

# Innovation et transformation numérique dans l'Agroalimentaire

---

ENJEUX, OPPORTUNITÉS ET DÉFIS  
STRUCTURELS DE L'ADOPTION  
DES NOUVELLES TECHNOLOGIES

MARS 2025

## Autrices

**Josefina GIMENEZ**

Directrice Recherche et Innovation  
Artimon Perspectives

**Marine PAGLIARI**

Chercheuse  
Artimon Perspectives

**Chiara LO CASCIO MACCHIARELLA**

Consultante Expérimentée  
Artimon

**Marine CERES**

Consultante  
Artimon

# SOMMAIRE

<b>Une politique de l'innovation pour le secteur agroalimentaire est-elle possible ?</b>	<b>03</b>
<b>I. L'agroalimentaire : des problématiques communes pour un secteur hétéroclite</b>	<b>04</b>
<b>II. Quels déterminants pour l'adoption des nouvelles technologies dans le secteur agroalimentaire ?</b>	<b>06</b>
• Le besoin de traçabilité en lien avec la réglementation sanitaire européenne	07
• Le besoin d'interconnexion entre les acteurs de la chaîne de valeur	08
• La demande de transparence de la part des consommateurs	09
<b>III. Agriculture 4.0 : Les technologies de la donnée dans l'agroalimentaire</b>	<b>11</b>
• Industrie 4.0 et secteur agroalimentaire	11
• L'utilisation des nouvelles technologies au cœur de l'écosystème agroalimentaire	13
<b>IV. Limites et enjeux à l'adoption des nouvelles technologies dans le secteur agroalimentaire</b>	<b>19</b>
• Contraintes techniques, complexité d'utilisation et gestion de la donnée : les défis de la transition numérique en agriculture	19
• Les solutions technologiques face aux défis environnementaux	21
<b>Conclusion</b>	<b>23</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>24</b>

# UNE POLITIQUE DE L'INNOVATION POUR LE SECTEUR AGROALIMENTAIRE EST-ELLE POSSIBLE ?

De nombreux facteurs transforment les dynamiques de la chaîne de valeur dans les secteurs de l'agriculture, de l'élevage et de l'agroalimentaire au sens large, préparant le terrain pour un potentiel changement de modèle. À l'instar d'autres domaines, le secteur de l'agroalimentaire se trouve au cœur d'une série de mutations structurelles qui redéfinissent ses pratiques et ses objectifs. Historiquement dominée par les grands industriels, axés sur l'efficacité et la productivité, l'innovation technologique s'étend désormais à l'ensemble des acteurs du secteur. Ces évolutions s'inscrivent dans un contexte où les enjeux environnementaux, économiques et démographiques imposent la recherche de nouvelles opportunités et la refonte des modèles traditionnels.

La croissance du marché agroalimentaire à l'échelle mondiale accentue ces pressions, en exigeant une réponse à une demande en constante augmentation tout en limitant son impact écologique (Dong, 2021). En effet, les problématiques d'ordre environnemental, de santé publique et de développement social sont au centre des préoccupations tant locales qu'internationales. Par ailleurs, les exigences des consommateurs et des partenaires commerciaux en matière d'information et de transparence renforcent la nécessité d'une traçabilité accrue des produits.

Bien que nécessaire pour garantir la qualité et la provenance des produits, cette demande de traçabilité place les acteurs du secteur aussi devant des défis technologiques majeurs. Des solutions émergent pour répondre à ces enjeux, parmi lesquelles des technologies établies comme l'Internet des objets (IoT) et la RPA (Robotic Process Automation), comme des outils plus récents tels que la blockchain, le big data et l'Intelligence Artificielle (IA). Ces innovations ouvrent des perspectives prometteuses pour améliorer la durabilité et l'efficacité des processus agroalimentaires, tout en répondant aux impératifs environnementaux et sociétaux qui façonnent l'avenir du secteur.

En effet, l'innovation agricole, entendue comme l'intégration de technologies performantes et de nouveaux outils, peut aider le secteur à améliorer sa gestion, assurer un meilleur suivi des produits et, potentiellement, réduire son impact environnemental, grâce entre autres à une connaissance plus fine des conditions de production et d'exploitation. Cependant, la capacité à innover pour les différents acteurs de la chaîne est composite, et l'efficacité des mesures nécessaires prises par les différentes instances gouvernementales, telles que des réductions de taxes ou des subventions, est difficile à quantifier et à mesurer. Comme des chercheurs tels que Akkaya et al. (2020) le font remarquer, des politiques publiques efficaces et la prise en compte des préférences des consommateurs sont nécessaires afin d'établir une feuille de route de l'innovation qui corresponde aux conditions d'évolution du secteur. L'expérimentation et l'innovation dans les méthodes de production, de distribution ou de vente ne sauraient pas, par ailleurs, se faire au détriment d'une amélioration sur les plans sociaux et sociétaux.

Une politique visant à promouvoir l'innovation pour le secteur agroalimentaire doit se baser sur une compréhension de l'écosystème dans son ensemble, tenant compte de sa diversité et de son hétérogénéité, ainsi que des interactions entre parties-prenantes. Des grands industriels aux exploitations familiales de petite taille, les acteurs sont variés et les possibilités divergent radicalement, sans oublier la place importante occupée par les coopératives agricoles. Les défis environnementaux et technologiques en particulier placent cet acteur historiquement secondaire au centre des enjeux de transformation du secteur. Afin d'établir une politique durable, et compte tenu des coûts importants que ces transformations comportent, la connaissance des obstacles techniques, financiers ou humains que ces acteurs rencontrent est nécessaire. Elle permet également de mesurer les impacts des transformations pour les exploitations, et le potentiel déploiement et résultats que chacune d'entre elles peut effectuer et atteindre.

Cet article pose la traçabilité comme un enjeu majeur du secteur agroindustriel, pivot d'un ensemble de changements structurels nécessaires pour adresser les exigences des consommateurs, des partenaires mais aussi des régulateurs. Nous proposons une vision large de l'écosystème, permettant de remarquer sa diversité et hétérogénéité. Une réponse univoque aux enjeux communs ne saurait pas adresser la complexité du secteur. Nous explorons la place des nouvelles technologies, ainsi que l'utilisation qui en est faite au sein de la chaîne de valeur. Enfin, afin de remettre ces éléments en contexte par rapport à un secteur très large et divers, nous étudions certains défis auxquels le secteur se confronte à l'heure d'intégrer les nouvelles technologies à bon escient.

# I. L'AGROALIMENTAIRE : DES PROBLÉMATIQUES COMMUNES POUR UN SECTEUR HÉTÉROCLITE

La nature hétérogène et diverse du paysage agricole européen soulève des questions complexes et évidentes en matière de politique agricole et de soutien économique aux agriculteurs. En effet, l'industrie agricole se caractérise à l'échelle européenne par une diversité notable de structures et d'acteurs, comprenant à la fois des exploitations familiales de petite et très petite taille, ainsi que de grandes entreprises agro-industrielles. Les exploitations familiales, (celles où 50% ou plus de la main-d'œuvre est fournie par des membres de la famille), représentent 93% de toutes les exploitations agricoles de l'Union Européenne (UE), alors que les 20% des plus grandes exploitations contrôlent environ 80% des terres agricoles (Eurostat 2016 ; European Commission, 2023).

Cette diversité pose également des questions centrales concernant la politique d'innovation du secteur : la division du territoire agricole entre grands et petits acteurs influence directement leur capacité à se transformer, et leurs ressources et compétences disponibles pour adopter les nouvelles technologies.

D'une part, la taille de l'entreprise peut déterminer l'ampleur des ressources disponibles, tant économiques que de compétences spécialisées nécessaires pour l'implémentation des technologies de pointe. D'autre part, la diversité d'acteurs se traduit en une diversité de cultures, de manières de fonctionner, d'objectifs et de capacité à prendre des risques. Ainsi, envisager un plan d'action et des ambitions homogènes pour l'ensemble du secteur semble loin des possibilités réelles.

Dans ce contexte, une option stratégique pour les exploitations agricoles consiste à se regrouper au sein de coopératives. Ce modèle collaboratif permet de soutenir les agriculteurs, mutualiser les ressources et partager les coûts liés à l'achat de matériel. Ces coopératives varient en taille et en spécialisation, allant de petites structures locales à de grandes entreprises internationales. Les coopératives jouent un rôle central dans l'agriculture, en particulier en France, représentant une part significative du chiffre d'affaires de l'agroalimentaire. Selon Coop de France (2022), 75% des agriculteurs adhèrent à au moins une coopérative et ces dernières représentent environ 40% du chiffre d'affaires du secteur l'agroalimentaire. Les coopératives sont bien déterminantes à l'heure de renforcer la compétitivité du secteur agricole, et peuvent faciliter une transition numérique plus efficace pour l'ensemble des acteurs notamment.

Au-delà de ces dynamiques de regroupement en coopératives, il est important de prendre en compte tous les acteurs structurant la filière agroalimentaire. En effet, comprendre la diversité des acteurs, leurs interactions et leurs besoins spécifiques permet d'envisager ensuite la manière dont les technologies, adaptées à chaque typologie d'opérateur, pourraient s'intégrer dans la chaîne de valeur.

Ces acteurs et intermédiaires sont représentés sur l'ensemble de la chaîne de valeur agroalimentaire. Les « producteurs primaires », dont l'activité est de cultiver les terres, élever le bétail ou pêcher les ressources marines, fournissent les matières premières essentielles qui alimentent la chaîne. Les « transformateurs » agissent dans la chaîne de valeur en convertissant les matières premières en produits finis. Parmi ces acteurs, on trouve des entreprises agroalimentaires qui traitent les récoltes pour produire des aliments emballés, des abattoirs qui préparent la viande à partir d'animaux, ou encore des laiteries qui procèdent à la transformation du lait. Les « distributeurs » acheminent les produits transformés vers les marchés locaux, régionaux ou internationaux. Cela peut inclure des grossistes, des détaillants, des marchés de producteurs et des entreprises de logistique. Enfin, les « consommateurs » constituent le maillon final de la chaîne en achetant les produits agricoles pour la consommation.

