

**CONCOURS INTERNE DE RECRUTEMENT
DES ÉLÈVES INGÉNIEURS DE L'AGRICULTURE ET DE L'ENVIRONNEMENT
DU MINISTÈRE CHARGÉ DE L'AGRICULTURE**

SESSION 2026

Épreuve écrite d'admissibilité
(Durée : 4 heures – Coefficient 3)

Rédaction d'une note de synthèse à destination d'un public spécifié dans le sujet de l'épreuve écrite.

Vérifiez que le sujet est celui du concours auquel vous êtes inscrit(e) et qu'il contient **44 pages** : si ce n'est pas le cas, signalez-le aussitôt.

En l'absence d'indications contraires, **EMPLOYEZ EXCLUSIVEMENT DE L'ENCRE NOIRE** et évitez toute présentation pouvant constituer un signe distinctif : l'utilisation du crayon gris ou de couleurs autres que le noir entraînera la non-correction de la copie et l'annulation de votre participation.

Ne pas utiliser de correcteur blanc.

Inscrivez sur la bande d'anonymat de chacune de vos copies vos nom et prénom en lettres capitales, date de naissance ainsi que l'épreuve, l'examen et la session. Faites-le avant d'entamer la rédaction de chacun de vos feuillets : il ne vous sera plus possible de le faire une fois l'épreuve terminée, et l'absence de ces mentions sur un feuillet entraînera la non-correction de votre copie et l'annulation de votre participation. N'inscrivez rien dans la case réservée au numéro d'inscription.

Renseignez la case relative au nombre de feuillets.

Ne faites pas apparaître votre nom, ni le nom du centre d'épreuves, ni aucun autre nom de personne ou de lieu, ni signe distinctif, ni signature même fictive en quelque endroit de votre composition : cela entraînerait la non-correction de votre copie et l'annulation de votre participation.

À l'issue de l'épreuve, rendez votre copie même si elle est vierge, avec toutes les bandes d'anonymat renseignées, avant de signer la feuille d'émargement. Tout candidat quittant la salle sans rendre sa copie est signalé absent.

Aucun brouillon, ni collage de documents, ni feuille non réglementaire ne sont acceptés.

La qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entrent pour une part importante dans l'appréciation du candidat.

L'usage de la calculatrice n'est pas autorisé.

SUJET

Vous êtes en poste en Direction Régionale de l’Alimentation, de l’Agriculture et de la Forêt (DRAAF). Le préfet de région a demandé à votre directeur de lui faire un point sur les potentialités de l’intelligence artificielle (IA) dans le domaine de l’agriculture, et sur l’intérêt que cette technologie présente pour répondre aux grands enjeux de ce secteur d’activités.

Votre directeur vous demande d’élaborer un projet de note à cet effet.

Vous dresserez un état des lieux des solutions IA existantes en agriculture, en décrivant leur intérêt pour répondre aux défis qui se présentent, tout en mentionnant leurs limites et les facteurs qu’il faut intégrer pour garantir un développement réussi de ces outils.

Vous préciserez les conditions de leur déploiement territorial, en proposant au préfet des initiatives qu’il est susceptible de prendre à l’échelon régional.

6 documents joints (44 pages) :

Document	Intitulé du document	Nombre de pages	Pagination
<u>N°1</u>	L’intelligence artificielle au service de l’agriculture et de l’agroalimentaire- rapport du CGAAER – nov 2025 – extraits	8	Pages 2 à 9
<u>N°2</u>	Le numérique au service de la 3eme révolution agricole – feuille de route Agriculture et numérique – fev 2022- extraits	7	Pages 10 à 16
<u>N°3</u>	L’IA ne va pas remplacer l’expertise de l’agriculteur – interview de Herinaina Andriamandros par Isabelle Escoffier – France agricole sept 2025	2	Pages 17 à 18
<u>N°4</u>	L’IA peut-elle rendre l’agriculture plus durable ? – Futurs INRAE – oct 2025	22	Page 19 à 40
<u>N°5</u>	Hectar prépare un chatbot IA pour aider les agriculteurs dans leurs tâches administratives - Cyril Bonnel – Agra Innovation – fev 2025	2	Pages 41 à 42
<u>N°6</u>	L’Essonne accueille la première grande ferme maraîchère robotisée en France – Jacque Muryel – Les Echos – juillet 2025	2	Pages 43 à 44



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE,
DE L'AGRO-ALIMENTAIRE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

L'intelligence artificielle au service de l'agriculture et de l'agroalimentaire

Rapport n° 25034

établi par

Juliette AURICOSTE

Inspectrice

Jean KUGLER

Inspecteur général

Etienne ACHILLE

Inspecteur général – Haut-fonctionnaire au numérique agricole

en appui

Novembre 2025

CGAAER

CONSEIL GÉNÉRAL
DE L'ALIMENTATION
DE L'AGRICULTURE
ET DES ESPACES RURAUX

1. LE PANORAMA DES ACTEURS ET DU MARCHÉ FAIT APPARAÎTRE DES LIGNES DE FOND MALGRÉ LA DIVERSITÉ INTER-FILIÈRES ET TERRITORIALE

L'intelligence artificielle (IA) regroupe des technologies permettant aux machines d'imiter certaines fonctions cognitives humaines. Parmi celles-ci figurent l'**apprentissage automatique** (*machine learning*), où les algorithmes progressent par l'expérience, et le **traitement du langage naturel**, qui permet aux machines de comprendre et de produire du langage humain.

De nombreux outils basés sur l'IA sont déjà déployés dans les secteurs agricole et agroalimentaire, avec des développements prometteurs en cours. L'ensemble des acteurs de ces filières, de l'amont à l'aval, est concerné et explore les potentiels de développement. Cependant, des obstacles persistent, notamment pour faciliter leur adoption. Les solutions d'IA présentent des niveaux de maturité variés ; dans le domaine agricole, des pionniers ont déjà adopté ces outils sur l'ensemble du territoire national. Sur le plan des politiques publiques, certains pays mènent des stratégies ambitieuses. La Commission européenne se positionne fermement sur l'IA, y compris dans son volet agricole. En France, les politiques relatives à l'IA se structurent progressivement, en marge du MAASA.

Encadré 1 : Définition et perspectives historiques de l'IA

L'Union européenne¹ dispose qu'un système d'IA est un système automatisé qui est conçu pour fonctionner à différents niveaux d'autonomie et peut faire preuve d'une capacité d'adaptation après son déploiement, et qui, pour des objectifs explicites ou implicites, déduit, à partir des entrées qu'il reçoit, la manière de générer des sorties, telles que des prédictions, du contenu, des recommandations ou des décisions qui peuvent influencer les environnements physiques ou virtuels.

Contrairement à l'intelligence humaine, l'IA reste fondamentalement analytique et algorithmique². Bien qu'elle puisse simuler certaines facettes de l'intelligence, elle ne maîtrise, ni les émotions, ni le sens pratique de manière intrinsèque. Son fonctionnement repose sur des analogies statistiques complexes, offrant une apparence de compréhension sans en posséder la substance. On peut d'ailleurs noter qu'en anglais, le mot "intelligence" exprime l'intelligence au sens du langage courant, mais aussi l'information. Par exemple, le mot CIA est l'acronyme de Central Intelligence Agency, et se traduit par agence centrale de renseignement.

Le terme « algorithme » trouve son origine dans le nom du mathématicien perse du IX^{ème} siècle al-Khwārizmī (latinisé en *algorismi*). Cependant, le raisonnement logique sous-jacent remonte à Euclide et son œuvre *Les Éléments* (III^{ème} siècle av. J.-C.). Un algorithme est une suite d'opérations logiques conçue pour résoudre un problème ou répondre à une question. L'avènement des ordinateurs a marqué une révolution, permettant de traiter automatiquement ces problèmes grâce à une puissance de calcul et un stockage de données croissants. Le concept d'IA émerge au milieu du XX^{ème} siècle, notamment avec les travaux d'Alan Turing. En 1956, lors de la conférence de Dartmouth, le terme « intelligence artificielle » est officiellement introduit par John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon et Nathaniel Rochester. À cette époque, l'intelligence humaine était perçue comme purement analytique, une approche d'ailleurs traduite par le concept de quotient intellectuel (QI). Ce n'est que dans les années 1980 que des théories sur les intelligences multiples, comme celle de Robert Sternberg, ont élargi cette conception en y intégrant des dimensions créatives, émotionnelles et pratiques. Ainsi, l'IA est purement analytique et synonyme d'algorithmes.

1.1. Les solutions d'IA disponibles sont déjà très diversifiées

L'IA trouve des applications de plus en plus variées dans le secteur agricole, avec quatre grands types de solutions identifiées.

Tout d'abord, **l'aide à la décision tactique et stratégique** inclut des fonctionnalités, telles que la prévision de rendement, la détection de maladies, le conseil stratégique, ainsi que la conception innovante par IA et simulation. Ensuite, la **robotique agricole** se développe dans des domaines comme le désherbage, l'alimentation et la traite des animaux. La **vision par ordinateur** utilise, elle, des caméras, des smartphones, la télédétection et la vision des robots. Enfin, le **traitement automatique du langage naturel (NLP)** est utilisé pour la production et l'analyse des connaissances, ainsi que pour le conseil.

À ces quatre types de solutions s'ajoutent des usages majeurs de rupture. En amont agricole, **AlphaFold** se distingue par sa capacité à prédire et concevoir des structures moléculaires. En aval, l'IA joue un rôle crucial dans la **traçabilité et la qualité des produits agroalimentaires**.

On observe des disparités significatives entre les différentes filières agricoles. Les grandes cultures et l'élevage laitier semblent les plus avancés dans l'adoption de ces technologies, grâce notamment à la disponibilité de données structurées. En revanche, les filières fruits et légumes, l'élevage allaitant et les plus petites filières seraient en retrait, probablement pour des raisons de marché.

Si elles se développent, les solutions d'IA en agriculture restent encore peu matures. Il est important de rappeler que l'innovation suit une chaîne de maturité technologique (TRL) et nécessite des temps longs de développement. Néanmoins, certaines applications commencent à bénéficier des avancées réalisées dans d'autres secteurs. Parmi celles-ci, on peut citer :

- les **outils de monitoring et de robotique en élevage**, combinant capteurs et IA embarquée ;
- les **systèmes d'aide à la décision** pour la pulvérisation ou l'irrigation ;
- les **plateformes de traitement d'imagerie** accessibles sur smartphone, ainsi que les technologies de phénotypage et de génotypage.

1.1.1. L'agriculture de précision

L'agriculture de précision apporte des réponses concrètes et opérationnelles aux différents défis que doit relever le secteur agricole. Elle permet d'optimiser les pratiques agricoles en s'appuyant sur les technologies numériques, pour produire mieux, en utilisant moins de ressources. Elle s'inscrit dans la logique de la transition agroenvironnementale, avec par ailleurs un objectif de performances économiques accrues.

Face aux effets du changement climatique – intensification des bio-agressions, stress hydriques, variabilité des rendements – l'agriculture de précision propose des outils puissants pour adapter les systèmes agricoles, sécuriser la production et anticiper les risques.

Elle s'appuie sur une collecte fine et continue de données issues de capteurs, de drones, d'imagerie satellitaire ou encore de stations météorologiques connectées. La valorisation de l'ensemble de ces données permet **une observation détaillée des cultures, à l'échelle infra-parcellaire**. L'intégration de ces données multiples et complexes dans des systèmes d'aide à la décision, qui mobilisent les algorithmes de l'IA, permet d'assurer un suivi en temps réel et d'émettre des recommandations agronomiques adaptées. Les exploitants agricoles peuvent ainsi ajuster précisément les apports d'eau, d'engrais ou de produits phytosanitaires, selon les besoins spécifiques des cultures, ce qui réduit les intrants et limite les impacts environnementaux.

En grandes cultures, ces technologies, en collectant en continu des données analysées pour une prise de décision en temps réel, permettent une gestion de plus en plus fine et précise de la

variabilité intra-parcellaire, avec la capacité de différencier les stades de développement des cultures, de détecter les stress hydriques ou les carences nutritionnelles, et **d'intervenir à la bonne dose, au bon moment et au bon endroit.**

Les outils de l'IA jouent un rôle majeur dans les évolutions qui ont cours. Ils permettent de modéliser des scénarios, d'anticiper les évolutions climatiques et l'apparition de maladies, de détecter précocement les ravageurs et de générer des conseils personnalisés. Couplée à l'internet des objets, l'IA permet d'automatiser certaines opérations (irrigation, traitements localisés) et d'améliorer la prise de décision, en s'appuyant sur une analyse prédictive.

En contribuant à l'optimisation de l'usage des intrants et à l'amélioration des rendements, l'agriculture de précision améliore la rentabilité des exploitations. Elle offre ainsi des éléments de réponse pour répondre aux enjeux de souveraineté alimentaire, en augmentant la productivité, tout en réduisant les impacts sur l'environnement.

1.1.2. La robotique

Les premières applications en robotique ont été développées dans les filières à haute valeur ajoutée, en particulier le maraîchage et la viticulture. Aujourd'hui, une nouvelle génération de robots agricoles autonomes est testée avec succès sur des cultures en plein champ.

Les robots sont dotés de capteurs performants. Ils intègrent des algorithmes d'IA qui jouent un rôle central dans leur fonctionnement pour leur permettre de reconnaître les adventices, de suivre les stades phénologiques, de détecter les maladies ou de cibler les zones de traitement.

Ainsi les rampes des pulvérisateurs de produits phytosanitaires sont-elles équipées de caméras intelligentes qui permettent un traitement ciblé des adventices ou l'activation d'un bras robotisé de désherbage mécanique. Certaines solutions innovantes recourent à des lasers ou des jets thermiques pour éliminer les mauvaises herbes sans produit phytosanitaire.

Des essais sont réalisés sur des prototypes dédiés à la lutte contre les ravageurs. Ils détectent la présence d'insectes nuisibles et appliquent localement des traitements biologiques ou mécaniques, ouvrant de nouvelles perspectives pour une protection intégrée des cultures (biocontrôle).

Parallèlement, des robots cueilleurs de fruits apparaissent. Grâce à la reconnaissance visuelle assistée par IA, ils identifient le degré de maturité des fruits et les récoltent avec précision. Ils offrent des perspectives pour faire face à la pénurie de main-d'œuvre saisonnière et aux problèmes de pénibilité de certaines tâches.

Pour sa part, le secteur de l'élevage laitier connaît **un développement constant des robots de traite**. Outre l'automatisation du processus de traite, ces robots génèrent des volumes importants de données zootechniques et sanitaires. Ces dernières peuvent être valorisées par des modules d'IA qui opèrent des analyses croisées des données historiques de chaque vache, des données du troupeau et de celles d'autres fermes. Les résultats permettent une détection précoce de certaines pathologies (mammites, etc.), une optimisation des soins et de l'alimentation en phase avec l'approche « une seule santé » (lutte contre l'antibiorésistance), et *in fine* une amélioration du bien-être animal.

1.1.3. Autres exemples d'application

Au-delà des applications en agriculture de précision et en robotique agricole, l'IA est mise à profit sur l'ensemble de la chaîne de valeur dans une large palette d'outils, qui apportent des réponses à des enjeux techniques, économiques et sanitaires.

Des progrès conséquents ont été réalisés dans le domaine de **l'optimisation du stockage des productions**. Ainsi, pour les céréales, où les risques de pertes (infestation d'insectes, dégradation de la qualité) dans les silos à grain sont importants, des solutions de gestion automatisée ont-elles été développées par des entreprises comme Javelot³. Elles reposent sur un système de surveillance en temps réel basé sur des sondes de mesure (température, humidité), dont les données sont centralisées sur une plateforme SaaS (solution logicielle en ligne) qui permet aux agriculteurs et aux coopératives d'avoir une vision précise de l'état de leurs stocks et un contrôle de la conservation des grains. Ces nouvelles technologies s'appuient sur des algorithmes de plus en plus performants qui permettent d'automatiser les cycles de ventilation selon le type de grain stocké, en les optimisant en fonction des conditions météo et en minimisant la consommation électrique.

