RESSOURCES

Tiré à part de la revue d'INRAE #3

novembre 2022

Penser le numérique pour une agriculture durable

En couverture
Vue aérienne autour de Chalon-sur-Saône.

© Christian Slagmulder / INRAE

SOMMAIRE

PENSER LE NUMÉRIQUE POUR UNE AGRICULTURE DURABLE

UNE SOURCE DE SOLUTIONS
P. 6

DES ACTEURS PLUS PROCHES, DES TERRITOIRES PLUS FORTS
P. 12

L'AGROÉCOLOGIE COMME CAP
P. 16

UN ACCÉLÉRATEUR DE TRANSITION SOUS CONDITIONS
P. 22

LE DÉFI DU DÉPLOIEMENT À GRANDE ÉCHELLE
P. 27

Ce dossier est extrait de la revue Ressources #3,
tiré à part à l'occasion du SIMA 2022

PENSER LE NUMÉRIQUE POUR UNE AGRICULTURE DURABLE

Les technologies numériques ont ouvert un champ d'application immense dans tous les domaines d'activité. Présentes depuis plusieurs décennies dans l'agriculture et dans toute la chaîne de l'alimentation, leur développement s'accélère. Il invite les acteurs du secteur à s'interroger sur les futurs désirés et les orientations numériques à prendre pour les servir. Présentation des réponses d'INRAE pour un numérique levier des agricultures durables.

Le numérique lié à la production et à l'usage des données massives de génomique et de phénotypage ne sera pas traité dans ce dossier ; il est toutefois reconnu pour son impact direct et fort sur les choix et activités des agriculteurs. De même, les nombreuses bases de données publiques sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement et leur utilisation ne seront pas abordées dans ce dossier.

UNE SOURCE DE SOLUTIONS

Capteurs embarqués sur les agroéquipements, offres de systèmes d'imagerie, logiciels « outils d'aide à la décision » (OAD), robots, plateformes d'échanges et outils de connectivité font partie du quotidien de l'agriculteur et de façon plus intense depuis une dizaine d'années. Quels sont les piliers de ce numérique développé à grande vitesse ? **État des lieux.**

Producteur aux prises avec les aléas climatiques et du vivant, mais aussi gestionnaire, commerçant, l'agriculteur s'appuie depuis toujours sur des outils pour assurer ses activités. Utilisateur de la mécanisation puis de la chimie au siècle dernier pour augmenter les volumes de production et le soulager des tâches pénibles, il a intégré dès les années 1980 les bénéfices de l'informatique, avec la bioinformatique et les nouveaux outils de la sélection des variétés ou races, puis la robotique (robot de traite par exemple). Depuis les années 2010, le numérique est de plus en plus présent dans les exploitations. Les capteurs ont décuplé les capacités d'observation au service d'une meilleure connaissance des agroécosystèmes. Le traitement de ces connaissances a amené le développement de logiciels de recommandation d'actions ou OAD. Parfois réalisées par des robots ou des systèmes automatisés, les actions peuvent être très précises pour apporter la bonne dose (d'eau, d'engrais, de produit phytosanitaire, de nourriture...) au bon endroit, au bon moment. Source de gain de productivité, le numérique et ses outils peuvent également réduire l'impact des systèmes agricoles sur l'environnement. Un potentiel que l'intelligence artificielle décuple et qui est aujourd'hui largement mis au service d'une agriculture de précision dédiée à la performance économique et à l'intensification durable.

EN FRANCE

80 %
des nouvelles installations en élevage sont équipées en robots de traite.

10 %
taux d'équipement global aujourd'hui, soit environ 10 000 robots.

Des robots pour traire, biner, désherber, semer, pulvériser

D'abord développés dans les bâtiments pour l'élevage, les robots y apportent une multiplicité de services (traite, alimentation, raclage des étables). Premiers à être entrés dans le paysage agricole dès 1992, les robots de traite équipent désormais 80 % des nouvelles installations en élevage, amenant à un taux d'équipement global de 10 % aujourd'hui, soit environ 10 000 robots.
Le grand enjeu pour l'agriculture est désormais de bénéficier de robots en extérieur. En effet, si la robotique s'est beaucoup développée dans l'industrie, les capacités d'adaptation et de navigation de ces automates aux champs posent problème. Comment rendre fonctionnels les « robots d'intérieur » sur terrain accidenté, poussiéreux et soumis à des aléas climatiques de plus en plus imprévisibles ? En 2014, INRAE (à l'époque Irstea) présentait au SIMA[1] Baudetrob, le robot suiveur-porteur. Dirigé par Lidar, il suit l'agriculteur dans les champs et permet ainsi au maraîcher ou au vendangeur de réaliser sa récolte sans avoir à en supporter le poids. Financé par l'ANR, un autre projet vise plus loin. Son nom ? Adap2E[2]. Prototype de recherche, il développe une multiplicité de comportements robotiques rendant possibles les actions de cartographier une parcelle, traiter des cultures, désherber, semer ou pulvériser. Grâce à l'interprétation des données captées, le robot peut s'adapter en fonction de l'état de la culture observée et de l'opération attendue. Il peut identifier des zones de traitement prioritaire et agir en temps réel. Il est testé actuellement pour la pulvérisation de produits phytosanitaires dans les vignes.
Premier producteur mondial, la société française Naïo commercialise les robots Oz, Orio, Ted et Jo pour biner, désherber, tracer des sillons, semer ou porter les récoltes en autonomie. Proposés dans une gamme de prix à partir de 25 000 €, ces robots sont aussi accessibles en leasing. L'achat en coopérative en facilite encore l'accès. Et désormais, au regard du coût de main-d'œuvre économisé, l'investissement devient envisageable[3]. En France, en 2021, plusieurs centaines de robots[4] étaient déployés, essentiellement en maraîchage et viticulture. 60 % d'entre eux sont utilisés en agriculture biologique.

60 %
des robots "extérieurs" sont utilisés en agriculture biologique.

Des données de plus en plus nombreuses pour des modèles toujours plus précis

Les agroécosystèmes sont complexes car composés d'une diversité d'entités : plantes, animaux, microorganismes, etc. Leurs fonctionnements restent mal connus, particulièrement les processus dits associés tels que le flux d'eau ou le cycle des nutriments. Par ailleurs, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale certaines exploitations agricoles se sont largement agrandies tandis que le nombre d'agriculteurs n'a cessé de baisser.
Ces éléments appellent de nouveaux systèmes de suivi et de surveillance pour pallier à une main d'œuvre réduite. Heureusement, les capteurs sont là et ils sont nombreux et diversifiés. Fixes, comme les pièges, les objets connectés ou les stations météo, embarqués sur des machines agricoles ou bien portés par des animaux, hommes ou engins, comme un capteur d'activité ou de géolocalisation, ils transmettent des flux d'informations, stockées et traitées par calcul ou par des algorithmes d'intelligence artificielle. Ces informations deviennent, ainsi transformées, des connaissances et font avancer la compréhension des systèmes. L'invisible devient visible, de plus en plus précisément. Des modèles sont élaborés, de croissance des plantes ou de comportements des animaux par exemple, donnant vie à des logiciels de prévision, de détection et de recommandation d'actions. Les premiers OAD, logiciels de recommandation d'actions basés sur la modélisation, sont ainsi apparus dans les années 1980.
Précieux pour un bon pilotage des exploitations, les outils numériques détectent les stress hydriques, certaines maladies, évaluent une concentration en carbone ou en azote dans le sol, etc. Ils fournissent des recommandations pour la planification des parcours culturaux, des traitements, du désherbage, le ciblage de l'irrigation... Certains logiciels conçus par INRAE sont des références, notamment ceux qui concernent la lutte contre les agresseurs ou Optirrig pour l'irrigation. De très nombreux logiciels ont également été développés par les instituts techniques agricoles en réponse aux besoins des agriculteurs.
Ces dernières années, une nouvelle génération d'OAD a émergé, qui utilisent la télédétection par satellite, le géopositionnement ou internet pour une information plus fine encore. Les drones peuvent aussi remplacer ou compléter les images satellitaires. Ainsi, la start-up Hiphen, née dans le giron de l'UMR EMMAH en Provence-Alpes-Côte d'Azur, qui travaille sur le phénotypage des plantes utilise les technologies d'imagerie des cultures, du capteur connecté au satellite en passant par le drone, avec des données accessibles par téléphone portable. Ces outils apportent une efficience inégalée. Sur le blé, par exemple, l'imagerie sur les zones d'expérimentation remplace les comptages fastidieux d'épis et de mesures de →

Avec le numérique, l'invisible devient visible, de plus en plus précisément.

1. Salon International des Solutions et Technologies pour une agriculture performante et durable simaonline.com

2. La plateforme de production adaptative et autonome pour l'environnement (Adap2E) est un projet Jeunes chercheurs, porté par l'unité de recherche INRAE TSCF avec l'apport de l'UMR ITAP.

3. bit.ly/3Sedx54

4. bit.ly/3TsTwc7

© Naïo Technologies

largeur de feuille qui, auparavant, étaient réalisés à la main.
La modélisation doit s'adapter pour tenir compte du caractère multiobjectif de la production, et pour aider à la décision, sans forcément la remplacer, en fournissant à l'utilisateur différents types d'informations, un diagnostic, une prévision, une prescription. Elle peut être utilisée pour les OAD mais aussi en accompagnement de décision collective, pour la formation, etc.

↑ Ce robot viticole TED enjambe les vignes pour désherber avec précision aux pieds du cep et limiter la compétition pour l'eau.

Avec la massification des données, de nouvelles technologies de traitement sont développées. L'IA permet aujourd'hui de créer des connaissances originales à partir de ces données massives.

La puissance de l'intelligence artificielle

Avec la massification des données, de nouvelles technologies de traitement sont développées. L'intelligence artificielle (IA) permet aujourd'hui de créer des connaissances originales à partir de ces données massives. Suffisamment nombreuses pour couvrir l'espace des possibles, celles-ci sont curées puis traitées pour prédire des valeurs ou réaliser des classifications pour les premières et simplement distinguer des motifs (patterns) pour les secondes. Les technologies de deep learning (ou apprentissage profond) et de machine learning (ou apprentissage automatique) sont utilisées pour le traitement des images complexes, d'images satellites ou encore de séries temporelles (par exemple, des mesures d'un paramètre réalisées de manière continue ou répétée sur un temps long). Les techniques de text mining (fouille de données textuelles) sont utilisées pour retrouver des informations dans les données issues d'internet. Ainsi, la plateforme Padi-web du projet

Adeptes des réseaux sociaux, les agriculteurs participent à de multiples communautés, soit pour échanger des informations, soit pour construire des dispositifs partagés.

européen MOOD[5] développée à l'UMR TETIS met en œuvre la fouille de données sur des textes disponibles sur internet et les réseaux sociaux (Facebook, Twitter) pour détecter précocement l'émergence de maladies animales.
Un des objectifs de la recherche est également de rendre ces nouvelles connaissances appropriables, en particulier en travaillant sur les vocabulaires et le web sémantique. Grâce à ces technologies, le sur-mesure est envisageable, même à grande échelle.

Une connectivité qui rapproche

Les échanges entre producteurs, transformateurs, distributeurs et consommateurs se font de plus en plus virtuels et rapides tout au long de la chaîne. La connectivité et les systèmes d'information sont au centre des activités industrielles, logistique comprise.
Technophiles, les agriculteurs sont connectés. En 2022, 98 % des agriculteurs possèdent un ordinateur[6], 80 % un smartphone. Ils se connectent au moins une fois par jour, pour accéder à une information, prioritairement la météo mais aussi sur les nouvelles pratiques ou technologies, ou bien encore l'économie et les marchés. Adeptes des réseaux sociaux, en particulier YouTube, Facebook et WhatsApp, ils participent à de multiples communautés, soit pour des échanges d'information, soit pour construire des dispositifs partagés d'information (météo ou pression parasitaire par exemple). 31 % se disent hyperconnectés. Certains d'entre eux dépassent leur communauté de métier pour montrer, sur Twitter et d'autres réseaux, leurs pratiques, leurs contraintes, et donner une image plus réaliste et positive de leur métier.
En forte progression depuis le confinement, les plateformes de distribution des produits alimentaires peuvent être portées par des distributeurs nationaux, à l'instar de l'émergence rapide d'un nouvel acteur « Grand frais ». Des initiatives plus locales, individuelles ou de collectifs, rapprochent le consommateur du producteur. Ainsi, La Ruche qui dit oui a pris des allures de start-up, augmentant de façon très forte son activité, de même de nombreuses initiatives « frais et local » de collectivités invitées à s'impliquer dans la territorialisation de l'alimentation par la loi Egalim (voir p.15) ont vu le jour. Après avoir observé une progression de ces plateformes lors des confinements successifs, l'Observatoire ObSAT[7] animé par le réseau mixte technologique (RMT) « Alimentation locale » souligne depuis un fléchissement, dû souvent à un modèle économique pas assez travaillé.