À chaque maillon les acteurs peuvent se regrouper sous forme de coopératives. Les producteurs primaires s'associent en coopératives pour mutualiser les ressources, partager les coûts et accéder à des marchés plus larges. Les transformateurs, tels que les laiteries ou les abattoirs, peuvent former des coopératives pour améliorer leur capacité de production et de négociation. De même, les distributeurs, y compris les détaillants et les entreprises de logistique, peuvent se regrouper en coopératives pour optimiser la distribution des produits agricoles.

Les coopératives favorisent la collaboration entre les acteurs et contribuent à la valorisation des produits régionaux, notamment en participant activement à la mise en place de signes de qualité et d'origine, tels que le label rouge, l'AOC ou l'IGP. De plus, grâce à la mutualisation des ressources et la collaboration entre agriculteurs, les coopératives permettent l'adoption de nouvelles technologies et pratiques agricoles durables. Par exemple, la Coopération Agricole Occitanie et la Coopérative Agricole de Lorraine ont investi dans des solutions innovantes, et notamment dans l'achat de matériel agricole de précision, en vue de répondre aux enjeux d'une croissance durable. On peut supposer que, sans l'accompagnement des coopératives, certaines exploitations auraient pu rencontrer des difficultés à accéder aux ressources ou aux connaissances nécessaires pour intégrer ces innovations dans leur pratiques professionnelles (La Coopération Agricole, 2024).

Ainsi, l'adoption des nouvelles technologies va bien au-delà d'une simple modernisation des pratiques. Elle doit être comprise à la lumière de tous les facteurs qui influencent ce secteur aujourd'hui. Pour en saisir la portée, ces innovations doivent donc être replacées dans un cadre plus large, où la modernisation agricole répond à des enjeux dépassant la seule efficacité opérationnelle.

## II. QUELS DÉTERMINANTS POUR L'ADOPTION DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DANS LE SECTEUR AGROALIMENTAIRE ?

L'adoption des nouvelles technologies dans le secteur agroalimentaire s'inscrit dans un cadre plus large marqué par des défis tels que le renforcement de la réglementation, l'exigence accrue de traçabilité, et la nécessité d'une interconnexion efficace entre les acteurs de la filière (Fig. 1). Ces enjeux, auxquels les nouvelles technologies semblent en partie pouvoir répondre, méritent une analyse approfondie pour comprendre comment elles redessinent les contours de l'agriculture moderne.

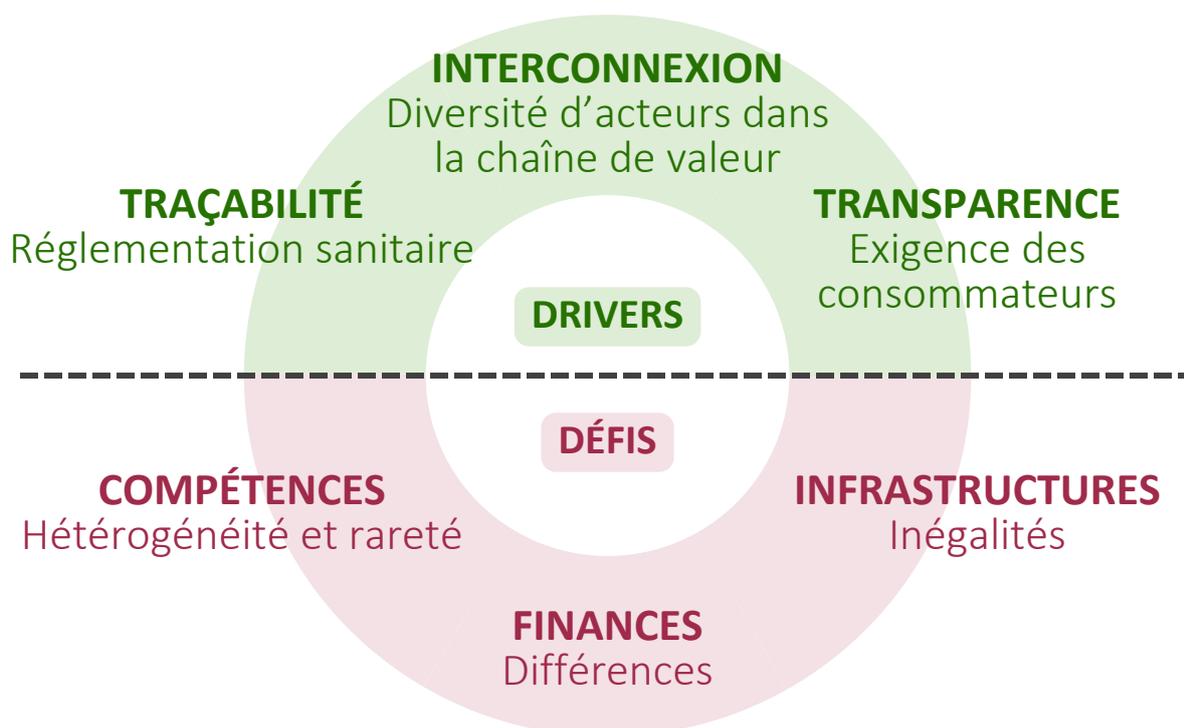


Fig.1 Les principaux déterminants de l'adoption des technologies dans le secteur agroalimentaire, Artimon©

## Le besoin de traçabilité en lien avec la réglementation sanitaire européenne

La politique de sécurité alimentaire de l'UE, définie par plusieurs lois et directives, couvre l'ensemble de la chaîne de valeur agroalimentaire, c'est-à-dire de la production à la consommation, ainsi que les marchandises échangées avec d'autres pays. Ces normes réglementaires visent, entre autres, à assurer la sécurité alimentaire, la transparence et la protection des consommateurs, en se focalisant principalement sur quatre thématiques (EUR-lex, 2016) :

- **L'hygiène alimentaire** : des exploitations agricoles aux restaurants, la filière agroalimentaire doit se conformer à la législation de l'UE, y compris pour les importations. Le « Paquet hygiène » est le corpus de règlements européens applicables aux Etats membres fixant les objectifs d'hygiène à atteindre pour les professionnels du secteur (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2023).
- **La santé animale** : des mesures sanitaires strictes, telles que le « Règlement (UE) "santé animale" 2016/429 », sont mises en place pour les animaux de compagnie, d'élevage et sauvages.
- **La santé des végétaux** : le « Règlement (UE) 2016/2031 » sur les mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux fait partie des lois et directives qui assurent une détection précoce et une élimination des organismes nuisibles garantissant des semences saines et une production végétale sans risque.
- **Les contaminants et résidus** : des contrôles rigoureux sont effectués pour éviter toute contamination des denrées alimentaires, aussi bien importées que produites dans l'UE, avec des limites maximales acceptables établies pour les contaminants, (par exemple le Règlement (CE) n° 1831/2003 fixe les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires).

Dans ce cadre réglementaire, l'UE place la traçabilité des produits alimentaires au cœur de ses priorités. Pour les produits d'origine animale, la législation européenne stipule explicitement la nécessité d'un système de traçabilité détaillé, permettant de suivre précisément l'origine des ingrédients et les conditions de production (Journal officiel de l'Union européenne, 2011). Pour les autres produits alimentaires, bien que la traçabilité ne soit pas toujours explicitement mandatée, elle découle implicitement des divers règlements en vigueur. Ces mesures visent à assurer un suivi complet pour chaque acteur de la chaîne de valeur, renforçant ainsi les réglementations sanitaires qui sont essentielles pour protéger la santé publique et garantir la sécurité des aliments consommés. Ces réglementations rigoureuses constituent le moteur principal qui incite à l'adoption de systèmes de traçabilité dès le début de la chaîne de valeur. L'exigence d'une documentation précise et un suivi des produits à chaque étape, depuis le producteur jusqu'au consommateur, assure que tous les acteurs impliqués dans la production, la transformation et la distribution adhèrent aux normes imposées par l'UE. Dans ce contexte, la mise en place de technologies visant à simplifier la traçabilité représente un atout majeur à être adopté par les producteurs, car elles offrent une solution efficace pour répondre aux exigences réglementaires.

## Le besoin d'interconnexion entre les acteurs de la chaîne de valeur

Afin de contribuer au partage d'informations entre les acteurs de la chaîne de valeur agroalimentaire, plusieurs organismes nationaux et internationaux ont développé des bases de données à leur disposition. Pour exemple, la Food and Agriculture Organization (FAO) a mis à disposition le *FAOSTAT* qui fournit « un accès libre aux données concernant l'alimentation et l'agriculture pour plus de 245 pays et 35 régions depuis 1961 » (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2024). L'objectif de ce système d'information est de collecter, d'analyser, d'interpréter et de mettre à disposition sous forme de séries chronologiques détaillées des données en lien avec la nutrition en couvrant une large gamme de domaines comme la production, le commerce, la sécurité alimentaire, les prix, les ressources, et les émissions (Fig. 2).

