

Introduction

« Les stratégies d'agriculture numérique aideront à rationaliser les ressources financières et humaines et à aborder de manière holistique les opportunités et les défis des TIC dans le secteur agricole, tout en générant de nouveaux revenus et en améliorant la vie des personnes dans les communautés rurales. » (FAO et ITU 2016, p. ix)

La FAO voit ainsi, dans le développement du numérique, une solution aux enjeux socioéconomiques des mondes ruraux.

« Plusieurs études ont démontré la nécessité d'augmenter considérablement la production alimentaire mondiale d'ici à 2050. Cependant, les terres arables supplémentaires sont limitées et la quantité d'eau disponible diminue. [...] Notre objectif est de permettre une agriculture basée sur les données. Nous pensons que les données, associées aux connaissances et à l'intuition de l'agriculteur concernant son exploitation, peuvent contribuer à accroître la productivité de l'exploitation et à réduire les coûts. [...] Nous élaborons plusieurs solutions uniques pour résoudre ces problèmes en utilisant des capteurs à faible coût, des drones et des algorithmes de vision et d'apprentissage automatique. » (Microsoft 2024)

Microsoft présente ainsi les enjeux de l'agriculture et son engagement pour un développement technologique du secteur agricole.

« Pour mélanger les bonnes portions dans les bonnes quantités et les distribuer au bon moment, il faut des connaissances, de l'expérience et du

temps. L'alimentation automatisée ainsi que d'autres équipements innovants prennent en charge l'alimentation quotidienne du troupeau, en assurant une efficacité optimale, tout en améliorant la santé animale. » (Lely 2024)

La précision, associée à l'automatisation, est aussi proposée pour du matériel d'alimentation animale, ici par Lely, entreprise hollandaise leader sur le marché de la robotique en élevage.

« Le #CoFarming consiste à valoriser la puissance d'Internet en matière d'intermédiation, pour mettre en relation les agriculteurs au-delà du simple voisinage. Du voisin de terre aux voisins numériques ! Une force pour la performance et la compétitivité des exploitations agricoles qui profitent de cette mise en réseau. » (CoFarming 2017)

Pour cette association française de startups, le numérique en agriculture c'est aussi de nouvelles possibilités de collaboration et de coopération.

Comme le montrent les exemples ci-dessus, dans de nombreux discours, qu'ils soient commerciaux, politiques ou médiatiques, le développement des technologies numériques est présenté comme solution aux enjeux actuels de l'agriculture, promettant un avenir meilleur aux agriculteurs et agricultrices, ainsi que des bénéfices pour la société dans son ensemble (Bournigal *et al.* 2015 ; CoFarming 2017 ; Lajoie-O'Malley *et al.* 2020). Le numérique permettrait d'améliorer les conditions du travail agricole et la rentabilité des exploitations, de dégager plus de temps libre et de simplifier certaines tâches, de mieux gérer les risques ou encore de favoriser les échanges avec les consommateurs... À l'échelle de la société, les promoteurs du numérique annoncent que ces innovations peuvent répondre au double enjeu de nourrir la planète et de respecter l'environnement. Au-delà des discours, l'agriculture numérique mobilise aussi des ressources. Des États, des régions, des organisations internationales, des entreprises et des fondations investissent dans la recherche et le développement de solutions numériques. Ainsi, la Commission européenne aurait versé 192 millions d'euros¹ entre 2014 et 2020 dans la recherche pour et sur le développement du numérique en agriculture. Les États, partout à travers le monde, accompagnent les jeunes entreprises du secteur à se développer en les accompagnant à travers des incubateurs, en finançant leurs projets de R&D, en investissant lors de leurs premières étapes de développement (Wolfert *et al.* 2023 ; Klerkx et Villalobos 2024). En France, le Plan France 2030 propose une « révolution de la connaissance du vivant » en agriculture à partir de la robotique, du numérique, de la génétique et du biocontrôle, financé à hauteur de 2,3 milliards d'euros. Les financements

1. Voir : https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/farming/documents/factsheet-agri-digital-transformation_en.pdf.

privés dans le domaine augmentent de manière exponentielle (AgFunder 2021). La recherche se structure autour de projets de plus en plus nombreux dans le domaine, à l'instar de l'institut de convergence DigitAg en France, du projet Data4Food à l'échelle européenne ou encore de la *Digiscape Future Science Platform* en Australie.

Pour autant, les connaissances disponibles actuellement sur les usages du numérique et la capacité de ces technologies à tenir les promesses annoncées sont peu nombreuses, et la question des apports réels du numérique à l'agriculture reste ouverte. Des discours critiques émergent peu à peu et viennent remettre en question ce « solutionnisme technoscientifique » (Fairbairn et Guthman 2020 ; Ingram *et al.* 2022). Ils restent eux aussi peu documentés scientifiquement, ou sont souvent focalisés sur des enjeux politiques comme le contrôle des données ou la dénonciation de nouvelles dépendances technologiques pour l'agriculture.

