

L'agriculture numérique : les nouvelles technologiques numériques peuvent-elles accélérer la transformation profonde des systèmes alimentaires ?

Par Dr Véronique BELLON-MAUREL

Directrice de l'Institut Convergences Agriculture Numérique #DigitAg,
INRAE ITAP, Montpellier

Et Dr Isabelle PIOT-LEPETIT

Directrice scientifique de l'Institut Convergences Agriculture Numérique #DigitAg,
INRAE MoISA, Montpellier

Le numérique peut accélérer la transformation des systèmes alimentaires pour les rendre plus sains, plus durables et plus éthiques, en suivant les principes de l'agroécologie. Cette synergie entre numérique et agroécologie fait naître des challenges de recherche nouveaux : concevoir des capteurs et des robots peu coûteux, frugaux et simples d'usage, modéliser des systèmes agricoles plus complexes, repenser les systèmes de traçabilité et d'e-commerce alimentaire pour en améliorer l'efficacité, construire une gouvernance éthique des données. Une approche de type « recherche et innovation responsables » s'impose pour relever ces challenges.

INTRODUCTION

Le n°19 d'*Enjeux numériques* a présenté un panorama des technologies numériques pour les systèmes alimentaires, « de la fourche à la fourchette ». Ces technologies provoquent des bouleversements majeurs, qui sont autant d'opportunités dès lors que l'on en anticipe les risques. Dans cet article, nous synthétisons les besoins prioritaires pour que le numérique transforme l'agriculture et les chaînes de valeur en systèmes alimentaires sains, durables et éthiques. Nous présentons les grands enjeux de recherche¹ à prioriser pour que cette transition numérique soit orientée dans un esprit de bénéfice partagé entre les acteurs, et entre intérêts privés et publics. La notion de recherche et innovation responsables (RIR), qui fait appel à l'inter- et à la transdisciplinarité, apparaît une voie prometteuse, mais exigeante, pour construire un numérique réellement transformatif des systèmes alimentaires fondés sur l'agroécologie.

¹ Détaillés dans le livre blanc INRIA-INRAE (Bellon-Maurel *et al.*, 2022).

RENDRE LES SYSTÈMES ALIMENTAIRES PLUS SAINS ET PLUS DURABLES

Le « système alimentaire » inclut « les intrants, la production, le transport, les industries de transformation et de fabrication, la vente au détail et la consommation d'aliments, ainsi que ses impacts sur l'environnement, la santé et la société » (von Braun *et al.*, 2020). Scientifiques et décideurs publics s'accordent sur le fait que ces systèmes alimentaires doivent devenir plus sains, plus durables et plus résilients, et l'agroécologie est identifiée comme un levier pour atteindre cet objectif. L'agroécologie est basée sur des méthodes de production qui tirent parti de processus naturels et écologiques au bénéfice de la production agricole. Elle favorise les systèmes alimentaires locaux et souverains, et ainsi intègre non seulement la phase agricole mais aussi la consommation (Gliessman, 2016). La FAO² la décrit *via* une dizaine de caractéristiques (diversité, recyclage, efficacité, résilience, synergies, valeurs humaines et sociales, co-création et partage des connaissances, culture et traditions alimentaires, économie circulaire et solidaire, et gouvernance responsable), qui pourront être, pour certaines, soutenues et renforcées par le numérique.

QUEL NUMÉRIQUE POUR LES SYSTÈMES ALIMENTAIRES SAINS ET DURABLES ?

L'usage du numérique en agriculture n'est pas récent, mais depuis les années 2010, quatre « moteurs » (en anglais "*drivers*") technologiques se développent et donnent naissance à « l'agriculture numérique » : (1) la disponibilité accrue des données (objets connectés, nouveaux satellites) ; (2) des capacités nouvelles de traitement de ces données, *via* l'intelligence artificielle ; (3) le développement des réseaux (Internet), et enfin, (4) la robotisation, qui renouvelle l'automatisation de certaines tâches. Cette offre de technologies poussée par d'autres secteurs économiques est duale, avec de nombreuses opportunités mais aussi des risques. Identifier ces derniers est essentiel pour pouvoir les anticiper et les réduire, afin de développer une agriculture numérique aux bénéfices partagés entre les acteurs.

