chaque service ou technologie numérique considéré, l'objectif de chaque étude est de répondre aux questions suivantes : quel est son niveau d'utilisation en France ? Quelles sont les applications agronomiques associées ? Existe-t-il des spécificités, des freins particuliers ou des moteurs à l'adoption selon les secteurs de production ?

L'approche mise en œuvre présente trois grandes étapes (voir la Figure 1 ci-dessous). La première étape consiste en un inventaire complet des acteurs (fournisseurs, équipementiers) liés à la technologie ou au service étudié. Elle consiste également à bien identifier

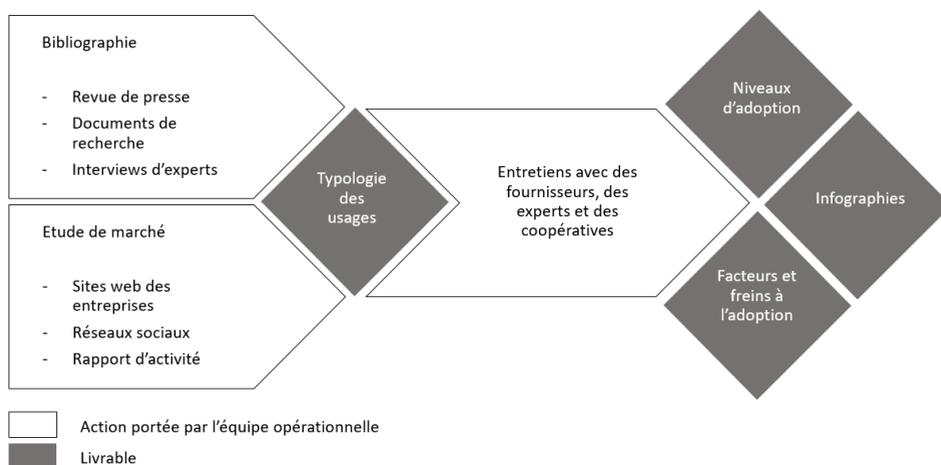


Figure 1 : Méthode générale pour l'élaboration d'une infographie sur une technologie ou un service numérique (Source : D. R.).

les différents usages du SNA en fonction des filières de production. Cette première étape repose sur un recensement complet des acteurs du marché à travers plusieurs sources d'informations qui sont listées dans la Figure 1. La deuxième étape est constituée d'entretiens individuels avec chacun des acteurs identifiés. Au-delà du marché, ces entretiens visent aussi à obtenir des données sur son évolution. Enfin, dans un troisième temps, des entretiens individuels sont réalisés avec des référents : cadre d'instituts techniques agricoles et de sociétés de conseil, chercheurs du domaine, responsables de coopératives françaises. Ces entretiens ont pour objectif de consolider les données des fournisseurs.

ADOPTION DU NUMÉRIQUE EN AGRICULTURE EN FRANCE

Depuis le lancement de l'Observatoire, les partenaires ont priorisé onze études sur les outils ou services numériques suivants : la télédétection (satellites, avions, drones) en 2017 ; les applications *smartphone* métier ; les systèmes d'information de gestion agricole (SIGA) ; les mesures géophysiques pour la cartographie des sols ; la télédétection en 2018 ; la robotique agricole ; la modulation intra-parcellaire (fertilisation azotée, densité semis...) ; l'utilisation de système global de navigation par satellite (GNSS) ; les capteurs de rendement ; l'usage de la météorologie (stations météorologiques connectées et service de météo virtuelle) ; et la télédétection en 2021. La Figure 2 présente un exemple d'infographie sur l'usage de la télédétection en France ; il y est présenté l'état du marché, les différents usages en fonction des filières de production, les technologies utilisées pour produire ces services (satellite, avion ou drone), les acteurs du marché ainsi que les motivations et les freins des agriculteurs pour souscrire un tel service. Le lecteur est invité à se rendre sur le site de l'Observatoire pour avoir accès à l'ensemble des productions (www.agrotic.org/observatoire). Une synthèse de l'ensemble des résultats collectés au fur et à mesure des infographies est proposée à la section suivante, d'abord pour les services agricoles numériques, puis spécifiquement pour la robotique.



Figure 2 : Exemple d'une infographie de l'Observatoire sur les usages de la télédétection en agriculture, réalisée en 2021 (Source : D. R.).

Services agricoles numériques (SNA)

Le Tableau 1 p. 160 présente un résumé des résultats obtenus. Il permet de couvrir la majorité des outils et services numériques métier aujourd'hui utilisés en agriculture, à l'exception des objets connectés spécifiques, car la diversité des applications nécessiterait plusieurs études pour couvrir les différentes thématiques d'application (élevage, gestion de l'irrigation, etc.), à noter que cet aspect fait l'objet des prochaines études de l'Observatoire.

Les technologies et services numériques les plus adoptés sont ceux dont le bénéfice perçu par l'agriculteur est immédiat (confort de travail, ergonomie, rapidité, etc.), qui sont faciles à utiliser et qui ne sont pas limités par des problèmes d'interopérabilité avec les autres équipements de l'exploitation. L'utilisation du GNSS (*Global navigation satellite system*) pour le guidage ou l'autoguidage des engins agricoles en est un parfait exemple. En effet, l'autoguidage permet de contrôler le passage des machines sur les parcelles agricoles, il limite la pénibilité du travail mais optimise aussi ce dernier en limitant les pertes (zones de double passage pour les semis ou la fertilisation), ce qui explique que 50 % des exploitations soient équipées de cette technologie. Les applications métier pour *smartphones* (réglage du matériel, météo, etc.) sont également très adoptées par les agriculteurs puisqu'une majorité de ces derniers (> 50 %) disposent en moyenne de trois applications métier sur leur *smartphone*. Les services de données météorologiques et/ou les stations météorologiques connectées sont également très adoptés, en lien avec l'importance des conditions météorologiques pour le métier d'agriculteur (irrigation, lutte sanitaire, gel, phénologie des cultures, délai d'entrée dans les parcelles avec le matériel, travail du sol, etc.).

D'autres technologies sont adoptées pour des raisons réglementaires ou pour répondre aux exigences de traçabilité à des fins de commercialisation des produits. Le SIGA (Système d'information de gestion agricole) est un parfait exemple de ce type de technologie numérique : 75 % des exploitations en grande culture sont équipées d'un SIGA, en raison essentiellement d'exigences de traçabilité de l'aval. Les exploitations plus petites en vente directe ou en circuit de distribution court ne sont en revanche pratiquement pas équipées de ces services. Les services de télédétection entrent également dans cette catégorie. La télédétection est majoritairement utilisée pour caractériser le peuplement et l'état des cultures au niveau des parcelles. Ces services de télédétection répondent à des objectifs réglementaires liés à la déclaration et à la mise en œuvre d'un plan de fumure des cultures, cela explique que ce service soit particulièrement développé pour les grandes cultures.

Tableau 1 : Adoption des services numériques en agriculture en France (hors robotique).

Type de technologie	% d'agriculteurs équipés et utilisant la technologie
GNSS (Egnos, RTK)	~ 50 % des agriculteurs français.
Applications <i>smartphone</i> pour un usage professionnel	~ 50 % des agriculteurs ont plus de trois applications en lien avec l'agriculture ; météo, GNSS et le réglage des équipements sont les applications les plus courantes.
Données météo et stations météo	~ 50 % des agriculteurs (soit possèdent une station météo, soit ont accès à un fournisseur de données météo.)
Système d'information de gestion agricole (SIGA)	~ 25 % des agriculteurs (mais ~ 75 % en grandes cultures).
Capteurs de rendement	~ 22 % des exploitations en grandes cultures.
Télédétection (drone, avion, satellite)	~ 10 % des zones en grandes cultures ; ~ 1 % des zones en viticulture.
Modulation intra-parcellaire	~ 10 % des exploitations en grandes cultures.
Cartes des sols (conductivité ou résistivité)	Moins de 1 % des terres agricoles (~ 130 000 ha cumulés sur les dix dernières années).

Toutes les technologies numériques plus complexes à mettre en œuvre ou pour lesquelles un retour immédiat est moins perceptible pour les agriculteurs sont nettement moins adoptées. C'est par exemple le cas des technologies permettant de mettre en œuvre des applications modulées d'intrant, que ce soit à la parcelle ou à l'échelle intra-parcellaire. Leur intérêt est de pouvoir ajuster la dose d'engrais automatiquement en fonction de l'état et des besoins des cultures, toutefois, leur mise en place nécessite de surmonter les barrières techniques liées à l'interopérabilité des solutions qui équipent déjà l'exploitation : le SIGA, les fournisseurs de services de données, le GNSS et les équipements agricoles de l'exploitation (tracteur, matériel d'épandage adapté à la modulation automatique de dose). Pour être opérationnelles, ces technologies doivent être mises à jour simultanément, de même que les compétences de l'agriculteur, de l'exploitant et/ou de son conseiller. Ce sont des obstacles techniques et humains majeurs alors que le bénéfice direct est parfois difficile à évaluer. Ceci explique pourquoi, malgré l'intérêt de ces technologies, encore peu d'agriculteurs adoptent cette approche aujourd'hui.