Des outils d'aide à la décision de nouvelle génération, tels que Smag Farmer⁴, s'appuient sur des systèmes d'IA intégrés pour accompagner les exploitants dans **la gestion opérationnelle et stratégique globale de l'exploitation agricole**. Ces solutions permettent d'agréger et d'exploiter des données hétérogènes (comptables, technico-économiques, météorologiques, réglementaires) afin de générer des simulations de scénarios culturels, d'évaluer la rentabilité des pratiques et de faciliter la mise en conformité réglementaire. Des plateformes comme Ekylibre⁵ permettent de centraliser les données au sein d'un *Enterprise Resource Planning* (ERP) agricole, qui intègre des fonctions comptables, logistiques, réglementaires et techniques, et qui facilite leur exploitation (charges directes et indirectes, coûts de production, marges nettes par activité).

Sur la base des travaux du GIEC, dans un souci d'anticipation, les trois chambres d'agriculture de Bretagne, Normandie et Pays de la Loire ont associé leurs compétences dans le cadre du **projet Agriclim**⁶ pour élaborer, sur une quinzaine de productions agricoles, des indicateurs agro-climatiques permettant d'effectuer des projections à horizon 2050 et 2100. Ce travail permet d'analyser, pour une exploitation agricole donnée, les impacts prévisionnels des effets du changement climatique sur son activité, et d'offrir un conseil stratégique pour renforcer la résilience des systèmes agricoles face aux incertitudes climatiques, notamment dans la démarche d'accompagnement à l'installation.

L'IA contribue également à faire évoluer les pratiques de la médecine vétérinaire en élevage. L'entreprise Dilepax⁷ développe des technologies de vision par ordinateur permettant **un suivi en continu des animaux d'élevage** (porcs, bovins). Ces systèmes permettent un monitoring du troupeau, avec une détection précoce des comportements anormaux, des pathologies et des moments clés (boiterie, chaleurs, vélages). Ils génèrent des alertes précoces, réduisant les temps de latence diagnostique et améliorant la prévention sanitaire.

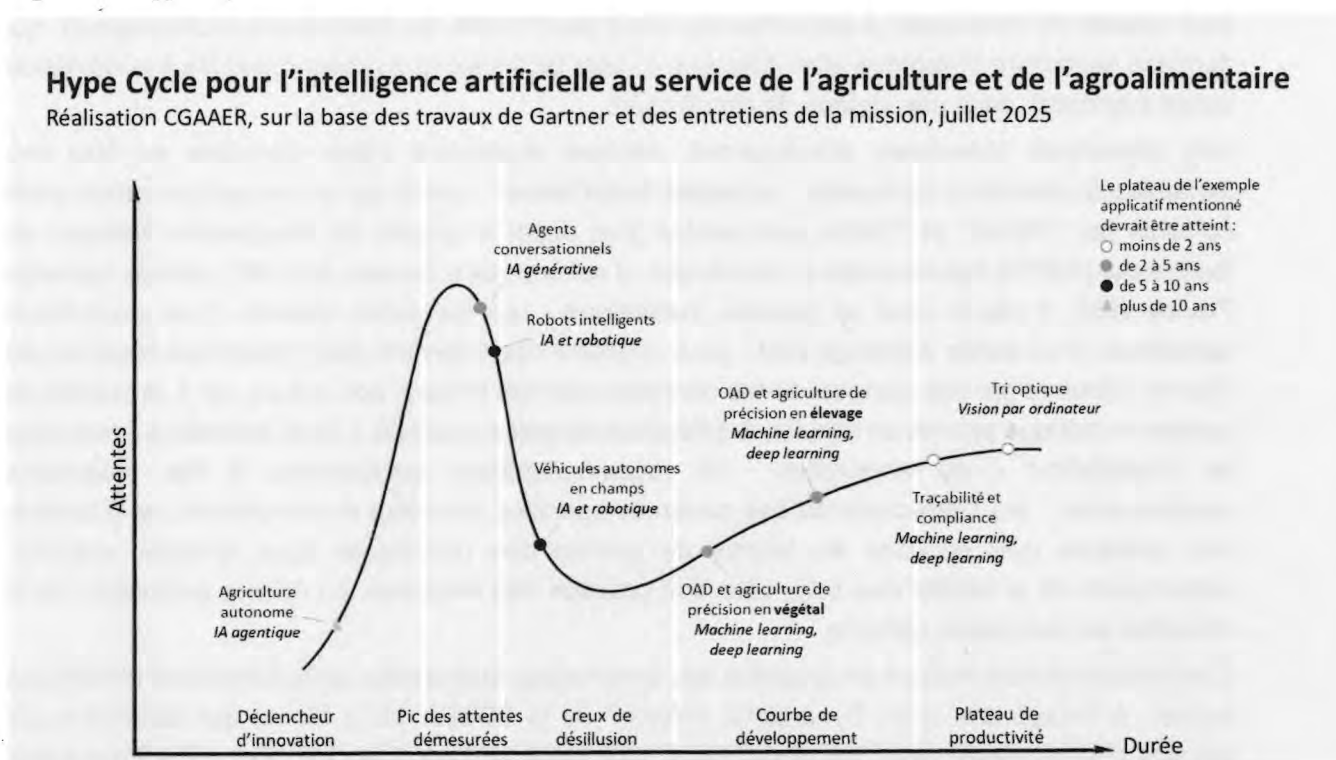
Dans le secteur agroalimentaire, FoodPilot⁸, lauréat de France 2030 en Occitanie, a développé une plateforme numérique dédiée à collecter et massifier l'ensemble des données présentes tout au long de la chaîne de production d'un produit alimentaire pour une vision globale de son impact. Les entreprises agroalimentaires disposent ainsi d'un outil de simulation de scénarios d'amélioration pour décarboner leurs activités et réduire leur empreinte écologique.

1.3. Des niveaux de maturité et des dynamiques contrastés pour les solutions utilisant l'IA

1.3.1. Courbe de la « hype »

L'analyse de la maturité des solutions fondées sur l'IA existantes ou en développement peut être représentée sous la forme d'un graphique « Hype Cycle » : il s'agit d'un modèle graphique développé par la société de recherche Gartner qui représente la maturité, l'adoption et l'application sociale des technologies émergentes. Il se compose de cinq phases-clés : le déclenchement technologique, le pic d'attentes exagérées, le creux de désillusion, la pente de l'éclaircissement, et enfin le plateau de productivité. Ce modèle est subjectif et basé sur des opinions d'experts : la représentation ci-dessous a été élaborée par la mission sur la base des entretiens et de la bibliographie, et vise à proposer une visualisation de l'évolution des technologies émergentes dans le secteur.

Figure 1 : Hype Cycle pour l'IA au service de l'agriculture et de l'agroalimentaire



Les agents d'IA (ou IA agentique) sont l'étape d'après l'IA générative, avec un potentiel considérable de transformation : ce sont des systèmes logiciels qui utilisent l'IA pour atteindre des objectifs et effectuer des tâches au nom et à la place des utilisateurs. Ils raisonnent, planifient et mémorisent et disposent d'un certain niveau d'autonomie pour prendre des décisions, apprendre et s'adapter.

1.3.2. Des pionniers ont enclenché des dynamiques locales prometteuses

Face aux défis qui se présentent - adaptation au changement climatique, transition démographique, compétitivité, réponses aux attentes sociétales - des pionniers, avec une grande diversité de profils, de moyens et d'ambitions, ont engagé des démarches innovantes qui s'appuient sur l'IA et les outils numériques. Ces démarches, individuelles ou collectives, publiques ou privées, menées à

différentes échelles, mettent en lumière **des dynamiques locales prometteuses**, souvent expérimentales, mais déjà porteuses de résultats concrets. Elles illustrent la capacité de l'IA de contribuer à une transformation structurelle de l'agriculture et de l'agroalimentaire.

Des démarches individuelles et ciblées témoignent de la capacité d'innovation d'acteurs de terrain. Un éleveur laitier, rencontré par la mission en Seine-Maritime, en est l'illustration. Ne disposant pas de formation particulière dans le domaine numérique, il a adopté la solution de la startup AIHerd¹⁵. Elle permet, en mobilisant l'IA appliquée à la vision par ordinateur, de suivre en continu l'activité de son troupeau et de détecter et signaler les événements importants (chaleurs, vêlage, apparition de pathologies). La curiosité naturelle de l'éleveur, son intérêt pour les solutions innovantes et un financement à hauteur de 50 % du Conseil départemental pour un investissement de 8 k€, l'ont motivé pour retenir cette solution, avec à la clé un dispositif d'aide à la décision qui a vocation à améliorer la productivité de son troupeau et lui permet d'alléger sa charge de travail quotidienne.

Autre initiative individuelle à fort impact : la startup NeoFarm¹⁶ qui installe sur 25 ha à Lisses (91) une ferme maraîchère de production de légumes bio robotisée. Avec 30 M€ levés, NeoFarm se fixe pour objectif de développer à proximité des villes son modèle de micro-ferme technologique, qui combine agriculture biologique et mobilisation d'outils technologiques, pour répondre à la demande locale (cantines), dans une logique de circuit court.

Des démarches collectives, structurantes, méritent également d'être signalées au titre des dynamiques pionnières innovantes. **Le projet TwinFarms¹⁷**, porté par un consortium public-privé co-piloté par l'INRAE et l'INRIA, est lauréat d'un appel à projets du Programme National de Recherche (PEPR) Agroécologie et Numérique. Il est financé à hauteur de 3 M€, dans le cadre de France 2030. Il vise à créer **un jumeau numérique** - représentation virtuelle d'une exploitation agricole ou d'un atelier d'élevage réel - pour chacune des 9 fermes démonstratrices réparties en France. Alimenté par des capteurs et des données externes (météo, sol, culture, etc.), le modèle de jumeau numérique permet de simuler, à différentes échelles spatiales - de la parcelle à l'ensemble de l'exploitation -, et temporelles - de recommandations quotidiennes à des projections pluriannuelles -, les interactions de ces systèmes agricoles avec leur environnement, et d'adopter des pratiques plus durables en termes de gestion des ressources (eau, énergie, engrais), préservation de la fertilité des sols, détection précoce des maladies, ou encore évaluation de la réduction de l'empreinte carbone.

D'autres démarches mettent en évidence des dynamiques territoriales, sous l'impulsion d'initiatives locales, à l'image des clubs Dynamique Projets¹⁸ de la FDSEA de la Marne qui répondent aux besoins d'accompagnement des agriculteurs souhaitant innover. Un club agriculture connectée, centré sur le sujet des usages du numérique en agriculture, a ainsi été créé. Il permet à des agriculteurs « technophiles » d'échanger autour de cas concrets (sols, cartographie, phytosanitaires) avec l'appui d'experts, dans le cadre de rendez-vous, tels *"L'agriculture de précision, c'est pas si compliqué !"*.

Le projet ChatBottes a été initié par les trois chambres d'agriculture de Normandie, du Grand Est et des Pays de Loire, lors du hackathon GAIA¹⁹ organisé à l'occasion du SIA 2025. Ce projet de robot conversationnel au service du conseiller agricole illustre les possibilités de l'usage de l'IA générative pour traiter des questions complexes en s'appuyant sur un corpus de données, notamment issues de la plateforme RD Agri qui centralise et valorise les résultats des programmes de R&D du PNDAR. Sur la base du POC issu du hackathon du SIA, le prototype ChatBottes est

actuellement testé au niveau d'un groupe de conseillers agricoles, avant d'envisager son déploiement.

Au titre des initiatives dans le domaine agroalimentaire, l'AREA de Normandie a lancé un club IA qui propose un espace d'échanges pour stimuler la mutualisation d'expériences et l'émergence de projets, par exemple pour l'optimisation logistique.



1.4. Des politiques publiques qui montent en puissance

1.4.1. A l'international, des évolutions rapides et majeures

Au niveau international, on observe un intérêt croissant pour la mobilisation de l'IA et des outils numériques dans le domaine agricole. Cet intérêt se traduit de différentes manières : un positionnement stratégique et des programmes affichés de manière volontariste par certains pays, des initiatives et des projets d'ampleur impliquant de grandes entreprises technologiques, ou encore la mise en place de partenariats publics-privés, associant des structures d'enseignement et de recherche.

1.4.1.1. Des projets privés structurants aux Etats-Unis

A la pointe de l'innovation en IA, les États-Unis offrent des conditions particulièrement favorables au développement des projets privés de grande ampleur, avec des investissements massifs, à l'image des 80 milliards de dollars que Microsoft prévoit de dépenser en 2025 pour la construction de centres de données capables de gérer les charges de travail liées à l'IA²⁰.

Les géants du numérique jouent un rôle majeur dans le développement de l'IA en agriculture. Ils mettent à disposition leurs infrastructures (centres de données, plateformes cloud, etc.) pour piloter des projets en direct ou en partenariat avec des startups et d'autres entreprises. Certaines voix s'élèvent toutefois pour demander davantage d'implication de l'Etat fédéral dans le financement de la R&D et la structuration d'un écosystème favorable au développement de l'AgTech²¹.

Microsoft a alloué, entre 2017 et 2022, plus de 50 M USD au programme global AI for Earth - Planetary Computer²² dédié à l'environnement. Il inclut des modules portant sur l'eau, la biodiversité et le climat, et offre des API et des catalogues de données de sa plateforme cloud Azure permettant la mise au point de modèles IA dédiés à l'agriculture.

Le projet FarmBeats²³, déployé initialement dans une ferme autour de Seattle, combine capteurs IoT, drones et imagerie pour alimenter l'IA d'Azure. Le suivi de l'état des sols, de la végétation, des conditions climatiques et hydriques permet d'ajuster l'irrigation, la fertilisation et d'optimiser les périodes de semis et de récolte, à l'échelle de chaque exploitation agricole. Converti en produit commercial dénommé *Azure Data Manager for Agriculture* (ADMA), il a été le support d'une collaboration entre Microsoft et Bayer²⁴ pour la construction d'un modèle d'IA propriétaire qui permet d'apporter des conseils sur la protection des cultures. Sur cette base, Bayer commercialise des modèles IA spécialisés, intégrant des données météo, des historiques de production, des conseils pour l'irrigation, et des modèles prédictifs.

Le numérique au service de la 3^e révolution agricole

Parmi les profondes transformations que la France engage figure celle de l'agriculture, marquée par la nécessité de la transition agroécologique et de la souveraineté alimentaire. Notre agriculture est engagée dans la 3^e révolution agricole, celle du vivant et de la connaissance, pour construire une agriculture plus souveraine, tout en étant toujours plus durable et plus résiliente.

Pour relever ces défis, **le numérique est un pilier de cette 3^e révolution agricole**. Il s'ajoute à l'agri-robotique, à la sélection variétale et au biocontrôle. Outil essentiel, il offre des solutions technologiques permettant d'accélérer les transitions déjà engagées par le monde agricole, en facilitant la collecte des données, en réduisant la pénibilité, en optimisant les tâches ou le pilotage des exploitations tout en améliorant l'impact environnemental.

Car créer des solutions numériques à destination de l'agriculture, c'est d'abord accroître la résilience de notre système agricole. Les agriculteurs doivent en tirer le meilleur parti, en tant que premiers acteurs de notre alimentation : nous devons faire du numérique un vecteur d'amélioration de la compétitivité, des conditions de travail et in fine du revenu des agriculteurs. C'est ensuite permettre à notre agriculture de jouer pleinement son rôle fondamental dans la lutte contre le réchauffement climatique et de s'adapter aux aléas qu'il entraîne. C'est enfin améliorer l'attractivité des métiers agricoles pour les générations futures d'exploitants agricoles.