Plusieurs types de risques sont pressentis dans l'usage du numérique en agriculture (Bellon-Maurel *et al.*, 2022) : difficultés d'accès au numérique, d'ordre technique (couverture réseau), financier (coût des technologies), cognitif (manque de formation) ou psychologique (autocensure) ; impact environnemental issu, d'une part, de l'empreinte environnementale du numérique, souvent ignorée dans les évaluations, et, d'autre part, d'une transition incomplète, si on se limite à la première cible du numérique, l'efficacité des intrants ; risque technique (panne, cyberattaque) et complexification des systèmes ; risque social, à diverses échelles, avec une perte d'identité (qu'est-ce qu'un agriculteur si toutes les décisions sont prises par une machine ?), l'évolution des métiers (conseil agricole) ou le renforcement potentiel de situations de pouvoir et d'asymétrie d'information au sein des chaînes de valeur ; menace sur la souveraineté, à différentes échelles, de l'agriculteur jusqu'aux États (risque sur la souveraineté alimentaire des États ?).

Ainsi, l'enjeu est-il aujourd'hui d'intégrer ces différentes sources de risques dans les questions de recherche, pour « tirer le meilleur » du numérique au bénéfice de systèmes alimentaires sains et durables, et ce, dans la phase « production » comme dans la phase « chaîne de valeur ».

² <https://www.fao.org/3/ca7173en/ca7173en.pdf>

COMMENT LE NUMÉRIQUE PEUT-IL FACILITER L'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTION ?

Dans l'exploitation agricole, le numérique peut accompagner l'agriculteur sur trois fonctions : l'observation, la décision et l'action.

L'observation est indispensable pour vérifier les trajectoires biologiques des plantes ou des animaux. Elle est traditionnellement faite par l'agriculteur, mais une détection précoce des problèmes (maladies, stress, etc.) permettrait d'agir au plus tôt et de manière ciblée. Les capteurs optiques, imageurs ou multi-spectraux sont très utilisés, du *smartphone* aux images satellitaires. La recherche doit relever des challenges de traitement d'images complexes (prises en milieu réel), de frugalité des données collectées et de traitements décentralisés (*edge computing*).

Accompagner la prise de décision suppose que l'on dispose de modèles. Plus on se place à un niveau stratégique, plus le modèle est complexe, car il doit intégrer l'environnement économique et sociotechnique (Fielke *et al.*, 2019). Les systèmes d'aide à la décision qui traitent la gestion au quotidien des cultures ou du troupeau sont plus nombreux, mais se limitent à des approches conventionnelles. Or en agroécologie, les effets synergétiques les plus forts résident dans la mise en œuvre de la diversité (mélanges d'espèces, de variétés, associations culture / élevage, etc.), ce qui rend les systèmes beaucoup plus difficiles à modéliser ; le paramètre à optimiser – classiquement la marge brute ou le chiffre d'affaires – est de plus associé à d'autres paramètres de performance : économique, environnementale ou sociale. Une autre difficulté de modélisation vient de ce que l'agroécologie cherche à adapter la production aux caractéristiques locales (sol, climat, etc.) d'où des systèmes fortement « site-dépendants », dont le modèle ne peut pas être standardisé. Enfin, l'agroécologie intègre des valeurs humaines et sociales fortes comme l'autonomie des agriculteurs. C'est pourquoi les décisions fournies par les machines doivent être interprétables pour contribuer à la formation des agriculteurs ou conseillers, et au maintien de leur autonomie décisionnelle. Ces différents points sont autant de challenges pour les modélisateurs, aussi bien dans le formalisme (mono-objectif *vs* pluri-objectif), que dans la complexité du modèle « situé » et personnalisé (intégrant une partie de la connaissance de l'agriculteur).

L'action de l'agriculteur a depuis toujours été facilitée par des outils et des machines. Aujourd'hui se profile la machine autonome qui vise d'abord à réduire l'astreinte (robot de traite), mais qui permet aussi de reconcevoir complètement les *process* agricoles : substitution de lourdes machines par de petites machines fonctionnant en essaim, interventions plus fréquentes, nocturnes, etc. Des recherches sont encore nécessaires sur la navigation en milieu ouvert, la coopération entre machines et la coopération homme-machine, avec aussi la contrainte de limiter le coût du robot pour qu'il reste accessible.