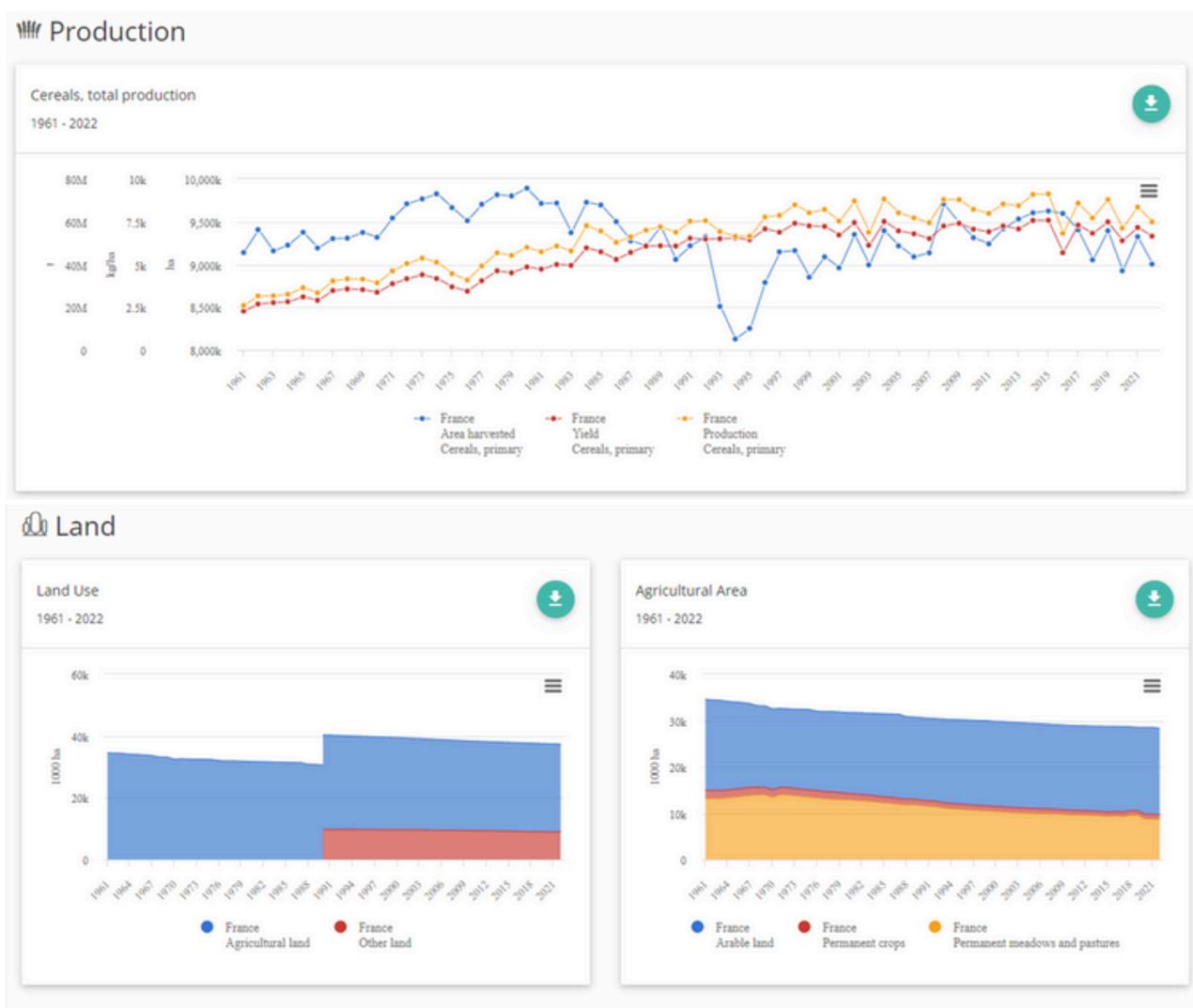


Fig.2 La base FAOSTAT intègre des données concernant la disponibilité et la consommation de produits agricoles ainsi que l'utilisation des terres et les habitudes de consommation (screenshot base FAOSTAT octobre 2024).

De plus, des initiatives ont été prises par les acteurs du monde agricole suite aux rapports « Agriculture innovation 2025 ». Par exemple, le projet *AgDataHub* porté par API-Agro – un portail de données visant à mettre à disposition de la profession agricole une infrastructure souveraine d'échange de données en confiance – a été mis en place. La charte *data agri* et son label, portés par des syndicats agricoles, attestant d'une utilisation maîtrisée et consentie des données agricoles, ont également été adoptés (Commission européenne, 2023).

Au-delà de ces impératifs de collaboration, chaque maillon de la chaîne de valeur agroalimentaire fait face à la pression constante de la nécessité « de produire en quantités suffisantes et en qualité, aussi bien d'un point de vue nutritionnel qu'environnemental » (Secrétariat général pour l'investissement (SGPI), 2021). La gestion et le traitement de la donnée semblent être des principaux défis dans le secteur agroalimentaire où le besoin de connectivité entre acteurs apparaît comme essentiel. Dans ce contexte, les technologies de la donnée émergent comme une réponse à cette exigence croissante en matière de production. Les innovations technologiques permettent en effet une gestion plus précise des ressources, une surveillance accrue des processus de production et une optimisation des pratiques agricoles, répondant ainsi aux exigences du marché tout en renforçant la résilience et la durabilité du secteur et en améliorant la qualité des produits alimentaires.

## La demande de transparence de la part des consommateurs

Par ailleurs, la transparence est devenue un enjeu capital pour les consommateurs. Les comportements de consommation sont en effet de plus en plus motivés par la qualité et la durabilité des produits consommés. En ce sens, il a été observé une augmentation de l'attention de la part des consommateurs vis-à-vis des informations liées au respect de la qualité des produits, induisant une incitation à la traçabilité (Conseil National de l'alimentation, 2001; Dongoski, 2019). Si cette attention portée à l'information se traduit dans un changement de comportement, ou à une amélioration de la qualité des produits consommés, cela reste à prouver. Toujours est-il que les pratiques commerciales dans le secteur alimentaire sont strictement encadrées par le Code de la consommation, notamment par l'article L111-1, qui stipule que les professionnels doivent fournir aux consommateurs les caractéristiques essentielles du bien ou du service.

Les consommateurs se montrent en effet de plus en plus soucieux de leur santé, et recherchent également une transparence quant à la provenance et aux méthodes de production des aliments afin de pouvoir vérifier leur qualité. Un rapport publié par Ipsos en 2019 indique que l'origine géographique d'un produit est primordiale pour 79% des Français (Ipsos, 2019). Les nombreux scandales alimentaires et sanitaires du secteur ont amené à une perte de confiance de la part des consommateurs, contribuant ainsi à leur demande pour plus d'informations sur les produits qu'ils consomment. De plus, les consommateurs ont tendance à préférer les produits *LATTE*, i.e. Locaux, Authentiques, Traçables, Transparents, et Etiqués (Sénat, 2022). Par ailleurs, la Food Industry Association indique que 76% des consommateurs considèrent que la transparence alimentaire est importante ou très importante (The Food Industry Association, 2023). Les consommateurs exigent en effet d'avoir accès à des informations diverses, et la nature des informations demandées peut varier en fonction des préférences individuelles.

Comme mentionné dans un rapport publié en juin 2022 par le Sénat, les principales informations demandées sont entre autres (Sénat, 2022) :

**1. L'impact du produit sur l'environnement**

**2. L'impact du produit sur la santé, à l'instar du NutriScore**

**3. L'origine du produit.** Très récemment, il a d'ailleurs été annoncé par le gouvernement français la mise en place d'un « Origine Score », c'est-à-dire une étiquette sur les produits alimentaires destinée à renseigner les consommateurs sur la provenance des ingrédients, favorisant ainsi la transparence des circuits de production

**4. Le bien-être animal**

**5. Les conditions de production**

**6. La rémunération du producteur**

**7. La qualité nutritionnelle du produit**

Ainsi, la mise en place de technologies pour simplifier et fluidifier la traçabilité des produits ne serait pas seulement une réponse aux exigences réglementaires ; mais serait également motivée par une demande croissante de la part des consommateurs pour plus de transparence et de sécurité alimentaire. En permettant un suivi précis des produits tout au long de la chaîne de valeur, de la production à la distribution, l'intégration de nouvelles technologies offrirait une meilleure visibilité sur tous les aspects de la production.

Il est toutefois à noter que, si les consommateurs ont accès à de plus en plus d'informations sur les produits qu'ils consomment, cette transparence accrue tend parfois à semer la confusion plus qu'à éclairer le consommateur, qui se retrouve face à un large éventail de labels, scores, et mentions diverses, mêlant informations essentielles et stratégies marketing. Face à cette surabondance d'informations, les consommateurs peinent à faire des choix bénéfiques tant pour leur santé que pour l'environnement. Pour contrer cette situation, la commission des affaires économiques du Sénat a mis en avant des recommandations visant à clarifier l'information disponible, à en garantir la fiabilité et à fournir aux consommateurs les outils nécessaires pour l'analyser et l'utiliser judicieusement.

Le Sénat promeut activement la modernisation des pratiques en matière d'information des consommateurs, suggérant l'intégration de QR codes pour une transmission dématérialisée des informations. Il insiste également sur la nécessité de renforcer « la fiabilité et la crédibilité des labels » en rendant obligatoire la publication de cahiers des charges privés. Certaines recommandations sont spécifiquement à destination des consommateurs, telles que l'intégration de programmes d'éducation alimentaire dans les écoles ou la réflexion sur la réglementation de la publicité pour les produits alimentaires « peu nutritifs » à destination des mineurs. Ces initiatives visent à faciliter les choix des consommateurs en rendant l'information sur les produits plus accessibles et compréhensibles (Sénat, 2022).

Face aux défis identifiés précédemment tels que le besoin d'interconnexion entre les acteurs de la chaîne de valeur agroalimentaire, les réglementations européennes exigeant une augmentation de la traçabilité et les attentes croissantes des consommateurs pour plus de transparence concernant l'origine et la qualité des produits, des solutions innovantes sont envisagées. Ces exigences ont en effet stimulé le développement de technologies novatrices pour y répondre.

Par ailleurs, ces innovations technologiques visent non seulement à répondre aux normes réglementaires et aux demandes des consommateurs, mais aussi à optimiser les processus au sein du secteur agroalimentaire. En créant des systèmes plus interconnectés et efficaces, elles introduisent l'« agriculture 4.0 ». Le Plan Stratégique National de la PAC 2023-2027 en France, ainsi que les recommandations de la Commission Européenne, soutiennent le développement de ces technologies numériques dans l'agriculture et les zones rurales pour faire face aux défis économiques, environnementaux et sociaux.

Le numérique est alors envisagé comme un outil essentiel pour renforcer la productivité, minimiser les impacts environnementaux, et garantir une répartition plus équitable de la valeur ajoutée au sein de la filière. De plus, la France est encouragée à améliorer l'attractivité des zones rurales grâce à des investissements dans la connectivité et le haut débit, alignés sur les objectifs du Pacte Vert pour l'Europe. Ainsi, l'agriculture 4.0 peut se présenter comme un levier stratégique pour répondre aux défis contemporains du secteur agroalimentaire.