Ces solutions, portées par des acteurs nationaux innovants - agriculteurs, start-up, entreprises industrielles, instituts techniques privés et publics - existent à l'image des robots agricoles, des capteurs, des drones, des stations météo, de la reconnaissance d'images, de l'intelligence artificielle ou des outils d'aide à la décision. Leur déploiement et leur amélioration continue sont désormais les enjeux.

Nous avons tout le potentiel pour y parvenir ! Notre écosystème de l'innovation en agriculture est l'un des plus riches au monde avec l'INRAE, nos instituts techniques et les centaines de start-up françaises. Pour renforcer ces acteurs innovants et encourager le développement de leurs solutions, nous avons lancé le 30 août 2021 puis dès le mois de novembre deux appels à projets dotés de 200 millions d'euros. Plus largement, le plan France 2030 et les stratégies d'accélération du PIA 4 consacrent des moyens sans précédent pour accélérer la 3^e révolution agricole.



Le déploiement du numérique doit être au service des agriculteurs. Dans un pays où deux agriculteurs sur trois utilisent les nouvelles technologies pour gérer leur exploitation, notre Gouvernement croit profondément aux liens entre numérique et agriculture, aux opportunités qu'ils offrent, aux transformations qu'ils permettent. Nous devons poursuivre et intensifier l'effort mené par les acteurs du numérique et de l'agriculture avec le soutien de l'État pour créer un écosystème de données où celles-ci pourront circuler en confiance, avec des règles qui garantiront la souveraineté de l'agriculteur sur les données issues de son exploitation. Dans le numérique aussi, le sens du collectif qui fait la force du monde agricole, doit permettre le partage des données au service d'une création de valeur pour tous les agriculteurs. De nombreuses initiatives existent portées par exemple par les Chambres d'agriculture.

Et parce que la formation est fondamentale pour réussir ces transitions, nous souhaitons tout particulièrement intensifier la place du numérique dans les formations, depuis l'enseignement agricole secondaire et supérieur jusqu'à la formation professionnelle et continue, ainsi que dans l'accompagnement des agriculteurs par les conseillers agricoles. Cet effort de formation permettra d'accroître les compétences numériques de l'écosystème agricole, des fabricants de solutions technologiques jusqu'aux agriculteurs. Il contribuera à l'appropriation par le plus grand nombre des nouvelles solutions numériques pour l'agriculture, et des enjeux de la circulation des données agricoles.

Œuvrons ensemble pour mettre le numérique au cœur de notre agriculture, au service des agriculteurs et de la 3^e révolution agricole, et pour faire de ces solutions un atout pour chacune et chacun. Il en va de l'avenir de notre agriculture et de la souveraineté alimentaire et technologique de notre pays. Notre soutien est total !

Julien Denormandie,
ministre de l'Agriculture
et de l'Alimentation

Cédric O,
secrétaire d'Etat chargé de la Transition numérique
et des Communications électroniques

Diagnostic, enjeux, vision

Les enjeux du numérique dans le secteur agricole sont pluriels. Le numérique offre des opportunités importantes, encore accrues par l'essor rapide de l'intelligence artificielle. Les nouveaux outils numériques peuvent contribuer à la conception et au pilotage de systèmes de production s'appuyant sur les principes de l'agroécologie. Ils peuvent faciliter le travail des agriculteurs et leur permettre une gestion plus fine des régulations naturelles et des populations animales ou végétales, permettant de réduire l'utilisation des intrants fossiles et de synthèse.

Le numérique est ainsi un atout pour apporter des réponses aux grands enjeux agricoles : résilience économique, adaptation au changement climatique, atténuation des émissions de gaz à effet de serre, prévention et gestion des épidémies animales avec un effet potentiel sur la santé humaine (One Health). Le numérique, notamment combiné à la robotique, offre également des perspectives pour réduire la pénibilité de certaines tâches et pour l'amélioration du bien-être animal. Cependant le numérique est aussi porteur de risques, ceux liés à la cybersécurité, mais aussi celui de voir des agriculteurs et plus généralement l'agriculture française devenir captifs d'outils dont les concepteurs auront leur logique propre, distincte de celles des agriculteurs et des attentes des citoyens.

Pour que le numérique soit au service des agriculteurs et de 3^e révolution agricole, ainsi que de la performance sanitaire en France et en Europe et qu'il permette une meilleure information des consommateurs, l'État accompagne le développement du numérique dans l'agriculture française à travers plusieurs axes de travail dont notamment la promotion d'un partage maîtrisé des données agricoles, l'accroissement des compétences numériques acquises dans l'enseignement agricole, ou encore un appui à l'investissement en recherche et innovation.



Diagnostic

Des exploitations connectées

L'agriculture innove : dans son matériel, ses pratiques ses usages, l'agriculteur se renouvelle sans cesse pour s'adapter aux aléas, produire mieux, valoriser et commercialiser ses productions. Souvent technophiles par leurs usages réguliers des agroéquipements, beaucoup d'agriculteurs intègrent le numérique dans leurs pratiques et testent volontiers les nouveaux outils et services digitaux (capteurs, objets connectés, outils d'aide à la décision, ...) ; un agriculteur sur deux est équipé d'un système de positionnement par satellite (géolocalisation et navigation par un système de satellites, GNSS) dans son tracteur pour améliorer la précision de ses travaux et la télédétection concerne 10% de la surface française de grandes cultures pour piloter au plus juste l'alimentation en azote des plantes et consommer moins d'engrais¹. Les objets connectés sont de plus en plus utilisés pour suivre les animaux d'élevage, notamment dans un souci de veiller sur leur santé et leur bien-être.

La robotique est de plus en plus adoptée : en 2018, l'élevage utilise plus de 10 000 robots et les productions végétales quelques centaines² : 70% des éleveurs achètent un robot de traite lors du renouvellement de leur matériel.

Sans forcément en avoir toujours conscience, comme l'ensemble des Français, les agriculteurs utilisent de plus en plus fréquemment dans leur vie courante ou leur activité professionnelle des produits et services dont certaines composantes font appel à des disciplines de **l'intelligence artificielle** pour l'analyse et le traitement de données, ou l'optimisation des solutions. Des pionniers utilisent déjà des traitements d'analyse d'image embarquée permettant la détection automatisée des adventices ou des pathogènes. D'autres ont équipé leur bétail de capteurs couplés à des traitements algorithmiques permettant de

décoder des états morbides. De ce fait, les éléments pertinents de cette feuille de route ont vocation devenir la composante agricole de la stratégie nationale pour l'intelligence artificielle.

Les agriculteurs sont connectés : en 2020, plus de 95% des exploitations agricoles sont couvertes par le réseau mobile³. La couverture de la 4G sur le siège de l'exploitation progresse (deux tiers des répondants captent la 4G sur le siège de leur exploitation (66,9%) en 2020 contre 41,7% en 2019, soit une progression de + 15,9 points en 1 an). 86% des agriculteurs consultent internet. Mais des efforts sont encore à faire, car l'accès au réseau dans les parcelles reste encore aujourd'hui un frein à l'adoption plus massive des technologies connectées

Un écosystème d'innovation fertile

Depuis plus d'une dizaine d'années, à côté des **solides PME du numérique en agriculture se développe un écosystème de jeunes entreprises qui proposent de nouveaux services numériques** pour l'agriculture et l'alimentation : la société d'investissement Xange recense plus de 215 start-up de l'AgriTech et de la FoodTech. L'écosystème français est performant et souvent leader dans le domaine des capteurs connectés, de l'analyse et la gestion de données, de la robotique, mais aussi dans l'alimentation ou l'agroécologie... Ces initiatives privées naissent et se développent grâce à un réseau d'accompagnement dense et fortement mobilisé ainsi que d'un financement substantiel de l'État, de l'Europe et d'investisseurs privés. La Mission French Tech contribue déjà à accompagner certaines des pépites françaises agriTech et foodTech telles qu'Ynsect, InnovaFeed, Agronutris, ou encore Algama. Cet écosystème d'innovation s'adosse à une recherche publique, privée et partenariale de qualité. Tant au sein de sa recherche fondamentale (INRAE, Cirad,

1. Favoriser la diffusion des outils numériques auprès des agriculteurs, Repères et recommandations, livre blanc Agrotic septembre 2020, <http://www.agrotic.org/publications/#veillesEtudes>

2. <http://agrotic.org/observatoire/2018/10/09/usage-des-robots-en-agriculture/>

3. chiffre Agrinautes 2020, Hyltel-Datagri pour Terre-net Media « L'étude a été conduite du 15 juin au 15 septembre 2020, elle a été diffusée par email auprès de 70 000 exploitations réparties sur tout le territoire français » (orientation grandes cultures, polyculture-élevage et élevage). 980 réponses ont pu être collectées dont 42,5 % sont producteurs de grandes cultures, et polyculteurs, et 40,5 % sont éleveurs de bovins (lait et/ou viande).

enseignement supérieur agricole et vétérinaire...) qu'appliquée (Instituts techniques agricoles...), les scientifiques français questionnent le numérique et la manière la plus utile de l'intégrer dans les exploitations au bénéfice de l'agriculteur, de l'environnement et du consommateur comme l'illustrent l'Institut de Convergence #Digitag ou des réseaux de fermes expérimentales tels que les digifermes®.

L'écosystème est jeune mais se structure. Les acteurs se rencontrent via des associations telles que La Ferme Digitale ou Cofarming et les nombreux événements qu'elles génèrent ou soutiennent, ou au sein de la French Tech. La filière robotique française s'est rassemblée dans l'association RobAgri pour mieux se structurer. Depuis trois ans, le premier salon international de la robotique agricole au monde, le forum international de la robotique agricole (FIRA) est organisé à Toulouse par les professionnels français et attire les spécialistes mondiaux.

Le 30 août 2021, les ministres Julien Denormandie et Cédric O ont annoncé **le lancement de la French AgriTech** au sein de la dynamique French Tech dans l'objectif de faire de la France le fer de lance de l'innovation agricole au plan mondial. Ils ont confié à l'association La Ferme Digitale la mission d'établir, en lien avec les autres acteurs, un état des lieux et des propositions sur les besoins de structuration de l'écosystème.

Une recherche de transparence des consommateurs

En 2019 selon une étude Ifop, 25% des consommateurs français utilisaient une application de notation en faisant leurs courses⁴. Ces applications répondent à des besoins d'information et d'engagement des consommateurs ; en matière de qualité nutritionnelle, sanitaire, sociale ou

environnementale. Exploitant dans un premier temps le calcul du Nutriscore proposé par l'État, ces initiatives permises par l'essor du numérique ont fait évoluer les rapports de force entre consommateurs, distributeurs, industriels et producteurs. La France vit une révolution majeure de la digitalisation de sa filière alimentaire, basculant «de la fourche à la fourchette» à celle «du téléphone à la fourche». Bousculant GMS, IAA et producteurs, **la numérisation et ses nouveaux usages ouvrent une nouvelle ère ; celle du scoring, de la traçabilité, de l'échange et du stockage de l'information produit, l'ère de la donnée augmentée.** Cette évolution pose évidemment la question de la légitimité de l'organisme qui réalise le scoring et de l'adéquation de ses critères aux attentes de chaque consommateur.

Un stockage de données agricoles souvent en dehors des exploitations

Le plus souvent les données d'une exploitation agricole ne sont pas stockées en local ou dans un espace propre mais dans les infrastructures de chaque prestataire ou fournisseur de l'exploitation. Ainsi la disponibilité, l'exploitation, la mise en relation de ses données entre elles, est compliquée pour l'exploitant agricole, qui dispose rarement d'une vision globale sur les données de son exploitation. Il s'agit d'un frein important à l'approche globale de l'activité de l'exploitation qui est un des enjeux forts de l'agroécologie.

L'interopérabilité des systèmes, la standardisation ou encore la capacité à définir une identité digitale commune sur les différents systèmes comme la gestion du consentement des agriculteurs concernant l'utilisation de leurs données sont ainsi des enjeux importants. Il est notamment essentiel que la gestion du consentement intègre le transfert.

4. Etude commandée par Charal et réalisée par l'IFOP auprès d'un échantillon de 1 006 individus et 500 utilisateurs d'applications alimentaires du 18 au 20 septembre 2019 : <https://www.charal.fr/wp-content/uploads/2019/10/CHARAL-Etude-IFOP-Usage-et-impact-des-applications-alimentaires.pdf>

Enjeux

Le numérique offre d'énormes opportunités

- **En agriculture** : Mieux caractériser, mieux analyser, mieux modéliser et anticiper, optimiser la stratégie et le pilotage, reconcevoir les systèmes de production en s'appuyant sur les principes de l'agroécologie : être compétitif en réduisant son impact sur l'environnement et la pénibilité, piloter la réponse au défi climatique ;
- **Dans la chaîne de valeur** : optimisation logistique, traçabilité sanitaire, différenciation qualité, circulation de l'information entre producteur et consommateur ;
- **Dans l'agriculture collaborative et circulaire** (connexions entre agriculteurs, au territoire, plus grand partage de savoirs, économie circulaire et circuits courts...) ;
- **Au service de la gestion des ressources** : les raisonnements agroécologiques peuvent se faire à grande échelle au-delà d'une simple exploitation agricole (ex : irrigation, gestion des parasites, biodiversité, biomasse...) ;
- **Au service de la performance sanitaire** : utilisation des données d'élevage pour détecter plus précocement des pathologies individuelles et/ou des événements sanitaires dans les troupeaux, e-médecine

et télémédecine, identification de signaux via les réseaux de surveillance et les plateformes d'épidémiomiosurveillance en santé animale, en santé des végétaux et en sécurité sanitaire des aliments.

Le numérique est aussi porteur de risques

- Parce que les technologies numériques sont répliquables à l'échelle mondiale et bénéficient de « l'effet réseau » et de la « prime au premier entrant », **le risque de développement de plateformes ultra dominantes est très élevé**, comme dans beaucoup d'autres domaines (librairie, hôtellerie, transport à la demande, offre de consommation culturelle). Il convient de prévenir ce risque par la maîtrise des outils, l'innovation et l'organisation de l'ensemble du secteur agricole, tant au niveau national qu'euro-péen, car cette tendance à l'hyper-concentration entraînerait l'uniformisation des pratiques agricoles, une dépendance technique et une répartition inéquitable de la valeur.
- **Asymétrie de la connaissance et des capacités de gestion de la donnée et impact sur les négociations commerciales en défaveur de l'agriculteur.**
- **Manque d'appropriation (fracture numérique) par une partie des agriculteurs.**

Vision

Un numérique au service des agriculteurs et de la 3^e révolution agricole en France et en Europe et permettant une meilleure information des consommateurs et une meilleure gestion des risques sanitaires.

La France, et plus généralement l'Europe, est caractérisée par **une agriculture variée** tant par ses conditions agronomiques que par l'attachement porté à **une diversité de modes de production qui prend en compte la diversité des attentes des consommateurs et des citoyens** (bio, signes de qualité et d'origine, circuits courts, ...). Cette agriculture, à l'ère de la 3^e révolution agricole, est à la recherche d'une **amélioration simultanée de ses performances environnementale, sanitaire, économique et sociale, de la souveraineté alimentaire et de la satisfaction des attentes des consommateurs**, dans un contexte de

réponse à construire au changement climatique. Nos concitoyens sont très attachés à cette diversité et très attentifs aux progrès que l'agriculture réalise.