Des travaux montrent que le numérique pourrait apporter plus de connaissances, permettre une meilleure gestion de la complexité et de la diversité et améliorer l'optimisation des intrants (Walter *et al.* 2017). Les technologies numériques, de précision notamment, sont admises comme permettant d'améliorer l'efficacité de l'agriculture et de réduire ses impacts. Le numérique favoriserait la diffusion accrue d'information, faciliterait les échanges et l'apprentissage, catalyserait l'innovation et encouragerait la coopération (Wittman *et al.* 2020). Il pourrait également alléger la charge de travail liée à certaines tâches, ce qui faciliterait la mise en œuvre de pratiques agroécologiques intensives en main-d'œuvre (Bonny 2017).

En revanche, d'autres arguments opposent agriculture numérique et agroécologie. Selon certaines études, les gains en termes de précision, d'efficacité et d'économie d'intrants seraient relativement faibles et pourraient même être contrecarrés par des effets rebonds² (Moschitz et Stolze 2018 ; Visser *et al.* 2021). En outre, les outils numériques génériques seraient difficilement adaptables aux singularités des systèmes productifs agricoles, aux particularités locales et intégreraient difficilement les connaissances propres à chaque agroécosystème (Klerkx et Rose 2020). Par ailleurs, l'impact écologique intrinsèque de ces technologies (utilisation de ressources, consommation d'énergie) questionne leur pertinence pour l'écologisation (Berkhout et Hertin 2004 ; Lebrun *et al.* 2020). Une autre dimension de la controverse porte sur les modèles et trajectoires que le numérique supporte. Le développement de ces technologies est parfois décrit comme

2. Un effet rebond se produit lorsque les gains d'efficacité stimulent la demande, dont la croissance va contrebalancer, voire outrepasser, les effets positifs sur l'environnement liés au gain d'efficacité. En effet, un gain d'efficacité va potentiellement amener une baisse des coûts, des capacités plus importantes et de nouvelles demandes. C'est ce qui a été constaté avec les gains d'efficacité des ordinateurs, des serveurs, mais aussi dans le secteur des transports ou de l'énergie (Berkhout et Hertin 2004).

une continuité de la trajectoire basée sur la mécanisation, la simplification et l'homogénéisation des systèmes de production (Wolf et Buttel 1996 ; Clapp et Ruder 2020 ; Klerkx et Rose 2020). Ainsi, le numérique encouragerait des objectifs productivistes plutôt qu'écologiques (Bronson 2019). Un élément de cette critique porte sur l'autonomie de l'agriculteur. Les technologies numériques créeraient une dépendance aux fournisseurs de ces technologies, aux réseaux, aux données, et aux industries amont et aval (Carolan 2020 ; Stone 2022). Il peut également être vu comme une perte d'autonomie décisionnelle (Jeanneaux 2018). En outre, une critique porte sur le coût des technologies numériques, qui ne sont pas forcément accessibles à toutes les exploitations, et qui favoriseraient une concentration du capital.

Au regard des différentes controverses évoquées, le questionnement de cet ouvrage part de l'idée qu'il est erroné d'associer, de fait, l'écologisation et la digitalisation comme deux trajectoires forcément compatibles. *A priori*, elles ne sont ni compatibles ni incompatibles. Ce sont deux trajectoires différentes, portées par des acteurs différents, avec des objectifs différents. Elles vont cependant interagir, que ce soit au travers des pratiques mises en œuvre dans les exploitations agricoles ou au travers des politiques publiques, des connaissances développées et des projets des organisations agricoles. Pour étudier la question du lien entre numérique et écologisation de l'agriculture, analyser les mécanismes d'interactions, les possibles convergences, les paradoxes et les oppositions, il est donc nécessaire d'approcher la question en intégrant les politiques publiques, les connaissances, les acteurs et les usages, qui sont les éléments constitutifs du système d'innovation agricole.

Cet ouvrage propose de contribuer à ce débat en s'éloignant des discours et des promesses pour étudier les représentations, les usages et les transformations de pratiques qu'amène le développement du numérique dans le secteur agricole. Il s'intéressera plus particulièrement à préciser comment ces innovations interagissent avec l'intégration des enjeux environnementaux dans l'agriculture. Cet ouvrage est organisé en deux grandes parties.