Enfin, c'est au niveau du paysage et du territoire que l'approche agroécologique recherche des synergies³ ou gère des ressources rares, comme l'eau. L'échelle des territoires nécessite une concertation des acteurs, agriculteurs et autres « usagers » de l'espace, qui peut être facilitée par les objets frontières ou intermédiaires (Trompette et Vinck, 2009). Les simulateurs numériques ou « jumeaux numériques de territoires »⁴ peuvent jouer ce rôle, et servir de modèles d'accompagnement aux négociations ou aux démarches de conception participative des territoires.

³ Par exemple, les bioagresseurs (insectes...) verront leur dissémination limitée par des paysages diversifiés.

⁴ <https://www.banquedesterritoires.fr/miroir-miroir-le-jumeau-numerique-du-territoire-0>

RECONFIGURATION DES CHAINES DE VALEUR AGRI-ALIMENTAIRES

L'essor de la digitalisation alimente une dynamique de reconfiguration des chaînes de valeur alimentaires sous l'impulsion d'une demande croissante en matière de traçabilité et l'apparition de nouveaux intermédiaires tels que les plateformes.

Traçabilité

La notion de traçabilité renvoie à des attentes très différentes des acteurs des chaînes agri-alimentaires, mais tous réclament l'accès à plus de transparence. Au-delà des caractéristiques des produits (qualité sanitaire et nutritionnelle) ou des procédés de production et de distribution (traditionnels, culturels), de l'origine des produits ou des circuits logistiques (chaîne du froid), elle porte aussi sur des valeurs environnementales (zéro carbone, zéro pesticides) et de plus en plus souvent sur des valeurs sociales (juste rémunération, conditions de travail). La traçabilité est un moyen de lier production et consommation, en relatant l'histoire du produit aux consommateurs. Les informations, réclamées par ces derniers, éclairent leurs choix et accroissent leur rôle de prescripteurs dans les chaînes de valeur. Les producteurs cherchent à démontrer qu'ils adoptent des normes et pratiques « vertueuses » : étiquetage spécifique, certifications, etc. Le suivi numérique des produits périssables tout au long de la chaîne logistique permet, entre autres, une identification rapide des responsabilités en cas de défaillance, une réaffectation anticipée des produits en cas de dysfonctionnement, une réduction du gaspillage alimentaire ou la détection de falsification de produits pendant le transport (Bellon-Maurel *et al.*, 2022).

Les *blockchains* peuvent répondre à ce besoin de traçabilité. La *blockchain* est une technologie de stockage et de transmission d'informations faite de « blocs » d'informations reliés entre eux par une « chaîne », et infalsifiables⁵. Cependant, dans les chaînes d'approvisionnement, la mise en œuvre des *blockchains* n'est pas triviale. D'une part, elle ne garantit pas la véracité des informations transmises, à savoir la cohérence entre les flux de données et les flux de produits, d'autre part, elle nécessite une confiance parfois difficile à créer entre les participants. Ainsi, elle ne constitue pas la réponse à tous les besoins de transparence et de sécurisation des échanges (Saucède et Piot-Lepetit, 2022). D'autres approches sont possibles : systèmes participatifs de garantie, *e*-certification ou services mobilisant plusieurs technologies numériques (capteurs, RFID, etc.).

L'équilibre matériel / immatériel

On observe un basculement des échanges d'un mode basé sur des produits et des interactions physiques à un environnement de plus en plus immatériel où le service devient prépondérant. Cette immatérialité rend possibles de nouvelles proximités entre acteurs, qui ne sont plus géographiques mais construites autour de valeurs communes (morales, éthiques ou culturelles). En contrepartie, elles induisent un besoin accru de transparence et une demande de co-construction de l'information. Des besoins forts de personnalisation des offres et des services apparaissent. Cela se manifeste, du côté de l'offre, par des conseils ou services ciblés, par exemple logistiques, et, du côté de la demande, par des produits intégrant les caractéristiques de santé des consommateurs ou permettant un recyclage facilité des déchets. Cette personnalisation met l'humain au centre des transformations numériques.