Le Tableau 1 ci-contre met également en évidence la difficulté à présenter les résultats de manière homogène et synthétique. En effet, certaines technologies reposent sur des abonnements annuels à des services (ex. : télédétection) pour lesquels les résultats peuvent être exprimés en pourcentage de la surface souscrite, alors que d'autres technologies reposent sur des investissements liés à des équipements ou à des systèmes qui seront utilisés pendant plusieurs années sur l'exploitation agricole (ex. : GNSS, capteurs de rendement, SIGA ou stations météo). Les résultats d'adoption sont alors exprimés en pourcentage des exploitations actuellement équipées. En outre, certaines technologies numériques doivent faire l'objet d'une description plus détaillée sur l'usage réel qui en est fait. C'est par exemple le cas des capteurs de rendement : en effet, bien que la majorité des nouvelles moissonneuses-batteuses soient équipées de capteurs de rendement, seuls quelques agriculteurs équipés (~20 %) les utilisent pour produire des cartes de rendement, et encore moins (~5 %) les utilisent réellement comme système d'aide à la décision pour la modulation des intrants (fertilisant, semis, etc.) au niveau intra-parcellaire. Pour ces technologies, il existe une différence importante entre l'adoption et l'utilisation. Enfin, l'adoption est, bien sûr, largement influencée par les caractéristiques des exploitations et leurs liens avec les partenaires en amont et en aval. Le SIGA en est par exemple la meilleure illustration.

La robotique

En France, les robots agricoles sont principalement adoptés pour l'élevage avec environ 11 000 robots (robots de traite, d'alimentation et de nettoyage des étables) en 2018. Les robots utilisés dans les élevages sont essentiellement des robots de traite. Cela représente environ 9 000 robots, équipant près de 10 % des exploitations laitières françaises. Ce nombre va probablement augmenter rapidement puisque lors du renouvellement d'une installation de traite, 70 % des exploitations laitières ont choisi d'acheter un – ou plusieurs – robots de traite en 2018. Toujours en élevage laitier (bovins, caprins ou ovins), environ 2 000 robots sont utilisés pour alimenter les animaux ou nettoyer les bâtiments (racleurs et aspirateurs à lisier). Malgré des investissements relativement élevés, l'adoption de robots se justifie par le gain immédiat perçu par les éleveurs en termes de temps de travail et de réduction de la pénibilité.

L'adoption de robots en culture végétale, bien que réelle, reste très faible avec environ 150 robots qui étaient utilisés en 2018 (principalement en cultures maraichères). Ces robots sont principalement employés pour le désherbage mécanique. La plupart des exploitations utilisant ce type de robots sont des exploitations en agriculture biologique (~ 100 robots). L'étude a identifié la viticulture comme le deuxième secteur pour l'adoption de robots (~ 30 robots en 2021), avec une utilisation dédiée, là-encore, au désherbage mécanique dans un contexte de suppression du désherbage chimique. À noter que malgré

des recherches actives dans ce domaine, aucun robot de récolte (fruits, légumes, etc.) n'est à ce jour commercialisé en France.

CONCLUSION

Comme tout autre secteur, l'agriculture se digitalise. Néanmoins, cette « digitalisation métier » reste complexe, car elle recourt à une grande diversité d'outils qui sont parfois très spécifiques à des filières de production, c'est le cas par exemple du robot de traite. Cette complexité se retrouve également dans la caractérisation de l'adoption : en effet, un pourcentage d'agriculteurs équipés ne signifie pas nécessairement que l'usage est réel pour chacun d'eux. Les capteurs de rendement sur moissonneuses-batteuses sont un très bon exemple de cette complexité.

Comparée à d'autres pays européens, la France présente une digitalisation de son système de production équivalente, elle semble même en avance sur l'usage de certains outils numériques comme la robotisation des cultures végétales ou l'utilisation de la télédétection pour l'optimisation de la gestion de la fertilisation.

Six ans après sa création, et dans la continuité de son objectif initial d'apporter des informations objectives sur l'adoption des outils et services numériques en agriculture, l'Observatoire a pour ambition de s'étendre au niveau européen.

BIBLIOGRAPHIE

LEWELLYN R. & OUSMAN J. (2014), "Adoption of precision agriculture-related practices: Status, opportunities and the role of farm advisors", Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), <https://grdc.com.au/resources-and-publications/all-publications/publications/2014/12/adoption-of-precision-agriculture-related-practices> (verified 18 May 2021).

PAUSTIAN M. & THEUVSEN L. (2017), "Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers", *Precision Agriculture*, 18(5), pp. 701-716.

SCHIMMELPFENNIG D. (2016), "Farm profits and adoption of precision agriculture", ERR-217, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, October, <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/80326/err-217.pdf?v=0> (verified 18 May 2021).

TEY Y. S. & BRINDAL M. (2012), "Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications", *Precision Agriculture*, 13(6), pp. 713-730.

Digital agriculture

08 **How can precision livestock farming contribute to the principles of agroecology?**

Ludovic Brossard, Clément Allain & Jean-Baptiste Menassol.

Livestock farming systems are facing major currents of transitions with growing consideration for agroecology, “One Health and One Welfare” concepts, and increasing integration of digital technologies and sciences. Precision livestock farming technologies can contribute to the pillars of agroecology, for instance through precision feeding to reduce the inputs required for production; sensors and automata can also help to adopt management practices to improve global health and welfare of animals and farmers. Furthermore, digital technologies can help maintain or promote agroecological livestock farming systems through solutions that monitor animals, and facilitate the management and traceability of practices in more extensive systems, such as mountain farming or pastoralism. Therefore, new technologies have the potential to support agroecological transitions, but will not be the driving force behind these transitions. Possible negative externalities, such as environmental impact of digital technologies must also be weighed against their positive internalities for a successful and sustainable integration of digital tools into agroecological livestock farming systems.

15 **The development of digital technology: What prospects for organic farming?**

Éléonore Schnebelin, Pierre Labarthe & Jean-Marc Touzard.

Digital technologies are being promoted to meet the challenges of agriculture, regardless of the production model, whether conventional or organic. However, research conducted as part of a thesis in the Occitania region shows that organic farming stakeholders have expectations, perceptions, projects, and uses for these technologies that are partly specific. While digital issues are common to the entire agricultural sector, particularly in terms of sharing information and improving working conditions, organic farming is different because of its technical practices, system design needs, standards, and values, all of which affect the expectations of its stakeholders with regard to digital technology. The results reveal oppositions between organic agriculture and certain types of digital technologies, but they also point to the existence of innovation trajectories that associate digital technology with this agriculture, which calls into question the evolution of its model.

20 **From data to autonomous processing for agroecology**

Roland Lenain & Christophe Aubé.

The development of digital sciences is a real challenge to improve decision-making in agriculture, and move towards the application of less damaging and more agroecological principles. Beyond decision-making, the realization of agronomic tasks requiring high levels of precision, increased passage frequencies, and discrimination capabilities, also requires significant advances and borrowing from robotic technologies. In this article, we show the interest of such technologies for agriculture in general, and for agroecology in particular. After a short overview of the existing technologies, we present the expectations of the different agricultural sectors, the persistent obstacles, and the relative perspectives for the agricultural robotics, an emerging field in digital agriculture. This field, thus, clearly appears as an essential component of the agricultural evolution towards more virtuous practices.

28 Logistics and marketing perspectives of blockchain-based agri-food traceability: Case studies of Walmart and Carrefour uses

Florent Saucède.

To restore consumer trust and confidence in food systems, some retailers and manufacturers exploit the blockchain technology to support the total traceability of their supply chains. We analyze how Walmart and Carrefour, two pioneers of food blockchains, use this technology. We show how it contributes to the dimensions and stakes of traceability. We characterize two contrasting approaches. The first one aims to control food safety by improving the piloting and the functioning of supply chains. The second one is marketing-oriented, and aims at building consumer trust by mobilizing supply chain actors to co-construct a set of facts and evidence, put into a narrative to bring transparency on the origin of products and the virtuous practices of the actors who participate in their quality.

35 Digital sales platforms: What opportunity(ies) for producers?

Romane Guillot, Magali Aubert & Anne Mione.

E-commerce is now penetrating the food sector, particularly through digital marketing platforms. Food system stakeholders are wondering: Do these organizations strengthen the link/connection between producers and consumers? Do they promote fairer remuneration for farmers? Do they introduce new risks for them? These platforms facilitate the exchange of information and limit certain costs associated with marketing. However, they can create power asymmetries and imbalances in value sharing. The instability of the sector and the addition of digital and distribution giants raise many questions about the evolution of platforms. In this context, vigilance on the part of producers is essential in order to choose the platforms best suited to their needs.