Aujourd'hui, le numérique peut servir tous les types d'exploitation, en conventionnel comme en agriculture biologique, grosses comme petites, même si historiquement c'est plutôt l'agriculture de grande taille et intensive qui a été la première concernée. Au-delà des pratiques agricoles et des performances individuelles, en rendant disponibles de nouvelles informations dans les chaînes de valeurs et en facilitant certaines connexions, le numérique modifie les rapports de force entre les acteurs de toute la filière et l'organisation de la chaîne de valeur de l'alimentation tout en réduisant les asymétries d'information. ●

98 %
des agriculteurs possèdent un ordinateur

80 %
des agriculteurs possèdent un smartphone

68 %
sont sur au moins un réseau social

57 %
sur YouTube

54 %
sur Facebook

51 %
sur WhatsApp

Source : Étude Agrinautes 2022 France bit.ly/3gajWkt

5. hagritrop.cirad.fr/594604/

6. bit.ly/3gajWkt

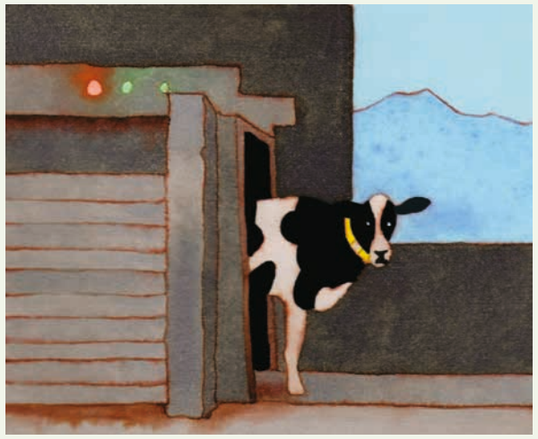
7. Le RMT « Alimentation locale » dont INRAE est co-animateur, a créé l'Observatoire des systèmes alimentaires territorialisés (ObSAT) avec la fédération des Centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural (CIVAM) de Bretagne. www.rmt-alimentation-locale.org

CONCRÈTEMENT

LES OUTILS NUMÉRIQUES ACCOMPAGNENT LA PRODUCTION ALIMENTAIRE ET LA GESTION ENVIRONNEMENTALE : EXEMPLES

Élevage
Prévenir plutôt que guérir

Depuis les années 2000, un suivi individualisé des animaux est possible. Nathalie Mitton, chercheuse à l'Inria et co-autrice du livre blanc *Agriculture et numérique*[1], donne un exemple : *« Un de nos doctorants a fondé une start-up, Lituus. Elle fabrique des colliers pour détecter si les vaches vont bien. Les comportements normaux (chaleur, vêlage) et anormaux (boiterie, trouble du comportement) définis par les éleveurs sont paramétrés dans l'outil. Les informations remontent par les capteurs et sont analysées par intelligence artificielle. En cas de souci, une alarme est déclenchée, évitant à l'agriculteur d'aller deux fois par jour scruter l'état de santé de son troupeau. Surtout, cela lui permet de réagir dès les premiers signes pour soigner sa bête. C'est une avancée en matière de bien-être animal, de pénibilité et de charge mentale pour l'éleveur »*. Dans le même esprit, grâce au machine learning et à des capteurs embarqués sur des vaches laitières. Nicolas Wagner a mis au point une nouvelle méthode informatique durant sa thèse. Elle permet de détecter 90 % à 100 % des anomalies dues à un problème de santé, souvent deux jours avant les premiers signes cliniques observés par l'éleveur.



Pollinisation et biodiversité
Suivre les abeilles

Le suivi des abeilles est essentiel pour l'apiculteur afin de s'assurer de leur productivité et de la présence de ressources à butiner. Cependant, multiplier les visites génère des coûts et constitue un facteur de stress pour les insectes. Sur la base des travaux d'INRAE (projet Beelive[3]), la société BeeGuard propose depuis 2016 des systèmes de suivi des ruches et du comportement des pollinisateurs. Ainsi, à partir de mouchards posés sur les abeilles et d'autres capteurs, les apiculteurs surveillent sans intervention le bon fonctionnement de la ruche à partir d'indicateurs de température, d'humidité ou de taux de retour à la ruche. L'analyse des entrées et sorties d'abeilles leur indique si la zone extérieure présente assez de ressources ou s'il se produit une surmortalité d'origine inconnue. La ruche ainsi équipée devient une sentinelle de la qualité de l'environnement.

1. url.inrae.fr/3HBktEe

2. « Détection des modifications de l'organisation circadienne des activités des animaux en relation avec des états pré-pathologiques, un stress, ou un événement de reproduction », 2020.

3. Projet nominé aux SIMA Innovation Awards 2022.

4. Dispositif institutionnel national d'approvisionnement mutualisé en imagerie satellitaire.

5. HubAlim : plateforme BtoB de données agroalimentaires.

6. Num'Alim : plateforme de données sur les produits agroalimentaires transformés pour des applications consommateurs.

7. Yuka est une application mobile qui, à partir du code barre d'un produit commercialisé, scanne les étiquettes et les déchiffre pour identifier les produits mauvais pour votre santé.

Cultures
Repérer le mildiou par drone

La détection précoce de maladies et la géolocalisation précise des plantes infectées contribuent à un traitement optimisé des cultures et surtout à une réduction de l'usage de produits phytopharmaceutiques.
À l'échelle des exploitations, des logiciels de reconnaissance de maladies ou de stress hydrique sont développés. La société bordelaise Chouette a, par exemple, développé un logiciel de détection des premiers symptômes du mildiou sur les feuilles de vigne sur le même principe que la reconnaissance faciale. Le drone qui embarque la caméra de détection couplée au géopositionnement fournit au viticulteur une carte avec une localisation précise des plants infectés. Celui-ci pourra intervenir précocement et uniquement sur la zone infectée. Ce système lui permettra d'endiguer la propagation de la maladie en agissant plus tôt, et de réduire sa consommation en produits phytopharmaceutiques en agissant très localement.

Une nouvelle méthode informatique détecte 90 % à 100 % des anomalies chez une vache dues à un problème de santé.

Aménagement
Des satellites au service de la gestion environnementale

La plateforme DINAMIS[4] réunissant des acteurs publics et privés de la recherche et de l'industrie (CNES, CNRS, IGN, INRAE, IRD, Cirad, Airbus...) donne accès à un bouquet d'images commerciales de données optiques à très haute résolution spatiale et un relais vers des données optiques gratuites et radar à haute résolution spatiale à partir d'images Pléiades, SPOT 6-7 et bientôt Sentinel 2. Avec ces images d'une précision allant jusqu'à 50 cm, le traitement des données permet un suivi des parcelles agricoles (occupation des sols, types d'activité, étape de la croissance, zones malades...) ou boisées (espèces, coupes, dégâts sanitaires...), ainsi que des eaux superficielles. Ces informations sont précieuses pour les politiques d'aménagement ou de planification territoriale, de suivi ou de gestion environnementale.

Traçabilité
Des bases de données pour les labels

La production agricole et alimentaire engendre une masse d'informations nouvelle : origine, date de péremption, composition ou encore temps de pâturage que seul le numérique est en mesure de traiter, d'analyser et de restituer. La transmission des informations suit le processus de production tout au long de la chaîne pour arriver au consommateur, servant chaque étape et alimentant les bases de données des systèmes de notation comme Nutriscore ou Ecoscore ou les systèmes de qualité AOC/AOP et IGP aux cahiers des charges exigeants, ou labels comme le label AB. En France, deux plateformes servent de bases de données nationales. HubAlim[5] trace les données sur les produits provenant de l'agriculture tandis que Num'Alim[6] regroupe les fiches des produits alimentaires transformés par les industriels auxquelles sont ajoutées les informations concernant la responsabilité sociale et environnementale des entreprises. Les applications comme Yuka[7] viennent se sourcer sur leur référentiel, Univers'alim, qui regroupe plus de 250 000 produits alimentaires vendus en France. Ces données s'affichent sur les emballages ou les sites d'e-commerce alimentaire.

DES ACTEURS PLUS PROCHES, DES TERRITOIRES PLUS FORTS

Le numérique change les modes de communication, fait émerger de nouveaux acteurs, reconfigure les réseaux et restructure le paysage économique. En agroalimentaire, il renforce le rôle du consommateur et crée de la valeur au service du collectif.
Explications.

Les consommateurs privilégient depuis plusieurs décennies le « facile à préparer ». La transformation a pris le pas sur les produits bruts, intégrant conservateurs et additifs. L'industrialisation et la mondialisation des échanges ont éloigné les producteurs des consommateurs. Dans des pays fortement urbanisés comme la France, le rapport des citoyens à leur alimentation et à l'agriculture a été profondément modifié. À la faveur de crises répétées, une certaine méfiance s'est installée.
Les questions environnementales qui s'imposent en parallèle soulignent combien l'agriculture peut être à la fois responsable et victime d'un environnement dégradé mais, fort heureusement, aussi source de solutions. Dans ce contexte tendu qui interroge les pratiques, le numérique bouleverse les relations entre les acteurs par la désintermédiation et le renforcement des relations directes entre consommateurs et agriculteurs, apportant ainsi des nouveaux outils de confiance et documentant la gestion collective de l'environnement.

Créateur de nouvelles chaînes de valeur

Commandes et livraisons en ligne, via les sites des grands distributeurs ou de vente directe, la Ruche qui dit oui, Locavor... les plateformes sont ancrées dans notre quotidien. Selon Isabelle Piot-Lepetit, directrice scientifique de l'institut Convergences agriculture numérique #DigitAg: *« Les chaînes de valeur, définies par l'ensemble des acteurs allant de la fourche à la fourchette, se reconfigurent avec le numérique. La rupture vient du fait que nous passons d'une chaîne à un réseau multidirectionnel. L'agriculteur peut approvisionner à la fois les grandes surfaces, des magasins spécialisés ou des particuliers. Avec les plateformes, certains intermédiaires peuvent disparaître dans l'intérêt du consommateur comme du producteur »*. Ainsi, la plateforme peut offrir de vraies opportunités aux agriculteurs pour trouver et fidéliser des clients sensibles à leurs démarches. En bout de chaîne, elle facilite le choix du consommateur, mieux informé sur les modes de production.
Répondant à une attente sociétale forte, la traçabilité pour l'alimentation humaine et animale est obligatoire depuis 2002. Les « beaux récits » sur l'origine des produits, leur composition et leur mode de production se multiplient, les labels aussi, jusqu'à entretenir une certaine confusion. En renforçant la confiance, cette traçabilité donne aussi un nouveau pouvoir au consommateur, mieux informé. En choisissant un mode de production, en plein air, biologique, un mode de distribution optimisé, un effort sur l'impact environnemental ou sur la rémunération des agriculteurs, le consommateur influe sur le système. *« Nous avons alors une chaîne inversée où le consommateur prend les commandes. Par exemple, dans l'initiative "C'est qui le patron ?!", tous les produits sont créés, sélectionnés mais aussi vérifiés par les consommateurs membres du collectif. Le consommateur devient de plus en plus acteur dans cette nouvelle chaîne de valeur »*, précise Isabelle Piot-Lepetit.
L'Observatoire des systèmes alimentaires territoriaux (ObSAT), dans son analyse des plateformes d'alimentation locale constatait : *« sur les 100 plateformes étudiées, celles qui donnent la place à l'agriculteur en informant sur ses pratiques, en lui donnant la parole ont été plus résilientes lorsque l'activité a baissé après les confinements »*.