# III. AGRICULTURE 4.0 : LES TECHNOLOGIES DE LA DONNÉE DANS L'AGROALIMENTAIRE

L'agriculture 4.0 est une application des nouvelles technologies au secteur agroalimentaire, et est considérée comme un moyen de répondre aux différentes attentes des consommateurs tout en proposant une optimisation des pratiques agricoles. Elle est également présentée comme potentiel moyen d'améliorer la résilience, la productivité et la durabilité des secteurs agricole et alimentaire, rendant les nouvelles technologies plus adaptées pour répondre précisément aux besoins des consommateurs (Organisation de Coopération et de Développement Economiques, 2018).

## Industrie 4.0 et secteur agroalimentaire

L'avènement de l'« Industrie 4.0 » a été officiellement présenté au public par l'Association des constructeurs allemands de machines et d'équipements de production (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, VDMA) durant la Foire de Hanovre en 2013. Il représente le passage de l'industrie à sa quatrième révolution, marquant une ère de transformations majeures grâce à l'intégration de trois innovations technologiques clés : l'automatisation, l'internet des objets (IoT) et l'Intelligence Artificielle (IA). Ces avancées forment le socle de nouveaux modèles économiques et industriels (Blanchet, 2016).

L'expression « industrie intelligente » met en avant la compétence des machines non seulement à récolter, mais aussi à analyser et à comprendre les données de manière proactive. Ce qui distingue particulièrement cette avancée technologique est l'accent mis sur la connexion étroite entre diverses technologies, enrichissant leur capacité à collecter, examiner, comprendre et archiver les données toujours plus efficacement. Plusieurs branches d'activité, y compris le secteur agroalimentaire, ont pris ce tournant technologique, donnant ainsi naissance à l'« agriculture 4.0 ».

Les termes d'« agriculture numérique », « agriculture 4.0 » et « révolution numérique agricole » définissent un mouvement visant à accroître l'efficacité de la production alimentaire. Ces termes englobent une stratégie dédiée à l'amélioration de l'efficacité dans la production, la transformation, et la distribution alimentaires. Cette efficacité est obtenue grâce à l'emploi des technologies actuelles et à une communication fluide et en temps réel de données de haute qualité avec les intervenants internes et externes impliqués dans la chaîne de valeur (Konfo et al., 2023).

Cette transformation du secteur agroalimentaire est soutenue par l'Union Européenne qui mise notamment sur la transformation numérique du secteur. Selon l'exécutif européen, le développement de cette agriculture 4.0 doit à terme mener à des « performances économiques et environnementales accrues, permettant aux agriculteurs de prospérer ». De plus, la PAC 2023-2027 a inscrit comme l'un de ses objectifs clés la modernisation du secteur agricole en « favorisant et en partageant les connaissances, l'innovation et la numérisation, et en encourageant leur adoption par les agriculteurs grâce à un meilleur accès à la recherche, à l'innovation, à l'échange de connaissances et à la formation » (Ledroit, 2022).

L'impulsion donnée par l'UE et ses politiques agricoles ouvre ainsi la voie à l'étude de solutions technologiques appliquées au secteur. Pour comprendre notamment comment ces outils peuvent concrètement renforcer la performance et la durabilité du secteur, nous allons étudier plus en détails leurs utilisations potentielles au sein de la chaîne de valeur agroalimentaire.

## **Quelle place pour l'Intelligence Artificielle (IA) dans la digitalisation du secteur agroalimentaire ?**

Dans un contexte de digitalisation du secteur agroalimentaire, et face à l'apparition continue de nouveaux outils autonomes, l'Intelligence Artificielle (IA) pourrait apparaître comme étant l'un des outils capables de répondre aux défis croissants en matière de performance, de durabilité et de sécurité alimentaire.

L'IA peut être définie comme l'ensemble des systèmes ou machines capables de simuler des fonctions cognitives humaines telles que l'apprentissage, la résolution de problèmes et la prise de décision. Elle s'appuie sur des algorithmes complexes et le traitement massif de données pour reconnaître des schémas, identifier des tendances et formuler des recommandations en temps réel. En d'autres termes, elle permet aux machines de tirer des enseignements de l'expérience, d'interagir avec leur environnement et d'optimiser leurs performances grâce à des processus d'amélioration continue. Cette technologie englobe de nombreux outils, dont les systèmes informatiques avancés, les dispositifs électroniques intelligents et les robots autonomes, visant à accroître la vitesse, la précision et l'efficacité des activités humaines (Ben Ayed & Hanana, 2021).

Appliquée à la chaîne de valeur agroalimentaire, l'IA présente une large gamme d'applications pouvant s'intégrer à tous les maillons, de la production à la distribution. Elle permet, par exemple, l'identification et la reconnaissance d'objets, l'analyse des profils, la prise de décisions automatisée, la classification des actions et la prédiction des anomalies (Ben Ayed et al., 2022 ; Hassoun et al., 2022). Concrètement, l'IA peut contribuer à la prévision des rendements agricoles, à l'optimisation des ressources et à la détection des risques en matière de sécurité alimentaire (Konfo et al., 2023). Grâce à sa capacité à traiter et analyser des volumes massifs de données en temps réel, l'IA facilite la prise de décisions stratégiques et opérationnelles tout en améliorant la productivité et en réduisant les pertes.

Si l'IA a un rôle à jouer dans la modernisation du secteur, elle n'est cependant pas la seule technologie susceptible d'apporter des solutions innovantes. Son intégration doit être envisagée dans un écosystème plus large de digitalisation, où d'autres outils technologiques viennent compléter et renforcer son impact.

## L'utilisation des nouvelles technologies au cœur de l'écosystème agroalimentaire

L'utilisation des nouvelles technologies dans le secteur agroalimentaire s'inscrit dans le fonctionnement global de la filière, avec des applications spécifiques à chaque maillon de la chaîne de valeur agroalimentaire. La Figure 3 illustre la chaîne de valeur du secteur et présente succinctement les utilisations potentielles des outils technologiques pour chaque maillon. Nous allons détailler des exemples de leurs différentes utilisations, en explorant comment elles peuvent être intégrées à chaque étape de la chaîne de valeur pour optimiser les processus et les résultats.

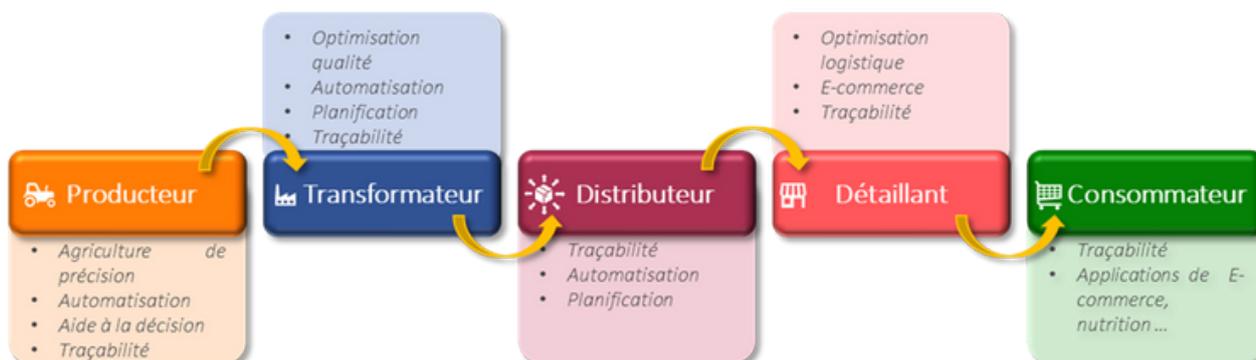


Fig.3 Représentation de l'utilisation des nouvelles technologies à chaque étape de la chaîne de valeur. Adapté de Hassoun et al., (2022).

Si ces technologies sont détaillées dans des sections particulières, cela ne signifie pas qu'elles ne puissent pas être appliquées à d'autres maillons de la chaîne de valeur. A continuation, nous illustrons des utilisations spécifiques à l'aide d'exemples correspondant à certains maillons de la chaîne.

### Production Primaire

La production primaire inclut toutes les activités agricoles directement liées à la culture des plantes et à l'élevage des animaux, activités fondamentales correspondantes à la production des matières premières nécessaires à tout le secteur agroalimentaire. Dans cette phase, le déploiement de technologies avancées peut se faire à plusieurs niveaux, comme l'installation de capteurs pour surveiller l'humidité du sol et les conditions météorologiques, l'utilisation de drones pour l'application précise des pesticides, et l'installation de systèmes d'irrigation automatisés. Enfin, les technologies telles que l'IoT et le Big Data peuvent s'avérer utiles.

**L'IoT, ou « Internet des objets »**, désigne l'intégration de capteurs et d'actionneurs dans des objets physiques, permettant leur connexion via des réseaux câblés et sans fil. Plus précisément, l'IoT sert à connecter des appareils et des capteurs à l'Internet pour collecter des données et automatiser certains processus (Konfo et al., 2023). Dans le secteur agricole, l'emploi de capteurs IoT fournit des données complémentaires sur diverses caractéristiques environnementales, telles que la qualité des sols et les ressources en eau. L'utilisation et l'exploitation de ces données constitue l'un des éléments nécessaire à la mise en œuvre d'une « agriculture de précision » dont l'un des buts principaux est une gestion plus efficace et ciblée des ressources agricoles. Les systèmes IoT peuvent se révéler également utiles pour

optimiser les paramètres opérationnels tels que l'utilisation de pesticides et d'eau, la surveillance de la composition du sol, de l'humidité, de la température et de la physiologie des cultures, contribuant à un suivi plus précis des cultures (Hassoun et al., 2022). Ces applications sont particulièrement intéressantes dans la chaîne d'approvisionnement des légumes notamment puisqu'ils nécessitent une surveillance précise des indicateurs pour améliorer la productivité des cultures.

Un exemple est l'utilisation de véhicules agricoles autonomes dotés de capteurs pour exécuter des opérations agricoles (Eaton et al., 2010). L'adoption de véhicules agricoles autonomes permettrait une surveillance continue des champs en étant capables de recueillir des données environnementales de manière autonome et d'ajuster leurs interventions en conséquence (Auat Cheein & Carelli, 2013). Actuellement, bien que de nombreux équipements agricoles automatisés soient utilisés pour effectuer des tâches telles que l'identification des adventices, la dispersion de produits chimiques, le nivellement des terrains, l'irrigation, etc., ils requièrent encore souvent la supervision humaine.