41 Reconfiguration of food value chains – between logistics and traceability

Dr Fatima El Hadad-Gauthier & Dr Isabelle Piot-Lepetit.

The rise of digitalisation is fueling a dynamics of reconfiguration of food value chains. This article explores two rising challenges: Logistics and traceability. These issues are crucial for food value chains because of the very specific characteristics of food products, such as perishability, shelf life constraints, quality variability, sanitary risks, market uncertainty, and the increasing distance between producer and consumer due to the markets' globalization.

47 What effect is the digitalization of agriculture having on consulting services?

Pierre Labarthe.

The objective of this article is to present the issues associated with the digitalization of agriculture through the example of the effect of digital technologies on agricultural consulting. Advisory services have played a very important role in the dynamics of technical change in the agricultural sector. These services, historically based on the advisors' skills and on direct interactions between farmers and advisors (individual advice, group advice, etc.), are increasingly using digital tools (software, decision-support tools, applications for tablets and smartphones, etc.). We highlight three fundamental issues related to digitalization: The effect of digital technologies on access to knowledge for a diversity of farmers; the evolution of skills within organizations providing advice; and the broader transformations induced in the agricultural innovation system.

53 Digital tools: The issues of the coordination of actors and the sharing and valorization of data

Soazig Di Bianco & Mohamed Ghali.

The rise of digital tools and the massive production of data have been transforming the coordination of actors in innovation processes. This article aims to examine the transformation and issues of actor coordination around two axes: The sharing and enhancement of data; the design and use of digital technologies. This study is based on survey data from actors in the dairy cattle sector and stakeholders in the design and use of milking robots and agricultural drones. We show that the rise of digital technologies is strengthening management strategies (bipartisan alliances) for data sharing, and is standardizing innovation processes. We discuss the effects of these changes, in particular the polarization of actors on the dynamics of innovation in agriculture.

60 How to successfully crowdsource spatialized observations in agriculture?

Léo Pichon.

Agriculture has embarked on transitions (agro-ecological, digital, etc.) to meet the complex and sometimes contradictory challenges it faces. The collaborative collection of spatialized observations is a relevant tool for collectively building the new knowledge needed for these transitions. However, this type of project is still underdeveloped in agriculture. Our objective with this article is to propose elements of understanding of the specificities of crowdsourcing projects of spatialized observations in agriculture, in order to identify the factors or characteristics to be favored in these projects so that they develop more widely. The spatial and temporal structure of the studied phenomena, the asynchronous and heterotopic character of the obtained datasets, and the fact that the participants are professionals seem to be the main characteristics to consider in order to favor the success of this type of projects.

67 Digital technology at the service of the different phases of creation and use of serious games in agriculture

Gilles Martel, Médulline Terrier-Gesbert, François Johany & Sylvain Dernat.

Serious games are developing in a significant way, including in the agricultural world. Although serious, they must still include the characteristics of games, such as second degree, decision-making, rules, uncertainty, and minimization of consequences. Apart from video games, such as Farming Simulator, the supply of games in the agricultural domain is very diverse, but mainly “analog”. Nevertheless, digital technology is present in the various stages of game creation: The creation of the data included in the game, the operation of the game and the simulation of the effects of the players’ decisions, the immersive capacity of the game, the dissemination and capitalization on the use of and learning from the game. Digital technology is therefore a major ally in the development of serious games, and goes far beyond simple mobilization in the context of video games.

74 Access to agricultural data: the areas of intervention of the law and of the contract

Laura Tomasso.

Access to data raises questions for the players of the digital agriculture sector, considering that the number of applicable laws increases and that it leaves less and less room for parties’ agreement. However, the agreement to be entered between the parties complements the applicable laws and remains the fundamental tool

framing commercial relationships. It is thus necessary to analyze the areas of intervention of the law and those of the contract regarding access to agricultural data, whether they be public, private, personal, non-personal, aggregated or not.

79 The role of professional agricultural organizations in building a climate of trust conducive to the exchange and use of data of the agricultural sector

Guillaume Joyau.

Data is a source of great concern for the agricultural sector. Indeed, the potential for valorization is very important, and it is absolutely clear that, in order to respond positively to the objectives set by the various national and European policies, the exploitation of data of the agricultural sector will be indispensable. However, it seems crucial to the professional agricultural organizations that this exploitation be done for the benefit of all, including the farmers. Farmers are often the economic operators who generate the data, but they do not have the capacity to manage the exploitation and analysis of these data sets alone. Therefore, professional organizations, and first and foremost agricultural unions, are gathering on these issues in anticipation in order to mobilize the appropriate tools and to establish the most balanced regulatory framework possible. Finally, the European Commission's initiative, initiated with the "European Data Strategy" in February 2020, and the four regulations that followed, are totally in line with the concerns of these organizations.

85 Can farmer training accompany the development of digital agriculture?

Béatrice Dingli & Sylvie Bourgeais.

Certain of the role of training in the development of digital technology in agricultural enterprises, the board of directors of VIVEA, the training insurance fund for farm managers, has opened up a new development and financing priority in its 2021-2026 Strategic Plan.

After a prospective study entitled "What skills for digital agriculture?", conducted in 2019 by the firms JBG consultants and Eurynome associés, and funded by VIVEA and the Direccte Occitanie, VIVEA has led several workshops in 2022 to determine, to date, the skills that could or should be quickly developed to enable farmers who wish to do so to run their farm(s) using digital tools, and, thus, lighten their work. Digital agriculture also means building exchanges, dialogue, and feedback.

This article will present the challenges of digital farming and the prospects for change in five years, the vision of experts and the vision of farm managers and agricultural advisors, an approach by sector of digital adoption, the obstacles identified to its development, and the impact on the profession. We will conclude with the training needs identified and the five types of skills that we wish to highlight and strengthen.

VIVEA will support the development of a training offer aimed to reflect on the needs of farm managers, leading to an informed choice of digital solutions. The appropriation of data analysis methods also seems essential to us. It will also be up to us to make digital technology accessible to the most remote people, and to act for the common good of all.

97 Start-ups and digital innovation in the agri-food sector

Dr Isabelle Piot-Lepetit & Mauro Florez.

Start-up companies represent a powerful innovation process to push forward digital innovation and develop disruptive products and services based on digital

technologies. At the same time, they challenge well-established companies that need to involve themselves in more ambidextrous innovation processes to stay competitive, pushing them to launch initiatives focusing on both internal innovations and organizational changes and external or open innovation opportunities.

- 103 Innovation paths in digital agriculture:
Living labs and Digifermes®, devices for co-innovation**
Jacques-Eric Bergez, Mehdi Siné & Muriel Mambrini.

The agro-ecological transition requires profound changes in production, processing, and consumption systems, which require new modes of governance. Living labs propose a scheme for co-development of responsible and shared innovation. However, the intrinsically plural aspect of data, knowledge, devices, etc. militates for the mobilization of new digital solutions. Our hypothesis is that the living laboratories for the agro-ecological transition will open up, in the digital domain, capacities to seize more complex issues, and opportunities to put the user at the center. In any case, it will be a digital technology with a view to serving the common good, a responsible digital technology. Through a framework of analysis and the operationalization of this framework on two examples (the Digifermes® and Occitanum), we show the emerging properties of this digital technology, and the levers that remain to be crossed for a shared and sustainable benefit.

- 122 What place for hackathons to support digital innovation
in agriculture?**
François Brun, Mathieu Rajaoba & François Gaudin.

French and international agriculture is in the midst of a digital transformation, mobilizing various technologies that offer the potential to develop new services for farmers and the agricultural world. Various forms of animation have emerged within the digital agriculture community: Start-up weekends, hackathons, and data challenges. What is behind these different activities and what is their role in the collective innovation process? What is the point of organizing a hackathon close to farmers? What contribution do hackathons in agriculture make to data-driven innovation?

- 133 The AgroTIC mobilab to meet farmers**
Bruno Tisseyre & Simon Moinard.

Introduced by the MIT in 2014, “High-Low Tech” is about low-cost new technology innovations that can be self-built. Their low price and usefulness is generating strong interest in agriculture, but they do require some skills that are not currently assimilated by the agricultural world.

In order to popularize this environment in the agricultural sector, the Institut Agro Montpellier has set up the mobilab AgroTIC, a traveling facility visiting farmers to present them with all the diversity of High-Low Tech digital tools. The mobilab AgroTIC’s activities bring out farmers’ concrete needs, and the projects set up as a result of these needs can be used to answer scientific and teaching questions. The dynamic also interests companies that see it as a way to survey farmers on the issue of digital technology.

- 139 Global adoption of digital agriculture**
Simon Cook, Elizabeth Jackson & Davide Cammarano.