Le numérique doit être mis au service de cette recherche de progrès et respecter la diversité des modes de production. Il en a le potentiel à quatre conditions :

- **Les outils numériques doivent être au service de la stratégie que chaque agriculteur choisit**, et non imposer à un agriculteur de suivre un modèle conçu ailleurs. Concrètement, cela passe par la disponibilité d'une grande variété d'outils interopérables conçus pour être adaptés aux conditions effectivement rencontrées en France et en Europe, et donc par la possibilité pour les innovateurs européens d'accéder simplement à des données représentatives de

la variété de ces conditions ; cela nécessite aussi la compréhension par les agriculteurs des enjeux du numérique.

- **L'équipement numérique, et la production de données sur l'activité de l'exploitation agricole qu'il entraînera, ne doit pas entraîner de dépendances techniques de l'agriculteur à ses fournisseurs**, ni permettre d'utiliser ces données contre les intérêts de l'agriculteur, ce qui passe par une forte interopérabilité et par un partage maîtrisé des données agricoles.
- **Les données doivent être faciles à mobiliser et croiser pour les analyser et réaliser des services numériques, quel que soit leur détenteur, avec son consentement et sans porter préjudice à ses intérêts.**
- **Le partage de la valeur créée par la production et l'utilisation des données pour l'information du**

consommateur doit faire l'objet de négociations, ce qui suppose que l'agriculteur conserve un pouvoir de négociation appuyé sur la possibilité de refuser l'utilisation de ces données.

Les structures collectives et les services agricoles mutualisés, qui sont la marque de l'agriculture française, doivent continuer à s'organiser, y compris avec leurs partenaires européens, afin de peser face aux grands acteurs internationaux du numérique et, pour ce faire, réussir à se maintenir constamment sur la frontière technologique par l'innovation permanente. Cela constitue un réel enjeu de souveraineté pour maîtriser les choix et accompagner toutes les agricultures.

Axes de travail

La mise en œuvre de cette vision est l'affaire de tous les acteurs de la filière agricole et alimentaire.

L'État participe à cet effort et accompagne le développement du numérique dans l'agriculture française à travers les axes de travail suivants :

- **L'importance croissante du numérique** parmi les compétences acquises dans l'enseignement agricole et la formation professionnelle.
- **La mobilisation de la recherche sur le numérique agricole**, dont le développement de cas d'usage agricoles de l'intelligence artificielle.
- **La promotion d'un partage maîtrisé des données agricoles**, indispensable pour que les agriculteurs puissent, en confiance, partager des données issues de leur activité pour créer de la valeur, faciliter le travail des acteurs de la recherche, et rendre plus visible la qualité de leur travail aux consommateurs. Cela passe notamment par le développement d'infrastructures numériques facilitant les échanges et la gestion des consentements associée, qui est l'objet du projet Agdatahub.

→ **L'accompagnement des entreprises de l'AgriTech dans leurs process d'innovation et d'industrialisation**, pour faciliter la création des outils qui aideront à la durabilité des systèmes agricoles et à la transition agroécologique.

→ **L'appui à ces entreprises en matière réglementaire**, à la fois en les aidant à s'approprier la réglementation existante et en réalisant des expérimentations pour préparer les évolutions réglementaires nécessaires pour faciliter la mise en œuvre de ces outils.

→ **La création de valeur par le numérique au sein de la chaîne alimentaire** afin d'en faire un levier de compétitivité, d'amélioration des conditions de travail et de revenus, particulièrement pour les agriculteurs.

→ **L'appui au développement d'une French AgriTech** pour faciliter la création d'outils permettant de nouveaux usages ou de nouvelles manières d'appréhender des usages traditionnels.

Remerciements

Cette feuille de route a été élaborée notamment avec la contribution de l'ACTA, de l'APCA, de la FNSEA, de l'INRAE et de Jean-Marc Bournigal, co-auteur du rapport Agriculture-Innovation-2025 et auteur du rapport AgGate.



Document 3:

L'INTERVIEW

« L'IA ne va pas remplacer l'expertise de l'agriculteur »

Herinaina Andriamandroso est enseignant-chercheur à l'école d'ingénieurs Junia à Lille, spécialisé dans les innovations technologiques en agriculture. Il estime que l'intelligence artificielle (IA) peut être une alliée des producteurs, à condition d'en avoir la maîtrise.

En quoi l'IA bouleverse-t-elle l'agriculture ?

C'est une histoire qui se répète : l'agriculture a toujours bénéficié des technologies développées à l'origine pour le grand public, comme le GPS, les capteurs, etc. Mais avec l'intelligence artificielle, tout s'accélère. Ses progrès ont franchi des étapes beaucoup plus rapidement que d'autres innovations. Le vrai bouleversement réside en notre capacité à exploiter l'immense quantité de données collectées depuis l'apparition des capteurs, à les transformer et à les utiliser pour des objectifs communs comme une meilleure utilisation des ressources en eau, la limitation du changement climatique... Pour aller vite, il faut recourir à l'IA et à ses potentiels analytiques, dont l'IA prédictive. ■

À quoi peut-elle concrètement servir ?

L'IA a une capacité unique à apprendre et analyser une masse importante d'images et de données (climatiques, pédologiques, variétales...). Elle ouvre donc la voie à beaucoup d'applications. Parmi elles, la prévision des événements mé-

téorologiques extrêmes, que les modèles actuels ont encore du mal à appréhender. Plusieurs grands groupes, par exemple Google, s'y intéressent actuellement. L'imagerie et l'IA sont aussi mises à contribution pour détecter des traits présymptomatiques de maladies comme la septoriose du blé. L'objectif est de mieux les anticiper. Nous lançons un projet cet automne sur ce sujet (1).

Aujourd'hui, les modèles reposent sur des données météo et sur l'observation de symptômes visibles, or quand ces derniers apparaissent, il est parfois trop tard. En intégrant l'IA, on gagne en capacité prédictive et en rapidité d'analyse, car elle est capable d'apprendre à partir d'un grand nombre d'images en même temps, et mobilise une puissance de calcul énorme. Autre exemple : dans le cadre de France 2030, l'application de reconnaissance des espèces Plant-Net mène un projet afin d'aboutir à la détection de maladies.

Et en élevage ?

L'IA peut avoir des applications en élevage. À titre d'exemple, le logiciel AIHerd valorise les

images des caméras installées dans les bâtiments pour détecter des changements de comportement liés à des maladies, responsables d'une baisse de production, ou à des chaleurs. Des fermes pilotes testent cet outil. Par ailleurs, grâce aux données recueillies dans le cadre du contrôle laitier, il pourrait être possible d'anticiper les infections, d'identifier à quel moment une vache doit arrêter de produire, pour ne pas nuire à son bien-être notamment.

Faut-il craindre l'IA ?

Certains agriculteurs peuvent avoir une crainte légitime : celle de perdre la maîtrise de leur activité et de se voir imposer un cadre rigide. Mais l'IA n'est qu'un outil parmi d'autres, au même titre que les OAD actuels, et doit être considérée comme un allié. Elle ne remplacera pas l'agronomie ni l'expertise de l'agriculteur, qui restera maître de ses choix. L'enjeu est d'être capable de discerner les connaissances apportées par l'IA des décisions qui relèveront toujours des producteurs. Ce sont les données des agriculteurs qui nourrissent l'IA.

Mais avant de chercher à exploiter cette technologie, il faut comprendre son fonctionnement. Il sera ensuite plus facile d'imaginer comment elle peut s'intégrer dans le quotidien des fermes et être un atout. Le bémol : l'IA fonctionne parfois de manière opaque, comme une boîte noire, avec une construction des modèles encore incon-

nue. Contrairement aux modèles existants dont on peut analyser les mécanismes. ■

par Isabelle Escoffier

{1} Mené en partenariat avec des chercheurs fla-

mands et wallons, dans le cadre du programme Interreg Handre Wallonie Vlaanderen/Biocontrol 4 0/Trans-e-bio.





L'IA PEUT-ELLE RENDRE L'AGRICULTURE PLUS DURABLE ?

Croissance démographique, changement climatique, raréfaction des ressources naturelles sont autant de défis auxquels l'agriculture est confrontée. Pour les surmonter, la transition agroécologique apparaît comme une voie prometteuse et l'intelligence artificielle comme un nouveau levier à explorer pour une agriculture plus performante, moins consommatrice d'intrants, durable et équitable. Comme toute innovation, elle doit s'accompagner d'une réflexion collective sur ses usages, ses bénéfices, ses limites et ses impacts.

L'AVÈNEMENT DE L'IA En dates

1950

LA MACHINE INTELLIGENTE

Alan Turing, considéré comme le père de l'informatique, pose la question de la capacité des machines à penser par elles-mêmes. Depuis, de nombreux travaux ont proposé des définitions de la notion de « machine intelligente ».

1956

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Lors de la conférence de Dartmouth (États-Unis), l'intelligence artificielle (IA) est définie comme un domaine scientifique à part entière. Après cette période, nombre de méthodes ont été développées ou étendues avec l'amélioration des performances des ordinateurs.

ANNÉES 1980

LE MACHINE LEARNING

Les chercheurs en IA mettent au point des systèmes experts, conçus pour imiter le raisonnement de spécialistes dans des domaines de connaissance ciblés. L'apprentissage

automatique (machine learning) se développe en parallèle, dans les années 1990 avec les premiers réseaux de neurones artificiels, systèmes informatiques inspirés du fonctionnement du cerveau humain. C'est une des méthodes de l'IA les plus connues : elle analyse des données pour en déduire des règles à suivre et s'autocorrige avec de nouvelles données.

ANNÉES 2000

LE DEEP LEARNING

Avec l'essor des données massives (big data) et des infrastructures de calcul, l'apprentissage devient profond (deep learning) et simule le pouvoir de décision complexe du cerveau humain.

2022

L'IA GÉNÉRATIVE

Longtemps utilisée sous sa forme prédictive, l'IA se démocratise sous la forme générative. La sortie en 2022 de ChatGPT accélère la notoriété de l'IA générative.

Capacités cognitives

Selon la Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies, les machines intelligentes sont définies comme étant capables d'imiter certaines capacités cognitives humaines, telles que la perception, l'apprentissage, la capacité à raisonner, la déduction, la résolution de problèmes, l'interaction linguistique, voire la production créative.

ChatGPT et les autres

ChatGPT est un agent conversationnel (chatbot) développé par l'entreprise californienne OpenAI. Il utilise des grands modèles de langage appelés « transformateurs génératifs pré-entraînés » [Generative Pretrained Transformers en anglais ou GPT] pour générer du texte. En 2023 suivront Midjourney, Stable Diffusion, Claude, Gemini, LeChat de Mistral AI et plus récemment, en 2025, Deepseek. L'IA générative devient un outil de travail, de création et de communication utilisé à grande échelle, répondant à des demandes en langage naturel, intégrant et générant du texte et des images de façon intelligible et pertinente, triant et filtrant les publications sur les réseaux sociaux ou affinant la précision des outils de traduction automatique.

L'IA, OUTIL DU RENOUVEAU DES PRATIQUES AGRICOLES

Par l'analyse des données massives collectées sur le climat, les sols et les cultures, l'IA permet aux agriculteurs et agricultrices de gagner en efficacité, en temps et en argent tout en réduisant l'impact environnemental de certaines actions. Comment concrètement les pratiques agricoles sont-elles aujourd'hui redéfinies par l'IA ? **Explications.**

« *La bonne dose, au bon endroit, au bon moment* » : c'est l'objectif de l'agriculture de précision, qui est à l'origine de la promotion des technologies numériques en agriculture depuis les années 1990. En s'appuyant sur des capteurs, des algorithmes, des machines agricoles géolocalisées, des logiciels ou encore des services numériques de conseil, les agriculteurs vont pouvoir peu à peu mieux maîtriser et limiter l'utilisation d'engrais, d'eau ou de pesticides, et mieux contrôler l'alimentation des animaux.

Du renouveau des outils à celui des pratiques

Depuis plus de 20 ans, les services numériques conçus au sein de la recherche publique et par de nombreuses sociétés privées sont développés pour améliorer les prévisions de rendement dans des environnements variés et fluctuants, et ainsi aider les agriculteurs à ajuster leurs choix d'itinéraires techniques ou de pratiques d'élevage. L'IA semble désormais avoir le potentiel de faire franchir à ces outils et méthodes un pas inédit dans la précision et l'aide à la décision de l'agriculteur.



HIGH-TECH
Se dit des technologies de pointe et des industries les utilisant (exemple : IA embarquée dans les robots).



LOW-TECH
Se dit d'une catégorie de techniques durables, simples, appropriables, résilientes produisant des objets réparables et adaptables (exemple : application sur téléphone mobile).

Penser l'IA en agriculture, c'est considérer une agriculture ultra-connectée et automatisée qui exploite ces nouveaux leviers au service de la résilience et la durabilité de l'ensemble du secteur. Équipements et outils agricoles sont transformés grâce à l'algorithmique, la robotisation et l'automatisation basées sur l'apprentissage profond. Ils suivent les cultures, prédisent les rendements, détectent les stress biologiques et environnementaux, gèrent les ressources naturelles (eau, auxiliaires, etc.) ou suivent le comportement des animaux. L'IA analyse des données issues de capteurs, de mesures biologiques, de drones ou de satellites pour en déduire des recommandations et des actions permettant d'optimiser les ressources agricoles. « *Plutôt qu'une agriculture de précision, terme longtemps usité, on peut plus généralement parler d'agriculture numérique où l'IA est désormais mobilisée à la fois à travers des outils et pratiques aussi bien high-tech que low-tech* », estime Samuel Soubeyrand, chercheur de l'unité Bios-tatistique et processus spatiaux (BioSP) et chef adjoint du département INRAE Santé des plantes et environnement.

Faciliter le quotidien des agriculteurs

Grâce à l'IA, plusieurs solutions offertes aux agriculteurs constituent une réelle plus-value dans l'optimisation de leur production et l'allègement de la pénibilité de certaines tâches répétitives. Depuis les années 1990, on assiste à l'essor de systèmes automatisés et robotisés en agriculture. Les agriculteurs les utilisent pour une gestion « intelligente » des semis, des récoltes, de l'irrigation ou de la fertilisation de leurs parcelles et pour une alimentation de précision en élevage. Ces nouveaux systèmes ajustent l'irrigation de la plante en fonction de ses besoins, des ressources en eau et des conditions climatiques. Les robots agricoles utilisent l'IA pour améliorer diverses pratiques culturales. Par exemple, pour le désherbage, à partir d'images prises par des caméras embarquées, l'IA distingue la mauvaise herbe de la culture. Au fur et à mesure des passages, le système « apprend » à reconnaître les mauvaises herbes sur lesquelles il doit agir (arrachage ou pulvérisation) et devient plus performant. Plusieurs sociétés développent une technologie de reconnaissance des adventices pour une pulvérisation ciblée, devant permettre la réduction des herbicides utilisés. Répondant aussi au manque de main-d'œuvre en agriculture, certains robots autonomes associés aux outils d'analyse et d'IA peuvent assurer de plus en plus de tâches : travail du sol, pulvérisation, binage...

Aider les robots à appréhender le terrain

La fiabilité et la sécurité des machines restent toutefois un défi. « *L'extrême variabilité des para-*

10,1 Mds \$

Valeur du
marché mondial
de l'agriculture
de précision
en 2023

+13 %

Croissance
annuelle de
ce marché prévue
jusqu'en 2028

Source : markets
& markets

mètres d'interaction entre un robot et son environnement, à la fois en termes de contrôle et de perception (météo, croissance des plantes, etc.), impose des capacités d'adaptation qui sont difficiles à mettre en œuvre, car elles impliquent d'appréhender un contexte d'évolution changeant. L'IA va permettre d'aller plus loin sur cette reconnaissance affinée de l'environnement, de modifier les paramètres de commande des robots en temps réel et de maintenir leur comportement. Mais dans les systèmes autonomes, la capacité du robot à reconnaître un obstacle (humain ou tronc d'arbre), des situations dangereuses et à adapter son comportement reste encore fragile », témoigne Roland Lenain, chercheur INRAE au sein de l'unité Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes (TSCF).