Un autre exemple, l'outil *AXEL*, utilise un capteur unique pour fournir quatre services : suivi des conditions météorologiques, détection de maladies végétales, gestion des eaux et optimisation des récoltes. Enfin, *Ekobot*, un robot autonome conçu pour le désherbage mécanique utilise des algorithmes pour naviguer et collecter les mauvaises herbes lors de l'entretien des cultures (Wiki Agri Tech).

Le maillon de la production primaire peut également utiliser d'autres technologies telles que le **Big Data**. Le Big Data désigne des ensembles de données dont les caractéristiques (volume, rapidité, complexité) dépassent les capacités des méthodes de gestion et de traitement traditionnelles et conventionnelles (Hassoun et al., 2022). Ce concept englobe des données si étendues, hétérogènes et constamment évolutives que les systèmes, technologies et outils standards s'avèrent inefficaces pour les gérer adéquatement. Le Big Data peut enrichir l'étendue des données agricoles pour la création de nouvelles connaissances, le développement de services et de processus novateurs par les prestataires de services informatiques et les développeurs de logiciels, ou encore l'amélioration et l'ajustement des modèles en lien avec les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) et la conception des usines de demain. Actuellement, il existe des bases de données volumineuses facilitant l'accès et l'exploitation des données du secteur - comme le Centre National de Données Climatiques, les images satellites et les informations météorologiques fournies par Google et NASA Earth Exchange, les données spatiales, ainsi que sur le sol et l'eau fournies par le Service de Conservation des Ressources Nationales aux États-Unis et OpenCorporates (Konfo et al., 2023; Lezoche et al., 2020), pouvant permettre aux agriculteurs d'adapter leurs moyens de production.

Ces technologies peuvent fournir des informations prédictives sur les opérations agricoles, et, lorsqu'elles sont combinées avec des données météorologiques par exemple, permettre des décisions opérationnelles en temps réel, entraînant une gestion agricole précise et le développement d'outils de prise de décision améliorés (Wolfert et al., 2017). De plus, les technologies d'imagerie de pointe, comme la cartographie des cultures effectuée par des drones, offrent des moyens non invasifs pour le suivi des cultures, permettant une gestion optimisée de l'irrigation et une réduction efficace des impacts liés aux nuisibles (Iost Filho et al., 2020). La digitalisation peut donc être déployée au niveau de ce premier maillon, permettant une meilleure connaissance des sols et des ressources, ce qui pourrait conduire à réduire l'utilisation de pesticides, d'insecticides, d'engrais ainsi que pour assurer une irrigation appropriée (Talaviya et al., 2020).

## Transformation

Concernant l'étape de transformation agricole, les tests de qualité des aliments menés à cette étape impliquaient jusqu'à maintenant des analyses chimiques et des méthodes mécaniques. Ces méthodes traditionnelles présentent des limites notamment liées à leurs coûts et au temps nécessaire pour mener ces analyses. Dans ce contexte, les **technologies d'imagerie** peuvent devenir un atout pour une évaluation non destructive et rapide de la qualité et de la sécurité des aliments, offrant des avantages spécifiques selon les caractéristiques des aliments analysés (Chen et al., 2013). L'utilisation de **robotique** et d'**automatisation** dans les chaînes de transformation alimentaire peut être avantageuse dans la réalisation de tâches telles que le nettoyage, le calibrage, le tri et l'emballage (Hassoun et al., 2022). L'automatisation permet aux machines et aux robots d'effectuer des tâches qui étaient auparavant réalisées par des humains (Konfo et al., 2023). La robotique peut automatiser des tâches telles que la coupe, le tranchage et l'emballage, améliorant l'efficacité et réduisant ainsi les coûts de main-d'œuvre (Botta et al., 2022). L'automatisation et la robotique favorisent donc le développement de l'agriculture 4.0 et accélèrent la transition vers des usines dites « intelligentes » dans l'industrie alimentaire (Hassoun et al., 2022).

A titre d'exemple, l'utilisation d'un capteur de position TX2 peut permettre une coupe autonome des légumes en ajustant automatiquement la hauteur grâce à un système de vision et de contrôle intégré, sans nécessiter d'intervention manuelle et favorisant ainsi l'uniformité dans la taille et l'apparence des produits (Portley, 2024).

## Distribution

Au niveau de la distribution, des technologies issues de la combinaison entre **blockchain** et **IoT** peuvent être utilisées pour permettre le suivi en temps réel et la traçabilité des matières premières, un enjeu important car ces aliments seront ensuite distribués aux consommateurs (Trollman et al., 2022). La blockchain est une technologie de registre numérique transparent qui enregistre les transactions et stocke les données de manière sécurisée et décentralisée. Développée en 2009 pour l'échange de bitcoins, la blockchain a ensuite évolué pour devenir une technologie courante, et est aujourd'hui utilisée dans divers domaines. En pratique, le grand livre de la blockchain permet la mise en œuvre de contrats intelligents (ou « smart contracts ») dont les conditions sont fixées à l'avance entre deux tiers (Ben Ayed et al., 2022; Konfo et al., 2023). L'application de cette technologie dans la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire s'est progressivement développée en raison des avantages qu'elle présente, notamment car les enregistrements sur la blockchain sont pratiquement impossibles à falsifier, garantissant ainsi l'intégrité et l'authenticité des données (Ben Ayed et al., 2022).

Pour citer quelques exemples, l'IoT peut être utilisé pour effectuer une meilleure gestion des stocks en entrepôts, le Big Data pour fluidifier le trafic routier (Jagtap et al., 2021), tout en améliorant les performances des véhicules grâce à une maintenance prédictive, et la blockchain pour crypter des documents contractuels importants. Ainsi, les futurs entrepôts pourront être davantage interconnectés, entre autres à travers l'utilisation de systèmes domotiques, IoT ou big data, permettant une coordination plus fine entre producteurs, commanditaires et flux de marchandises (Fig. 4). Cela peut inclure des

modèles de prévision ou de gestion de livraison et des commandes. A titre d'exemple, une plateforme d'approvisionnement alimentaire utilisant la blockchain, *Twiga Foods* a notamment été créée pour relier les producteurs primaires aux fournisseurs pour permettre la collecte et la distribution de nourriture à travers le Kenya (Das Nair et al., 2020). Enfin, le *Kisan Hub*, une suite de logiciels offrant des solutions en temps réel pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement et des procédures d'achat, peut aider les fournisseurs de produits frais et les entreprises de production alimentaire à obtenir une meilleure visibilité sur les analyses de données concernant les produits (Wiki Agri Tech).

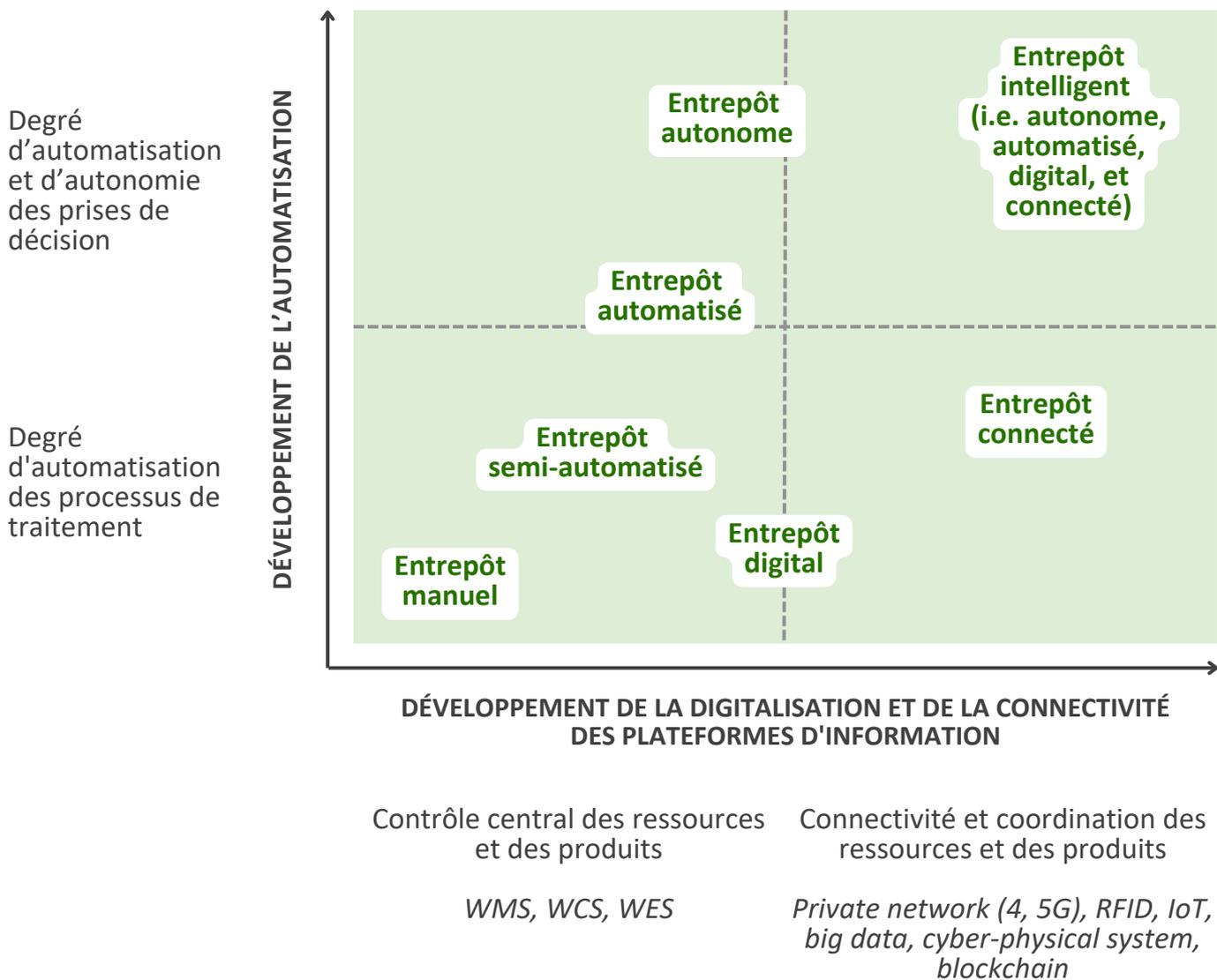


Fig.4 Conceptualisation d'un entrepôt smart. Adapté de Kembro et al. 2022.