Un outil pour la territorialisation de l'alimentation

Le numérique permet aussi d'organiser plus efficacement les filières au sein de chaque territoire agricole et entre territoires. À commencer par les pratiques agricoles qui se pensent désormais au-delà de la parcelle. Leur grande connectivité permet aux agriculteurs de mieux se coordonner afin de minimiser les risques. Ainsi par exemple, la synchronisation des dates d'implantation du tournesol permet de minimiser, en les partageant, les dégâts des corvidés consommant les semis.
Les projets alimentaires territoriaux (PAT) ont pour objectif de relocaliser l'agriculture et l'alimentation dans les territoires en soutenant l'installation d'agriculteurs, les circuits courts ou les produits locaux dans les cantines. Issus de la Loi d'avenir pour l'agriculture qui encourage leur développement depuis 2014, ils sont élaborés de manière collective à l'initiative des acteurs d'un territoire (collectivités, entreprises agricoles et agroalimentaires, artisans, citoyens, etc.) en s'appuyant toujours sur le numérique.
« Avec la loi Egalim 2, la territorialisation s'est accrue. En effet, pour la restauration collective, les collectivités doivent fournir 50 % de produits durables et de qualité dont 20 % issus de l'agriculture biologique. Comment assurer un approvisionnement continu ? Ce sont des quantités énormes : la Région Occitanie, par exemple, doit gérer 40 millions de repas en restauration scolaire par an. Pour répondre à la demande, il y a deux solutions, soit s'appuyer sur de grandes fermes intégrées, soit agréger les productions des structures maraîchères de plus petite taille, mais il faut alors planifier l'ensemble des productions et gérer la logistique. L'entreprise Bonduelle le pratique pour l'approvisionnement de ses usines avec des agriculteurs sous contrat. Une thèse est en cours sur la planification et l'optimisation des rotations de cultures maraîchères à l'échelle de la ferme et pourrait ouvrir la voie à des échelles plus grandes », explique Véronique Bellon-Maurel, directrice de #DigitAg.
De son côté, Montpellier Méditerranée Métropole s'est engagée pour l'agroécologie. Labellisée Marché d'intérêt national (MIN), la plateforme Mercadis met en relation acheteurs professionnels et producteurs. Elle favorise les circuits courts, encourage les productions respectueuses de l'environnement, et relocalise les productions agricoles et l'alimentation avec un « carreau Bio & local » notamment. Plus encore, elle lutte contre la précarité alimentaire, en facilitant l'accès des associations d'aide alimentaire aux produits frais des producteurs locaux et, en affiliant le MIN à la centrale de règlement des titres. Les flux logistiques sont réduits grâce au numérique. Dans la →

FUTUR

Quel scénario pour notre alimentation demain ?

Une prospective[1] menée par INRAE et Grenoble INP a envisagé les futurs possibles des marchés alimentaires, sur un horizon à 20 ans. En fonction des stratégies des différents acteurs, 4 scénarios ont été étudiés. Dans le premier, « Personnalisation », les désirs des consommateurs sont anticipés autant que possible, donnant la main aux géants du web, les GAFAM. Dans le scénario 2, « Engagement », la gestion des biens communs et la rémunération des agriculteurs sont au cœur des attentions des consommateurs, qui s'expriment via les plateformes, et des politiques publiques renforcées. Le scénario 3, « Communautés », aboutit à un archipel de modèles alimentaires contrastés et incompatibles. Quant au dernier, « Prix bas », il engendre une baisse de qualité de produits et de rémunération pour les agriculteurs au terme d'une concurrence exacerbée des plateformes.
Bernard Ruffieux, le pilote de l'étude, conclut : « L'e-commerce et la logistique de proximité sont là. Mais l'avenir qui se dessine avec n'est pas encore joué. Si les grandes plateformes comme Amazon et les opérateurs historiques sont en pleine révision de leurs modèles économiques, les consommateurs et les politiques publiques auront aussi leur carte à jouer ».

ENJEU

Sécuriser la traçabilité des aliments

Du suivi au rappel éventuel, la traçabilité des produits alimentaires est un enjeu de sécurité sanitaire. Garantir la qualité des données est essentiel, assurer la fiabilité des échanges et des flux aussi.
Plébiscitées par les consommateurs, les données liées aux aliments sont nombreuses : origine, date limite d'utilisation optimale, composition ou même pour la viande ou les produits laitiers le temps de pâturage des animaux… Seul le numérique est en mesure de traiter, d'analyser et de restituer l'ensemble de ces données.
La transmission des informations suit le processus de production tout au long de la chaîne pour arriver au consommateur, alimentant in fine les bases de données des systèmes de notation. Le numérique permet même de suivre et analyser le comportement des consommateurs en réponse à ces différentes informations.
Mais comment s'assurer de la fiabilité de systèmes qui agrègent un grand nombre de données issues d'un océan d'acteurs ? Jérôme François, directeur de Num'Alim, explique : « Aujourd'hui, les données fournies par les fabricants ont un taux d'erreur compris entre 30 à 50 %. Si la majeure partie des erreurs concerne une virgule manquante ou une inversion entre kilocalories et kilojoules, il peut arriver que des allergènes soient mal renseignés. Et là, en exposant les consommateurs via les sites de e-commerce ou les applications, les entreprises jouent avec le feu. C'est pourquoi notre société coopérative d'intérêt collectif, qui rassemble des entreprises agroalimentaires, des associations de consommateurs et des acteurs publics, fournit à ses adhérents des outils de fiabilisation des données via notre partenaire Consotrust et notamment grâce au machine learning qui débusque les erreurs dès la saisie ».
Afin de baisser le taux d'erreur des données, un des enjeux de la recherche est de développer des technologies d'acquisition avec moins d'interventions humaines. Ainsi par exemple, dans le cadre de travaux interdisciplinaires développés à l'institut Convergence agriculture numérique[2] #DigitAg, un post-doctorant explore le potentiel d'une étiquette RFID-capteur qui trace le produit et mesure en même temps la dégradation des aliments[3].
Depuis quelques années, un outil fait la une des journaux, la blockchain. Conçue à l'origine pour sécuriser les transactions en cryptomonnaie, elle répond parfaitement aux enjeux de chaînes multiacteurs et multifilières à la maturité et aux besoins très différents. Dans une base de données partagée par l'ensemble de ses utilisateurs, les informations sont regroupées au sein de blocs. Pour qu'un bloc soit ajouté à la blockchain, un mécanisme algorithmique complexe de validation impliquant des utilisateurs est mis en œuvre. Lorsqu'il est validé, le bloc est ajouté à la chaîne et ne peut plus être modifié. Ceci empêche un acteur de modifier une donnée unilatéralement. Si la blockchain est une des solutions pour fiabiliser des systèmes d'information, elle peut être très énergivore quand elle est utilisée sur des systèmes ouverts à un large public.

démarche « BoCal, Bon et Local », le site internet bocal.montpelliers3m.fr met en visibilité les circuits courts pour les consommateurs. Cette politique pour une alimentation durable de la collectivité est construite avec les associations, les agriculteurs, la communauté scientifique et les consommateurs montpelliérains.
Dans son appui aux producteurs, collectivités ou autres intermédiaires dans leurs projets de circuits courts, l'ObSAT fournit des données fiables sur la production, la transformation et la logistique de distribution en circuits courts. Celles-ci sont stockées et gérées dans une base de données ouverte (données librement utilisables par tous), agrégative (différentes sources de données) et participative (en partenariat avec la Chambre d'Agriculture France et UFC Que choisir, association de consommateur).

Un facilitateur de la gestion collective

Le numérique peut aussi contribuer aux systèmes de surveillance et renforcer l'action publique.
En réponse aux crises sanitaires répétées, l'État français a mis en place en 2018 trois plateformes d'épidémiosurveillance (santé animale, santé végétale et chaîne alimentaire) dont la coordination a été confiée à la direction générale de l'alimentation du ministère de l'Agriculture, l'ANSES et INRAE. Elles regroupent des informations pour optimiser les actions de surveillance. La collecte de données auprès des agriculteurs et industriels et le partage de ces informations permettent de détecter et localiser plus rapidement l'émergence de maladies ou la présence de ravageurs, parasites ou contaminants, et de gérer la crise directement sur sa zone de départ. La plateforme Padi-web propose le même service pour des maladies animales à partir de données collectées sur internet (projet MOOD – voir page 8).
L'eau, les sols et l'air sont des biens communs dont la qualité s'est détériorée sur les décennies passées et pour lesquels des politiques publiques sont mises en place pour les améliorer ou les restaurer. Par la possibilité de recueillir des données de sources variées et en grand nombre mais aussi des méthodologies nouvelles de partage de diagnostic et d'échange, le numérique permet l'évaluation des situations, la définition d'objectifs communs et la mise en place de stratégies partagées. Les outils numériques rendent ainsi possible une gestion collective à l'échelle des territoires avec la construction de consensus et de stratégies d'actions sur des biens utiles à tous et à préserver. Ils permettent de dépasser l'horizon de la parcelle ou de l'élevage pour intégrer une vision du territoire et mieux piloter l'impact de l'agriculture. Grâce à eux, les biens communs prennent une autre place. La télédétection peut aussi renforcer l'application des politiques nationales ou européennes. En cohérence avec le Green Deal[4] ou Pacte vert européen, par lequel l'Europe a mis en priorité les enjeux écologiques et la santé, la Politique Agricole Commune conditionne désormais pour partie ses subventions aux agriculteurs selon leurs pratiques et leur impact sur l'environnement. Ainsi, l'éco-régime conditionne sa subvention à la présence d'au moins 10 % de surface de haies ou bandes enherbées. Comment vérifier qu'un agriculteur donné a bien réalisé la plantation de haies déclarée ? Avec l'offre satellitaire proposée par le consortium DINAMIS, le suivi et le contrôle deviennent possibles et donnent de la force aux politiques mises en place.

En rapprochant producteur et consommateur, le numérique rend plus transparentes les réponses à la demande sociétale de naturalité et de pratiques plus respectueuses de l'environnement. En facilitant la gestion des territoires, il donne plus de poids au collectif et à l'action publique. Mais pour quel projet ? ●

La grande connectivité des agriculteurs leur permet de mieux se coordonner afin de minimiser les risques.

1. Étude prospective « Quatre scénarios pour éclairer la distribution alimentaire du futur ». INRAE 2022.

2. www.hdigitag.fr

3. Ce capteur est un biopolymère qui réagit aux gaz émis (CO_2, éthanol…) lors de la dégradation des aliments, placé sur la face interne de l'emballage, sous l'étiquette RFID. En cas de dégradation de l'aliment, les gaz émis modifient la réponse RFID. Ces recherches sont menées au sein de l'Institut électrique et des systèmes (UMR 5214) et du laboratoire d'Ingénierie des agropolymères et des technologies émergentes (INRAE/Université de Montpellier).

4. bit.ly/3MDhcbw

L'AGROÉCOLOGIE COMME CAP

Préconisée par les scientifiques, reconnue par les experts, l'agroécologie est choisie aujourd'hui par certains pays dont la France et portée par l'Union Européenne. En quoi le numérique en est-il un des leviers ? **Enjeux.**

© Christophe Maître /INRAE

Le changement climatique, la dégradation des sols et la perte de biodiversité questionnent le secteur agricole. À ces pressions s'ajoutent une augmentation de la population mondiale et de la demande alimentaire, une main-d'œuvre agricole qui se raréfie et dans les pays occidentaux, une demande sociétale de plus en plus forte pour des modes de production plus respectueux de l'environnement et de la santé, et ce, sans que le pouvoir d'achat du consommateur ne soit grevé. Les deux dernières crises, Covid-19 et guerre en Ukraine, ont pointé du doigt la résilience mais aussi la vulnérabilité de notre agriculture et remis à l'agenda la problématique de la sécurité alimentaire. Face à ces multiples enjeux, l'agroécologie propose de mettre les écosystèmes au cœur des modèles de production, de re-territorialiser l'alimentation et de rééquilibrer la chaîne de valeur en faveur du producteur. Le numérique peut-il accélérer cette transition ? Certains voudraient opposer agroécologie et numérique. Au contraire, INRAE étudie et préconise leur mise en synergie pour aboutir à des systèmes agricoles et alimentaires sains et durables, tout en conservant l'autonomie de décision et d'action des agriculteurs. Le numérique émerge effectivement comme un levier de la transition agroécologique, pour soutenir et accélérer l'adoption de ce modèle. Comment ?