⁵ Webdoc INRAE (2022), « Le numérique comme levier pour l'agroécologie et l'alimentation durable », <https://numerique.webdoc.inrae.fr/fev-2022/#page=1>

L'e-commerce agri-alimentaire est un intermédiaire qui soutient ce besoin de proximité et de personnalisation. Il se développe à des échelles très variées, avec des géants comme Walmart et Amazon, et des acteurs locaux portant un nouveau modèle de développement rural et agricole qui hybride approches globales et approches territorialisées. De nombreuses collectivités territoriales cherchent à construire des plateformes pour rapprocher offres et demandes, et dynamiser leur territoire, permettant à des zones rurales isolées d'accéder à des segments de marché valorisés, de créer des relations stables avec les consommateurs des zones urbaines et d'approvisionner la restauration collective (Bellon-Maurel *et al.*, 2022). Toutefois, des challenges subsistent : rendre visibles les offres locales, attirer un nombre suffisant de clients sur les plateformes, disposer d'une logistique adaptée, etc. Ainsi, avec le développement de l'e-commerce et l'agilité attendue par les chaînes de valeur, la logistique devient un acteur central tant du transport de produits que du transfert d'informations que requiert la traçabilité, délivrant les données nécessaires à la vérification des produits, limitant les gaspillages alimentaires, réduisant les risques de falsification et identifiant les responsabilités en cas de défaillance (El Hadad-Gauthier et Piot-Lepetit, 2022).

L'ENJEU PARTICIPATIF

La construction d'une agriculture numérique transformative et partagée fait ressortir le besoin de repenser la participation des acteurs, sur deux points : le partage des données et la co-innovation.

Les données

Avec une place croissante dans tous les secteurs de l'économie, les données se transforment aussi en actifs stratégiques (OCDE, 2020). Cette évolution conduit à modifier fondamentalement la façon dont nous collectons, enregistrons, utilisons, traitons et valorisons ces données multisources (satellites, stations météorologiques, capteurs, etc.). Elles peuvent être valorisées pour améliorer les performances de l'exploitation, avec l'intervention d'entreprises de conseil ou d'autres acteurs du secteur agricole (équipementiers, administrations, instituts de recherche, etc.), ce qui induit des risques, notamment de violation de la vie privée, de sécurité numérique ou même de discrimination. À l'échelle régionale ou mondiale, elles ouvrent la voie à des prévisions de récolte, avec des enjeux de spéculation et de sécurité alimentaire.

Il devient donc essentiel de penser collectivement la gouvernance des données. La gouvernance des données fait référence à un système de droits de décision et de responsabilités concernant les processus générant des informations. Ces processus sont exécutés selon un modèle agréé entre les parties prenantes qui spécifie qui peut mettre en œuvre quelle action, à partir de quelles données, quand, sous quelles circonstances et avec quelles méthodes⁶. Mais alors que les données sont utilisées dans un nombre croissant de secteurs, la question de leur gouvernance peine à évoluer aussi vite que les technologies elles-mêmes. Les pouvoirs publics commencent à aborder cet enjeu *via* un certain nombre de politiques et réglementations, sur la protection de la vie privée et des données à caractère personnel, l'accès aux données, le partage et l'utilisation de ces données (Tomasso, 2022), mais la tâche est encore immense, d'autant que les données agricoles sont souvent géolocalisées.

⁶ The Data Governance Institute, http://www.datagouvernance.com/adg_data_governance_definition/

Le co-apprentissage et la co-innovation

Pour favoriser l'évolution vers des systèmes alimentaires durables et éthiques – au plan environnemental ou du partage de la valeur générée –, il est indispensable d'accompagner les acteurs des chaînes de valeur afin de minimiser la prise de risques. Le numérique est un atout pour le partage des connaissances et la pérennisation des savoirs traditionnels (plateformes d'échanges et de diffusion de savoirs). Les réseaux sociaux créent de nouveaux liens pour les agriculteurs, entre eux, avec des chercheurs et la société. En outillant les méthodes participatives, le numérique est aussi un facilitateur de la co-création de connaissances, d'outils et d'usages, y compris dans des approches d'innovation ouverte. Dans ces espaces d'apprentissage social, les connaissances locales, traditionnelles ou indigènes se combinent aux connaissances scientifiques et technologiques, permettant ainsi d'appréhender la complexité des situations et de tenter d'y répondre collectivement.