À INRAE, dans le cadre du projet PARAD du programme Parsada, l'IA devrait permettre d'identifier en temps réel chaque plante et même de détecter des adventices dans un couvert végétal, augure le porteur du projet Stéphane Cordeau, chercheur de l'UMR Agroécologie. L'ambitieux programme Parsada est destiné à anticiper, innover et accompagner la transition agroécologique et le développement de techniques alternatives pour la protection des cultures. Lancé en janvier 2025, il sera développé jusqu'en décembre 2029.

Dans la même idée, le projet A3P « Anticipation, planification et pilotage des prélèvements agricoles » commencé en 2024 pour 5 ans repose sur une double modélisation agronomique et hydrologique. Il mobilise l'IA et l'imagerie satellite afin d'anticiper l'évolution des ressources hydriques disponibles et des besoins d'irrigation des cultures sur un territoire défini. A3P est mené par INRAE, l'université Gustave Eiffel et les entreprises Aquasys et MEOSS.

À chaque animal ses besoins

Les technologies numériques (capteurs, systèmes automatisés) se sont aussi développées en élevage et permettent d'enregistrer automatiquement un grand nombre de données à l'échelle du troupeau ou de l'animal. À présent traitées par des algorithmes d'IA, ces données permettent d'automatiser le calcul des besoins nutritionnels et d'évaluer le bien-être animal. Les travaux récents de la chercheuse INRAE Charlotte Gaillard (UMR Pegase), développés en partenariat avec l'IFIP (Institut du porc) et l'Inria, ont permis la

Équipements et outils agricoles sont transformés grâce à l'algorithmique, la robotisation et l'automatisation basées sur l'apprentissage profond.



mise en place de stratégies d'alimentation sur mesure, c'est-à-dire la distribution de rations ajustées à l'échelle de l'animal et non du troupeau. Ces stratégies réduisent le coût de l'alimentation – et donc diminuent l'impact écologique – sans compromettre les performances de production. Afin d'affiner ces stratégies, en col-

Traitées par des algorithmes d'IA, les données enregistrées à l'échelle du troupeau ou de l'animal permettent d'automatiser le calcul des besoins nutritionnels.

laboration avec la start-up de l'IA Dilepix, l'activité physique individuelle et journalière des animaux est intégrée aux calculs des besoins énergétiques journaliers. « À partir de vidéos enregistrées en élevage nous pouvons distinguer automatiquement et en continu les truies debout, assises, couchées, en marche, etc. Les réseaux de neurones de Dilepix ont été entraînés avec des images d'activités de truies, annotées manuellement, afin d'obtenir un logiciel performant », précise Charlotte Gaillard. ●

AU SERVICE DE LA SANTÉ DES PLANTES ET DES ANIMAUX

Depuis les systèmes prédictifs permettant de mieux gérer la santé des plantes et des animaux jusqu'à l'identification de nouveaux agents de biocontrôle, quelles seront les prochaines étapes du développement de l'IA au service de la santé des plantes, des animaux et de leur bien-être ? **Éclairages.**

« *Le plus tôt sera le mieux !* » Cette antienne qui guide le monde de l'épidémiologie prend tout son sens avec l'IA. En agriculture, celle-ci jouera de plus en plus un rôle crucial dans la détection précoce et le contrôle efficace des ravageurs et des maladies. En offrant des outils avancés pour détecter, anticiper et gérer les bio-agresseurs (insectes ravageurs des cultures, virus, bactéries, champignons phytopathogènes), les technologies numériques, et l'IA en particulier, permettent à la recherche d'avancer vers une surveillance sanitaire plus prédictive.

Surveillance en temps réel

Concernant les cultures, l'IA est à la base de nombreux développements de diagnostics par imagerie et par données moléculaires (séquences d'ADN), facilitant sur de larges échelles géographiques la détection précoce et le suivi automatisé des ravageurs et des maladies. Des algorithmes d'IA analysent des images de cultures pour identifier des symptômes subtils d'infections et/ou la présence de faible densité de ravageurs, permettant une intervention rapide. « *Ces technologies offrent une surveillance en temps réel, plus précoce et ciblée*

spatialement, ce qui est essentiel pour une gestion efficace des ravageurs et des maladies des plantes, en cohérence avec l'objectif d'une agriculture durable, résiliente et moins dépendante des pesticides », explique Arnaud Estoup, chercheur INRAE au Centre de biologie pour la gestion des populations (CBGP).

Le chercheur Samuel Soubeyrand confirme que l'IA peut être décisive dans la détection de certaines bactéries comme *Xylella fastidiosa*, responsable d'une maladie mortelle notamment pour la vigne, l'olivier et les agrumes. « *Via des drones autonomes, guidés par une IA et alimentant celle-ci en retour, on peut imaginer scruter avec précision et efficacité l'état sanitaire des cultures d'une exploitation et de son environnement, repérant une maladie à des stades ultra-précoces* », explique-t-il. Concernant *X. fastidiosa*, cette détection ultra-précoce serait décisive car il faut arracher les plantes infectées le plus tôt possible pour empêcher la dissémination de la bactérie. Certaines expérimentations ont montré que grâce à des drones munis de capteurs hyper-spectraux, il était possible d'identifier cette maladie plus précocement que via des tests moléculaires faisant office de référence en matière de diagnostic.

Détecter les signes avant-coureurs

L'IA met à profit de vastes corpus de données hétérogènes afin d'anticiper les menaces sur la santé des êtres vivants. Le projet Beyond, coordonné par les chercheurs d'INRAE Cindy Morris et Samuel Soubeyrand, est largement dédié à l'exploration de cette approche pour produire, grâce à l'apprentissage automatique, des indicateurs de risques sur la santé des plantes mobilisables par les acteurs de terrain et pour les politiques publiques. Parmi les approches développées, des outils de traitement automatique du langage naturel (NLP), tels qu'AlvisNLP, contribuent à analyser de manière la plus automatisée possible un corpus immense de textes écrits dans plusieurs dizaines de langues et accessibles via internet (annonces officielles, médias, articles scientifiques, littérature grise, etc.). La plateforme d'épidémiologie en santé végétale (ESV), qui participe au projet, utilise cette approche pour repérer les premiers signes d'une accentuation des menaces sur les productions agricoles nationales causées par des bio-agresseurs classés prioritaires. À terme, l'approche en question pourra être transférée à des organisations privées ou publiques ayant pour objectif de faire de la veille sur la base de données textuelles du web, dans divers champs d'application relatifs à la santé, l'environnement, l'économie, etc.

L'IA permet aussi la démocratisation de la connaissance des plantes, à la fois pour les agriculteurs et pour le grand public. La plateforme

« Ces technologies offrent une surveillance en temps réel, essentielle pour une gestion efficace des ravageurs et des maladies des plantes. »

Arnaud Estoup

et l'application mobile Pl@ntNet en sont un très bon exemple issu de la recherche publique (voir p.82).

Prédire les nouvelles espèces invasives

Dans le futur, l'apport de l'IA en épidémiologie végétale ne va pas s'arrêter au rôle d'alerte. « *L'IA va permettre également aux chercheurs d'affiner l'évaluation des risques en caractérisant les génomes des bio-agresseurs introduits* », précise Arnaud Estoup. Le risque qu'une espèce s'implante et se propage dépend, en partie au moins, de la composition génétique des individus introduits. En utilisant des données sur la diversité génomique et les caractéristiques environnementales, il est possible de détecter les variations génétiques qui influencent l'adaptation aux conditions locales. On peut ainsi prédire quelles caractéristiques génétiques augmentent ou diminuent l'aptitude d'une population à s'implanter dans un environnement donné. Cette approche, appelée décalage génomique, compare la composition génétique d'une population à celle qui serait idéale d'un point de vue adaptatif dans un nouvel environnement. Jusqu'à présent, elle servait à prédire comment les populations seraient susceptibles de réagir au changement climatique, mais elle pourrait aussi aider à prévoir les risques d'introduction de bio-agresseurs dans de nouvelles zones. Ces prédictions reposent sur des algorithmes d'apprentissage automatique, développés dans le cadre d'un projet transdisciplinaire à forte implication d'INRAE, mené dans le cadre du PEPR Mathématiques en interaction (coordonné par le CNRS) et intégrant les avancées récentes de l'IA. En agroécologie et dans le biocontrôle, un autre apport de la nouvelle technologie pourrait permettre bientôt de faire un grand saut en identifiant les parasitoïdes (insectes ennemis naturels d'autres insectes) qui seraient les plus efficaces pour contrôler de nouveaux insectes ravageurs exogènes (on parle alors d'espèces envahissantes). *« Jusqu'à présent, on retournait chercher dans le milieu d'origine du ravageur son parasitoïde que l'on importait à son tour alors que là, l'IA va pouvoir nous dire s'il existe naturellement sur place un ennemi potentiel. Ceci se fera à partir de bases de données (c'est-à-dire des ensembles d'entraînement) synthétisant un grand nombre de traits biologiques à la fois chez les parasitoïdes et les hôtes associés. Les bases de données sont obtenues* →

par extraction d'information textuelle via des algorithmes d'IA, notamment ceux du type LLM (Large Language Models), et/ou par la production de données ad hoc », explique Arnaud Estoup. Les cibles prioritaires pour ces futures prédictions pourraient être, par exemple, les 100 ravageurs exogènes représentant la plus grande menace pour l'Europe. Un projet du plan Écophyto (coordonné par INRAE) ainsi qu'un projet du PEPR Agroécologie et numérique¹ (coordonné par INRAE et l'Inria dans le cadre de France 2030) mobilisent la reconnaissance d'images par l'IA pour optimiser la régulation naturelle des ravageurs dans les cultures pérennes méditerranéennes (oliviers et agrumes) ainsi que le développement d'outils de LMM pour prédire les relations entre parasitoïdes et hôtes. Le projet du plan Écophyto implique également la start-up montpelliéraine spécialisée en IA BionomeeX, l'interprofession oléicole France Olive et deux équipes INRAE, UR AGAP Corse et UMR CBGP.

Identifier les troubles de santé dès leur émergence chez l'animal

Santé et bien-être animal sont des domaines où l'IA est appelée à jouer un rôle accru. « Nous sommes encore en phase d'expérimentation, mais beaucoup de projets démontrent le grand potentiel de l'IA, par exemple pour suivre en continu les animaux et détecter précocement des troubles de santé », estime Pauline Ezanno, cheffe du département Santé animale d'INRAE. Ainsi, dans l'unité BIOEPAR, deux projets développent, avec des financements européens et l'Institut Carnot France Futur Éle-

« Même si l'IA permet de réduire les observations faites directement sur les animaux, il est important de ne pas remplacer l'expertise humaine. »

Céline Tallet

vage, un outil d'aide à la gestion des maladies respiratoires des jeunes bovins (Connect'BRD) obtenu en couplant plusieurs méthodes d'IA. Testé dans 9 élevages, cet outil combine le traitement par l'IA des données issues de capteurs individuels sur les animaux à des modèles épidémiologiques décrits grâce à l'IA de façon explicite, intelligible et révisable. Son objectif : identifier très tôt les animaux malades et guider les éleveurs vers les meilleures interventions possibles, limitant l'utilisation d'antibiotiques.

Le projet WAIT4, financé par le PEPR Agroécologie et numérique, mobilise l'IA et les nouvelles technologies pour évaluer le bien-être des animaux d'élevage confrontés aux défis de la transition agroécologique. Chez les ruminants, il s'agit d'automatiser les suivis en temps réel (via des vidéos, des accéléromètres ou d'autres capteurs connectés) et la détection de seuils d'alertes grâce à l'IA. « On peut détecter des interactions sociales négatives ou positives, de l'inconfort thermique, des maladies ou des boiteries avant même qu'elles ne se manifestent de manière clinique », explique Florence Gondret, chercheuse au sein de l'UMR Pegase.

Comportement et vocalisations, indicateurs de bien-être

Dans la même unité, d'autres recherches visent à évaluer, avec l'aide de l'IA, le bien-être des animaux de manière automatique, en imaginant des systèmes de détection et d'alertes pour les éleveurs. La chercheuse Charlotte Gaillard conduit une recherche sur l'amélioration de leur bien-être initiée par une thèse soutenue par l'institut Convergence #DigitAg. « Grâce aux caméras et à l'analyse d'images vidéo de notre logiciel d'optimisation de l'alimentation des truies, nous essayons de déterminer automatiquement et en continu si l'animal a des interactions positives ou négatives avec ses congénères, ce qui était très peu mesuré », poursuit la scientifique. Le groin, le cou et la queue de chaque animal sont annotés et leurs positions enregistrées. Le logiciel renseigne toutes les demi-secondes sur les activités des animaux, grâce au suivi des coordonnées de ces points, avec leur vitesse de déplacement et la distance entre individus. « À partir de ces données, des algorithmes de machine learning permettent d'identifier avec précision l'existence d'interactions, si elles sont positives ou négatives, et enfin

l'orientation de ces interactions», résume la chercheuse. La fréquence des différents types d'interactions pouvant être reliée à l'état de bien-être de chaque animal, on peut ainsi prévenir ou identifier des comportements négatifs. Par exemple, une interaction négative orientée groin-queue peut être en lien avec une morsure de queue.

La chercheuse d'INRAE Céline Tallet se concentre, elle, sur les vocalisations des porcs. Les émotions des cochons sont habituellement analysées à partir de leurs vocalisations, avec des logiciels qui mesurent des caractéristiques comme la fréquence, l'intensité et la durée des sons. Cette méthode, fastidieuse manuellement, est aujourd'hui remplacée par le travail d'un algorithme basé sur des réseaux de neurones développés pour automatiser le processus de reconnaissance des émotions. L'algorithme peut ainsi reconnaître avec plus de 90 % de précision si une vocalisation exprime une émotion positive ou négative, ce qui est supérieur aux méthodes traditionnelles via des images (70-80 %). Le travail sur la bande-son d'un élevage n'est pas encore totalement automatique, car il faut extraire les vocalisations des porcs du bruit de fond. *« Même si l'IA permet de réduire les observations faites directement sur les animaux, il est important de ne pas remplacer l'expertise humaine (celle des chercheurs et des éleveurs) dans ces projets, et de bien prendre en compte les aspects éthiques et pratiques de l'IA »*, rappelle Céline Tallet. Dans le cadre du projet WAIT4, elle s'attache, avec l'Inria, à développer un système couplant analyse d'images et de sons, pour optimiser encore la reconnaissance des états émotionnels des porcs. ●

BIOCONTRÔLE

Leurrer l'odorat des insectes grâce à l'IA

L'IA joue un rôle clé dans la recherche de solutions de biocontrôle des insectes ravageurs en agriculture, car elle accélère la découverte de nouvelles molécules odorantes capables d'influencer le comportement des insectes. La diffusion de ces molécules dans l'air égare les insectes ravageurs ou les attire dans des pièges – sans affecter les espèces non ciblées. Deux projets vont dans ce sens, basés sur l'étude des récepteurs olfactifs des insectes. Ces récepteurs seront modélisés et criblés par IA pour identifier des molécules

capables de leurrer l'odorat des insectes. « Dans le cadre du programme Parsada, l'infrastructure distribuée d'écologie chimique ARDECO utilisera des outils établis d'IA, tandis que le projet InvORIA du programme EXPLOR'AE² cherchera à établir des outils d'IA adaptés à la structure unique des récepteurs olfactifs d'insectes pour prédire plus efficacement les molécules odorantes qui les activent », explique Emmanuelle Jacquin-Joly, chercheuse INRAE de l'Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris (iEES-Paris).