1. Rapport du High Level Panel of Experts – juillet 2019 bit.ly/3CIF88J

2. Selon la définition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale, *« La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, la possibilité physique, sociale et économique de se procurer une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins et préférences alimentaires pour mener une vie saine et active »*. Cette définition a été adoptée par un consensus international lors du Sommet mondial de l'alimentation de 1996.

Allier agronomie et écologie

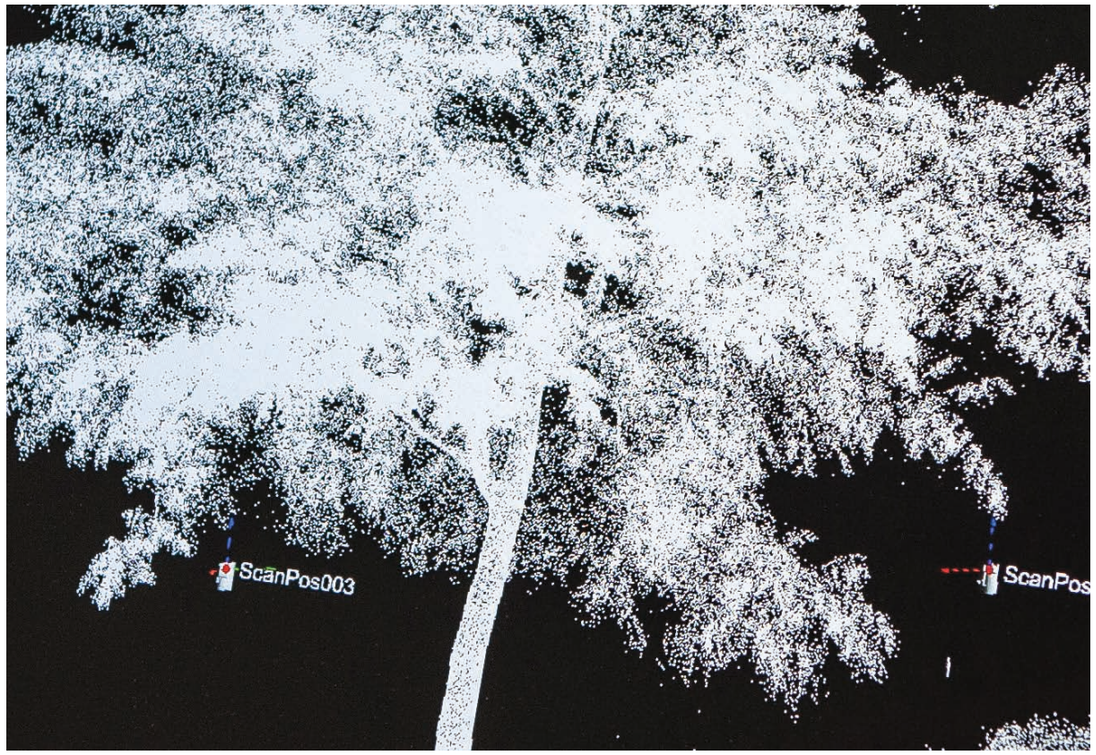
Durable, vous avez dit durable ? Selon les Nations unies, la durabilité de l'alimentation passe avant tout par la sécurité alimentaire[2], c'est-à-dire assurer une alimentation suffisante, saine et nutritive pour tous. Mais pas seulement. Elle vise également à être culturellement acceptable, économiquement équitable, accessible à tous et enfin impose une réduction du coût environnemental (cf. Ressources #1 p. 12). Pour diminuer cette empreinte environnementale et réduire les pertes et gaspillages, les systèmes agricoles comme les systèmes alimentaires doivent être repensés dans une approche globale et transversale, intégrant tous les maillons de la chaîne, des pratiques agricoles et industries de l'amont (semences, engrais, etc.) à la logistique et à la distribution en passant par les industries agroalimentaires qui transforment les produits. Deux modèles agricoles ont été préconisés par le HLPE : l'intensification durable et l'agroécologie. C'est dans cette seconde voie, « en rupture » par rapport à l'agriculture conventionnelle, que s'est engagé INRAE. Un modèle soutenu par l'Europe et la France. Une pause définition s'impose. L'agroécologie, comme son nom l'indique, est un modèle qui allie agronomie et écologie. Elle s'appuie sur les fonctionnalités des écosystèmes et les amplifie pour générer des services de régulation, tout en limitant les pressions engendrées par l'activité humaine. Elle réduit les apports des intrants de synthèse (pesticides, engrais ou antibiotiques), s'appuie sur l'écologie et la biodiversité fonctionnelle, sur la sobriété et le respect du cycle des intrants naturels (eau, matière organique, nutriments). Elle limite ainsi la pollution des sols et des rivières, préserve les ressources et favorise leur renouvellement naturel. Elle œuvre pour le bien-être des animaux et favorise une meilleure place pour les agriculteurs et agricultrices (revenus, autonomie, maintien d'une agriculture familiale et d'emplois décents...). Selon Xavier Reboud, chargé de mission Agroécologie et numérique auprès de la direction scientifique Agriculture d'INRAE, *« l'agriculture évoluera, quoi qu'il arrive. Nous pouvons cependant nous servir du numérique pour accélérer la transformation. Développer l'agroécologie à grande échelle n'est pas aisé. Les agroécosystèmes y sont plus complexes. Ils nécessitent un pilotage fin et ajusté à la diversité des milieux et des environnements. Or, nous manquons parfois de connaissances. Il faut apprendre à gérer les associations de cultures, mieux connaître le sol, les microclimats, l'abondance des auxiliaires ou des bioagresseurs... Et ça, c'est inconcevable sans l'appui des outils numériques »*.

↑ Mesure des paramètres climatiques, dont l'accès aux rayons du soleil, dans un champ agroforestier associant orge, folle-avoine et noyer.

Un enjeu pour la recherche à moyen terme sera aussi d'évaluer le potentiel des jumeaux numériques dans les exploitations agricoles pour accompagner la transition agroécologique. L'utilisation de jumeaux numériques dans les fermes signifie créer des représentations virtuelles d'actifs physiques – champs, animaux ou machines – qui peuvent être améliorées en exploitant les données des capteurs et des caméras sur le terrain, pour optimiser l'utilisation de l'eau, répandre correctement les semences et les engrais, réduire l'utilisation de pesticides ou encore suivre l'état de santé d'un troupeau.

Mieux connaître les écosystèmes pour mieux les gérer

Les écosystèmes sont des systèmes complexes. Interactions entre les organismes, impact de la biodiversité, capacités de résistance ou de résilience de certaines espèces face aux maladies et parasites ou aux aléas climatiques, propriétés des →



© Bertrand Nicolas /INRAE

↑ Évaluation de la bonne croissance d'un arbre en milieu agroforestier par technologie "LIDAR".

sols, etc., autant de processus et de fonctions encore mal connus. Une meilleure connaissance de la biodiversité, des milieux et de leur fonctionnement s'impose afin de pouvoir reproduire voire piloter les processus favorables aux activités agricoles. Associations ou rotation de cultures, plantes de service, diversification des variétés ou des races, autant de leviers de l'agroécologie qui en sont directement inspirés, et pour lesquels le suivi précis requiert un grand nombre d'actions que le numérique aide à appréhender et à gérer. Les capteurs pour collecter les données de terrain et de comportement en grand nombre, les données massives de génomique, les capacités de traitement et de stockage des ordinateurs permettent de comprendre et modéliser les espèces, les cultures et les agroécosystèmes et de projeter leur comportement sous l'action de différentes contraintes ou orientations techniques.

Des logiciels de recommandation et de planification facilitent la conduite de systèmes complexes de cultures en intégrant la multiperformance dans leurs critères : rendement, qualité et impact environnemental.

Une prairie est aussi un bon exemple de système complexe avec la diversité des espèces qui peuvent la constituer. Nourrir son troupeau au pâturage présente de nombreux avantages, économiques d'une part en facilitant l'autonomie de l'éleveur mais aussi pour la santé et la productivité des animaux. Cependant, pour cela le choix des semences est crucial afin d'assurer les propriétés attendues. Construit par l'équipe MAGELLAN de l'UMR AGIR en Occitanie avec l'aide de 300 éleveurs et 16 conseillers agricoles, le logiciel CAPFLOR propose la recommandation de mélanges de semences (6 à 14 espèces ou variétés) adaptés au sol et au climat de la parcelle choisie mais aussi aux pratiques de l'agriculteur.

Une vision au-delà de la parcelle

L'agroécologie intègre l'échelle des écosystèmes et se met en œuvre depuis l'intérieur de la parcelle jusqu'aux paysages et aux territoires, là où se jouent les interactions animales et végétales. Elle mobilise donc la collaboration entre les agriculteurs pour coordonner leurs actions.

Le numérique peut aussi aider à mieux identifier les flux de matières, modéliser les systèmes et permettre la construction de nouveaux modèles d'économie circulaire. Ainsi, la place de marché Organix, créée par Suez, met en relation producteurs de déchets et gestionnaires de méthaniseur afin d'optimiser leur approvisionnement et les flux. La start-up Maelab, issue du laboratoire Agronomie et Environnement (UMR INRAE – université de Lorraine), propose d'accompagner les acteurs des territoires dans la conception et l'évaluation de scénarios de changements menés à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole et du territoire. L'ambition du projet de recherche lié, développé actuellement dans le cadre du Programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) FairCarboN lancé en 2022 est de créer une plateforme de modélisation pour évaluer la dynamique du carbone à l'échelle territoriale. À terme, elle permettra de faire un diagnostic des flux de carbone et de proposer des scénarios d'évolution à horizon 2030 et 2050 des usages, notamment industriels, et de l'occupation des terres.

Un facteur d'atténuation du changement climatique

Réduire la pollution de l'air, de l'eau et du sol par une utilisation adaptée des fertilisants organiques, limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES) par la gestion des sols ou du couvert végétal, ou bien encore la réintroduction de la biodiversité avec des haies et des prairies permanentes sont des services rendus à l'environnement.

Pour Véronique Bellon Maurel, *« de la même façon que le numérique permet de faire de la médecine individuelle, il pourrait être utilisé pour un suivi des agro- et des écosystèmes. La nouvelle PAC demande d'évaluer de façon plus fine les impacts de notre production et de s'engager dans une gestion plus sobre des ressources (moins 20 % d'apport d'azote minéral par exemple dans le Pacte vert). Des systèmes permettant de générer facilement et à grandes échelles des données sur le stockage du carbone ou de l'azote dans le sol ou sur l'état de la biodiversité sont attendus »*.

En France, l'agriculture est classée deuxième ex aequo avec l'industrie manufacturière sur le podium des activités humaines émettrices de GES (19 % du total[3]). Parmi les filières pointées du doigt : l'élevage avec 48 % du total (surtout via le méthane – CH_4), les grandes cultures avec 40 % (surtout via le protoxyde d'azote – N_2O). Depuis 1990, cependant, les émissions sont en baisse constante (9 %). Pour diminuer cet impact, en complément des efforts pour réduire les émissions, l'initiative « 4 pour 1 000 » soutenue par INRAE vise à augmenter annuellement de 0,4 % le stockage de carbone dans tous les sols agricoles du monde, soit l'équivalent à l'échelle mondiale des émissions annuelles de CO_2 liées aux activités humaines. Comment ? Notamment en favorisant le maintien des prairies permanentes. Mais aussi en modifiant les pratiques dans les zones de grandes cultures. Parallèlement, les politiques publiques, Pacte vert européen, Stratégie nationale bas-carbone, veulent encourager les pratiques favorables à l'environnement dont le stockage de carbone dans les sols. Pour vérifier leur efficacité, elles ont besoin d'indicateurs fiables. Le programme européen NIVA (New IACS Vision in Action), auquel participe INRAE, œuvre au développement de méthodes permettant de calculer des indicateurs correspondant à trois objectifs de la PAC : le stockage du carbone, le lessivage des nitrates et la biodiversité. La démarche est basée sur la combinaison de données issues de plusieurs sources : le registre parcellaire graphique (RPG) de la PAC qui enregistre les déclarations des agriculteurs (contours de parcelles, cultures produites, pratiques…), les données des satellites Sentinel, des données en accès libre comme les données météorologiques et enfin des données issues des agriculteurs eux-mêmes. Ces données hétérogènes nécessitent des traitements dédiés afin de pouvoir les associer et les analyser conjointement à la bonne échelle. →

19 %
des GES proviennent de l'agriculture en France dont :