The term “digital agriculture” inspires excitement, confusion, and skepticism amongst investors and scientists alike. Rapid growth in the use of digital

technology in agriculture seems inevitable, if only because adoption in food systems must, at some stage, accelerate simply to match that of other sectors. But how is this adoption occurring globally? This short paper explains the contrasting forms digital agriculture is likely to take in four types of systems that are based on: Commodities; high-value product; subsistence farming; and nature-based solutions.

148 Inclusive digital agriculture?

The case of family farming in West Africa

Pascal Bonnet, Jean-Daniel Cesaro, Chloé Alexandre, Anna Sow, Mathieu Roche & Nicolas Paget.

The authors present a preliminary analysis of the arrival of digital technologies in African family farming, and open up avenues of research on the conditions under which digital technology can contribute to inclusive development or, on the contrary, deepen the already deep-rooted divides between urban and rural areas, and between wage-based export agriculture and family farming, which is predominant on the continent and has different needs. Through a few illustrations of services and technologies used by farm households, the authors show that digital agriculture *sensu largo* is predominant compared to precision agriculture *sensu stricto*. They present the actors involved in the development of services: Sector companies, the State, professional organizations. Finally, they conclude with a few analytical frameworks that could usefully be mobilized to conduct future research on the effect of these technologies on inclusiveness and fragmentation.

157 Digital deployment in agriculture in France

Sarah Djafour & Bruno Tisseyre.

The Observatory of Digital Uses in Agriculture was created in 2016 with the support of a business chair (AgroTIC Chair) and a “Convergence Institute” (#DigitAg institute). Its goal is to provide objective information on the adoption of digital tools and professional services in agriculture in France. The studies carried out are based on a participatory approach that strongly involves digital service companies in agriculture. These studies focus on a particular digital tool or service, and aim to quantify its level of adoption. Since the Observatory was created, eleven studies have been conducted on different technologies, which makes it possible to consolidate a comprehensive vision of the adoption of digital tools and services in France. According to these studies, the most adopted digital technologies are those that provide an immediate perceived benefit (work comfort, ergonomics, etc.), that are easy to use, and whose deployment is not affected by compatibility problems with other equipment on the farm.

Ont contribué à ce numéro

Chloé ALEXANDRE est doctorante en sciences de gestion au CIRAD à l'UMR Innovation. Elle analyse les processus d'innovation ouverte permettant le développement de services numériques à destination des agriculteurs dans les pays du Sud. Elle s'intéresse plus spécifiquement aux outils, pratiques et capacités permettant de faciliter ces processus d'innovation ouverte au sein de partenariats asymétriques.

→ *Une agriculture numérique inclusive ? Le cas de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest*

Clément ALLAIN, responsable de projet dans le domaine Data-Numérique de l'Institut de l'élevage, s'est spécialisé en élevage de précision depuis une dizaine d'années. Responsable de l'animation de l'équipe numérique en élevage et du programme Sm@rt élevage, il coordonne des projets nationaux ou européens sur cette thématique. Depuis 2012, ces projets lui ont permis d'acquérir une solide expérience sur l'utilisation de technologies digitales pour suivre le comportement ou assurer la traçabilité des animaux au pâturage, sur l'utilisation de l'imagerie 3D pour acquérir de nouveaux phénotypes morphologiques ou encore sur les conséquences des nouvelles technologies sur le travail des éleveurs.

→ *How can precision livestock farming contribute to the principles of agroecology?*

Christophe AUBÉ, ingénieur ENAC 2011, a débuté sa carrière au sein du Groupe Safran, dans le management de projets logiciels aéronautiques en Inde. Il poursuit sur de la maîtrise d'ouvrage d'équipements électriques pour les moteurs d'avions.

En 2015, il quitte le Groupe Safran et crée avec deux associés la société AgreeCulture, pour développer des robots agricoles précis, intègres et autonomes grâce à une technologie de positionnement de pointe riche de sept années de recherche et développement.

Fils d'agriculteur, il a vite eu la conviction que la robotique agricole permettrait de réinventer les itinéraires culturels tout en y apportant une sobriété énergétique et en se focalisant sur l'agronomie.

Aujourd'hui, il dirige toujours AgreeCulture, et s'occupe du déploiement de la solution de guidage et positionnement intègre.

Il est également le président de Robagri, association qui réunit l'ensemble des acteurs de la filière robotique agricole française. L'association œuvre au quotidien à faciliter l'adoption de la robotique tout en réinventant les travaux réalisés. L'association est aujourd'hui forte de 80 membres issus de la recherche française, de l'enseignement, des coopératives agricoles ou encore des industriels agricoles européens.

→ *De la donnée au traitement autonome pour l'agroécologie*

Magali AUBERT est ingénieur d'études INRAE à l'UMR MoISA (Montpellier Interdisciplinary Research Center on Sustainable Agri-food Systems) de Montpellier. Ses recherches portent essentiellement sur la gestion du risque sanitaire par les producteurs, la commercialisation en circuit court et la digitalisation de l'agriculture. Ses terrains de recherche sont la France métropolitaine et les économies insulaires. Économètre, elle s'intéresse aux modèles à variables qualitatives et aux séries temporelles. Elle développe des compétences en termes de gestion de bases de données, que ces bases de données soient issues de sources officielles ou d'enquêtes de terrain. Chargée de mission qualité et correspondante-DPO (déléguée à la protection des données), elle garantit que les données traitées le sont dans le respect des exigences réglementaires du RGPD, en termes d'anonymat des enquêtés, de confidentialité et de sécurité des données.

→ *Les plateformes numériques de vente : quelle(s) opportunité(s) pour les producteurs ?*

Véronique BELLON-MAUREL, ingénieur agronome et ingénieur des Ponts, des Eaux et des Forêts, travaille à INRAE, où elle est directrice adjointe du département Mathnum. Elle s'est spécialisée dans les capteurs en agriculture, puis dans l'évaluation environnementale. En 2016, elle monte à Montpellier l'Institut Convergences Agriculture Numérique #DigitAg, financé par le Programme Investissement d'Avenir, et qu'elle dirige depuis (16 partenaires publics et privés, 29 unités de recherche, + 800 chercheurs). Basé sur des recherches interdisciplinaires faisant dialoguer sciences sociales, sciences du numérique et agronomes, ce dispositif s'attache à construire les socles académiques pour le développement d'une agriculture numérique responsable en France et dans les pays du Sud. Il est unique en France, et l'un des plus gros du monde (seuls cinq équivalents ont été identifiés). En 2020, elle crée le *living lab* Occitanum (Occitanie Agroécologie Numérique), qui vise à mobiliser les technologies numériques pour favoriser le développement de l'agroécologie et de l'alimentation de proximité. Elle est membre de l'Académie des Technologies depuis 2020.

→ ***Introduction - Le numérique, accompagner le changement de la fourche à la fourchette***

Jacques-Eric BERGEZ est agronome systémique et modélisateur, INRAE, DR1, HDR. Son thème de recherche principal est la description et la modélisation des pratiques des agriculteurs afin de développer des systèmes de gestion des cultures innovants et durables. Depuis 2022, il est coordinateur du projet européen H2020 sur le développement d'innovations systémiques pour atteindre des fermes climatiquement neutres ; coordinateur du défi-clef régional sur la transition des systèmes agricoles et alimentaires vers l'agroécologie ; depuis 2021 co-coordinateur d'Occitanum, laboratoire vivant ayant pour objectif d'utiliser un levier numérique durable et responsable pour aider les paysans à la transition agroécologique (www.occitanum.fr).

De 2010 à 2020, il était responsable de l'unité de recherche pluridisciplinaire AGIR (AGroécologie, Innovations & teRritoires, www6.toulouse.inrae.fr/agir), environ 90 permanents avec un focus sur la transition agroécologique du secteur agricole (des agriculteurs aux coopératives et conseillers, du végétal et des systèmes de culture aux animaux et aux territoires) ; responsable scientifique du réseau des utilisateurs RECORD, RECORD étant une plateforme de modélisation et de simulation pour développer et travailler avec des modèles d'agroécosystèmes (www6.inrae.fr/record) ; de 2014 à 2018, coordinateur d'un projet ARN sur le développement d'une boîte à outils pour faciliter la transition agroécologique des territoires (600 k€, doi : 10.1007/978-3-030-01953-2) ; de 2007 à 2012, coordinateur d'un réseau de R&D sur le développement d'outils et de méthodologies de gestion des ressources en eau d'irrigation.

Par ailleurs, il participe à différents programmes de PF (ALWAYS, SEAMLESS), est l'auteur de plus de 80 articles de recherche (HAL-id : jacques-eric-berge), et a géré neuf thèses de doctorat et formé de nombreux étudiants.