## Vente

L'utilisation des technologies numériques par les détaillants est en constante augmentation, notamment suite à la pandémie de COVID-19 où l'e-commerce a connu une croissance exponentielle à l'échelle mondiale. À titre d'illustration, Ocado, un détaillant de denrées alimentaires en ligne du Royaume-Uni, utilise de la robotique, des capteurs IoT et des technologies de vision artificielle dans ses vastes entrepôts pour exécuter les commandes de manière plus rapide, fiable et économique comparativement aux méthodes d'entreposage traditionnelles (Mahroof, 2019).

Une recherche récente a exploré comment l'adoption de stratégies innovantes basées sur l'analyse de données pourrait contribuer à minimiser le gaspillage alimentaire au niveau de la distribution. En effet, les denrées périssables n'ont qu'une durée de conservation limitée et doivent être vendues pour être consommées avant une date précise, engendrant du gaspillage alimentaire avant d'atteindre les consommateurs. Pour tenter de réduire ce gaspillage, l'exploitation des données massives permettant d'anticiper les tendances de consommation et d'élaborer des politiques de prix adaptées dans le domaine du commerce de détail, et les méthodes d'analyse en temps réel de données issues de capteurs IoT permettant d'évaluer et de prédire la période de fraîcheur des produits, sont utilisées (Kayikci et al., 2022).

A titre d'exemple, les supermarchés utilisent des capteurs intelligents pour assurer une gestion optimale des produits frais, notamment en surveillant la température des réfrigérateurs et des congélateurs. Ces capteurs permettent de s'assurer que les conditions de stockage respectent les normes de conservation, évitant ainsi le gaspillage et garantissant la qualité des aliments pour les clients. En cas de variation de température, une alerte est envoyée aux employés, leur permettant d'intervenir rapidement. Cela contribue non seulement à réduire les pertes alimentaires, mais aussi à renforcer la confiance des consommateurs envers la qualité des produits proposés (Caro & Sadr, 2019).

## Consommation

Concernant la consommation, des applications mobiles sont développées pour les aider à faire leurs courses, à personnaliser et à gérer leur alimentation (informations nutritionnelles, origine des produits...). Certaines applications peuvent notamment suivre les besoins nutritionnels et le régime alimentaire de chaque consommateur, et même suggérer des recettes avant la date de péremption des aliments. Par exemple, les applications mobiles de commande de nourriture sont de plus en plus utilisées pour fournir aux consommateurs des informations plus complètes, actualisées et précises sur les restaurants et les menus proposés (Alalwan, 2020). Comme nous l'avons souligné précédemment, les attentes des consommateurs se sont orientées vers une plus grande transparence et un besoin accru d'informations détaillées sur les produits qu'ils consomment. Dans ce contexte, l'utilisation de technologies peut accompagner les consommateurs dans leurs décisions d'achat, en leur fournissant des informations pertinentes sur les aliments qu'ils commandent, y compris des rappels sur les dates de péremption. Ces outils s'étendent au-delà pour inclure diverses applications de détection, d'analyse, de diagnostic et de surveillance, répondant ainsi aux besoins d'informations et de transparence des consommateurs (Hussain, 2021). Parmi les applications qui répondent aux besoins des consommateurs en matière de transparence et de gestion de leur alimentation, on trouve plusieurs exemples, comme :

- **Yuka** : application populaire (25 millions d'utilisateurs en France en 2021) qui permet aux consommateurs de scanner les codes-barres des produits alimentaires (et cosmétique) pour obtenir des informations détaillées sur leur composition. Elle attribue un score aux produits en fonction de leur qualité nutritionnelle et de la présence d'additifs, permettant ainsi aux consommateurs de faire des choix plus éclairés en faveur de leur santé.
- **QuelProduit** : application collaborative financée par le fonds de dotation de l'UFC-Que Choisir, elle aide les consommateurs à mieux comprendre la composition des produits qu'ils achètent en fournissant des informations détaillées sur les ingrédients, leur impact potentiel sur la santé et l'environnement, ainsi que des alternatives plus saines ou écologiques.
- **TooGoodToGo** : application qui connecte les consommateurs avec des commerçants proposant des invendus à des prix réduits. Cette solution permet de réduire le gaspillage tout en économisant de l'argent, en offrant la possibilité aux consommateurs de récupérer des paniers de nourriture encore consommable mais proche de la date de péremption.
- **Bene Bono** : application qui lutte contre le gaspillage alimentaire en proposant des fruits et légumes issus de l'agriculture biologique qui ont été rejetés par les circuits traditionnels pour des raisons esthétiques. Ces produits sont vendus directement aux consommateurs à des prix réduits. L'application favorise une consommation locale et responsable, tout en soutenant les agriculteurs en leur offrant un revenu supplémentaire pour les produits qui seraient autrement gaspillés. Bene Bono contribue ainsi à réduire le gaspillage alimentaire tout en rendant les produits bio plus accessibles aux consommateurs.

Ces applications illustrent la diversité des outils technologiques disponibles aujourd'hui pour accompagner les consommateurs dans leurs choix alimentaires, répondant à des besoins de transparence, de durabilité, et de gestion de leur santé.

# IV. LIMITES ET ENJEUX À L'ADOPTION DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DANS LE SECTEUR AGROALIMENTAIRE

Bien que les diverses utilisations des technologies de la donnée dans le secteur agroalimentaire présentent des avantages, son adoption soulève des questionnements et limites spécifiques qu'il est important de prendre en considération.

## Contraintes techniques, complexité d'utilisation et gestion de la donnée : les défis de la transition numérique en agriculture

Une contrainte majeure est d'ordre technique, notamment en raison d'une infrastructure numérique insuffisante dans certaines zones rurales. En effet, une connexion internet à haut débit est indispensable pour mettre en place ces technologies, et l'inclusion numérique des parties prenantes est donc essentielle.

Selon des données de la Commission européenne (2024), environ 64% des foyers en zone rurale de l'UE disposent d'une connexion internet à haut débit, marquant une nette amélioration par rapport à 2018 où près de la moitié (48%) des foyers en zone rurale n'avait pas accès. Cette progression vers une meilleure inclusion numérique est soutenue par des mesures politiques telles que la Résolution du Parlement européen, démontrant un engagement fort envers l'élimination des disparités numériques dans le secteur agricole européen (Parlement européen, 2022). Or la connectivité est encore insuffisante, et face à cela les coopératives agricoles peuvent faciliter l'accès à ces infrastructures numériques. C'est à travers la mutualisation des ressources et l'adoption de solutions collectives, que les coopératives sont particulièrement bien positionnées pour réduire les disparités numériques et accompagner leurs membres vers une adoption effective des outils numériques.

En outre, la complexité d'utilisation des outils numériques et le besoin de compétences techniques pour exploiter pleinement leur potentiel peut être un frein à l'adoption des technologies par certains acteurs du secteur. La transition de l'agriculture familiale vers une activité orientée par les données engendre en effet la gestion de nombreuses sources d'information, ajoutant une certaine complexité. La diversité des outils technologiques requiert des compétences techniques pour intégrer et interpréter ces différentes sources (CORDIS, 2018). La difficulté à acquérir des compétences numériques (pour des raisons très variées qui peuvent inclure des difficultés d'embauche, de formation ou simplement de disponibilité sur le territoire...) peut rendre plus difficile pour les agriculteurs de gérer et d'intégrer efficacement les différentes sources d'information issues des technologies numériques. Ainsi, cette transition vers une agriculture orientée par les données n'est pas uniquement une question de disponibilité technologique, mais aussi de capacité des utilisateurs à manipuler et interpréter les informations fournies. Par ailleurs, la disponibilité d'outils technologiques et des solutions dépasse souvent les capacités à suivre ces avancées, et les agriculteurs peuvent se sentir peu informés des possibilités disponibles ou insuffisamment accompagnés (Ledroit, 2022).

Au-delà de la maîtrise des outils technologiques et de l'analyse des données, une autre difficulté majeure pour les agriculteurs réside dans la gestion des implications organisationnelles et administratives qu'entraîne l'intégration des innovations numériques. En effet, pour de nombreux exploitants, notamment les petites structures familiales, la mise en œuvre de ces technologies ne se limite pas à leur utilisation technique. Elle exige également une adaptation à de nouvelles formes de gestion : coordination avec des interlocuteurs variés, dématérialisation des processus comme la facturation, ou encore déploiement de solutions adaptées à des ressources souvent limitées. Contrairement à de grandes entreprises agricoles qui disposent de services dédiés, les exploitants doivent souvent gérer ces changements eux-mêmes, ajoutant une charge administrative qui peut s'avérer lourde. Cette complexité logistique et organisationnelle illustre les disparités dans l'impact des mêmes exigences technologiques selon la taille et la structure des exploitations, soulignant la nécessité de solutions adaptées et différenciées pour répondre aux réalités variées du terrain.

Pour répondre à cette difficulté, des initiatives spécifiques soutiennent la transformation numérique du secteur agroalimentaire en France. Par exemple, #DigitAg, un laboratoire de convergence, favorise la recherche interdisciplinaire pour développer des technologies adaptées aux besoins des agriculteurs. Les réseaux DigiFermes et les laboratoires vivants comme Occitanum encouragent le co-développement et l'adoption de solutions numériques. Ces structures, en partenariat avec les coopératives, contribuent à surmonter les défis liés au manque de compétences ou aux coûts élevés des technologies, tout en alignant les innovations avec les objectifs agroécologiques, renforçant ainsi l'inclusion numérique et la durabilité dans le secteur agricole (Bellon-Maurel et al. 2023).