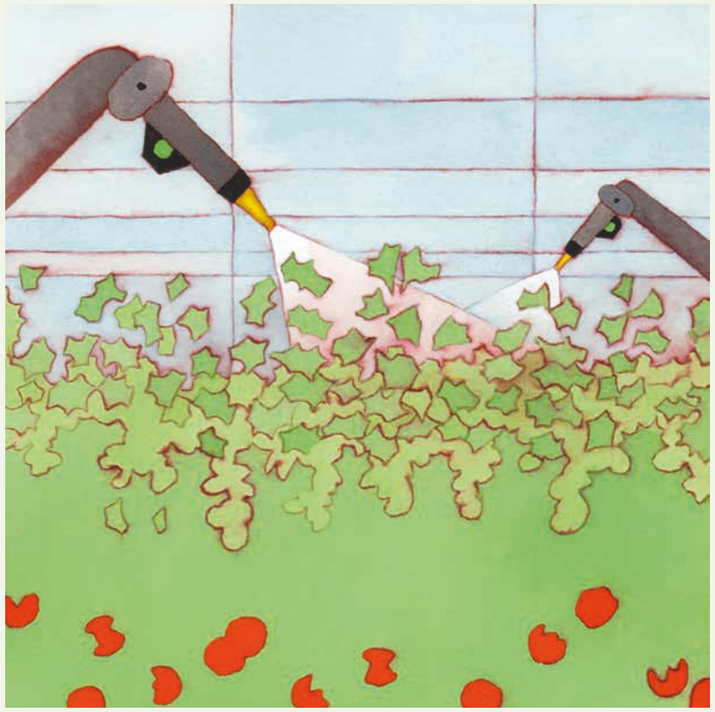
48 % dues à l'élevage

40 % dues aux grandes cultures

12 % en consommation d'énergie moteur (engins, machine…)

L'agroécologie s'appuie sur les fonctionnalités des écosystèmes et les amplifie pour générer des services de régulation, tout en limitant les pressions engendrées par l'activité humaine.

3. Rapport 2021 du CITEPA ; bit.ly/3MGw8FV



EXPÉRIMENTATION

La révolution chez les robots

Les robots sont appelés à évoluer pour correspondre aux nouveaux besoins. Ils doivent être capables de s'adapter pour faire face à la diversité des parcours de cultures, des animaux d'élevage ou des environnements.

Les robots doivent s'adapter aux pratiques de binage ou de désherbage différencié, délaissées au profit des produits phytosanitaires depuis des décennies et pour lesquelles il s'agit de trouver une alternative.

Le Challenge ROSE, programme de recherche et d'expérimentation financé conjointement par le programme Ecophyto et l'ANR, a mis en concurrence depuis 2015 quatre équipes associant recherche publique et équipementiers pour développer des solutions mécaniques et technologiques en alternative aux herbicides. Les projets couvrent toute la chaîne, de l'identification des mauvaises herbes sur le rang de culture jusqu'à leur élimination sélective dans une solution robotique intégrée.
Les capacités d'adaptation offertes par les outils robotiques constituent un atout décisif pour effectuer des travaux de haute précision, pour différencier des cultures pluricomplexes et agir de manière localisée et spécifique. De tels travaux, difficilement envisageables manuellement à grande échelle, nécessitent le développement de nouveaux outils pouvant intervenir de manière autonome. Pour cela, la réflexion dépasse la seule machine pour se développer au niveau d'un système composé de plusieurs robots, potentiellement coopérants. Il devient alors possible de sélectionner le nombre de robots et leurs rôles en fonction de la tâche à réaliser et du contexte. Ces nouveaux agroéquipements modulaires, plus légers, moins impactants pour les sols et coopérants seraient donc partageables entre plusieurs exploitants. Une telle vision radicalement nouvelle s'inscrit dans la continuité des travaux de recherche résultant du projet Adap2E[1].
Pour aller encore plus loin, INRAE s'est associé à l'agroéquipementier SabiAgri pour travailler au dialogue Homme-robot. Ainsi le laboratoire commun Tiara[2] mène des recherches sur la capacité décisionnelle (IA) et la reconfiguration en ligne de comportements robotiques. Ces travaux se prolongent plus avant sur le territoire national, où Inria, CEA et INRAE coordonnent le projet NinSar. Celui-ci regroupe la communauté robotique française pour le développement de manipulateurs mobiles de taille réduite pour la réalisation d'itinéraires culturaux agroécologiques[3].

1. Voir note page 7.

2. Tiara (Towards intelligent adaptable robots for agriculture) est un laboratoire de recherche collaboratif financé par l'ANR dans le cadre du programme LabCom 2019, réunissant l'équipe Romea de l'unité TSCF et la société SabiAgri ; www6.inrae.fr/tiara

3. Financé dans le cadre du PEPR Agroécologie et numérique, porté par la stratégie d'accélération Sadea.

© Christophe Maitre / INRAE

Une autonomie nouvelle pour renforcer la place de l'agriculteur

En permettant une détection automatique des comportements anormaux de ses vaches, les puces électroniques qu'elles portent réduisent le temps de surveillance de l'éleveur, en rendant automatique la livraison des rations dans les auges, le robot lui évite une tâche répétitive et pénible… Le numérique redonne du temps à l'agriculteur pour mieux prioriser ses actions et être maître de sa stratégie en toute connaissance. Il lui donne les moyens d'être plus autonome. En le rapprochant des consommateurs, quels qu'ils soient, il lui donne l'opportunité de choisir son mode de production et d'avoir plus de pouvoir sur le niveau de sa rémunération. En rendant visible et renforçant sa contribution à la biodiversité des paysages et à l'amélioration des biens communs, il lui apporte la fierté d'agir pour la société.

Des pertes évitées

Les pertes et gaspillages représentent 30 % de la production agricole mondiale. En cultures céréalières, les pertes de grains pendant le stockage peuvent atteindre 10 % des volumes, en grande partie à cause du développement de moisissures lié à l'humidité. Le projet SISAM[4], piloté par PANAM France SAS et impliquant le LAAS-CNRS, développe actuellement un système de suivi de l'état des stocks de semences et de pilotage à distance de l'atmosphère des silos (température, taux d'humidité, de CO_2, pression). Au-delà des volumes sauvés, des traitements post-récolte sont ainsi évités et la consommation d'énergie est optimisée. En ville, les applications comme togoodtogo permettent d'acheter des produits à date limite courte et participent à la réduction du gaspillage et aux flux des denrées alimentaires au sein d'un territoire.

Les approches agroécologiques et la durabilité nécessitent une approche systémique des actions sur un territoire. Elle impose une vision globale et une meilleure anticipation des risques. Assistées par le numérique, ces approches peuvent se déployer à grande échelle, sous réserve d'éviter certains écueils. ●

↑ En Bretagne, l'Institut de génétique expérimente des capteurs de détection du mildiou sur pommes de terre alimentant des tableaux de bord.

4. Projet SISAM – Système intelligent de stockage de semences sous atmosphère modifiée. bit.ly/3TcN2OH

UN ACCÉLÉRATEUR DE TRANSITION SOUS CONDITIONS

En offrant des opportunités de compréhension, d'action et de communication inégalées et renouvelées, le numérique représente un puissant levier au service de la transition agroécologique et d'une alimentation durable. Cependant, dans ce moment d'accélération des technologies et des changements, la vigilance s'impose sur certains points. **Tour d'horizon.**

Après la FinTech, la MedTech, la FoodTech, place à l'AgTech[1]. En 2021, elle concentrait 51,7 milliards de dollars d'investissement et compte des milliers de start-up dans le monde[2], dont environ 400 en France. Devant les potentiels de développement, les investisseurs et entrepreneurs en ont fait un de leurs secteurs prioritaires. Les développements se font en réponse à des objectifs et des usages diversifiés. Avec une limite : les pratiques et les connaissances héritées de l'industrie ne correspondent pas toujours aux caractéristiques de l'agriculture. *« Le développement d'une agriculture numérique adaptée à l'agroécologie est en marche. L'inventaire des apports du numérique en termes de nouvelles capacités d'acquisition de données, de traitement, d'automatisation des tâches, de connectivité et d'échanges dématérialisés permet d'envisager un bouquet de solutions pour contribuer à la transition vers des agricultures et des systèmes alimentaires durables, respectant les hommes et les animaux. Identifier les risques est cependant nécessaire pour ne pas se tromper de chemin »*, explique Véronique Bellon-Maurel.

1. Utilisation de la technologie en agriculture, horticulture et aquaculture (logiciels, automatisation et analyse des données) pour améliorer le rendement, l'efficacité et la rentabilité du secteur agricole.

2. url.inrae.fr/3FyZFQk

3. Étude Agrinautes 2022, bit.ly/3gajWkt

Veiller à l'accessibilité et au codéveloppement des outils

Grâce au numérique, des gains importants liés à la qualité de production, aux cobénéfices environnementaux et à la baisse des coûts de production (moins d'intrants) vont devenir accessibles au plus grand nombre. Encore faut-il s'assurer que les destinataires de ces gains, ici les agriculteurs, y aient accès et en tirent effectivement profit.

Dans les champs ou les étables, les capteurs sont autonomes et sans fil. Alors, comment transmettre les données ? Le wifi est écarté, car il consomme trop d'énergie et les réseaux cellulaires (3G, 4G, 5G) couvrent mal les zones agricoles. Si la couverture 3G a connu une forte progression récemment pour concerner 95 %[3] des agriculteurs, mais bien souvent seul le siège de l'exploitation est connecté. Enfin, 5 % des connectés doivent encore se contenter de bas débit. *« Nous devons mettre en place des réseaux spontanés qui remontent de capteur en capteur, ou quelquefois par un réseau hybride avec les drones ou tracteurs qui passent à proximité »*, raconte Nathalie Mitton (Inria). *« L'idée est d'exploiter tous les types de communication qui existent, cela peut même être du côté des fréquences FM. »* La complétude de la couverture numérique des territoires est donc toujours à encourager.

Les outils numériques sont un des leviers de la rentabilité des exploitations. Mais encore faut-il qu'ils soient adoptés par les agriculteurs et les acteurs du secteur agroalimentaire. Par exemple, si un OAD fournit trop de fausses alertes ou est trop compliqué à utiliser, il risque d'être abandonné. Les chercheurs INRAE travaillent sur les freins et les facteurs d'adoption : les données sont-elles pertinentes, sous quelle forme doivent-elles être présentées ? L'interface est-elle suffisamment ergonomique et simple d'utilisation ? À ces questions techniques ou sociologiques s'ajoute un questionnement éthique. De quelle manière l'utilisateur se servira-t-il de cette connaissance ? L'innovation ouverte, qui intègre l'ensemble des parties prenantes dès le début des processus d'innovation, est une approche à mobiliser pour répondre à ces questions.

Florence Amardeilh, cofondatrice d'Elzeard,une application de planification des actions pour la production de fruits et légumes, revient sur la genèse du projet : *« En allant sur le terrain, nous avons constaté que beaucoup de maraîchers utilisaient encore des notes papier ou des tableaux Excel. Comme nous ne voulions pas imposer un outil informatique, nous avons appris le métier et sommes allés à la rencontre des acteurs de la filière. Nous avons échangé avec eux pendant deux ans avant d'écrire la première ligne de code et développer un logiciel à partir de leurs besoins »*.