→ ***Les voies de l'innovation en agriculture numérique : les living labs et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation***

Pascal BONNET est directeur adjoint du département E&S Environnements et Sociétés au Cirad. Il est de formation vétérinaire-épidémiologiste et zootechnicien, et a développé ses recherches en géographie de la santé appliquée à l'élevage tropical.

Son expérience de l'utilisation et de la gestion des données dans des contextes et pour des finalités très variés l'ont conduit à proposer plusieurs actions du Cirad en matière de numérique, en matière de gestion des données de recherche, de leur cycle de vie, en matière d'utilisation des données publiques et de constitution de collections cohérentes de données ouvertes, en matière de développement des compétences en science des données, et plus récemment en matière de développement de recherches et d'outils d'aide à la décision en agriculture numérique, pour piloter les exploitations, les filières agricoles tropicales ou les territoires ruraux grâce aux données et aux outils TIC.

Il est responsable et coordonne la stratégie internationale de l'Institut Convergences #DigitAg (<https://www.hdigitag.fr/fr/>) en agriculture numérique, pour lequel il organise le symposium régional AgriNumA'2019 à Dakar (Agriculture numérique en Afrique, 2019) en collaboration entre le Cirad et le LIRIMA (Inria), et le Colloque National sur la Recherche en Informatique et ses Applications. Il a animé de nombreuses tables rondes sur les enjeux du numérique pour les agricultures du Sud : Salon SARA en Côte d'Ivoire en 2019, Journée du développement AFD, rencontres de l'agriculture digitale FAO, et en 2021 l'événement « Technologies pour nourrir soigner protéger » pendant les Montpellier Global Days – MUSE du nouveau sommet Afrique-France.

Il travaille ainsi en lien avec les institutions du Nord et du Sud, partenaires des projets pour mettre en place les réseaux d'actions nécessaires au développement de la science ouverte et de la recherche en agriculture numérique dans les communautés scientifiques sans frontières.

→ *Une agriculture numérique inclusive ? Le cas de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest*

Sylvie BOURGEAIS est directrice du développement des compétences et de l'innovation à VIVEA depuis 2002. Diplômée d'un DEA développement des ressources humaines (CNAM/HEC) et d'un DESS de psychologie du travail, Université de Nantes, elle fut adjointe au chef du service formation à la CAPEB, syndicat des artisans du bâtiment de 1992 à 2002, conseillère en formation ASFO la défense de 1989 à 1991, et formatrice en relations humaines pour le groupement Intermarché de 1987 à 1989.

→ *La formation des agriculteurs peut-elle accompagner le développement de l'agriculture numérique ?*

Ludovic BROSSARD, titulaire en 2004 d'une thèse en biologie et agronomie de l'École nationale supérieure agronomique de Rennes pour des travaux réalisés à l'INRAE de Clermont-Ferrand Theix, a intégré l'INRAE et l'unité mixte de recherche Systèmes d'élevage, nutrition animale et humaine (UMR SENAH) en 2004 en tant qu'ingénieur d'études avant de devenir ingénieur de recherches en 2016. Après de premières études sur les besoins en acides aminés chez le porcelet en post-sevrage, il a travaillé ensuite à l'intégration de la variabilité individuelle dans les modèles de croissance et d'ingestion chez le porc en croissance, en s'appuyant sur le modèle INRAPorc®. Ces travaux ont appuyé le développement ultérieur de différents modèles à l'échelle de l'atelier d'élevage. À partir de 2015, à travers des projets nationaux ou européens, il a orienté ses travaux vers l'application pratique des modèles en alimentation de précision avec également un intérêt plus général sur l'élevage de précision. Il a ainsi contribué au livre blanc Inria-INRAE « Agriculture et numérique » paru en mars 2022. Au sein de l'UMR Physiologie, environnement et génétique pour l'animal et les systèmes d'élevage créée en 2012, il a été responsable d'une équipe de recherche sur les systèmes porcins de 2012 à 2018 et est directeur d'unité adjoint de cette unité de 110 titulaires depuis 2021. Il est également depuis 2019 co-animateur de l'unité mixte technologique DigiPorc avec l'IFIP-Institut du Porc, UMT dédiée au numérique au service de l'élevage porcin. Il est depuis 2010 responsable scientifique du comité d'organisation des Journées de la Recherche Porcine, congrès annuel de diffusion des résultats scientifiques et techniques auprès des acteurs de la filière porcine française et européenne.

→ *How can precision livestock farming contribute to the principles of agroecology?*

François BRUN est ingénieur-docteur (ENS Ulm/AgroParisTech) à l'Acta - les instituts techniques agricoles (www.acta.asso.fr) où il est responsable du pôle agriculture numérique et science des données. Il anime le réseau Data Science et Modélisation pour l'Agriculture et Agroalimentaire (2020-2024) (www.modelia.org), au sein duquel sont organisées de

nombreuses formations pour aider les acteurs agricoles à développer les outils d'aide à la décision. Il est à l'initiative du principe du « HackTaFerme », le *hackathon* à la ferme.

→ ***Quelle place pour les hackathons pour accompagner l'innovation numérique en agriculture ?***

Davide CAMMARANO's scientific expertise includes precision agriculture, agronomy, application and development of crop models, remote sensing, crop and soil sciences, climate change and climate forecasts in agriculture, understanding the role of agriculture in local and global food safety and security. He graduated in Agricultural Science and Technology from the University of Basilicata (Italy), and has since worked in Australia on spatially integrating crop simulation model and remote sensing for nitrogen management on wheat, greenhouse gas emissions from cotton and wheat; and in the USA on the impacts of climate change on agriculture and how to model it. At the James Hutton Institute in the UK, he worked in precision agriculture and modelling the impacts of climate change in agriculture. Until Jan 2022, he was an Associate Professor in Digital Agriculture at the Department of Agronomy, Purdue University, and is now a Professor in Environmental Crop Science at Aarhus University, Department of Agroecology. He is an Associate Chief Editor of the *European Journal of Agronomy*, and on the Editorial Board of *Precision Agriculture*, *Crop and Pasture Science*, and *Italian Journal of Agronomy*.

→ ***Global adoption of digital agriculture***

Jean-Daniel CESARO est chercheur géographe au CIRAD à l'UMR SELMET (Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux), spécialiste des flux liés à l'élevage dans les territoires. Accueilli à l'ISRA CRA de Saint-Louis (Sénégal) depuis 2018, ses recherches portent sur la place du pastoralisme dans le métabolisme territorial aussi bien dans la vallée du fleuve Sénégal, avec les systèmes agricoles et agro-industriels, que dans le Ferlo, à travers les initiatives de gestion durable des terres.

→ ***Une agriculture numérique inclusive ? Le cas de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest***

Simon COOK specializes in digital agriculture and on-farm experimentation, and focuses on the roles for digital technologies in global agricultural change. Originally a soil scientist, after many years of supporting technology-supported development around the world, he now strongly believes in the need for multi-disciplinary insight to help solve complex global problems. He has over 30 years of experience globally, working on projects in Australia, the UK, Latin America, Asia, and Africa. He lives in Australia and Colombia. He is an Adjunct Professor at Murdoch University, Australia, and has previously held posts of Professor at Curtin Universities, Western Australian Premier's Fellow, and Director of the CGIAR Program for Water, Land and Ecosystems.

→ ***Global adoption of digital agriculture***

Sylvain DERNAT est ingénieur à l'UMR Territoires de l'INRAE. Coresponsable de la plateforme GAMAE, il axe sa recherche sur les jeux sérieux comme levier dans l'action pour la transition agroécologique, avec notamment la conception/évaluation de plusieurs jeux en agriculture.

→ ***Le numérique au service des différentes phases de création et d'utilisation des jeux sérieux en agriculture***

Soazig DI BIANCO est enseignante-chercheuse en sociologie. Ses travaux portent sur le rôle des intermédiaires dans les transitions agricoles. Ils interrogent le lien entre les conceptions du métier dont ils sont porteurs et la façon dont ils définissent leur rôle, en tant qu'intermédiaires, dans les processus d'innovation. Ils examinent également leurs usages des technologies numériques, et la façon dont ils se transforment dans l'interaction avec les agriculteurs. Elle est membre du RMT NAEXUS (Numérique Agricole pour

l'Enseignement, l'eXpérimentation et les Usages) dans lequel elle travaille sur les OAD, les drones et les robots de traite en agriculture. Elle a soutenu une thèse CIFRE, en 2021, qui portait sur les recompositions du métier de technico-commercial en coopérative agricole, sous la direction de C. COMPAGNONE et B. THAREAU.

→ *Outils numériques : enjeux de coordination d'acteurs, de partage et de valorisation de la donnée*

Béatrice DINGLI est directrice générale de VIVEA depuis 2012. Diplômée d'un master en stratégie et développement des entreprises et d'un diplôme universitaire en sciences de l'éducation, elle travaille depuis près de 35 ans dans la formation professionnelle continue agricole.

