

L'agriculture numérique, opportunités et perspectives en grandes cultures

Diplômée de Bordeaux Sciences Agro, Delphine Bouttet est ingénieure et exerce depuis plus de vingt ans au sein de l'Institut de recherche appliquée en grandes cultures, Arvalis-Institut du végétal. Elle est aujourd'hui responsable de la ferme de Boigneville, l'une des premières « Digifermes® » de France où sont étudiées de nombreuses technologies numériques et robotiques pour l'agriculture.

La Digiferme® de Boigneville est une ferme expérimentale de 150 hectares située dans le sud de l'Essonne et rattachée à Arvalis-Institut du Végétal¹. Cette ferme dédiée aux grandes cultures est certifiée Haute Valeur Environnementale niveau 3 (niveau le plus élevé) et pour une partie en Agriculture Biologique. On y cultive du blé tendre et améliorant, de l'orge brassicole, du maïs, du sorgho, du colza, du tournesol, des betteraves, des lentilles, des féveroles et des pommes

1. Arvalis-Institut de Végétal est un institut technique agricole français réalisant de la recherche appliquée en grandes cultures. www.action-arvalis.fr

de terre. Les dispositifs terrain mis en place sur cette ferme permettent d'étudier les nouvelles technologies du numérique appliquées à l'agriculture.²

L'agriculture numérique (**Figure 1**) est un concept apparu dans les années 2000 avec les premières utilisations de cartes satellitaires. À l'origine, le terme le plus utilisé était l'agriculture de précision, agriculture rendue possible grâce à l'ouverture du système GPS à l'usage civil dans les années 1990.

2. Ces fermes expérimentales sont souvent appelées Digifermes®. <https://digifermes.com>

« L'agriculture est dite "numérique" si elle utilise les technologies d'acquisition de données satellites, capteurs, objets connectés, smartphones...), de transfert et de stockage (couverture 3G/4G, réseaux bas débits terrestres ou satellitaires, clouds) » – Bellon-Maurel et Huyghe (2015) ; (INRA).

Aujourd'hui, dans le langage courant, l'agriculture numérique regroupe souvent toutes les innovations technologiques agricoles (Figure 1). Ce chapitre a pour objectif de présenter des illustrations concrètes avec le plus souvent, des exemples provenant de la Digifirme® de Boigneville.

1 Les Digifermes®

1.1. L'émergence des Digifermes®

On assiste aujourd'hui à un foisonnement de startups pour l'agriculture rassemblées dans l'AgTech³. Afin de répondre aux questions des agriculteurs sur l'intérêt des technologies proposées, Arvalis a initié le projet Digifermes® en

3. AgTech : réseau d'institutions et d'incubateurs à startups visant à promouvoir l'innovation et le numérique pour une agriculture performante, durable et citoyenne.



Dans le langage courant, l'agriculture numérique regroupe souvent toutes les innovations technologiques agricoles. Une définition officielle (Bellon-Maurel et Huyghe – INRA 2015) est la suivante : « L'agriculture est dite "numérique" si elle utilise les technologies d'acquisition de données [satellites, capteurs, objets connectés, smartphones...] de transfert et de stockage [couverture 3G/4G, réseaux bas débit terrestres ou satellitaires, clouds]. »

Figure 1

L'agriculture numérique.

partenariat avec d'autres instituts techniques : l'ACTA⁴, l'ITB⁵, TERRES INOVIA⁶ et l'IDELE⁷.

Le label Digifermes[®] regroupe aujourd'hui un réseau de quatorze fermes expérimentales partenaires (www.digifermes.com) (Figure 2 et Figure 3) qui ont pour objectif la mise au point, l'évaluation et le déploiement d'innovations numériques au service de tous les agriculteurs. Chaque ferme s'adosse à une structure de Recherche, Développement et Innovation, ce qui lui permet de s'appuyer sur une excellence méthodologique pour mener des évaluations objectives avec rigueur des nouveautés technologiques.