L'accessibilité, c'est aussi bien sûr la question du coût ou plutôt du rapport coût/bénéfice pour cette population qui sait s'endetter quand elle pense y trouver son compte. D'autant que la rentabilité dépend de la taille des exploitations. Ainsi, Xavier Reboud rappelle l'aventure de la start-up AirInnov qui proposait des images des champs aux agriculteurs. *« Alors que le drone semblait représenter un véritable atout pour affiner le travail dans les champs grâce à une meilleure observation des cultures, la société a fait faillite en 2019. Avec un gain moyen limité à 70 euros à l'hectare par an, certains agriculteurs se sont détournés d'un service devenu trop coûteux. »*

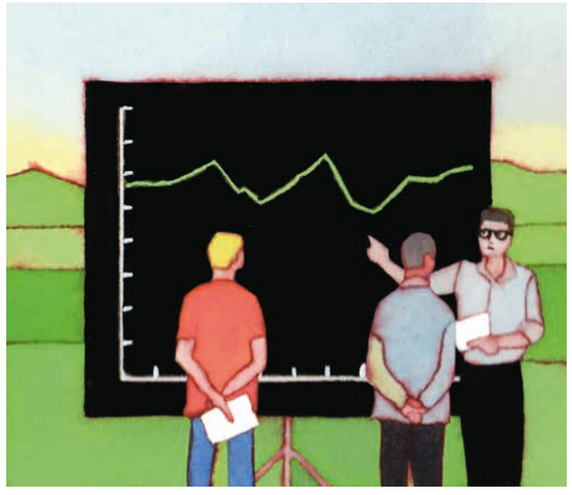
Garantir la gouvernance des données et la souveraineté de leurs fournisseurs

Une donnée seule n'a aucune valeur. En revanche, combinée à d'autres données, elle pourra devenir très utile. Plus qu'ailleurs, les informations liées à l'agriculture sont souvent d'origines très diverses. Comment s'assurer de leur qualité et de →

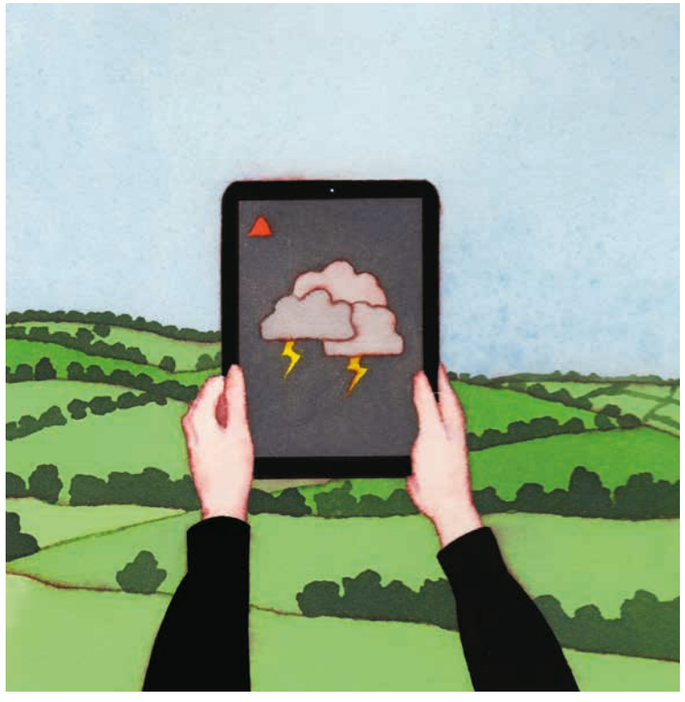
INNOVATION ET ACCESSIBILITÉ

Un laboratoire ambulant d'applications

Le Mobilab AgroTIC, créé par l'Institut Agro, est un laboratoire roulant et itinérant, cofinancé par la Chaire AgroTIC et le Territoire d'innovation Occitanum. Sa mission : sensibiliser les agriculteurs aux nouvelles technologies appliquées à l'agriculture. Son responsable, Simon Moinard, témoigne : « Nous allons chez les agriculteurs pour leur faire toucher du doigt la diversité des capteurs, leur expliquer leur fonctionnement et leurs limites. Par les animations ludiques, les agriculteurs découvrent le champ des possibles et réfléchissent ensemble à de nouveaux systèmes qui pourraient faciliter leur quotidien. Ces échanges font coup double : nous remontons leurs besoins et pratiques pour développer de nouveaux capteurs plus pertinents, et eux deviennent plus aguerris aux nouvelles technologies. Avec nos tutoriels, certains ont même développé leurs propres solutions à bas coût ! Un capteur pour activer une pompe à distance ou pour optimiser l'irrigation. Si le numérique fait peur à certains au début, ils sont vite convaincus de la simplicité des systèmes et du potentiel : sauver des récoltes, réduire leur impact environnemental, gagner en confort de travail, etc. »



leur interopérabilité, condition requise pour des systèmes opérationnels ?
La Commission européenne estimait dans son rapport *Cost of not having FAIR research* data paru en 2019 le coût de la mauvaise gestion des données de la recherche à 10,2 milliards d'euros pour l'Europe chaque année, dû aux pertes de temps, à la non-optimisation des coûts de stockage, aux frais de licence, aux problèmes de duplication de la recherche, au manque de fertilisation croisée. Ce rapport pointe que, contrairement aux idées reçues, l'ouverture et le partage des données en recherche favorisent leur détenteur. Ainsi, une récente analyse[4] des publications scientifiques montre que les publications renvoyant à des données associées et donc accessibles étaient plus citées que les autres. C'est pourquoi la Commission milite, comme l'État français, pour l'ouverture des données en prônant des données « FAIR » pour « Faciles à trouver, accessibles, interopérables et réutilisables ». Ainsi, pour les données issues de la recherche, le gouvernement a confié en 2021 le développement technique de la partie entrepôt et catalogue de données de la plateforme Recherche data gouv à INRAE. Depuis juillet 2022, la plateforme[5] met à disposition de tous les chercheurs qui n'auraient pas de solution de dépôts de confiance de leurs données, un entrepôt pluridisciplinaire.



Isabelle Piot-Lepetit, témoigne et souligne cependant la nécessité d'une gouvernance claire pour le recueil des données auprès des acteurs : *« Dans le cadre d'une thèse sur les biens communs, le doctorant a essayé de faire une plateforme ouverte sur des semences paysannes. Les agriculteurs ont refusé de coopérer, car ils préfèrent des structures fermées qui utilisent leurs données pour des besoins en interne et bien définis avec des contreparties en échange. Pour développer des structures ouvertes et mutualiser les informations, il faut avoir confiance dans la gouvernance. Des règles de gestion des informations doivent être notamment mises en place afin que les participants ne se sentent pas dépouillés et qu'ils restent acteurs du système »*.
La question est souvent aussi liée au vocabulaire numérique qui utilise un lexique particulier. Des travaux de recherche sont en cours, comme celui du groupe de travail de la Research Data Alliance (RDA) AgriSemantic pour créer une « langue commune » afin d'améliorer l'échange et le partage des données agricoles. Il étudie pour cela les vocabulaires utilisés et leurs liens sémantiques[6]. Au-delà de la qualité du recueil et leur stockage, l'enjeu est aussi de rapprocher des données de sources et de natures diverses. Pour cela, des référentiels communs s'imposent. L'association Agro EDI Europe[7], dont INRAE est adhérent, a pour mission d'harmoniser les échanges de données numériques entre les acteurs du monde agricole. Si les standards établis au sein de l'association pour la supply chain agricole (factures, commandes, etc.) représentent aujourd'hui 99 % des échanges, de nombreux standards restent encore à déployer, notamment pour les données parcellaires (sur les événements comme les semis, traitements, etc.).
« Un standard, c'est un peu comme la structure grammaticale d'une phrase. Notre rôle est de structurer et documenter l'utilisation des données à partir de standards internationaux et en prenant en compte les besoins de nos adhérents. Pour le standard « facture d'approvisionnement », par exemple, nous reprenons la norme internationale (EDIFACT INVOIC) pour laquelle les spécificités du monde agricole sont documentées. Parallèlement à cela, nous avons créé et maintenons des référentiels de données techniques harmonisées qui donnent un code à chacun des mots de la phrase. Nous éditons en quelque sorte un dictionnaire commun pour tout le secteur afin que tous parlent la même langue », explique Marie Beuret, responsable projets et communication chez Agro EDI Europe.

4. Colavizza G. et Al, 2020 bit.ly/3T8ZAH6

5. recherche.data.gouv.fr/fr

6. Aubin et al., 2017.

7. Agro EDI Europe a été créée en 1992, par la Coopération Agricole, l'Union InVivo et l'Association nationale de révision. Elle travaille sur la normalisation et la standardisation des messages, et des échanges pour assurer l'interopérabilité des systèmes dans le secteur agricole.

Privilégier une gestion sur-mesure et humaine

« Nous avons voulu savoir comment la nouvelle génération envisageait la place du numérique en agriculture », explique Xavier Reboud. Pour cela le groupement d'intérêt scientifique Relance Agronomique a lancé un concours de BD dans les écoles d'ingénieurs et lycées agricoles « Demain l'@griculture ». Les 57 œuvres réalisées en 2018 exprimaient, entre autres, la crainte d'un numérique utilisé à l'excès, qui s'interpose entre l'homme et ses animaux ou la terre. Un numérique qui standardise, voire aliène au détriment d'une gestion sur-mesure et humaine.
De quoi parle-t-on ? Prenons l'exemple d'un élevage de porcs. Difficile pour l'éleveur de détecter à l'œil nu si un animal a de la fièvre. Avec des capteurs infrarouges surveillant l'animal, il devient possible d'obtenir la température en direct, et même d'être alerté quand elle entre dans le rouge. Le numérique est alors d'une précieuse aide. Mais le système peut aller plus loin et procurer automatiquement au cochon, identifié grâce à son numéro, un traitement dans son auge. Plutôt que d'alerter l'éleveur qui va chercher la cause et traiter l'animal, le système prend en charge automatiquement le traitement de l'individu. L'éleveur est alors remplacé par la machine. Cela peut avoir un effet pervers : l'éleveur peut alors déléguer son expertise à la machine et devenir un simple technicien, tributaire d'une machine et de son bon fonctionnement. Ainsi, au lieu d'être « augmenté » car informé d'une donnée initialement difficile d'accès, la technologie le diminuerait dans son expertise. Les sociologues anglo-saxons appellent cela le deskilling.
Le numérique en agriculture s'est fait connaître via l'agriculture de précision. Pilotées par les OAD selon des modèles, les actions se réduisaient à des zones ou individus précis « à traiter » dans une seule logique économique. Pour Véronique Bellon-Maurel, il faut sortir de ce paradigme : *« Nous ne devons pas nous arrêter à utiliser ces technologies uniquement pour gérer les hétérogénéités et améliorer la performance économique. Le numérique aujourd'hui est à la fois plus simple à mettre en œuvre qu'hier et va au-delà de la parcelle. Notre objectif est de construire un numérique qui intègre ces questions de diversité et d'autonomie des agriculteurs »*.

12 %
part du numérique dans la consommation d'électricité en France en 2019

Prendre en compte les coûts environnementaux

La part du numérique dans la consommation globale d'électricité en France a été évaluée en 2019 par le Conseil général de l'économie, l'industrie, de l'énergie et des technologies à environ 12 %[8]. La question de l'impact environnemental se pose pour le numérique en agriculture comme partout. Le livre blanc *Agriculture et numérique*[9] insiste ainsi sur la nécessité de réduire les dépenses énergétiques, la consommation des autres ressources (renouvelables ou non renouvelables) et les pollutions engendrées par l'usage des technologies. Le développement de solutions numériques doit ainsi être pensé en termes de coûts, que ce soit de matériel (composants utilisés, taille, →

8. bit.ly/3Twa96C

9. url.inrae.fr/3HBktEe

nombre, notamment pour les capteurs et la robotique), de données produites (nature, nombre, stockage) ou de puissance de calcul nécessaire pour que le but soit toujours d'économiser les ressources naturelles (eau, minéraux) et l'énergie. Selon Nathalie Mitton, *« nous sommes pour l'instant incapables d'évaluer ces coûts globaux consolidés en termes d'énergie, de matière ou de pollution. Par exemple, les capteurs déployés dans les champs pour mesurer le taux d'humidité dans la terre et cibler les parcelles à arroser permettent une économie d'eau significative. Mais combien faut-il d'eau pour extraire les métaux précieux, les terres rares nécessaires à la fabrication de ce capteur? Leur recyclage requiert également de l'eau et de l'électricité. Finalement est-on vraiment gagnant sur l'ensemble de la chaîne? »*.

Les méthodes d'analyse du cycle de vie (ACV) développées par le pôle INRAE ELSA à Montpellier et les bases de données de la plateforme MEANS permettent de déterminer l'impact environnemental de la fabrication d'un produit sur toute sa « vie » (des matières utilisées, à l'énergie consommée en intégrant la logistique et jusqu'à sa destruction/son recyclage). INRAE et ses partenaires mènent conjointement des études en sciences sociales et en économie sur les coûts environnementaux engendrés par le développement du numérique en agroalimentaire. Les axes majeurs retenus dans le livre blanc se concentrent sur la limitation du nombre de capteurs, le choix des solutions les moins énergivores, l'objectif d'équipements à longue durée de vie et le soutien à la High Low Tech.