Elle a débuté sa carrière en tant que formateur pendant dix ans, puis a rejoint le Fonds d'assurance formation des entrepreneurs du Vivant en 2001 et en a pris la direction en 2012. Spécialisée en finances et en ingénierie de formation, elle accompagne le conseil d'administration dans ses orientations et pilote une équipe de 70 personnes.

→ *La formation des agriculteurs peut-elle accompagner le développement de l'agriculture numérique ?*

Sarah DJAFOUR est ingénieure agronome spécialisée dans les nouvelles technologies. Elle a travaillé cinq ans dans une entreprise du numérique pour l'agriculture commercialisant des OAD à destination des agriculteurs, en se focalisant sur le soutien au réseau de distribution et l'accompagnement des acteurs de terrain dans leur montée en compétences. Elle a rejoint l'Institut Agro Montpellier en janvier 2021 et est responsable de la chaire AgroTIC, projet porteur à 50 % de l'Observatoire des usages du numérique pour l'agriculture. La chaire AgroTIC fédère 27 entreprises autour de l'agriculture numérique.

→ *Déploiement du numérique en agriculture en France*

Dr Fatima EL HADAD-GAUTHIER is a lecturer-researcher at the Mediterranean Agronomic Institute of Montpellier (CIHEAM-IAMM). She holds a Ph.D. in agro-food economics from the University of Montpellier-I (France). She is a member of the MoISA (Montpellier Interdisciplinary Center on Sustainable agri-food systems - Social and Nutritional Sciences) research unit. Her research focuses on the sustainability and circularity of food value chain: organizational models, governance, and actors' strategies. She is also co-director of the CIHEAM-IAMM Master on Sustainable Agri-Food Value Chains: Logistics, Environment, Strategies.

→ *Reconfiguration of food value chains – between logistics and traceability*

Mauro FLOREZ is an agronomist with a Master's degree in agricultural development economics and strong interest in agriculture development and sustainability. He is currently a Ph.D. candidate at the University of Montpellier, INRAE and #DigitAg – Digital Agriculture Convergences Lab, France. His research focuses on the digital transition in agriculture and its relation with sustainability. Mauro Florez studies the digital transition in agriculture from the perspective of farmers, as well as companies that develop digital technologies for the sector, mainly start-ups.

→ *Start-ups and digital innovation in the agri-food sector*

François GAUDIN est conseiller en volailles à la Chambre d'agriculture de la Drôme depuis cinq ans, son travail porte sur différents sujets en lien avec différents types d'élevages. Un des enjeux est notamment de mettre à disposition des éleveurs des outils informatiques simples d'usage et pertinents : suivi d'élevage en circuit court, calcul

de charges d'élevages en circuit long. Les enjeux de vulgarisation du savoir et de son accessibilité sont au cœur de ses enjeux.

→ *Quelle place pour les hackathons pour accompagner l'innovation numérique en agriculture ?*

Mohamed GHALI est docteur en économie de l'Université d'Angers et enseignant-chercheur à l'ESA Angers. Titulaire d'un diplôme d'ingénieur en économie agricole, il a obtenu un Master 2 en économie et gestion du développement agricole à l'Institut Agro Montpellier et un Master of Sciences en politiques et choix publics en agriculture à l'IAM de Montpellier. Ses contributions sont établies dans le champ de l'économie écologique et l'économie de l'environnement. Ses travaux de thèse ont participé à apporter un éclairage sur la conceptualisation économique de l'agriculture écologiquement intensive, et à l'analyse des marges de manœuvre des exploitations pour assurer une double performance : économique et énergétique. Il poursuit ses recherches sur les transitions écologiques et numériques. Il a co-encadré une thèse, soutenue en 2020, sur « les impacts des technologies numériques sur les exploitations agricoles en France ». Il co-encadre une thèse sur « la performance environnementale et les choix d'investissement dans les outils numériques ». Il est également membre du RMT NAEXUS (Numérique Agricole pour l'Enseignement, l'eXpérimentation et les Usages).

→ *Outils numériques : enjeux de coordination d'acteurs, de partage et de valorisation de la donnée*

Romane GUILLOT, titulaire d'un diplôme d'ingénieure agronome, est doctorante en sciences de gestion et économie au sein de l'Institut #DigitAg. Ses travaux portent sur l'utilisation du numérique par les agriculteurs pour leurs activités commerciales, et s'intéressent plus spécifiquement à l'effet de ces outils sur la gestion des dépendances et de l'incertitude du producteur vis-à-vis de son environnement. Ses recherches l'ont amenée à s'interroger sur le rôle des plateformes numériques et les relations qu'elles entretiennent avec les producteurs.

→ *Les plateformes numériques de vente : quelle(s) opportunité(s) pour les producteurs ?*

Elizabeth JACKSON has an industry and educational background in agribusiness and food supply chain systems. Elizabeth has held positions related to the teaching and research of agrifood supply chain systems at Newcastle University (UK) and the Royal Veterinary College. Elizabeth is now a Senior Lecturer within Curtin Business School where her teaching relates to supply chain management, procurement and distribution, and she continues to research food and agribusiness systems. She is on the board of Sheep Producers Australia, is a member of Western Australian Farmers' Federation Livestock Council, and is a visiting scholar at the Royal Veterinary College (UK).

→ *Global adoption of digital agriculture*

François JOHANY, ingénieur, s'intéresse aux aspects méthodologiques et techniques autour des jeux, en particulier les jeux numériques. Il gère notamment les plateaux techniques de la plateforme GAMAE.

→ *Le numérique au service des différentes phases de création et d'utilisation des jeux sérieux en agriculture*

Guillaume JOYAU, après des études en développement agricole conclues par une mission de recherche pour l'État marocain, a travaillé pour plusieurs organisations professionnelles agricoles. Au sein de la FNSEA entre 2016 et 2022, il a, dans un premier temps, coordonné les questions et problèmes posés par la mise en œuvre de la Politique agricole commune (PAC) en France. En complément, il a également réalisé quelques exercices prospectifs à propos des enjeux soulevés par le déploiement de nouvelles

technologies (en particulier numériques, biotechnologies vertes) dans le secteur agricole, pour s'y consacrer pleinement à partir de 2019. Il a également participé à la réforme du programme national de développement agricole et rural, entrée en vigueur en 2022.

À partir de 2020, il s'occupe également de l'association Numagri, en tant que secrétaire général. L'association a pour but de coordonner et fluidifier les échanges de données dans le secteur agricole, avec une préoccupation forte quant à la construction du climat de confiance propice à ces échanges.

→ ***Le rôle des organisations professionnelles agricoles dans la construction d'un climat de confiance propice aux échanges et à la valorisation des données du secteur agricole***

Pierre LABARTHE est directeur de recherche en économie à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), et directeur adjoint de l'UMR AGIR depuis janvier 2021. Il mène des travaux combinant approches qualitatives et quantitatives pour analyser les effets des transformations de la R&D sur les dynamiques d'innovation dans le secteur agricole. Ses travaux accordent une grande importance aux comparaisons internationales, à l'heure où de nombreuses politiques publiques, notamment européennes, ciblent l'investissement dans la production de connaissances comme un des vecteurs des transitions écologiques de l'agriculture. Ses travaux portent sur le conseil agricole, en contribuant à renouveler les cadres d'analyse du conseil pour comprendre les conséquences des tendances à la commercialisation et de privatisation de ces services ; les situations de verrouillage technologique, approchées à partir des mécanismes économiques de production des connaissances au sein du secteur agricole ; et les politiques publiques d'innovation. Il explore depuis quelques années une nouvelle thématique de recherche : celle des effets de la digitalisation de l'agriculture et de ses effets sur les institutions et les organisations de la R&D agricole. Il développe des recherches pour comprendre comment la digitalisation se traduit par la construction de marchés d'outils d'aide à la décision (OAD), d'une part, et de nouvelles alliances et concurrences dans la valorisation des données produites pour et avec les agriculteurs, d'autre part. Ces recherches portent sur des cas qui permettront de produire des connaissances sur les effets de la digitalisation sur l'écologisation des pratiques des agriculteurs. Pierre Labarthe a récemment coordonné le projet européen AgriLink. Il est également membre des bureaux de la Société française d'économie rurale (depuis 2011), et de l'International Farming System Association depuis 2014.

→ ***Le développement du numérique : quelles perspectives pour l'agriculture biologique ?***

→ ***Quel effet de la digitalisation de l'agriculture sur les services de conseil ?***

Roland LENAIN est ingénieur en mécanique, diplômé de SIGMA Clermont en 2002. Il poursuit ses études par un doctorat en robotique obtenu en 2005, de l'Université Clermont-Auvergne. Après un post-doctorat à l'Université de Lund en Suède, il rejoint le Cemagref en 2006 en tant que chercheur au sein de l'unité, dans l'équipe Robotique et Mobilité pour l'Environnement et l'Agriculture (Romea), qu'il dirige aujourd'hui. Il obtient en 2011 son habilitation à diriger des recherches (HDR) sur la thématique de la commande de robots mobiles en milieux incertains et dynamiques.