1. www.pepr-agroekonum.fr 2. explorae.inrae.fr

La ferme et l'IA

À quoi pourrait ressembler une ferme durable appuyée par l'intelligence artificielle ? Sur cette exploitation de demain, les outils numériques permettent de suivre les données d'environnement et de production, animales comme végétales, à toutes les étapes. Suivi du bien-être animal, optimisation des soins et de l'alimentation, désherbage de précision ou encore biocontrôle ciblé... Une illustration des nombreuses voies ouvertes par l'IA pour une agriculture plus durable et résiliente.

L'IA AU SERVICE DE L'AGRICULTURE

1 Observation de l'état des cultures et de l'environnement par satellite pour détecter maladies, stress hydriques, évolution de la biomasse, etc.

2 Utilisation d'un robot de désherbage intelligent pour identifier les « mauvaises herbes » et activer une pulvérisation ciblée

(ou un désherbage mécanique ciblé) pour limiter l'utilisation d'intrants.

3 Pilotage d'un biocontrôle permettant aux chercheurs la mise au point d'odeurs qui attirent les insectes ravageurs dans des pièges ou les désorientent, sans toucher aux autres espèces.



L'IA AU SERVICE DE L'ÉLEVAGE

4 Suivi individuel par tracking vidéo pour anticiper les troubles de santé ou de comportement.

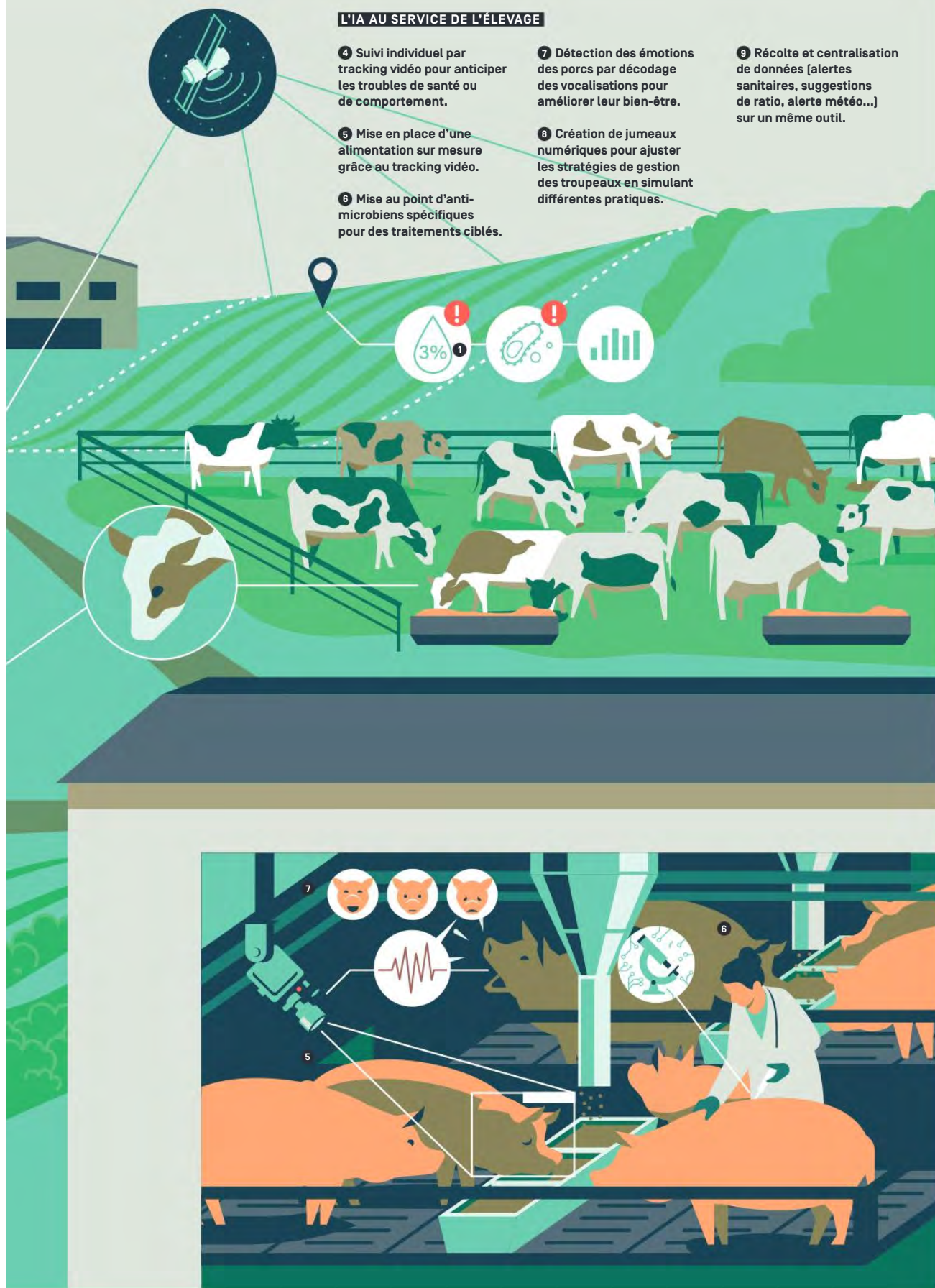
5 Mise en place d'une alimentation sur mesure grâce au tracking vidéo.

6 Mise au point d'anti-microbiens spécifiques pour des traitements ciblés.

7 Détection des émotions des porcs par décodage des vocalisations pour améliorer leur bien-être.

8 Création de jumeaux numériques pour ajuster les stratégies de gestion des troupeaux en simulant différentes pratiques.

9 Récolte et centralisation de données (alertes sanitaires, suggestions de ratio, alerte météo...) sur un même outil.



BOTANIQUE

Pl@ntNet, histoire d'un succès

Il y a encore 10 ans, l'identification des espèces végétales était réservée à une communauté très restreinte composée de botanistes professionnels ou d'amateurs autodidactes avec énormément de pratique. La plateforme Pl@ntNet a permis de faire bouger les lignes.

« Cela ne marchera jamais ! L'expertise botanique est quelque chose que l'on ne pourra jamais faire avec des IA », voilà des arguments qui auraient pu faire mourir dans l'œuf une des plus belles réussites alliant recherche scientifique et recherche participative.

Le grand public fait avancer la science

Avec près de 25 millions d'utilisateurs, dont des centaines de milliers de contributeurs actifs, Pl@ntNet a démontré en 10 ans d'existence à quel point la science avait à gagner à faire appel à la contribution du grand public. Son fonctionnement est simple : l'utilisateur prend en photo un organe caractéristique de la plante (feuille, fleur, fruit, écorce) et l'application propose une identification. Les résultats incluent le nom scientifique et le nom courant de la plante, avec un degré de confiance mentionné. Aujourd'hui, plus de 75 000 espèces sont ainsi recensées dans les bases de données de la plateforme en ligne couplée à une application mobile,

toutes deux gratuites. L'objectif global de Pl@ntNet est le suivi de la biodiversité végétale. Pour réaliser cet inventaire, la plateforme utilise l'IA et l'apprentissage profond. Ainsi, les contributeurs actifs qui collectent et révisent les données récoltées construisent l'IA de Pl@ntNet puisque celle-ci va apprendre de ces données pour ensuite pouvoir identifier les plantes.

Des applications pour l'agriculture

Ce projet a été développé par 4 organismes de recherche français que sont le Cirad, l'Inria, INRAE et l'IRD. Les données générées par Pl@ntNet sont aussi utilisées par les scientifiques via la plateforme internationale GBIF (Global Biodiversity Information Facility). « Nous-mêmes, nous conduisons des travaux de recherche grâce à ces données et expérimentons de nouveaux outils. En ce moment, nous développons des modèles multimodaux, eux-mêmes basés sur l'IA, qui vont permettre de prédire de manière très fine (sur 50 mètres), la biodiversité qui couvre l'intégralité du territoire européen », explique Alexis Joly, directeur scientifique et technique de la plateforme Pl@ntNet et chercheur à l'Inria.

Les agriculteurs entrés dans une démarche agroécologique pour préserver leurs sols et qui ont besoin d'identifier la flore qui pousse dans leurs cultures ont aussi recours à Pl@ntNet. Au sein de la plateforme, de nouveaux services, enrichis par des collaborations entre la recherche en IA et les sciences du végétal, leur proposeront bientôt de concevoir, expérimenter et développer de nouveaux usages : la détection et la reconnaissance des maladies végétales, l'identification des niveaux infra-spécifiques, l'estimation de la sévérité des symptômes (carences,

stades de déclin et stress hydrique), la caractérisation des associations d'espèces à partir d'images multispécimens et l'amélioration de la connaissance des espèces. Démarré en 2023, ce nouveau projet nommé PlantAgroeco, qui s'étale sur 5 ans, est soutenu par le PEPR Agroécologie et numérique.

Des coûts environnementaux et des risques pris en compte

En contrepartie des bénéfices pour la connaissance végétale, il y a aussi des coûts environnementaux induits par ces applications énergivores. « Nous estimons que l'empreinte carbone étendue de Pl@ntNet – c'est-à-dire la construction des serveurs, les coûts réseaux, les clients mobiles – est assez faible puisqu'elle est de 50 tonnes par an selon nos propres estimations. Ce qui équivaut à peu près à l'empreinte carbone de 5 personnes en France. Il y a un travail en cours avec Paris Saclay (LISN) et l'ENS Lyon pour estimer plus précisément notre empreinte carbone », détaille Alexis Joly. Un risque inhérent à Pl@ntNet est de ne pas garder au centre du système l'expertise humaine. En effet, pour le moment, ce sont encore des experts qui valident les informations utilisées par les IA mais aussi produites par les IA. Sans cela, il pourrait y avoir une dérive qui entraînerait une dégradation des données produites, avec à terme un impact sur l'environnement. « L'IA doit être un complément, un accompagnement mais pas un remplacement dans nos politiques environnementales. Il faut continuer à former des botanistes », estime Alexis Joly.

LES DONNÉES, MATIÈRE PREMIÈRE DES INNOVATIONS AGRICOLES

Pour soutenir la recherche et le passage à l'échelle de solutions actionnables par l'agriculture, l'IA s'appuie sur de nombreuses données. C'est grâce à la qualité de celles-ci qu'elle peut aider les professionnels à anticiper les risques sanitaires ou climatiques, à optimiser l'emploi d'outils de production ou de gestion, et les soulager dans l'exécution de tâches répétitives. **Revue.**

En agriculture comme ailleurs, les usages de l'IA stimulent la recherche. « L'IA vient compléter les outils statistiques qui sont en place depuis longtemps. Elle apporte des briques supplémentaires qui permettent par exemple d'estimer les résultats d'expériences coûteuses à mener en conditions réelles de terrain pour les orienter dès le départ dans la bonne direction. On observe aussi des progrès qualitatifs, là où des modèles prédictifs existent déjà, notamment avec les jumeaux numériques de ferme. Alors qu'ils sont complexes à construire et à valider, l'IA nous aide à les améliorer et à affiner leurs paramètres », explique Vincent Guigue, spécialiste en science des données et professeur en informatique à Agro-ParisTech. Il accompagne la montée en puissance de l'IA dans l'enseignement et la recherche. Selon Pauline Ezanno, cheffe du département Santé animale d'INRAE, la formation des chercheurs à l'IA est en effet un des défis actuels à relever dans la recherche publique. La chercheuse questionne « le risque de voir émerger une recherche à deux vitesses avec ceux qui restent sur le quai et ceux qui montent dans le TGV de l'IA. » Les profils de chercheurs en capacité de mobiliser des méthodes d'IA poussées sont aujourd'hui très sollicités dans le secteur agronomique comme dans d'autres secteurs.

Deep learning, IA générative... toutes les formes d'IA sont utilisées dans les recherches à la source d'innovations pour l'agriculture. Leur apport s'appuie sur la qualité des données collectées : deux exemples éloquentes en sont les jumeaux numériques et la vision satellite.

Jumeaux numériques, des outils tactiques et stratégiques

Un jumeau numérique désigne une modélisation la plus complète possible d'un procédé industriel, d'une machine ou d'un phénomène naturel, dans le but d'en assurer le suivi et la maintenance. Par rapport aux modèles et simulations classiques, l'originalité réside ici dans l'échange de données entre une entité réelle (le jumeau réel) et une entité virtuelle (le jumeau numérique). Dans un modèle classique, un modélisateur humain intervient pour transmettre des résultats expérimentaux à un modèle, ou des résultats de simulation à des interventions sur le système réel. Dans le cas d'un jumeau numérique, la synchronisation est plus aboutie entre les jumeaux, le réel et le virtuel, grâce à l'automatisation plus ou moins poussée du flux de données entre les jumeaux. →



La construction de ce miroir de la réalité fait appel à différentes techniques de science des données et d'IA basées sur l'observation dynamique et la modélisation physique des systèmes ciblés. Il simule par anticipation les comportements de ces systèmes dans des conditions variées,

« De grands verrous bloqués depuis 50 ans ont sauté grâce à l'IA, car on peut désormais cartographier les arbres individuellement (à partir de données spatiales). »

Jean-Pierre Wigneron

des plus classiques au plus extrêmes, permettant ainsi un pilotage optimisé, en collaboration avec l'opérateur humain.

En agriculture, avec l'augmentation du nombre de capteurs au sein des fermes, et la quantité de données récoltées, le jumeau numérique d'une exploitation agricole peut devenir une aide au quotidien pour l'agriculteur-éleveur. Il va lui permettre par exemple d'ajuster ses tactiques de cultures ou d'élevage en fonction de séquences climatiques prédites à court ou moyen terme. Capable de produire des scénarios prospectifs, un jumeau numérique peut aussi aider à se projeter dans le futur pour anticiper des changements au sein d'une exploitation (voir les encadrés sur les projets Twinfarms et InSiliCow ci-contre).

La nouvelle puissance des observations depuis l'espace

Autres domaines en pleine évolution : la télédétection par satellite et le traitement d'images, qui procurent des informations sur la croissance des cultures, notamment leur hauteur, et que les chercheurs commencent à exploiter. Pour cela, il est nécessaire de traiter un grand nombre de données.