Mettre la frugalité en priorité

La High Low Tech initiée par le *Massachusetts Institute of Technology – MIT* désigne des solutions intégrant high tech (modules électroniques, informatiques) à des constructions low tech. Elle utilise des technologies simples, peu onéreuses, accessibles à tous et facilement réparables, avec des moyens courants, localement disponibles et du recyclage. La High Low Tech est souvent développée par les utilisateurs de façon collective dans des FabLabs[10].

Dans le cadre des réflexions sur la sobriété, la blockchain (voir page 14) interroge sur son coût énergétique, d'autant plus important que le réseau est ouvert au public. Plusieurs études relatées par le site EcoInfo du CNRS aboutissent à l'estimation d'une consommation électrique mondiale en 2019 comparables à celles de pays comme l'Autriche, la Belgique ou le Danemark. Cependant des solutions pour un impact inférieur sont en cours d'élaboration ; ainsi, le projet Enthereum réunissant des acteurs et utilisateurs de cryptomonnaie annonçait en septembre 2022 la production d'une blockchain beaucoup plus frugale. Les coopératives et les chambres d'agriculture, elles aussi, montent au créneau. Notamment en s'assurant que les innovations numériques répondent précisément aux besoins de leurs adhérents. Quitte à recadrer les acteurs de l'AgTech qui, par souci de rentabilité, seraient tentés de proposer des options séduisantes certes, mais coûteuses, inutiles voire mauvaises pour l'environnement. Une précaution d'autant plus nécessaire que les travaux de thèse d'Éléonore Schnebelin[11] montrent que si certains acteurs de l'AgTech s'efforcent de prendre en compte l'impact environnemental lié au développement et à l'usage de leurs solutions digitales, d'autres n'en ont pas conscience ou n'en font pas grand cas.

Afin de répondre à ces préoccupations majeures et pour que le numérique serve l'agroécologique, quelques principes ont été définis par les équipes d'Inria et d'INRAE pour la recherche et le développement des technologies et pratiques : l'inclusion des parties prenantes dans l'ensemble du processus d'innovation, l'anticipation des risques, la réactivité vis-à-vis des transformations extérieures et la réflexivité sur les actions entreprises. Ces quatre principes permettent de maximiser les bénéfices et l'appropriation, tout en limitant les risques inhérents à toute innovation. Comment la recherche et l'innovation en France s'organisent-elles pour les appliquer ? ●

Le développement de solutions numériques doit aussi être pensé en termes de coûts.

10. Atelier ouvert à tous pour fabriquer des objets au moyen d'ordinateurs.

11. Le développement du numérique dans les trajectoires d'écologisation de l'agriculture en France. Thèse INRAE soutenue en juillet 2022.

LE DÉFI DU DÉPLOIEMENT À GRANDE ÉCHELLE

Le moment est décisif ! La massification des données, la puissance de l'intelligence artificielle, l'intérêt des investisseurs convergent pour un déploiement à grande échelle du numérique en agriculture. Comment s'assurer qu'il se fasse au profit de systèmes agricoles et alimentaires durables ?

Action.

Avec des technologies matures, rentabilisées dans d'autres secteurs, le champ des possibles s'est fortement agrandi. Engagé dans la voie de l'agroécologie, INRAE s'est associé à Inria afin de s'assurer que les priorités de recherches servent cet objectif de rupture. Mais au-delà des progrès technologiques, l'enjeu est également organisationnel, économique, social, voire politique. L'heure est à l'interdisciplinarité, où les solutions technologiques sont aussi analysées du point de vue des sciences humaines et sociales. Elle est à la collaboration tout au long d'un processus d'innovation devenu plus itératif pour permettre une adaptation aux évolutions continues des environnements. C'est pourquoi, encouragés par les pouvoirs publics, la recherche, les acteurs du développement et les acteurs socioéconomiques changent de méthode et s'ouvrent aux futurs utilisateurs pour développer des solutions co-construites et adaptables.

Pensées ensemble, elles répondent mieux aux besoins et sont d'appropriation plus facile. Reste alors à s'assurer de la transmission de ces nouveaux savoirs et nouvelles pratiques grâce à une formation à tous les âges.

Adapter les technologies numériques aux spécificités de l'agriculture

L'enjeu est de taille : coupler transition agroécologique et transition numérique ! Pour relever ce défi, INRAE et Inria renforcent leur collaboration. Partenaires sur de grands programmes, dont le récent Programme et équipements prioritaires de recherche (PEPR) « Agroécologie et numérique » soutenu dans le cadre de France 2030 ou encore #DigitAg, les deux instituts ont déjà réalisé ensemble plus de 400 publications scientifiques et de nombreux développements (logiciels, applications...). Téléchargée par une vingtaine de millions de personnes, l'application Pl@ntnet qui permet la reconnaissance de plantes à partir d'une photo prise avec son smartphone est un de leurs bébés. En juin 2022, un nouveau cadre partenarial pluriannuel confirmait cette ambition partagée entre INRAE et l'Inria et insistait sur l'intensification nécessaire des collaborations dans les domaines →

ENSEMBLE

Des expérimentations pour tous

Une équipe de chercheurs de huit pays (Argentine, Australie, Canada, Chine, États-Unis, Malaisie, Maroc, Royaume-Uni), avec INRAE et l'institut #DigitAg pour la France, a identifié six principes pour des expérimentations « nouvelle génération », appelées On-Farm Experimentation (OFE)[1] par les chercheurs :

→ CONDITIONS RÉELLES
Les expérimentations sont conduites sur des exploitations, et s'insèrent dans l'itinéraire technique.

→ CENTRÉES AGRICULTEUR
Elles sont centrées sur les questions de l'agriculteur et co-dirigées, au minimum, par l'agriculteur et les scientifiques.

→ BASÉES SUR LES DONNÉES
Elles sont fondées sur l'analyse de données de terrain et, en ce sens, facilitées (mais pas conditionnées) par les technologies numériques.

→ COAPPRENTISSAGE
Elles sont focalisées sur l'échange entre les participants qui, à travers l'élaboration des expérimentations, partagent leurs visions et expériences, apprennent ainsi les uns des autres, et développent de nouvelles idées ensemble.

→ APPORT D'EXPERTISES
Elles facilitent les apports externes, permettant la prise en main de nouveaux outils et la considération de points de vue variés.

→ DESTINÉES AU CHANGEMENT D'ÉCHELLE
Elles sont menées dans un objectif de généricité des connaissances.

1. ofe2021.com/

de la biologie numérique, des bâtiments connectés, du bien-être animal, de la réduction de la pénibilité, de la robotique, des capteurs et de l'optimisation de réseaux pour disposer de données, des OAD et de l'autonomisation des agriculteurs face à ces outils. Avec aussi la volonté de développer des outils participatifs qui leur soient utiles.
Et la tâche est parfois immense quand il faut imaginer les outils pour intégrer toute la complexité des systèmes concernés comme les jumeaux numériques (voir page 17). Ce sont des représentations numériques qui permettent à la fois de prédire l'évolution des systèmes mais aussi de les gérer. Ils pourraient permettre de faciliter et accélérer l'expérimentation, en proposant une réplique numérique la plus proche possible du système d'intérêt. Ils permettent ainsi de tester des pratiques ou des systèmes nouveaux dans différentes configurations, et d'anticiper les conditions de réalisation et d'efficacité de ces innovations dès la phase de conception. Ils alimentent des processus d'apprentissage impossibles à conduire dans le temps d'une vie. Mais comment développer des jumeaux numériques pour les activités agricoles, impliquant de multiples acteurs et soumises à des aléas ? Comment évaluer leurs potentiels dans les exploitations agricoles pour accompagner la transition agroécologique ? Ce sont des défis de taille.

Le numérique fait passer l'expérimentation à une nouvelle ère, en associant agriculteurs et chercheurs et en permettant le partage des expérimentations, leur évaluation et la capitalisation des savoirs.

Innover collectivement : sciences participatives et partenariats avec les filières
Les sciences participatives invitent l'ensemble de la société à participer à la recherche et à co-construire les innovations. Avec des applications permettant le recueil de données provenant de multiples sources, le « crowdsourcing » décuple le potentiel de recherche. Ainsi, le projet GEroNIMO collecte les données des industries porcines et avicoles en complément des données de la recherche. L'objectif est de fournir aux éleveurs de nouvelles connaissances et de nouveaux outils pour promouvoir des méthodes innovantes, pour une sélection des espèces plus adaptée aux besoins locaux tout en prenant en compte les problématiques environnementales.
Le projet LACCAVE a impliqué, durant 10 ans, la totalité des acteurs de la viticulture, pour communiquer sur les conséquences du changement climatique, construire et évaluer différentes stratégies d'adaptation. Grâce notamment à des modèles alimentés par les données fournies par l'ensemble de la filière, des solutions partagées ont pu émerger au niveau territorial et au niveau national (renouvellement des cépages, pratiques de taille ou de greffe, etc.), aboutissant en août 2021 à la présentation au ministre en charge de l'agriculture d'une feuille de route de la filière pour son adaptation au changement climatique.
Mais passer de l'agriculture conventionnelle à l'agroécologie demande une prise de risque trop grande pour nombre d'agriculteurs. Comment faciliter la transition à grande échelle ?

Des expérimentations et des données pour nourrir la recherche
L'expérimentation au cœur du processus de recherche se réalise depuis des siècles dans des fermes dédiées. INRAE est animateur scientifique de nombreux réseaux d'exploitations qui s'engagent dans de nouvelles pratiques avec de nouveaux outils. Le numérique fait passer ces pratiques à une nouvelle ère, en associant agriculteurs et chercheurs tout au long du processus et en proposant partage des expérimentations, évaluation et capitalisation des savoirs.

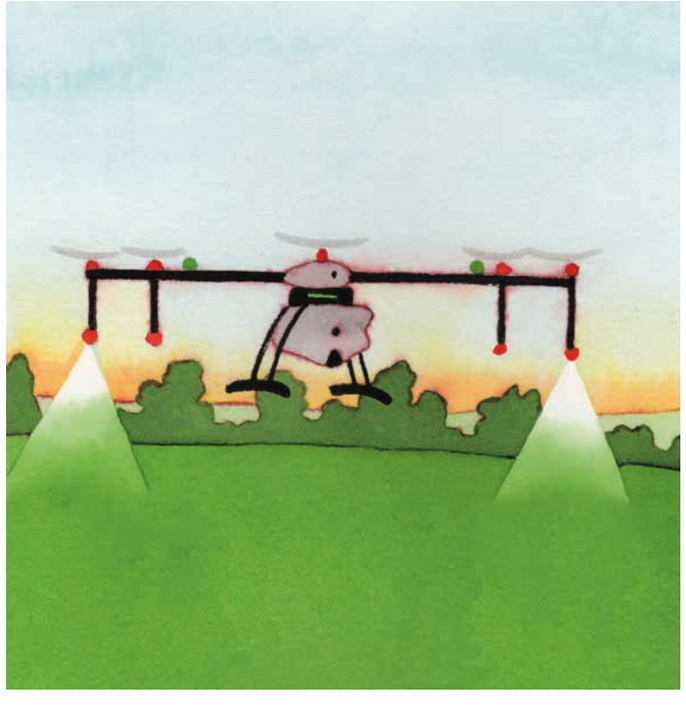
MARCHÉ DES AGRO-ÉQUIPEMENTS

8 milliards d'euros
en 2021

18 milliards d'euros
en 2025

C'est également le principe des Digifermes®[1], portés principalement par les instituts techniques agricoles et les chambres d'agriculture. Chaque ferme est appuyée par une structure de recherche, développement et innovation, pour mener des évaluations objectives et rigoureuses des nouveautés technologiques. Ouvertes aux entreprises du numérique, start-up, organismes agricoles et à tous ceux qui veulent faire avancer l'agriculture, l'objectif des Digifermes® est de promouvoir une agriculture numérique qui réponde aux besoins des agriculteurs, en menant deux types d'actions, l'évaluation en conditions réelles de nouvelles technologies et de prototypes et la co-conception et la co-construction avec les utilisateurs d'innovations numériques.
Ce mouvement On Farm Experimentation(OFE) rassemble au moins 30 000 exploitations dans le monde. En France, le réseau des 3 000 fermes DEPHY du plan Ecophyto, engagées dans la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, et celui des fermes d'élevage suivies par les Instituts techniques et les chambres d'agri- →

1. digifermes.com



© Occitanum

culture pour des systèmes durables, en sont des exemples. Concrètement, les initiatives OFE suivent un processus où, étape après étape, l'agriculteur et le chercheur définissent ensemble les questions à aborder et établissent des expérimentations adaptées au contexte de la ferme.
Désormais, les chercheurs emploient les données collectées par l'agriculteur dans la conduite de son exploitation pour nourrir des modèles et élaborer des scénarios destinés à mesurer l'impact d'actions ciblées. La valeur ajoutée est considérable, mais la mise en œuvre de ces pratiques n'est pas si facile. Les OFE impliquent une relation de confiance forte entre les acteurs, notamment pour garantir la protection et le partage équitable des données, qui peuvent être sensibles et représenter un enjeu économique. En octobre

La formation est au cœur des préoccupations nationales.