Enfin, dans un contexte où la digitalisation du secteur agroalimentaire est souvent avancée pour les avantages qu'elle semble apporter, il est essentiel d'interroger le « pourquoi » de cette transformation et d'évaluer sa pertinence en fonction des spécificités locales et des besoins des parties prenantes. Par exemple, bien que des facteurs économiques, comme l'expansion des exportations internationales, soient fréquemment cités comme moteurs de cette transition (Santos et al., 2024), la digitalisation doit être évaluée en tenant compte des spécificités des parties prenantes. Les acteurs de la chaîne de valeur, notamment les exploitants agricoles, les coopératives, et les collectivités locales, poursuivent des objectifs variés, allant de l'optimisation économique à la préservation des valeurs comme la durabilité locale ou la souveraineté alimentaire. Promouvoir une digitalisation axée principalement sur l'expansion commerciale pourrait ainsi entrer en contradiction avec ces priorités, notamment pour les systèmes agricoles valorisant les circuits courts et les pratiques agroécologiques. Il semble donc nécessaire d'évaluer l'intégration des technologies répond véritablement aux spécificités et priorités de chaque acteur, plutôt que de la considérer comme une solution universelle.

## Les solutions technologiques face aux défis environnementaux

Cet enjeu de l'essence même de la digitalisation est d'autant plus important qu'il s'inscrit dans un contexte où la prise en compte des implications environnementales suscite des préoccupations croissantes. Par exemple, la blockchain souvent mise en avant pour ses avantages en matière de traçabilité et de transparence, illustre les paradoxes de l'innovation technologique. Malgré ses bénéfices, son fonctionnement exige des capacités de traitement et de stockage gourmandes en énergie, alimentant une empreinte carbone importante. Ces préoccupations ne se limitent pas à la blockchain : des technologies comme les systèmes d'agriculture de précision, qui s'appuient sur les drones, les capteurs ou l'intelligence artificielle, nécessitent également une consommation accrue de ressources matérielles et énergétiques. En outre, les impacts environnementaux des solutions numériques incluent non seulement les émissions de gaz à effet de serre associées à la production et à l'utilisation des équipements, mais aussi la gestion des déchets électroniques.

Par ailleurs, le déploiement de solutions technologiques dans l'agriculture doit s'adapter aux spécificités locales et renforcer la résilience des systèmes, tout en réduisant les dépendances aux ressources non renouvelables. En effet, la résilience des systèmes agricoles repose sur leur capacité à intégrer les technologies de manière adaptée aux contextes locaux. L'adoption de solutions numériques ne peut réussir que si elle tient compte des conditions spécifiques, telles que la taille des exploitations, l'accès aux infrastructures numériques, et les compétences des agriculteurs. Par exemple, des initiatives de « Smart Farming » ont montré leur efficacité dans certaines grandes exploitations agricoles, mais leur pertinence reste limitée pour des petites structures familiales ou dans les régions où l'accès à internet est insuffisant.

Il convient donc de souligner que l'adoption généralisée de technologies ne constitue pas nécessairement la réponse à tous les défis auxquels est confrontée l'agriculture moderne. Bien que les innovations numériques offrent des solutions prometteuses pour améliorer l'efficacité et la durabilité des pratiques agricoles, elles introduisent également de nouvelles complexités, des dépendances technologiques et des impacts environnementaux.

Ainsi, l'adoption des technologies prend des considérations qui vont bien au-delà de l'efficacité opérationnelle, ce qui se traduit dans des enjeux de politique publique et souvent le besoin d'un soutien institutionnel pour garantir une intégration durable (The Shift Project, 2024). En résumé, il semble nécessaire d'intégrer des considérations écologiques dans l'évaluation des technologies à adopter, afin de garantir que les progrès technologiques dans le secteur agricole ne se font pas au détriment de l'environnement et contribuent à une agriculture plus résiliente et durable.

Cet article examine les principaux facteurs qui créent les conditions de possibilité pour l'adoption des nouvelles technologies dans le secteur agroalimentaire, tels que la traçabilité, la demande d'une transparence accrue de la part des consommateurs, et le besoin d'interconnexion entre les acteurs. Il explore également l'impact de ces technologies sur les différents maillons de la chaîne de valeur.

L'adoption des nouvelles technologies telles que l'IA, l'internet des objets, le big data, la blockchain et l'automatisation peuvent faciliter la collecte, le traitement et le partage des données, favorisant le respect des normes européennes. En outre, cette exigence croissante pour la traçabilité et l'emploi des nouvelles technologies peut créer une dynamique positive entre les différents maillons de la chaîne de valeur agroalimentaire, entraînant une meilleure coordination, une transparence renforcée, et une confiance accrue à travers toutes les étapes du processus.

L'intégration de ces technologies soulève cependant des interrogations fondamentales sur la nature et les limites de l'innovation. Si les technologies émergentes promettent de transformer en profondeur les différents processus de la chaîne de valeur, elles risquent également de perpétuer une vision technocratique qui occulte les réalités concrètes des acteurs de terrain. Il semble important de ne pas surestimer le potentiel des nouvelles technologies à résoudre tous les problèmes du secteur. L'adoption de ces technologies se heurte en effet à des obstacles structurels majeurs comme des coûts importants, des inégalités ou difficultés d'accès, ou encore leur inadéquation avec les besoins réels des acteurs. La transformation numérique ne peut être pensée comme un processus uniforme et descendant, mais doit impérativement intégrer les savoirs et les pratiques locales. Les coopératives agricoles jouent dans ce sens un rôle majeur, donnant aux exploitations la possibilité d'avoir accès à des opportunités et des ressources communes leur permettant de dépasser les limites de leur capacité.

Enfin, les nouvelles technologies peuvent constituer des leviers intéressants, à condition de les concevoir non comme des finalités, mais comme des outils au service de transitions écologiques, sociales et économiques plus larges. La clé réside dans une approche critique qui replace l'humain au centre des dynamiques d'innovation. Ainsi, l'innovation est porteuse de progrès si elle émerge d'une co-construction impliquant l'ensemble des acteurs, permettant l'émergence de solutions réellement adaptées aux besoins et aux contextes locaux.

L'enjeu consiste désormais à élaborer des stratégies d'innovation qui engagent véritablement les parties prenantes afin de promouvoir des solutions adaptées. Cela implique non seulement des investissements technologiques, mais aussi des transformations institutionnelles, pédagogiques et culturelles profondes. Ces transformations sont indispensables pour garantir que les progrès technologiques s'inscrivent dans une perspective de durabilité, d'équité et de résilience collective.

Agriculture Stratégies. (2019). Les coopératives agricoles : Un modèle d'organisation économique des producteurs. Agriculture Stratégies. <https://www.agriculture-strategies.eu/2019/05/2641/>

Akkaya D., Bimpikis K., Lee H. (2020), Government Interventions to Promote Agricultural Innovation, Manufacturing & Service Operations Management, vol.23 <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0834>

Alalwan, A. A. (2020). Mobile food ordering apps : An empirical study of the factors affecting customer e-satisfaction and continued intention to reuse. International Journal of Information Management, 50, 28-44. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.04.008>

Auat Cheein, F. A., & Carelli, R. (2013). Agricultural Robotics : Unmanned Robotic Service Units in Agricultural Tasks. IEEE Industrial Electronics Magazine, 7(3), 48-58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2013.2252957>

Bellon-Maurel, V., Piot-Lepetit, I., Lachia, N., & Tisseyre, B. (2023). Digital agriculture in Europe and in France : Which organisations can boost adoption levels? Crop and Pasture Science, 74(6), 573-585. <https://doi.org/10.1071/CP22065>

Ben Ayed, R., & Hanana, M. (2021). Artificial Intelligence to Improve the Food and Agriculture Sector. Journal of Food Quality, 2021, e5584754. <https://doi.org/10.1155/2021/5584754>

Ben Ayed, R., Hanana, M., Ercisli, S., Karunakaran, R., Rebai, A., & Moreau, F. (2022). Integration of Innovative Technologies in the Agri-Food Sector : The Fundamentals and Practical Case of DNA-Based Traceability of Olives from Fruit to Oil. Plants, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/plants11091230>

Blanchet, M. (2016). Industrie 4.0 Nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique. Outre-Terre, 46(1), 62-85. <https://doi.org/10.3917/oute1.046.0062>

Botta, A., Cavallone, P., Baglieri, L., Colucci, G., Tagliavini, L., & Quaglia, G. (2022). A Review of Robots, Perception, and Tasks in Precision Agriculture. Applied Mechanics, 3(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/applmech3030049>

Caro, F. & Sadr, R. (2019). The Internet of Things (IoT) in retail: Bridging supply and demand. <https://escholarship.org/content/qt7r7714k7/qt7r7714k7.pdf>

Chen, Q., Zhang, C., Zhao, J., & Ouyang, Q. (2013). Recent Advances in Emerging Imaging Techniques for Non-Destructive Detection of Food Quality and Safety. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 52, 261-274. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.09.007>

CNIL. (2018). RGPD : De quoi parle-t-on ? <https://www.cnil.fr/fr/rgpd-de-quoi-parle-t-on>

Commission européenne. (2023). Plan Stratégique National de la PAC 2023-2027.