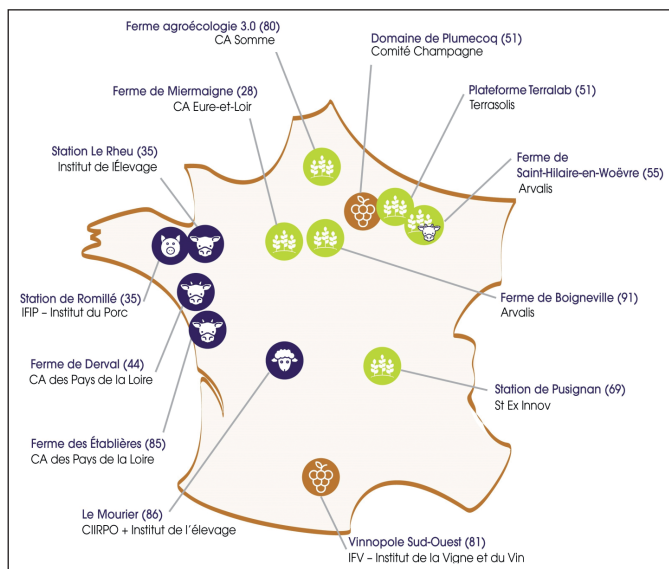


Figure 2

Réseau de quatorze Digifermes[®] (actuellement en France).

1.2. L'objectif des Digifermes[®] : améliorer la multi-performance

L'objectif des Digifermes[®] est d'évaluer, d'identifier, de coconstruire les nouvelles technologies. Il ne s'agit cependant pas de déployer au quotidien toutes les technologies disponibles et de créer des fermes gadgets ! Seules les technologies présentant un intérêt



Figure 3

Partenaires officiels à la tête du projet Digifermes[®].

4. ACTA : Association de Coordination Technique Agricole, structure nationale de coordination des instituts techniques agricoles et centre de recherche appliquée.

5. ITB : l'Institut Technique de la Betterave est un institut technique agricole français, spécialisé dans la culture de la betterave sucrière.

6. TERRES INOVIA : institut technique agricole français spécialisé dans les cultures d'oléagineux (colza, tournesol, soja) et protéagineux (pois, féverole).

7. IDELE : Institut technique français de l'élevage.

pour les agriculteurs et la multi-performance de leurs fermes sont testées sur les Digifermes[®]. En cela, les Digifermes[®] sont des laboratoires expérimentaux à ciel ouvert, qui permettent d'étudier en conditions agricoles la faisabilité et l'intérêt techniques de ces nouvelles technologies (Figure 4).



Figure 4

La Digifirme® : une ferme expérimentale dédiée aux nouvelles technologies du numérique.

Qu'est-ce que la multi-performance ?

- Elle est d'abord technico-économique. Les agriculteurs sont des chefs d'entreprise, ils recherchent le meilleur compromis entre les résultats techniques et les revenus qu'ils tirent de leurs productions. Plus précisément, cette performance concerne les prix. Les grandes cultures sont soumises aux cours mondiaux. La fluctuation des prix est énorme en agriculture conventionnelle ces dernières années, sans parler du coût des intrants⁸. Du fait du contexte mondial, les coûts des engrais sont en train de s'envoler. Les agriculteurs ont donc tout intérêt à développer une stratégie d'achat pour essayer d'avoir des intrants les moins chers possible puis à les utiliser de façon efficace.

Le changement climatique s'invite aussi dans le quotidien des agriculteurs avec des aléas climatiques de plus en plus fréquents et impactants. Les attentes du monde agricole sont fortes vis-à-vis des technologies du numérique pour essayer d'anticiper ces événements et de contribuer à la mise en place de stratégies d'adaptation performantes.

- Elle est environnementale. Les agriculteurs doivent répondre aux demandes sociétales, qui sont de plus en plus importantes vis-à-vis de l'utilisation des intrants, en particulier les pesticides avec des contradictions perceptibles

8. Intrants : produits apportés aux terres et aux cultures permettant de garantir un rendement et d'assurer une bonne qualité sanitaire et technologique (engrais, pesticides, etc.).

lors de visites de la ferme par le grand public. Le citoyen et le consommateur sont loin d'être toujours d'accord !