↑ Partage d'expérience autour d'une plantation de tomates.

2021, la conférence OFE2021 organisée en France a réuni 170 participants issus de 36 pays qui ont échangé sur ces questions, et insisté sur l'importance de sensibiliser les porteurs de politiques publiques aux atouts de ces initiatives pour la transition agroécologique.
L'État français a créé en 2019 le dispositif des Territoires d'innovation. Ces programmes, financés dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir (PIA3) encouragent l'innovation ouverte à l'échelle des territoires pour faire émerger des modèles de développement durable.
Le Territoire d'innovation Occitanum, porté par INRAE avec la Région Occitanie, rassemble entreprises, start-up, collectivités, chambres d'agriculture, pôles de compétitivité et autres acteurs du développement, autour des agriculteurs et des consommateurs. L'objectif : développer des projets numériques innovants en réponse à des besoins précis exprimés par les acteurs : comment l'abeille pourrait-elle être employée pour servir d'indicateur de la biodiversité sur un territoire urbanisé ; comment numériser Biodiv'eau (un outil de recensement des infrastructures agroécologiques, actuellement sur support papier peu adapté à un usage terrain) ; quelles alternatives

au glyphosate pour le désherbage des vergers de pommiers ?
Pour répondre à ces questions, les partenaires d'Occitanum observent les pratiques existantes, s'appuient sur des appels à manifestation d'intérêt, animent le dialogue entre acteurs et accompagnent les expérimentations pour identifier la meilleure option numérique. Celle-ci sera alors évaluée pour mesurer son impact environnemental ainsi que le rapport coût-bénéfice associé (sans occulter l'aspect social) et s'assurer de sa triple performance. Documentée, l'expérimentation et la solution seront réplicables et transférables pour une diffusion à grande échelle.

Capitaliser les savoirs et former
Une fois les données produites et les connaissances acquises, l'innovation doit être transmise aux acteurs de la filière. La formation est essentielle et, bonne nouvelle, elle est au centre des préoccupations nationales. Ainsi, dans le cadre du plan « Enseigner à produire autrement » lancé en 2014, les élèves de CAP, Bac Pro et BTS de l'enseignement agricole sont désormais sensibilisés aux enjeux de la transition agroécologique. Preuve de cet engagement, la feuille de route du gouvernement pour développer le numérique dans l'agriculture française, détaillée en février dernier, place la « formation au numérique dans l'enseignement et le conseil agricole » en tête des 7 axes de travail. Précurseure dans ce domaine, la spécialisation AgroTIC des écoles Bordeaux Sciences Agro et Institut Agro Montpellier, forme depuis 25 ans les futurs ingénieurs agronomes aux technologies du numérique. Centrale Toulouse Institut-Ensat (anciennement Toulouse INP-Ensat) développe à son tour une formation spécifique pour doter les ingénieurs d'une double compétence en numérique et agroécologie. Citons AgroParisTech, qui propose un master 2 : « De l'agronomie à l'agroécologie (AAE) » et qui aborde cet enjeu dans la plupart des formations. Ces écoles sont membres de l'alliance Agreenium, qui réunit la plupart des établissements publics d'enseignement supérieur et organismes de recherche placés sous tutelle du ministre chargé de l'Agriculture, dont INRAE. L'institut Convergences #DigitAg porté par INRAE associe de multiples acteurs de la recherche et de l'enseignement, dont l'Université de Montpellier dans →

INNOVATION

Un laboratoire à ciel ouvert

**Les Français s'expriment majoritairement pour une amélioration des conditions de vie en élevage.
C'est dans ce but qu'a été créé le laboratoire d'innovation territorial Ouest Territoires d'Élevage (LIT Ouesterel).**

Cofondé par INRAE, Terrena et Triskalia, il crée un lien entre la recherche et les porteurs d'enjeux (éleveurs, industrie, association de consommateurs, citoyens…) qui coconstruisent, testent et objectivent des innovations destinées à l'amélioration du bien-être animal.

Ainsi, le projet WAIT4, qui sera lancé en janvier 2023, va tester durant 5 ans des dispositifs d'acquisition automatique de données sur les animaux et l'environnement d'élevage.

L'objectif : développer des indicateurs d'évaluation, notamment en réponse à des pratiques d'élevage innovantes, de changement de l'alimentation, ou d'adaptation au changement climatique. Impliqué dans ce projet, le LIT Ouesterel, dans une démarche de science ouverte et participative, va assurer le transfert des résultats aux parties prenantes et recueillir leurs conseils, critiques et suggestions, afin d'orienter les recherches.

AGRICULTURE ET NUMÉRIQUE

Un livre blanc pour montrer la voie

Accordés sur l'objectif commun de « tirer le meilleur parti du numérique et contribuer à la transition vers des agricultures et des systèmes alimentaires durables », Inrae et Inria ont précisé dans un livre blanc [1] leurs priorités de recherche, à savoir :
→ Fournir des outils numériques pour la gestion collective à l'échelle des territoires.
→ Aider les agriculteurs dans la conduite individuelle des itinéraires techniques.
→ Transformer les relations entre acteurs dans les filières.
→ Créer et partager des données et des connaissances.
url.inrae.fr/3HBktEe

FRANCE 2030

Conjuguer agroécologie et numérique

Les projets de recherche et infrastructures soutenus dans le cadre du Programme et équipements prioritaires de recherche (PEPR) Agroécologie et numérique répondront à quatre axes priorisés :

→ STRUCTURER
un socio-écosystème favorable à la recherche et à l'innovation responsable.

→ CARACTÉRISER
les ressources génétiques pour évaluer leur potentiel pour l'agroécologie.

→ CONCEVOIR
les nouvelles générations d'agroéquipements.

→ DÉVELOPPER
les outils et méthodes numériques pour l'analyse des données en agriculture, pour les agroéquipements et pour l'aide à la décision.

Ainsi, le PEPR a pour premier objectif de renforcer, par la production de connaissances, l'arsenal des outils destinés à la production et à l'exploitation des données numériques. Par exemple, pour caractériser plus rapidement et efficacement les ressources génétiques animales et végétales ou pour alimenter des modèles d'évaluation de l'impact des pratiques agroécologiques. Il s'agit aussi de construire avec les acteurs des filières de nouvelles générations d'agroéquipements numériques destinés à simplifier certaines tâches agricoles (outils robotiques, OAD…) et améliorer la santé et le bien-être animal (bâtiments connectés, capteurs…). Un dernier objectif est de mesurer l'impact de ces innovations numériques sur l'environnement et sur les agriculteurs, tout en étudiant la place des politiques publiques dans ces changements de pratiques, et leur rôle dans l'accompagnement des acteurs qui les mettent en œuvre.

un objectif pédagogique avec plus de 500 chercheurs et une centaine de thèses en cours. Enfin, les chambres d'agriculture, les opérateurs de compétences ou les instituts techniques proposent également des formations au numérique pour les agriculteurs.

Une mobilisation de tous favorisée par les pouvoirs publics

Sur des enjeux aussi importants que ceux soulevés par l'alimentation durable, toute la société doit être mobilisée. Cette ambition du bien commun a fait bouger les frontières entre public et privé. De nouvelles interactions et de nouvelles dynamiques apparaissent. La transition nécessite de grosses infrastructures et des investissements conséquents. Avec le modèle agroécologique qui requiert une gestion au niveau du territoire, les collectivités montent en puissance. Engagé sur ce terrain, l'État a renforcé ses investissements en 2021 avec 1 milliard d'euros pour les start-up Foodtech ou Agtech[2]. Son ambition ? Remonter de la huitième à la troisième place dans la compétition mondiale, en s'appuyant et soutenant l'expertise nationale reconnue sur toute la chaîne alimentaire. Les investissements mondiaux dans la FoodTech et l'AgTech ont presque doublé en 2021. Pour arriver sur le podium, la France a en 2021 mis 200 millions d'euros sur la table en soutien aux start-up et poursuit son accompagnement, notamment dans le cadre du plan d'investissement France 2030[3]. En consacrant 2 milliards d'euros à l'objectif « pour une alimentation saine, durable et traçable » de ce plan, elle entend accélérer l'émergence de champions et de filières fortes dans ce domaine et accélérer la transition attendue. Pour cela, le plan s'appuie sur de nouveaux dispositifs de recherche et innovation associant public et privé, notamment les Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) et les Grands défis. Parmi ceux-ci, deux s'emparent des questions numériques en lien avec l'agriculture.

Un programme national pour une agriculture sobre et attractive

Doté d'un budget de 65 millions d'euros pour 8 ans, ce PEPR, copiloté par INRAE et Inria, vise à fédérer les recherches de toutes disciplines à l'interface entre les deux trajectoires du numérique et de l'agroécologie, en associant les partenaires socioéconomiques. L'objectif est d'orienter le développement du numérique pour servir l'agroécologie. Pour cela, il ambitionne d'identifier les développements spécifiques nécessaires et d'analyser leurs impacts, afin de favoriser la sobriété d'une part, et de renouveler l'attractivité du secteur agricole d'autre part.

© Christophe Maître/INRAE

↑ Grâce aux capteurs embarqués sur son tracteur, cet agriculteur peut automatiser le binage de ces parcelles.

Robotique, un grand défi pour des solutions adaptées

Précurseure avec les robots de traite en 1992, la France a perdu du terrain dans le domaine des agroéquipements. Notre pays entend bien retrouver une belle place sur un marché de 8 milliards[4] d'euros en 2021 et estimé à 18 milliards dès 2025. Le Grand défi Robotique validé en juillet 2022 en cohérence avec le PEPR Agroécologie et numérique y contribue. Co-piloté par l'association RobAgri et INRAE, il réunit chercheurs, industriels, pôles de compétitivité et fédérations agricoles pour structurer une filière nationale émergente, prometteuse, sur les solutions robotiques en réponse aux besoins de l'agroécologie et en accélérer la diffusion et le développement. Leurs axes prioritaires ? Concevoir de nouvelles pratiques, développer de nouvelles technologies, des outils avec des référentiels partagés et en faciliter l'appropriation. Il s'appuiera sur l'AgroTechno-Pôle situé à Montoldre (03) où ces différents acteurs apprendront à dialoguer et expérimenteront afin de lever les verrous persistants et proposer une vision partagée du nouveau visage de l'agriculture. ●

2. url.inrae.fr/3SXVqAV
3. bit.ly/3EMAmK3
4. Source FIRA2021

Engagée sur le terrain de l'agroécologie et du numérique, la France vise la 3e place sur le podium des investissements pour ses start-up.

Éditeur
Institut national
de la recherche
pour l'agriculture, l'alimentation
et l'environnement
147, rue de l'Université,
75338 Paris cedex 07
INRAE

Directeur de publication
Philippe Mauguin, PDG d'INRAE

Direction éditoriale
Comité éditorial *Ressources*

Rédactrice en chef
Aliette Maillard

Remerciements à
toutes les personnes citées
dans ce dossier pour leur
contribution

Pilotes scientifiques
Véronique Bellon-Maurel
Xavier Reboud
Thierry Caquet
Christian Huyghe

Rédactrices
Sophie Nicaud
Aliette Maillard

Secrétariat de rédaction
Élodie Ruhr

Secrétariat de rédaction
et design graphique
Atelier Marge Design

Illustrations
André Derainne

Impression
Biprint
(78920 Ecquevilly)

Ressources #3 en librairie le 12 janvier 2023.
Pour plus d'informations sur la revue
www.inrae.fr/ressources

INRAE
SIMA
PARIS
160
ANS