Ses recherches sont focalisées sur le domaine de la commande avancée de robots mobiles en contexte tout-terrain, intégrant les notions de précision et d'intégrité, avec plusieurs modalités perceptives et fonctionnelles. Celles-ci l'ont conduit à publier de nombreux articles scientifiques sur la thématique. Il a été et est coordinateur de plusieurs projets (notamment financés par l'ANR) d'envergure nationale et internationale.

Son expertise dans le domaine de recherche de la robotique agricole, reconnue par les prix Francis Sevilla (2017) et le Sedimaster (2018), l'a amené à conduire de nombreuses activités d'animation de la recherche (entre autres animateur d'un groupe de travail au sein du GdR Robotique de 2014 à 2020) et d'expertise (notamment membre du comité

d'experts « robotique et interaction » de l'ANR en 2021). De telles activités l'ont notamment conduit à participer activement à la construction de l'association RobAgri, dont il préside depuis sa création le conseil scientifique et technique.

→ ***De la donnée au traitement autonome pour l'agroécologie***

Murielle MAMBRINI est DR1 à l'INRAE, HDR. Elle a débuté sa carrière de chercheuse en tant que nutritionniste des poissons, puis généticienne, puis a développé des programmes interdisciplinaires de plus en plus complexes pour le développement de la biologie intégrative, puis de la biologie prédictive. Elle y a associé sciences des techniques, de la nature et sciences humaines et sociales selon l'impact des sujets. Elle a présidé le centre INRAE de Jouy-en-Josas comme un « lieu naturel d'interdisciplines », puis orienté ses travaux scientifiques vers la consolidation d'une science de la gestion de la science. Elle a ajouté à sa panoplie opérationnelle les sciences du management, de l'innovation et l'épistémologie. Elle est l'auteure de publications scientifiques et conférences dans chacun des champs disciplinaires qu'elle a explorés ; son activité facilite l'ouverture des sciences et de l'écosystème d'innovation pour accompagner les transitions. Elle a dirigé l'Institut des Hautes Études pour la Science et la Technologie en composant des formations pour renforcer la capacité à agir pour un monde durable. Aujourd'hui, chargée de mission au Collège de direction de l'Inrae, directrice de l'école doctorale interdisciplinaire Frontière de l'Innovation en Recherche et Éducation (Université Paris Cité, Paris Sciences et Lettres, Learning Planet Institute), chercheuse associée à la Chaire Théorie et Méthodes de la Conception Innovante de Mines Paris - PSL, Chevalier de l'ordre national du mérite et du mérite agricole, elle œuvre pour faciliter la transition agro-écologique et le déploiement de nouvelles manières d'apprendre. Son objectif est d'accompagner les changements de paradigme appelés par l'agroécologie en concevant des passerelles entre la science, les acteurs opérationnels et les citoyens, comme entre les chercheurs de différentes disciplines. Elle est impliquée dans les projets européens visant à la programmation d'actions concertées pour la transition agro-écologique (co-coordination ALL-Ready 2020-2024, partenaire de PREPSOIL 2022-2026, Grazing4AgroEcology 2022-2026), et l'éducation soutenable (conception du Think & Do Tank de l'alliance universitaire Circle U). Elle anime le réseau franco-canadien des chercheurs impliqués dans les laboratoires vivants et la transformation en *think tank* pour les transitions du groupement d'intérêt scientifique Relance Agronomique).

→ ***Les voies de l'innovation en agriculture numérique : les living labs et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation***

Gilles MARTEL est chercheur à l'UMR BAGAP de l'INRAE. Co-responsable de la plateforme GAMAE, il axe sa recherche sur les interactions entre élevage et paysage, avec un focus particulier sur les exploitations polyculture-élevage où il participe à la production d'outils pour les accompagner au changement de pratiques.

→ ***Le numérique au service des différentes phases de création et d'utilisation des jeux sérieux en agriculture***

Jean-Baptiste MENASSOL, enseignant-chercheur à l'Institut Agro Montpellier au sein de l'unité mixte de recherche Systèmes d'Élevages Méditerranéens et Tropicaux (SELMET – Institut Agro Montpellier, INRAE, CIRAD), étudie les comportements animaux, dans leur dimension collective, à l'aide de capteurs numériques. Il développe une approche interdisciplinaire, à l'interface avec les sciences de l'électronique, de l'informatique et des mathématiques pour développer des outils numériques adaptés et adaptables aux situations d'élevages extensives. Responsable de l'animation de la thématique du numérique au sein de différents collectifs, il inscrit ses travaux dans des projets nationaux et européens visant à mieux comprendre le comportement des animaux, afin de formaliser les savoir empiriques des éleveurs et bergers, et identifier des situations et conditions favorables au bien-être des animaux d'élevage. Il mène également des développements

d'outils numériques favorisant des méthodes naturelles de maîtrise de la reproduction chez les petits ruminants.

→ ***How can precision livestock farming contribute to the principles of agroecology?***

Anne MIONE est Professeur à l'Université de Montpellier. Elle enseigne à l'Institut Montpellier Management le marketing stratégique, le management de la qualité et la stratégie. Elle codirige la mention Management et est coresponsable de la Chaire Marketing Responsable et Bien Être. Ses recherches conduites au sein de Montpellier Recherche en Management portent principalement sur les standards, les certifications et les labels de qualité. Elle observe plus spécifiquement les stratégies de création, diffusion et concurrence entre standards et réseaux rivaux. Elle a publié des articles dans des journaux tels que *Revue française de Gestion, Finance Contrôle Stratégie, M@n@gement, Management International, International Journal of Entrepreneurship and Small Business, Science Direct-TransTech Publications, Journal of Innovation Economics and Management.*

→ ***Les plateformes numériques de vente : Quelle(s) opportunité(s) pour les producteurs ?***

Simon MOINARD, fils d'agriculteur, est ingénieur agronome spécialisé dans les nouvelles technologies appliquées à l'agriculture, en particulier dans les capteurs et les objets connectés. Il est responsable du mobilab AgroTIC, un projet permettant de vulgariser les nouvelles technologies auprès des agriculteurs, ainsi que d'en identifier les besoins *via* des animations ludiques. Ces besoins alimentent par la suite des projets de recherche et d'enseignement. Il est également ingénieur pédagogique de la spécialisation d'ingénieur AgroTIC à l'Institut Agro Montpellier.

→ ***Le mobilab AgroTIC pour aller à la rencontre des agriculteurs***

Nicolas PAGET est chercheur en gestion au CIRAD, à l'UMR Innovation. Basé en Afrique de l'Ouest (Bénin), il étudie la ou les façons dont le numérique peut être utile à une agriculture respectueuse de l'environnement, *via* des projets allant du renforcement de réseaux de suivi conseils par la co-conception de solutions frugales, à l'étude du partage de l'information ou encore la modélisation dans des systèmes agro-socio-écologiques.

→ ***Une agriculture numérique inclusive ? Le cas de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest***

Léo PICHON est ingénieur agronome, docteur en sciences agronomiques et maître de conférences à l'Institut Agro Montpellier. Il mène ses activités de recherche sur la question du *crowdsourcing* en agriculture. Il s'intéresse en particulier aux outils et méthodes permettant de caractériser la qualité des observations et de les utiliser pour l'aide à la décision à l'échelle du territoire. Il est responsable d'un projet de caractérisation de l'état hydrique de la vigne à l'échelle régionale par la collecte d'observations de *crowdsourcing* par des viticulteurs et des conseillers viticoles.

→ ***Comment réussir un projet de crowdsourcing d'observations spatialisées en agriculture ?***

Dr Isabelle PIOT-LEPETIT is a Senior Research Scientist in Economics and Management at INRAE, and the Scientific Director of #DigitAg – Digital Agriculture Convergence Lab (<https://www.hdigitag.fr/en/>), Montpellier, France. Micro-economist, with a specialization in frontier approaches (Data Envelopment Analysis), she has conducted research on the measurement of efficiency and productivity and benchmarking of business performance, and developed skills in strategic and organizational management to understand how data analytics tools fit into organizational structures. Her new field of research focuses on the adoption and use of digital technologies in agri-food value chains

and the study of the impact of digitalization on the strategies of actors and organizational changes, especially those leading to more sustainability and circularity in practices. She is also the coordinator of a work package in a Horizon Europe project on the Data Economy for Food Systems (Data4Food2030, 2022-2026), coordinated by Wageningen Research.