La première partie présente un état des lieux empirique et scientifique de la question du numérique en agriculture. Après un détour historique sur les évolutions de l'agriculture depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, le chapitre 1 s'attache à décrire les transformations contemporaines du secteur agricole associées au développement du numérique : transformations des acteurs, des institutions et politiques publiques et des pratiques dans les exploitations agricoles. Ces transformations soulèvent un ensemble de controverses sur la manière dont ces changements accompagnent ou non la transformation écologique du secteur agricole. Le chapitre 2, grâce à une revue de la littérature scientifique sur la question, met en lumière les différentes composantes à prendre en considération pour analyser ces transformations dans toute leur complexité. Il invite ainsi

à étudier ces phénomènes de manière systémique, en intégrant plusieurs échelles d'analyse et en intégrant l'hétérogénéité interne au secteur agricole, trop souvent négligée. Le chapitre 3 décrit alors comment nous avons mis en œuvre cette approche originale de l'innovation.

La deuxième partie consiste en une analyse des liens entre développement du numérique et agricultures écologiques, en partant des perceptions, des pratiques et des projets des acteurs de terrain. Cette partie donne à voir la digitalisation du secteur agricole en train de se faire, dans ses différentes dimensions : réflexions des organisations agricoles, mise en œuvre des politiques publiques, collaborations entre acteurs du numérique et acteurs agricoles, usages du numérique dans les exploitations, expérimentations dans les coopératives. Elle montre ainsi les positionnements des acteurs dans ces transformations et leurs pratiques, en donnant à voir l'innovation non pas comme un processus exogène qui vient bouleverser le secteur agricole, mais bien comme un processus complexe, multidimensionnel, qui façonne et est façonné par les acteurs. Cette partie s'organise en quatre chapitres. Le premier (chapitre 4) s'intéresse aux perceptions et implications des organisations du système agricole d'innovation. Il montre que selon le type d'agriculture écologique promue par les acteurs, leurs attentes, leurs perceptions des risques ainsi que leurs stratégies concernant le numérique diffèrent. Cette diversité est peu perçue par les acteurs du numérique, suggérant un risque que le numérique soit développé uniquement selon les attentes et besoins du paradigme agricole dominant. Le chapitre 5 s'intéresse aux usages et perceptions des agriculteurs et agricultrices. Il montre la diversité de profils d'usage du numérique. Les usages les plus importants du numérique sont principalement réalisés au sein d'exploitations plus industrialisées. Les pratiques écologiques associées au numérique sont majoritairement limitées à des pratiques de justification ou d'optimisation plutôt qu'à des pratiques de transformation écologique plus profondes. Cependant, les outils numériques offrent des capacités d'accès et d'échanges de connaissances qui peuvent apporter un complément intéressant à des espaces d'échange de connaissances plus traditionnels tels que les associations d'agriculteurs. Le chapitre 6 se focalise sur les coopératives, qui ont un rôle d'intermédiaire entre la production et les filières aval, entre les producteurs et les autres organisations du système agricole d'innovation. Celles-ci tentent d'articuler un ensemble de normes : environnementales, réglementaires, commerciales, etc. Le numérique est alors parfois utilisé pour gérer la complexité grandissante de filières qui se diversifient et se segmentent, mais est principalement guidé par les exigences de l'aval plutôt que par des enjeux écologiques.

Le chapitre 7 met en relief et en interaction l'ensemble des précédents chapitres pour discuter des liens entre numérique et agricultures écologiques. Il montre que le développement du numérique dans les agricultures dépend de la diversité des modèles et des paradigmes, en interaction avec un système socioéconomique qui propose, incite, voire impose une trajectoire technologique. La trajectoire numérique agricole montre plusieurs

formes d'oppositions vis-à-vis d'une agriculture écologique forte, que ce soit en termes technique, d'objectif, de raisonnement, de dynamique temporelle, mais aussi d'enjeux politiques et sociaux. Des hybridations semblent toutefois possibles pour des agricultures écologiques industrialisées, ou bien à travers une reconception plus globale du numérique, en repensant ses modèles techniques, économiques et politiques.

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre de France 2030 et portant la référence ANR-16-CONV-0004. J'adresse mes sincères remerciements au réseau de recherche sur l'innovation (RRI) pour cette belle opportunité de publier mes recherches dans un ouvrage, dans le cadre du prix de thèse *Honoris Causa*.

Je remercie chaleureusement Jean-Marc Touzard et Pierre Labarthe pour leur accompagnement dans ma trajectoire de chercheuse, ainsi que l'ensemble des personnes ayant participé à ce travail d'une manière ou d'une autre. Un grand merci également à mes collègues de l'UMR Agir à Toulouse et de l'UMR Innovation à Montpellier. Merci à Paul pour son soutien infailible.