CONCLUSION

Pour accélérer la transformation profonde des systèmes alimentaires, une des questions qui s'ouvrent est la convergence des pratiques d'agroécologie et du déploiement des technologies numériques.

En effet, l'agroécologie va au-delà de l'amélioration des systèmes agricoles, et intègre des aspects socio-économiques de la chaîne de valeur et des dimensions sociales plus justes et plus éthiques. En tant que technologie habilitante, le numérique peut accroître les capacités de réponse à ces enjeux transformatifs, sous réserve d'un certain nombre de points d'attention.

Tout d'abord, les systèmes agricoles et alimentaires sont des systèmes complexes, intégrant de nombreux éléments et acteurs en interaction à différentes échelles (exploitation, territoire, filière, etc.). Il est nécessaire de développer une vision systémique pour les aborder en envisageant – conjointement avec le déploiement technique – les implications d'ordres organisationnel, socioéconomique et sociopolitique, mais aussi les impacts sur l'environnement et l'usage de ressources (Fileke *et al.*, 2019). Il devient essentiel d'étudier les futures technologies et applications à la lumière de leurs effets directs, dans leur application, mais aussi de leurs effets indirects dans l'ensemble du système alimentaire et sur la société, en termes biotechniques, économiques, sociaux, environnementaux et éthiques. Cela conduira aussi à développer un numérique plus sobre et aux bénéfices partagés entre les acteurs. L'implication, directe ou indirecte, de ces derniers dans la conception est également un facteur clé de succès pour l'adoption de ces technologies, et de nouveaux processus – comme les *living labs* – sont à déployer pour favoriser les échanges.

Ces approches issues de la recherche et innovation responsables⁷ conduiront à concevoir, construire et promouvoir un numérique pertinent, partagé et transformatif, capable d'accompagner la transition vers des systèmes alimentaires sains, durables et éthiques.

⁷ Déclaration de Rome sur la RRI (en anglais *responsible research and innovation*), 21 novembre 2014, https://www.sis-rri-conference.eu/wp-content/uploads/2014/12/RomeDeclaration_Final.pdf

RÉFÉRENCES

BELLON-MAUREL V., BROSSARD L., GARCIA F., MITTON N. & TERMIER A. (2022), « Agriculture et numérique : Tirer le meilleur du numérique pour contribuer à la transition vers des agricultures et des systèmes alimentaires durables », livre blanc INRIA-INRAE, <https://www.inrae.fr/actualites/agriculture-numerique-livre-blanc-dinria-inrae-construire-bases-dune-agriculture-numerique-responsable>

EL HADAD-GAUTHIER F. & PIOT-LEPETIT I. (2022), “Reconfiguration of food value chains – between logistics and traceability”, *Annales des Mines - Enjeux numériques*, n°19, pp. 42-46.

FIELKE S., GARRARD R., JAKKU E., FLEMING A., WISEMAN L. & TAYLOR B. (2019), “Conceptualising the DAIS: Implications of the ‘Digitalisation of Agricultural Innovation Systems’ on technology and policy at multiple levels”, *NJAS, Wageningen Journal of Life Sciences*, 1, pp. 90-91, <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.002>

GLIESSMAN S. (2016), “Transforming food systems with agroecology”, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(3), pp. 187-189.

OCDE (2020), “Going digital integrated policy framework”, *OECD Digital Economy Papers*, n°292.

SAUCÈDE F. & PIOT-LEPETIT I. (2022), « *Blockchain, supply chains* et durabilité des systèmes agri-alimentaires : Quels impacts ? Une illustration à partir d'études de cas », *Technologie et Innovation*, ISTE Open Science.

TOMASSO L. (2022), « L'accès aux données agricoles : les domaines d'intervention de la loi et du contrat », *Annales des Mines - Enjeux numériques*, n°19, pp. 74-78.

TROMPETTE P. & VINCK D. (2009), « Retour sur la notion d'objet-frontière », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 3(1), pp. 5-27.

VON BRAUN J., AFSANA K., FRESCO L., HASSAN M. & TORERO M. (2020), “Food systems – Definition, concept and application for the UN Food Systems Summit”, *UN Food System Summit 2021*, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/sites/default/files/food_systems_concept_paper_scientific_group_-_draft_oct_261.pdf