Commission européenne. (2024). Dialogue stratégique sur l'avenir de l'agriculture de l'UE - Commission européenne. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/agriculture-and-green-deal/strategic-dialogue-future-eu-agriculture\\_fr](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/agriculture-and-green-deal/strategic-dialogue-future-eu-agriculture_fr)

Commission européenne. (2024). Le deuxième rapport sur l'état d'avancement de la décennie numérique appelle à renforcer l'action collective pour donner de l'élan à la transition numérique. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip\\_24\\_3602](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_24_3602)

Conseil National de l'alimentation. (2001). Avis n°28 – 06/2001 – La traçabilité des denrées alimentaires – Conseil National de l'Alimentation. <https://cna-alimentation.fr/download/avis-n28-06-2001-la-tracabilite-des-denrees-alimentaires/>

Coop de France. (2022). Panorama des entreprises coopératives. <https://actualites-agricoles.lacooperationagricole.coop/images/files/2022/AA-2022-02-11/CoopFR-Synthese2022-FR.pdf>

Coopérative Agricole Lorraine. Consulté le 02 décembre 2024, à l'adresse <https://www.cal-lorraine.fr/notre-expertise/innovation/>

CORDIS. (2018). Alimenter en données l'agriculture du futur. CORDIS | European Commission. <https://cordis.europa.eu/article/id/202827-powering-the-next-generation-of-farming-with-data/fr>

Daniel, K. (2019). Introduction. Le numérique accompagne les mutations économiques et sociales de l'agriculture. In *Les agriculteurs dans le mouvement de numérisation du monde* (p. 11-16). Éducagri Éditions. <https://www.cairn-sciences.info/les-agriculteurs-dans-le-mouvement-de-numerisation-9791027502950-page-11.htm>

Das Nair, R., Landani, N., & UNU-WIDER. (2020). Making agricultural value chains more inclusive through technology and innovation (38e éd., Vol. 2020). UNU-WIDER. <https://doi.org/10.35188/UNU-WIDER/2020/795-8>

Dong, L. (2021). Toward Resilient Agriculture Value Chains : Challenges and Opportunities. *Production and Operations Management*, 30(3), 666-675. <https://doi.org/10.1111/poms.13308>

Dongoski, R. (2019). How vertical integration is impacting food and agribusiness. [https://www.ey.com/en\\_us/consumer-products-retail/how-vertical-integration-is-impacting-food-and-agribusiness](https://www.ey.com/en_us/consumer-products-retail/how-vertical-integration-is-impacting-food-and-agribusiness)

Eaton, R., Katupitiya, J., Siew, K. W., & Howarth, B. (2010). Autonomous farming : Modelling and control of agricultural machinery in a unified framework. *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, 8(1-4), 444-457. <https://doi.org/10.1504/IJISTA.2010.030223>

EUR-lex. (2016). Sécurité alimentaire—EUR-Lex. [https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/food\\_safety.html?locale=fr&root\\_default=SUM\\_1\\_CODED%3D30](https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/food_safety.html?locale=fr&root_default=SUM_1_CODED%3D30)

European Commission. (2023). The Common Agricultural Policy : Separating Fact from Fiction. [https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2019-05/cap-separating-facts-from-fiction\\_en\\_0.pdf](https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2019-05/cap-separating-facts-from-fiction_en_0.pdf)

Eurostat. (2016). Archive:Exploitations agricoles et terres agricoles dans l'Union européenne – statistiques. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Exploitations agricoles et terres agricoles dans l'Union européenne – statistiques](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Exploitations_agricoles_et_terres_agricoles_dans_l%E2%80%99Union_europ%C3%A9enne_%E2%80%93_statistiques)

Eurostat. (2020). Farmers and the agricultural labour force—Statistics. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farmers and the agricultural labour force - statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farmers_and_the_agricultural_labour_force_-_statistics)

FAO. (2020). *EU Code of conduct on agricultural data sharing by contractual agreement\_2020\_ENGLISH.pdf*. [https://croplifeurope.eu/wp-content/uploads/2021/03/EU\\_Code\\_of\\_conduct\\_on\\_agricultural\\_data\\_sharing\\_by\\_contractual\\_agreement\\_2020\\_ENGLISH.pdf](https://croplifeurope.eu/wp-content/uploads/2021/03/EU_Code_of_conduct_on_agricultural_data_sharing_by_contractual_agreement_2020_ENGLISH.pdf)

Hassoun, A., Boukid, F., Pasqualone, A., Bryant, C. J., García, G. G., Parra-López, C., Jagtap, S., Trollman, H., Crobotova, J., & Barba, F. J. (2022). Emerging trends in the agri-food sector : Digitalisation and shift to plant-based diets. *Current Research in Food Science*, 5, 2261-2269. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.11.010>

Hussain. (2021). Smartphone-Based Detection Devices : Emerging Trends in Analytical Techniques. <https://dokumen.pub/smartphone-based-detection-devices-emerging-trends-in-analytical-techniques-1nbsped-0128236965-9780128236963.html>

lost Filho, F. H., Heldens, W. B., Kong, Z., & de Lange, E. S. (2020). Drones : Innovative Technology for Use in Precision Pest Management. *Journal of Economic Entomology*, 113(1), 1-25. <https://doi.org/10.1093/jee/toz268>

Ipsos. (2019, novembre 19). Pour 79% des Français l'origine géographique d'un produit est primordiale | Ipsos. <https://www.ipsos.com/fr-fr/pour-79-des-francais-lorigine-geographique-dun-produit-est-primordiale>

Jagtap, S., Bader, F., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Fadiji, T., & Salonitis, K. (2021). Food Logistics 4.0 : Opportunities and Challenges. *Logistics*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/logistics5010002>

Journal officiel de l'Union européenne. (2011). Règlement d'exécution (UE) no 931/2011 de la Commission du 19 septembre 2011 relatif aux exigences de traçabilité définies par le règlement (CE) no 178/2002 du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les denrées alimentaires d'origine animale.

Kayikci, Y., Demir, S., Mangla, S. K., Subramanian, N., & Koc, B. (2022). Data-driven optimal dynamic pricing strategy for reducing perishable food waste at retailers. *Journal of Cleaner Production*, 344, 131068. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131068>

Kembro J., Norrman A., (2022), The transformation from manual to smart warehousing: an exploratory study with Swedish retailers, *The international journal of logistics management*, vol. 33 n° 5

Konfo, T. R. C., Djouhou, F. M. C., Hounhouigan, M. H., Dahouenon-Ahoussi, E., Avlessi, F., & Sohounhloue, C. K. D. (2023). Recent advances in the use of digital technologies in agri-food processing : A short review. *Applied Food Research*, 3(2), 100329. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100329>

La Coopération Agricole. Consulté 02 décembre 2024, à l'adresse <https://www.lacooperationagricole.coop/une-reussite-economique>

La Coopération Agricole Occitanie. Consulté 02 décembre 2024, à l'adresse <https://www.lacooperationagricole-occitanie.fr/index.php/fr/nos-missions/innovation>

Ledroit, V. (2022, novembre 21). Quelle place pour l'innovation numérique dans la politique agricole commune ? Toutedurope.eu. <https://www.toutedurope.eu/agriculture-et-peche/quelle-place-pour-l-innovation-numerique-dans-la-politique-agricole-commune/>

Lezoche, M., Hernandez, J. E., Alemany Díaz, M. del M. E., Panetto, H., & Kacprzyk, J. (2020). Agri-food 4.0 : A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in Industry*, 117, 103187. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>

Mahroof, K. (2019). A human-centric perspective exploring the readiness towards smart warehousing : The case of a large retail distribution warehouse. *International Journal of Information Management*, 45, 176-190. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.008>

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. (2020). Recensement agricole 2020—Surface moyenne des exploitations agricoles en 2020 : 69 hectares en France métropolitaine et 5 hectares dans les DOM | Agreste, la statistique agricole. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Pri2213/detail/>

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. (2023). La réglementation sur l'hygiène des aliments. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/la-reglementation-sur-lhygiene-des-aliments>

Organisation de Coopération et de Développement Economiques. (2018). La technologie et le numérique dans l'agriculture—OCDE. <https://www.oecd.org/fr/agriculture/sujets/technologie-et-agriculture-numerique/>

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2024). FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/fr/#home>

Parlement européen. (2022). La fracture numérique : Les différences sociales produites par la numérisation. [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0438\\_FR.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0438_FR.html)

Pour la Solidarité. (2023). Illectronisme en Europe : une fracture numérique et sociale. [https://www.pourlasolidarite.eu/sites/default/files/publications/files/ed-2023-illectronisme\\_en\\_europe\\_-\\_une\\_fracture\\_numerique\\_et\\_sociale\\_0.pdf](https://www.pourlasolidarite.eu/sites/default/files/publications/files/ed-2023-illectronisme_en_europe_-_une_fracture_numerique_et_sociale_0.pdf)

Portley, J. (2024). Les 6 machines d'automatisation essentielles dans la production alimentaire. KnowHow. <https://knowhow.distrelec.com/fr/aliments-et-boissons/les-6-machines-dautomatisation-essentielles-dans-la-production-alimentaire/>

Santos, F. J., Guzmán, C., & Ahumada, P. (2024). Assessing the digital transformation in agri-food cooperatives and its determinants. *Journal of Rural Studies*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103168>

Sénat. (2022). Information du consommateur : Privilégier la qualité à la profusion. Sénat. <https://www.senat.fr/rap/r21-742/r21-742.html>

Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58-73. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>

The Food Industry Association. (2023). Food Shoppers Increasingly Prioritize Product Information. *Www.Fmi.Org*. <https://www.fmi.org/newsroom/news-archive/view/2023/11/14/new-insights-from-fmi-and-niq-reveal-food-shoppers-increasingly-prioritize-product-information>

The Shift Project. (2024). Pour une agriculture bas carbone, résiliente et prospère. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2024/11/RF-Agri-Rapport-Complet-DEF.pdf>

Trollman, H., Garcia-Garcia, G., Jagtap, S., & Trollman, F. (2022). Blockchain for Ecologically Embedded Coffee Supply Chains. *Logistics*, 6(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/logistics6030043>

Wiki Agri Tech. Consulté le 02 décembre 2024, à l'adresse <https://www.wiki-agri-tech.com/>

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>



Artimon est un cabinet de conseil en management et organisation spécialiste des transformations, et un institut de recherche pluridisciplinaire.

L'institut Artimon Perspectives mène des travaux de recherche sur l'impact des nouvelles technologies dans les organisations et les activités humaines. Nos productions visent la création de connaissances sur des sujets complexes, la vulgarisation scientifique et la compréhension de différents phénomènes, tout en répondant aux besoins et questionnements opérationnels de notre écosystème d'acteurs.

## CONTACTEZ-NOUS

8, rue de la Victoire,  
75009 Paris  
+33 (0)1 53 20 89 89  
<https://artimon.fr/>

### **Josefina GIMENEZ**

Directrice Recherche et  
Innovation  
Artimon Perspectives  
[jgimenez@artimon.fr](mailto:jgimenez@artimon.fr)

### **Arnaud MOKRANI**

Associé dirigeant  
Artimon  
[amokrani@artimon.fr](mailto:amokrani@artimon.fr)

## SUIVEZ-NOUS SUR



Artimon



Artimon Perspectives



@ArtimonConseil



@artimon5307