→ ***Introduction - Le numérique, accompagner le changement de la fourche à la fourchette***

→ ***Reconfiguration of food value chains – between logistics and traceability***

→ ***Start-ups and digital innovation in the agri-food sector***

Mathieu RAJAIBA est doctorant en sociologie (Mines Paris - Université PSL). Sa thèse porte sur l'émergence de l'agriculture numérique en France depuis les années 2010. Il s'intéresse en particulier à des projets d'innovation et de plateformes autour des données agricoles. Son travail contribue à une compréhension des mobilisations d'acteurs publics et privés sur ces questions techniques, économiques et politiques. Par-delà cette étude, il participe plus généralement au développement d'une sociologie de l'innovation numérique attentive aux thématiques de la régulation et de la représentation des usagers.

→ ***Quelle place pour les hackathons pour accompagner l'innovation numérique en agriculture ?***

Mathieu ROCHE est chercheur au CIRAD à l'UMR TETIS (Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale). Il a obtenu un doctorat en informatique à l'Université Paris 11 (Orsay) en 2004 et a soutenu une habilitation à diriger des recherches (HDR) en 2011 à l'Université Montpellier 2. Il a dirigé/encadré dix-huit thèses et coordonné plusieurs projets de recherche dans le domaine de la fouille de textes, en particulier des projets pluridisciplinaires en collaboration avec des épidémiologistes, des géographes et des linguistes.

→ ***Une agriculture numérique inclusive ? Le cas de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest***

Florent SAUCÈDE est maître de conférences à l'Institut Agro Montpellier, UMR MoISA. Titulaire d'un doctorat en sciences de gestion de l'Université Montpellier 3, il a enseigné dans divers établissements d'enseignement supérieur en France et au Maroc, puis a effectué un post-doctorat à l'Institut du Marketing et du Management de la Distribution, Université de Lille. Il enseigne le management de la chaîne logistique, l'intermédiation dans les systèmes agri-alimentaires, le marketing de la distribution, les *business models* des distributeurs.

Ses recherches analysent les transitions socio-culturelles et technologiques dans les systèmes agri-alimentaires. Ils rendent compte des impacts de ces transitions sur les rôles, les schémas et les dynamiques de l'intermédiation et de la distribution, ainsi que sur la structuration des marchés. Ses publications récentes portent sur des thématiques comme le lien entre coexistence de schémas d'approvisionnement et résilience de l'approvisionnement des villes, la capacité des distributeurs B2B à « changer de position » dans des réseaux, ou l'évolution du paysage alimentaire et du rôle des distributeurs (grande distribution et alternatifs) dans la société française.

Il coordonne le projet ANR JC/JC BBSC, “Blockchain for participative, transparent, traceable, efficient and sustainable food supply chains”, qui a démarré en 2022 (ANR-21-CE21-0001). Son objectif est de comprendre comment la *blockchain* transforme les *supply chains* alimentaires et leurs dynamiques inter-organisationnelles lorsque cette technologie est déployée comme support de co-construction de traçabilité et de transparence dans les chaînes et auprès des consommateurs.

Ses travaux apparaissent dans des revues académiques telles qu'*Industrial Marketing Management, Consumption, Markets & Culture* et *International Journal of Retail &*

Distribution Management. Il est intervenu en tant qu'expert en distribution auprès de la région Occitanie, le CESER Occitanie et France AgriMer.

→ ***Perspectives logistiques et marketing de la traçabilité agri-alimentaire par la blockchain : Études de cas des usages de Walmart et Carrefour***

Éléonore SCHNEBELIN, diplômée d'AgroParisTech, est doctorante à l'INRAE sous la direction de Jean-Marc TOUZARD et de Pierre LABARTHE. Dans sa thèse, elle propose de s'éloigner des discours et des promesses du numérique pour étudier les représentations, les usages et les transformations de pratiques qu'amène le développement du numérique dans le secteur agricole. Elle s'intéresse plus particulièrement à préciser comment ces innovations interagissent avec l'intégration des enjeux environnementaux dans l'agriculture. En effet, bien que ces enjeux soient reconnus comme nécessaires et que le développement des technologies numériques soit proposé comme une réponse à ces enjeux, les liens entre ces deux processus sont peu étudiés. Sa thèse vise à étudier ces liens, au cœur des transformations contemporaines de l'agriculture, en mobilisant le cadre d'analyse de l'économie institutionnelle et des travaux sur les systèmes d'innovation.

→ ***Le développement du numérique : quelles perspectives pour l'agriculture biologique ?***

Mehdi SINÉ est le directeur scientifique, technique et numérique de l'Acta - les instituts techniques agricoles. Ingénieur agricole et titulaire d'un mastère en Management des Systèmes d'Information, il a tout au long de sa carrière travaillé dans le domaine du numérique agricole pour plusieurs instituts techniques. Il a plus particulièrement participé au développement d'outils d'aide à la décision à destination des agriculteurs pour les accompagner dans leurs choix tactiques et stratégiques. Son domaine de prédilection est l'interopérabilité et les échanges de données entre applications, et il a participé à ce titre à la fondation de la plateforme API-AGRO, qui se positionne comme le premier écosystème d'échange de données agricoles en France. Il est également à l'origine de la mise en place du réseau des Digifermes® développées initialement par Arvalis - Institut du végétal et aujourd'hui piloté par l'Acta. Il a participé à l'organisation de plusieurs *hackathons*, concours d'innovation dans le numérique agricole et est à l'origine du concept des « Hacktaferme », qui permettent de réunir des codeurs informatiques directement chez des agriculteurs. De 2017 à 2019, il a assuré la direction d'Acta Digital Services et a refondé la stratégie de développement de la filiale numérique de l'Acta. Il anime aujourd'hui au sein de l'Acta les réflexions du réseau des dix-huit instituts techniques agricoles sur les questions numériques, et pilote à ce titre le programme inter-Instituts dédié à cette thématique.

→ ***Les voies de l'innovation en agriculture numérique : les living labs et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation***

Anna-Prisca SOW est doctorante en géographie au CIRAD à l'UMR SELMET (Systèmes d'élevages méditerranéens et tropicaux). Au sein de l'ISRA CRA de Saint-Louis au Sénégal, sa thèse porte sur la transformation numérique des filières pastorales du Sahel sénégalais.

→ ***Une agriculture numérique inclusive ? Le cas de l'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest***

Médulline TERRIER-GESBERT est ingénieure à l'INRAE au département ACT. Chargée de partenariat et d'innovation, elle accompagne les dynamiques d'innovation sociale. Elle est co-responsable de la plateforme GAMAE.

→ ***Le numérique au service des différentes phases de création et d'utilisation des jeux sérieux en agriculture***

Bruno TISSEYRE est Professeur en agriculture de précision à l'Institut Agro-Montpellier. Il y mène ses recherches sur la viticulture de précision (VP). Il a initié et dirigé différents projets de recherche dans le domaine de la VP, tant au niveau européen qu'au niveau national, avec des partenaires universitaires ainsi qu'avec des entreprises privées. Ces projets se sont concentrés sur des questions de recherche liées au développement de méthodes d'aide à la décision opérationnelle à partir de données spatiales à haute résolution principalement. Il co-dirige et dirige aujourd'hui le consortium AgroTIC, qui regroupe vingt-sept entreprises sur l'agriculture numérique, et le Mas numérique, un laboratoire vivant sur la viticulture numérique, qui regroupe dix-huit entreprises sur le domaine du Chapitre de l'institut Agro.

→ *Le mobilab AgroTIC pour aller à la rencontre des agriculteurs*

→ *Déploiement du numérique en agriculture en France*

Laura TOMASSO, doctorante en droit privé à l'Université de Montpellier, depuis octobre 2017, sous la direction d'Agnès ROBIN, mène des recherches sur l'encadrement de l'accès aux données et de leur usage dans l'environnement numérique agricole. Cette thèse est cofinancée par l'Institut Convergences #DigitAg et l'Université de Montpellier.

→ *L'accès aux données agricoles : les domaines d'intervention de la loi et du contrat*

Jean-Marc TOUZARD est économiste, directeur de recherche INRAE, et conduit des recherches sur les processus d'innovation et de transition dans l'agriculture et l'agro-alimentaire face aux enjeux de sécurité alimentaire et du changement climatique. Il a notamment co-animé à l'INRAE le programme LACCAVE sur l'adaptation au changement climatique dans le secteur de la vigne et du vin (2012-2021) et l'axe « agriculture numérique et développement rural » de l'Institut Convergences #DigitAg. Ses recherches montrent comment les réseaux, connaissances et institutions peuvent favoriser l'innovation à l'échelle des entreprises d'un territoire ou d'un secteur dans son ensemble. Depuis 2016, il est directeur de l'UMR Innovation (Inra, SupAgro, CIRAD), qui étudie les relations entre innovations et développement dans les pays du Nord et du Sud.

→ *Le développement du numérique : quelles perspectives pour l'agriculture biologique ?*