Cette analyse mobilisait, avant l'émergence de l'IA, de longues heures de travail d'experts afin d'analyser et de traduire ces images en une information technique utile. Désormais, l'utilisation de l'IA permet de gérer plus rapidement et en toute autonomie cette masse d'informations. Dans le secteur forestier, une révolution sur ce sujet est en cours depuis 3 ans. « *De grands verrous bloqués depuis 50 ans ont sauté grâce à l'IA, car on peut désormais réaliser des cartes de contours des arbres, de leur hauteur et cela individuellement. À partir de là, on peut estimer la biomasse, les stocks de carbone, suivre leurs évolutions et bientôt la biodiversité* », explique Jean-Pierre Wigneron, directeur de recherche à INRAE (UMR Interactions sol-plante-atmosphère). Il est désormais possible de suivre la croissance annuelle des forêts et l'évolution de leur biomasse sur les 10 dernières années à une résolution de 30 mètres, d'estimer leur état sanitaire et les zones à risque (dégradations liées aux activités humaines, feux, dépérissements liés aux sécheresses et aux attaques parasitaires). Dans le cadre du projet international One Forest Vision auquel participe INRAE, ce suivi est aussi réalisé pour les forêts d'Afrique du bassin tropical pour lesquelles les premières cartes ont été produites. « *Maintenant, nous cherchons à appliquer ces mêmes méthodes à l'agriculture pour faire un suivi similaire de la croissance des cultures, en quasi-direct, pour obtenir des alertes liées à des attaques phytosanitaires. Pour le moment, cela reste plus difficile parce que, par exemple, sur des estimations de hauteur, les variations des arbres sur 1 an sont importantes alors que pour l'agriculture nous sommes sur des variations de quelques centimètres par mois. Mais les choses vont vite évoluer* », estime Jean-Pierre Wigneron. Au cœur de l'équipe-projet Evergreen, en partenariat entre INRAE, l'Inria et le Cirad, l'objectif est également de faire avancer l'exploration des données satellitaires et de trouver, grâce à l'IA, de nouvelles techniques d'analyse dans les secteurs de l'agriculture et l'environnement. À travers ce programme démarré en 2024 pour 10 ans, « *un projet de suivi sur la déforestation en Afrique est mené avec l'université de Wageningen et un projet de cartographie d'occupation du sol sur l'île de la Réunion est financé par #DigitAg* », détaille Dino Ienco de l'UMR Tetis, responsable de cette équipe-projet. ●

PROJET TWINFARMS

Jumeaux numériques en construction

Le projet Twinfarms, lancé en février 2025, est lauréat d'un appel à projets du PEPR Agroécologie et numérique. Il est porté par la chaire de mécénat Alliance H@rvest de la Fondation AgroParisTech et mobilise de nombreux partenaires dont l'Acta. En 4 ans, l'objectif de Twinfarms est de déployer 9 démonstrateurs de jumeaux numériques. Répartis en France, les 9 cas d'usage seront évalués sur leur valeur ajoutée pour assister les choix tactiques ou stratégiques

dans un contexte de transition agroécologique. « *Nous travaillerons à ce que la construction des jumeaux numériques de ces 9 démonstrateurs permette de faire émerger des composants génériques utiles aux développements futurs et réutilisables par d'autres exploitations* », explique Sophie Martin, chercheuse à INRAE et coordinatrice du projet TwinFarms. Cinq contrats de thèses sont financés dans le cadre du projet.

PROJET INSILICOW

Ferme virtuelle

Les chercheurs INRAE Charlotte Gaillard (UMR Pegase) et Olivier Martin (UMR MoSAR) sont co-pourteurs d'un projet de jumeau numérique fondé sur le simulateur inSiliCow. Cet atelier laitier virtuel est destiné à piloter un élevage réel de vaches laitières. Démarré en 2024 pour 4 ans, inSiliCow est un projet phare du métaprogramme DIGIT-BIO conduit par INRAE. En utilisant l'IA, le jumeau numérique créera des simulations multi-échelles

sur lesquelles différentes stratégies de gestion des individus, du troupeau et du système d'élevage pourront être testées. « *On peut notamment prédire la production de lait et sa composition pour la lactation suivante, selon différents scénarios d'alimentation* », détaille Charlotte Gaillard. La ferme virtuelle devient ainsi un outil d'aide à la décision pour l'éleveur pour améliorer les performances économiques, sociales et environnementales de son élevage.



La Ferme Digitale, fabrique de l'agritech

Entretien avec Hervé Pillaud,
cofondateur de La Ferme Digitale

Hervé Pillaud, membre fondateur de La Ferme Digitale créée en 2016, est le seul agriculteur à avoir siégé au Conseil national du numérique, de 2018 à 2022.

Quelle est votre vision de la cohabitation entre le monde agricole et les nouvelles technologies ?

Pendant 40 ans, j'ai été agriculteur-éleveur en Vendée et je suis encore très proche de ce secteur. Être agriculteur n'empêche pas d'être passionné par les nouvelles technologies et c'est ce que j'ai voulu montrer dès 2015 lorsque j'ai écrit l'ouvrage *Agronumericus* (éd. France Agricole). Après cela, je suis devenu un évangéliste de l'innovation agricole française et je poursuis ce travail de conseil au sein de l'agritech. Le numérique est partout depuis des années ; l'agriculture n'y échappe pas. Dans le même temps, d'immenses défis sont apparus pour les agriculteurs : produire davantage en mobilisant les ressources renouvelables tout en disposant de moins d'eau, d'énergies fossiles, d'intrants et de terres arables. Le changement climatique est venu renforcer nos incertitudes. C'est pour cela que des structures comme La Ferme Digitale sont très importantes : elles permettent aux entrepreneurs

du monde agricole de se soutenir et de réfléchir à des innovations face à ces défis. Notre association, fondée en 2016, est aujourd'hui le premier réseau agritech européen. Elle regroupe près de 200 partenaires et start-up issus de l'écosystème agricole.

Quelles perceptions les agriculteurs ont-ils de l'IA ?

L'envie de modernité est là depuis longtemps chez un grand nombre d'agriculteurs ; il faut leur donner confiance. Si elle fait l'actualité à présent, l'IA n'est pas sortie du chapeau : elle est dans nos vies depuis déjà quelques années, quelques décennies. Pour ma part, j'ai toujours vu la technologie comme un facilitateur de vie, exactement comme l'a été la carte bancaire. L'arrivée en 2023 de l'IA générative avec les LLM (Large Language Models) tels que ChatGPT a été une très grande étape. Pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, la machine cherche à

nous comprendre et à nous aider alors que jusqu'à maintenant c'était nous qui la commandions. Pour comprendre comment fonctionne l'IA, nous allons devoir passer d'une culture de la preuve à une culture de la probabilité, en faisant en sorte que la marge d'erreur soit quasiment réduite à zéro. Les agriculteurs ne tolèrent pas beaucoup de marge d'erreur pour la simple raison qu'ils n'ont pas le luxe de pouvoir l'absorber. En agriculture, nous n'avons pas le droit à l'erreur et cela s'applique à toute la chaîne de production alimentaire : les prix sont tellement serrés dans le but d'arriver à fournir une alimentation à bas coût à l'ensemble de la population. Résultat, la capacité à innover et à mettre un peu d'argent dans la R&D est extrêmement faible dans ce secteur car il n'en a pas les moyens. Si le but d'un entrepreneur est de faire de l'argent, il ne faut pas qu'il s'intéresse à l'agriculture. Des licornes¹ dans le secteur agricole, je n'en connais pas. Je ne peux donc pas dire que l'agritech française soit en pleine forme et le financement des investisseurs privés reste encore insuffisant. C'est une des raisons pour lesquelles le choix de l'open source et le développement de communs numériques se présentent comme une évidence et, ça, les agriculteurs qui ont inventé le mutualisme et la coopération savent faire !

« Nous allons devoir passer d'une culture de la preuve à une culture de la probabilité. »

Dans ce contexte, quel rôle peut jouer cette nouvelle technologie ?

L'IA pourra ouvrir un champ du possible conséquent en agriculture pour les 10 années à venir. À titre d'exemple, depuis que l'homme a domestiqué la nature, on a répertorié plus de 6 000 espèces de plantes dans le monde ayant été cultivées ou utilisées à des fins alimentaires au cours de l'histoire. Environ 200 d'entre elles font aujourd'hui l'objet d'une sélection variétale intensive et régulière à des fins agricoles. C'est cette sélection variétale qui a mis nos sociétés à l'écart des famines en stabilisant nos productions. Grâce à l'IA qui permet de modéliser les génomes des végétaux, nous pourrions aller beaucoup plus vite pour sélectionner les nouvelles espèces à travailler, ce qui nous permettra peut-être de nous adapter aux conséquences du changement climatique. Mais faire du technosolutionnisme pour du technosolutionnisme, cela ne sert à rien. Il faut au contraire se placer dans une démarche de progrès collectif, celui qui profite à tout un secteur et ensuite à la société tout entière. C'est dans cet esprit que nous avons conçu le projet GAIA (Generative Artificial Intelligence for Agriculture). Cette plateforme collaborative que nous portons au sein de La Ferme Digitale en collaboration avec OSFARM, INRAE, l'ACTA et d'autres acteurs publics et privés vise à démocratiser l'usage de l'IA dans le monde agricole. Il faut la voir comme un outil collaboratif de génération d'agents IA spécialisés en agriculture, reposant sur un socle open source des données agricoles, mis au service des agriculteurs. ●

1. NDLR : entreprise privée valorisée à plus de 1 milliard de dollars.

ACCÉLÉRER LA COLLABORATION ENTRE RECHERCHE ET INNOVATION

Au Salon international de l'agriculture, en février 2025, INRAE et La Ferme Digitale ont acté un partenariat officiel sur 4 ans. Cette étape-clé vise à croiser les expertises scientifiques d'INRAE et l'esprit d'innovation des start-up pour faciliter l'émergence et la mise sur le marché de nouvelles technologies pour une agriculture durable.
« Ce partenariat permettra d'identifier plus rapidement les verrous scientifiques, de développer des projets en coopération et des événements communs, d'accélérer le transfert des connaissances vers des applications concrètes et d'accompagner la création d'entreprises scientifiques », estime Justine Lipuma, co-fondatrice de La Ferme Digitale et dirigeante de la start-up Mycophyto.

Lors de ce salon, La Ferme Digitale a organisé la deuxième édition de son hackathon en lien avec la plateforme GAIA. Au terme d'un marathon de 48 heures, 8 équipes pluridisciplinaires, soit 90 participants, ont contribué à de nouvelles solutions intégrant l'IA sur des problématiques agricoles. « C'est intéressant de voir des gens de l'élevage, des industriels, des coopératives ou des étudiants arriver à travailler ensemble et concevoir des projets concrets en commun », explique David Joulin, cofondateur de La Ferme Digitale et responsable du hackathon GAIA.

ANALYSE

Une alliée pour la transition agroécologique ?

L'IA en agriculture est à la fois un catalyseur de pratiques écologiques et une source de nouveaux défis environnementaux.

A priori, tout semble opposer agroécologie et IA. Pourtant, et c'est là tout le paradoxe, l'IA apparaît comme une technologie qui peut être mise au service de la transition écologique.

Réduire les impacts environnementaux de l'agriculture

En décuplant les capacités prédictives et décisionnelles des agriculteurs, l'IA rend possible une utilisation plus durable des ressources naturelles et une compréhension affinée des dilemmes environnementaux. « *L'agroécologie est très gourmande en informations et elle a besoin de s'appuyer sur des outils qui soient capables de maîtriser cette complexité, ce que peut justement apporter l'IA* », estime Xavier Reboud, chercheur en écologie, chargé de mission auprès de la direction scientifique Agriculture d'INRAE sur l'articulation entre agroécologie, technologie et numérique. « *L'IA peut ainsi offrir l'espoir d'une technologie vertueuse qui saurait guider nos choix vers de nouveaux modes de production, de nouveaux usages, de nouvelles gouvernances, pour un développement durable qui respecte les limites planétaires* », estiment les chercheurs INRAE Sophie Schbath (unité MaIAGE) et Frédéric Garcia (unité MIAT).

Poser les bonnes questions

Pour aiguiller l'IA, « *notre éthique veut que son usage soit orienté pour garantir que les solutions proposées à l'agriculteur soient alignées avec les principes de l'agroécologie. Cependant, cette éthique risque de venir buter sur ce qui est solvable : quel est le marché ? Quels sont le modèle économique et le retour sur investissement ? Il n'y a pas une IA par nature bonne, neutre, équilibrée ou objective. Concernant l'agroécologie, c'est à nous d'orienter l'IA en nous posant au départ les bonnes questions. Ainsi, si l'on veut gérer l'attaque d'un ravageur, il faut se demander si dans le milieu naturel en danger, il n'y a pas déjà des forces auxiliaires naturellement présentes qui vont pouvoir le contenir. L'IA peut avoir la réponse à cette recherche* », souligne Xavier Reboud.

Des IA elles-mêmes gourmandes en ressources

Autre paradoxe, si l'IA permet en principe une gestion affinée des ressources, son déploiement massif et les besoins en calcul et en matériaux informatiques pour collecter et traiter les données d'apprentissage nécessitent une consommation en forte croissance d'énergie, d'eau et de métaux rares. Cela engendre des impacts sur l'environnement : épuisement des ressources, émissions de gaz à effet de serre, pollution diffuse, etc. « *Des premières études estiment que la demande mondiale en eau de l'IA en 2027 sera équivalente à la moitié de la demande en eau du Royaume-Uni* », précisent les chercheurs Sophie Schbath et Frédéric Garcia. Face à ce constat, une priorisation doit être donnée dans la recherche publique en IA vers la conception de systèmes frugaux, comme le recommande le Conseil économique social et

environnemental [CESE]. C'est le cas du projet SHARP du PEPR IA qui conçoit, analyse et déploie des modèles intrinsèquement efficaces (neuronaux ou non) capables d'atteindre la polyvalence et les performances des meilleurs modèles tout en ne nécessitant qu'une fraction infime des ressources actuellement nécessaires. En février 2025, l'entreprise chinoise DeepSeek a créé la surprise en annonçant 2 modèles d'IA 10 fois moins consommateurs en électricité que leurs équivalents de mêmes performances. Mais un outil plus économe ne risque-t-il pas d'être davantage utilisé et ainsi de provoquer un effet rebond ?

C'est l'ensemble de ces facteurs qu'il faut être en mesure d'évaluer, de quantifier et de pondérer pour tirer le meilleur usage de l'IA en agroécologie, en s'appuyant notamment sur des travaux d'évaluation de la qualité et d'analyse de cycle de vie appliqués aux innovations numériques.

« Concernant l'agroécologie, c'est à nous d'orienter l'IA en nous posant au départ les bonnes questions. »

Xavier Reboud

VERS UNE GOUVERNANCE DE L'IA POUR L'AGRICULTURE

L'IA transforme l'agriculture par des gains d'efficacité et de durabilité, mais elle nécessite une gestion rigoureuse des risques associés. Les réflexions doivent en particulier porter sur l'accessibilité de la technologie, au service des agriculteurs. **Enjeux.**

C'est une opportunité indéniable, l'IA peut en agriculture comme ailleurs démocratiser l'accès aux connaissances contenues dans les données. Les agriculteurs peuvent ainsi utiliser l'IA pour mieux comprendre les réglementations complexes de leur métier, améliorer leurs pratiques, et développer de nouvelles techniques. Les machines agricoles modernes génèrent elles aussi beaucoup de données, mais le revers est que celles-ci sont aussi captées par les constructeurs, souvent étrangers. Il existe donc un risque élevé de perte de souveraineté sur les données agricoles. Or les agriculteurs n'ont pas toujours la pleine connaissance des implications du partage de ces informations.

Une gouvernance des données

À des fins de recherche, les agriculteurs peuvent confier leurs données à des tiers comme INRAE. « Nous respectons le règlement général de protection des données (RGPD) et nous agrégeons les informations sur un périmètre géographique suffisamment large pour que la donnée soit noyée au milieu d'autres dans le but d'éviter l'identification individuelle », précise Hadi Quesneville, administrateur des données scien-

32
pays ont au
moins promulgué
une loi liée à l'IA
[données 2023].

2023
Loi sur
l'intelligence
artificielle et les
données au Canada

2024
Loi européenne
sur l'IA
Loi fondamentale
sur l'IA en Corée
du Sud

Source : rapport
Blue Shift

tifiques d'INRAE. Mais, même au sein de la recherche publique, il est nécessaire de définir plus clairement le recours aux données des agriculteurs. « C'est dans ce but qu'INRAE a mis en place une gouvernance des données de la recherche et de l'IA, pour assurer une utilisation éthique et sécurisée de celles-ci. Par ailleurs, la sensibilisation, la formation et l'acculturation des agriculteurs sont essentielles pour faire naître un usage averti des données et de l'IA », ajoute Hadi Quesneville. INRAE est ainsi partenaire du rapport publié en février par l'Institut Blue Shift¹. Il propose des premières actions stratégiques pour soutenir les organisations.

Les conditions pour renforcer le pouvoir des agriculteurs

Autre point problématique de l'IA, la responsabilité et l'opacité qu'elle peut entraîner. L'automatisation des décisions soulève en effet des questions de responsabilité : en cas d'erreur algorithmique (surdiagnostic, recommandation inadaptée), la responsabilité juridique de cette erreur reste floue. Le manque de transparence des dites boîtes noires algorithmiques compromet la confiance des utilisateurs, ce qui peut être dom- →



mageable pour l'engagement des agriculteurs dans les nouvelles technologies.

La FAO (Bureau de l'innovation) a porté ces réflexions sur l'IA pour l'agriculture au niveau mondial en initiant un dialogue en avril 2025. Une délégation INRAE faisait partie des 90 chercheurs, consultants, représentants de l'industrie du numérique, bailleurs et acteurs institutionnels réunis. Ces 3 jours d'échanges fructueux devraient prochainement déboucher sur une feuille de route. Selon Isabelle Piot-Lepetit, chercheuse INRAE à l'UMR MoISA, l'adoption de l'IA varie selon les profils des agriculteurs que l'on peut catégoriser ainsi : les innovateurs, développant eux-mêmes des solutions, les suiveurs qui attendent que leurs collègues testent les innovations avant de les adopter, et les hésitants, qui manquent de temps, de formation et d'accompagnement. Il y a bien sûr aussi une question de coût de l'IA à prendre en compte. Paradoxalement, la technologie possède à la fois des entrées très démocratiques pour les petits producteurs et éleveurs, via le smartphone par exemple, comme elle peut laisser supposer que seules les grandes exploitations pourront

supporter à l'avenir le coût élevé des infrastructures d'IA (capteurs, logiciels, formation).

Dans tous les types d'agricultures, l'accompagnement des exploitants vers l'IA semble déterminant. Ainsi, le conseil en agriculture se retrouve au centre de ces nouveaux questionnements. « *L'IA pourrait transformer le rôle des conseillers agricoles sans toutefois les remplacer. Au contraire, l'accès à de nombreuses données pourra aider à outiller les conseillers en connaissances, mais aussi à faire face à la désinformation croissante qui se diffuse parmi les agriculteurs* », indique le chercheur INRAE Pierre Labarthe (UMR Agir), qui souligne pour le moment le côté prospectif de ces constatations et aussi le besoin de recherches empiriques pour mieux comprendre l'impact de l'IA sur les pratiques agricoles. Pour ces nouveaux usages technologiques, les living labs, laboratoires de recherche participatifs et innovants, ont un rôle important à jouer en impliquant agriculteurs, chercheurs, citoyens, entreprises et collectivités dans la co-création de solutions adaptées aux problématiques complexes du secteur agricole. Des initiatives comme Occitanum, porté par INRAE, qui cherche à mobiliser le numérique au service de la transition agroécologique en Occitanie, en sont une illustration.

Pour conclure

Les années à venir vont être décisives pour tracer la feuille de route de l'IA au service d'une agriculture performante et durable. Carole Caranta, directrice générale déléguée Science et Innovation d'INRAE, confirme : « *L'IA est clairement un levier stratégique pour permettre à l'agriculture de faire face aux grands défis de demain, en particulier la transition agroécologique et l'adaptation au changement climatique. Catalyseur de connaissances scientifiques dans tous les domaines de la recherche agronomique, c'est aussi une source de solutions actionnables par l'ensemble des agriculteurs, par exemple en anticipant les risques sanitaires ou climatiques, en optimisant l'emploi des outils de production ou de gestion, ou encore en soulageant l'agriculteur dans l'exécution de tâches répétitives.* » ●

1. Eureka! on Steroids:
AI-driven research,
development, and innovation.

Blue Shift, Arthur
D. Little, 2025,
url.inrae.fr/44vjW4g

FOCUS

Des données et des initiatives locales en Afrique

En avril 2025, au Sommet mondial de Kigali au Rwanda, un Conseil africain de l'intelligence artificielle a vu le jour. Cet organisme multilatéral vise à orienter le programme d'IA du continent à travers une gouvernance globale, des normes éthiques et des investissements stratégiques.

La mise en œuvre d'une IA locale alimentée par des données spécifiques au continent et qui intégrerait les langues africaines des populations rurales se heurte à plusieurs freins, comme l'accès limité à des serveurs puissants ou le manque de données numérisées et massives qui puissent être exploitées par les méthodes d'IA.

La production agricole au cœur du développement de l'IA

Dans ces nouvelles stratégies de développement autour de l'IA, l'agriculture africaine apparaît, au même titre que la santé et l'éducation, comme un secteur prioritaire. « *Les technologies numériques, dont l'IA plus récemment, ont déjà transformé le secteur de l'agriculture africaine. Des start-up spécialisées dans l'agritech ont vu le jour et les instituts de recherche font partie des acteurs qui contribuent à une meilleure utilisation de l'IA pour améliorer la production agricole en Afrique dans le but de lui assurer une évolution*

durable », explique Paulin Melatagia Yonta, chercheur en informatique à l'université Yaoundé I. Ainsi, un des projets qu'il coordonne, soutenu par le Cirad, teste la capacité des réseaux de neurones à simuler la croissance des cacaoyers au Cameroun. Le projet Pixfruit a, lui, été développé par Julien Sarron, chercheur au Cirad (UR HortSys) dans le cadre de l'institut Convergences #DigitAg. Cet outil mobilisant l'imagerie drone et l'IA (machine learning, réseaux de neurones) avait un double objectif : construire une carte d'occupation des sols et estimer le rendement des manguiers au Sénégal à l'échelle de l'arbre, dans et entre les vergers jusqu'à une application sur smartphone. « *Aujourd'hui, nous n'avons plus de start-up en partenariat adossée à Pixfruit donc nous avons internalisé l'outil. Nous axons désormais notre travail de recherche sur le développement de notre expertise acquise qui peut servir à d'autres cultures comme les agrumes, le café ou le cacao* », explique Julien Sarron. Ainsi, depuis fin 2020, l'équipe mène un projet de recherche spécifique sur la clémentine corse avec Laurent Julhia, chercheur INRAE à l'UMR AGAP.

L'essor des sociétés privées...

À travers le continent africain, plusieurs sociétés privées ont déjà développé des solutions pour surveiller les plantations et optimiser les pratiques grâce à l'IA : la solution Morshida [de la société marocaine DeppLeaf] détecte les maladies des plantes en temps réel ; Agrix Tech, une application créée au Cameroun, diagnostique les maladies des plantes et propose des traitements adaptés ; Tolbi [société agritech sénégalaise] développe des solutions pour prédire les rendements, calculer les besoins en intrants et anticiper les risques liés

aux aléas climatiques, aux maladies et aux ravageurs.

...et de la recherche universitaire

Pour compléter ce panorama, le workshop Datascience for Agriculture in Africa, organisé par Paulin Melatagia Yonta (université Yaoundé I) et Mathieu Roche (Cirad) s'est récemment intéressé aux approches d'IA et de science des données en agriculture. #DigitAg soutient également des travaux pour prédire des indicateurs de sécurité alimentaire en Afrique à partir de données hétérogènes en utilisant des méthodes d'apprentissage profond. D'autres travaux font l'objet de thèses en IA avec des applications pour la veille épidémiologique en santé animale et végétale menées en collaboration entre la France (Cirad), le Kenya (Strathmore University) et le Maroc (Sultan Moulay Slimane University).

Dans ce contexte stimulant, il faut souligner l'initiative TSARA (Transformer les systèmes alimentaires et l'agriculture par la recherche en partenariat avec l'Afrique) lancée en 2022 et composée de 22 membres africains et français dont le Cirad et INRAE. Un des objectifs du programme est d'explorer les possibilités offertes par l'IA, notamment générative, pour fournir des conseils aux agriculteurs, aux conseillers et aux décideurs politiques, afin de garantir la sécurité alimentaire.

Agriculture, santé et éducation, trois domaines prioritaires pour une IA au service de l'Afrique.



AGRA INNOVATION

Hectar prépare un chatbot IA pour aider les agriculteurs dans leurs tâches administratives

03 février 2025

Cyril Bonnel



Les chatbots d'Hectar seront basés sur l'IA.

Hectar travaille sur un outil d'intelligence artificielle capable d'aider les agriculteurs pour l'administratif. L'objectif est qu'il soit utilisable dès septembre 2025.

Hectar, campus et accélérateur de start-up cofondé par Audrey Bourolleau et Xavier Niel, veut mettre au service des agriculteurs les ressources de l'intelligence artificielle (IA). C'est le sens de l'annonce qu'Hectar a fait le 3 février : la création d'un chatbot fonctionnant grâce à l'intelligence artificielle et « capable d'aider les agriculteurs pour leurs tâches répétitives et à faible valeur ajoutée », comme l'explique Audrey Bourolleau à Agra Innovation. Selon les observations d'Hectar, « les agriculteurs sont submergés par les tâches administratives qui représentent environ 9 h de travail hebdomadaire. Cette charge mentale sur des tâches à faible valeur ajoutée ne leur permet pas de se concentrer sur leur savoir-faire afin de développer leurs exploitations comme ils le souhaiteraient. »

« Pour répondre à cet enjeu, nous lançons la création de plusieurs chatbots IA qui seront capables de répondre aux questions des agriculteurs d'ordre juridique et fiscal, mais aussi d'être en mesure de les aider à remplir un dossier de demande de subvention ou de réaliser toutes les démarches nécessaires pour le recrutement et la paie des salariés », poursuit Audrey Bourolleau. Il s'agira concrètement d'un groupe d'une « bibliothèque de chatbots », chacun étant spécialisé sur une thématique.

La question des données

Pour « nourrir » ces assistants virtuels, les concepteurs – une équipe de trois personnes au sein d'Hectar – vont se baser sur les données propres à l'utilisateur (qu'il faudra adapter pour qu'elles soient exploitables par le chatbot), externes ou issues de partenaires. « Il existe beaucoup de données qui pourraient être utilisées mais qui restent au niveau de la ferme, comme par exemple, les tours de plaine ou les comptes-rendus de visites de vétérinaires », souligne Audrey Bourolleau. Ce chantier va durer plusieurs mois pour l'équipe d'Hectar, qui sera entourée d'experts en intelligence artificielle et accompagnée par le réseau des

agriculteurs partenaires d'Hectar qui seront consultés pour déterminer les thématiques prioritaires.

Pour Hectar, l'objectif est de mettre en oeuvre les chatbots sur la ferme pilote d'Hectar en septembre 2025, puis de les rendre utilisables par tous les agriculteurs. Dans un premier temps, il est prévu que l'utilisation soit gratuite, la question du paiement n'étant pas d'actualité, selon Hectar. Le projet est financé sur les fonds propres d'Hectar, du moins pour son démarrage.

L'Essonne accueille la première grande ferme maraîchère robotisée en France

Après des années de test à petite échelle, NeoFarm va ouvrir une exploitation automatisée de légumes bio sur 25 hectares, à Lisses. Un modèle de production que la start-up, qui a levé 30 millions d'euros, veut « très rentable ». Parmi les gros clients visés, les cantines locales.



A Lisses, dans l'Essonne, NeoFarm va produire 1.300 tonnes de légumes par an, à même de nourrir 8.000 personnes. (Neofarm)

Par Muryel Jacque - Les Echos

Publié le 11 juil. 2025

C'est un attelage encore rare entre légumes et robots. A Lisses, dans l'Essonne, NeoFarm, start-up française créée en 2018, donnera la semaine prochaine le premier coup de pioche au projet qu'elle a mûri dans ses fermes pilotes : l'exploitation automatisée et à grande échelle de légumes de saison bio sous serre.

La jeune entreprise, fondée par un polytechnicien et une ancienne de Science Po à la suite de travaux de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) qui ont théorisé le « maraîchage agroécologique », a loué pour trente ans 25 hectares de terres à des agriculteurs locaux.

Dix hectares seront recouverts de serres où pousseront plus d'une vingtaine de variétés en pleine terre. Les structures seront divisées en quatre blocs, espacées de 40 mètres chacune afin de créer des couloirs de biodiversité nécessaires à cette production inspirée de la permaculture, avec bandes fleuries, arbres fruitiers, haies et zones en friche, décrit Thibaut Millet-Taunay, le directeur général de NeoFarm.

Un modèle « très rentable »

« Ce design a beaucoup été travaillé en interne », explique-t-il. Tout autant que les outils technologiques conçus par l'équipe de NeoFarm qui compte des agronomes, des ingénieurs roboticiens et des ingénieurs logiciels. Un logiciel permet de gérer la complexité (liée aux saisons, à des cultures multiples, à une gestion fine de l'eau) et de planifier les plantations. Le portique robotisé « sur mesure » fait, lui, « sauter le verrou de la main-d'oeuvre car il va s'occuper de 50 % des tâches qui sont les plus pénibles, comme la préparation du sol, les semis ou le désherbage ».

Conséquence, pour une surface de cultures aussi étendue, l'entreprise va recruter 32 maraîchers « qui pourront se concentrer sur les tâches à vraie valeur ajoutée », appuie le dirigeant, là où il en faudrait trois fois plus sans automatisation.

« La technologie permet de rationaliser les coûts de main-d'oeuvre, mais avant tout de faire d'un modèle très fragile économiquement -comme peut l'être le maraîchage - un modèle très rentable, solide, qui peut produire beaucoup de légumes en local, et surtout finançable », livre Thibaut Millet-Taunay. Il l'assure : Lisses sera rentable dès la première année d'exploitation.

NeoFarm, qui veut déployer trente sites semblables, vient de lever 30 millions d'euros. Pour construire sa première néoferme, les investissements sont conséquents : 12,5 millions d'euros, financés à la fois en fonds propres, en subventions et en dette ; le reste servira à lancer les prochaines fermes, détaille le dirigeant. L'Ademe Investissement, qui suit depuis longtemps l'entreprise, dont le siège est à Saint-Nom-la-Bretèche, dans les Yvelines, finance en partie ce passage à grande échelle, adossé au fonds Eurazeo, en plus d'une subvention de 4,7 millions d'euros dans le cadre du plan France 2030.

Nourrir les cantines locales

Les emplacements ne sont toutefois pas si simples à trouver. Pour installer des serres, il faut des surfaces planes, et un accès aux réseaux routier ou électrique. Pour que le site essonnien voie le jour, il a aussi fallu convaincre les autorités locales. Passé la circonspection initiale, elles se sont laissées séduire. « Nous avons eu un soutien incroyable de la commune, de la communauté d'agglomération, de la direction départementale des territoires et de la préfecture notamment, salue Thibaut Millet-Taunay. Cela répond à des enjeux d'un territoire : de résilience alimentaire, de création d'emplois, de développement de l'agriculture bio, de circuits courts... ».

Il faut également des bouches à nourrir. La ferme de Lisses veut vendre localement ses 1.300 tonnes annuelles de légumes (courgettes, aubergines, poivrons, tomates cerises, herbes, salades, oignons, haricots, concombre, pommes de terre, choux-fleurs...) aux habitants, restaurateurs, commerces de proximité, grande distribution, et aux écoles. « Notre optique est aussi de nous intégrer dans toutes les collectivités, alors que les cantines ont des objectifs [d'intégration de produits bio] liés à la loi Egalim », rappelle le directeur général de NeoFarm. La start-up « travaille sur des contrats » et, pour la restauration collective, va s'adosser la première année à des partenaires spécialistes du secteur.

Les locaux devraient en outre pouvoir acheter en direct dans un magasin à la ferme - qui se visitera. L'installation d'un distributeur automatique est à l'étude, ainsi qu'un camion ambulant qui pourrait s'arrêter à la sortie des gares, des écoles, ou dans les marchés.