Depuis très longtemps, l'agriculture est un domaine très réglementé avec, ces dernières années, une accentuation du nombre de réglementations environnementales : notamment la Directive nitrates⁹, les réglementations liées aux produits phytosanitaires. Ces dernières ne sont pas toujours faciles à comprendre parce qu'elles peuvent différer pour un même produit, une même molécule. Donc, la majorité des agriculteurs, s'ils ne sont pas aidés avec des outils numériques, sont en incapacité de suivre correctement la réglementation qui, de plus, peut évoluer d'une année sur l'autre. Ce que nous allons voir par la suite va être très lié à l'agriculture conventionnelle puisque nous allons surtout nous focaliser sur la nécessité d'accompagner la chimie avec cette agriculture numérique. Mais il faut garder en mémoire que toutes ces innovations profitent à l'ensemble des agricultures.

1.3. Les axes de travail prioritaires

Pilotage tactique de la ferme

Parmi les quatre axes de travail prioritaires définis dans le cadre du réseau Digifermes® (Figure 5), le pilotage tactique (pilotage en cours de campagne) est l'axe le plus riche

9. Directive nitrates : directive européenne pour réduire la pollution des eaux par les nitrates et l'eutrophisation issus des activités agricoles.

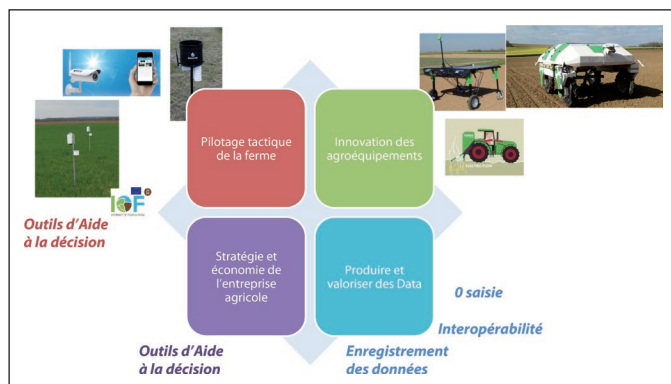


Figure 5

Les quatre axes de travail prioritaires du réseau Digifermes®.

en termes de solutions à tester : capteurs pour observer les cultures, capteurs météo, outils d'aide à la décision...

Innovation des agroéquipements

De nombreuses innovations au niveau des agroéquipements¹⁰ sont testées. Ce sont les robots qui suscitent le plus d'intérêt de la part de nos visiteurs. Avant que les robots n'arrivent en grandes cultures, ils seront avant tout développés sur des cultures à plus haute valeur ajoutée ; on les verra plus facilement en vigne ou en maraîchage pour compenser le manque de main-d'œuvre, réduire la pénibilité du travail, gagner en précision... Autre voie imaginable en grandes cultures, les tracteurs autonomes, mais la réglementation en vigueur actuellement ne nous permet pas de les tester.

10. Agroéquipements : machines agricoles (tracteurs, robots...) et matériels utilisés pour la production agricole.

Le désherbage électrique a été testé dans l'optique de réduire l'usage du glyphosate. Cette technologie alternative n'est pas si simple à mettre en œuvre et nécessite aujourd'hui beaucoup d'énergie.

Produire et valoriser des datas

Les datas correspondent ici à toutes les données numériques produites sur la ferme. Au niveau des Digifermes®, nous travaillons sur la valorisation de ces données. Une donnée seule n'a pas de valeur. En revanche, utilisées pour alimenter un modèle, elles créent une plus-value.

Au-delà de la maîtrise de ces données (enjeu majeur et préoccupation forte des représentants des agriculteurs), deux enjeux ressortent : le « zéro saisie » et l'interopérabilité.

Le « zéro saisie » permettrait à l'agriculteur d'enregistrer au champ l'ensemble de ses pratiques sans perdre de temps au bureau, données qui pourraient être prises en compte ensuite dans les modèles (grâce à de l'interopérabilité

entre les outils, les technologies). Pour l'instant, aucune des technologies testées en la matière sur la Digifirme® de Boigneville n'a été satisfaisante.

Des avancées dans ce domaine sont attendues et nécessaires. Par le passé, le système Isobus développé pour les agroéquipements a permis cette interopérabilité entre outils de marques différentes.

Stratégie et économie de l'entreprise agricole

Peu d'outils de pilotage stratégique existent aujourd'hui. Le pilotage stratégique permet à l'agriculteur de se projeter dans l'avenir. L'objectif est de rendre plus résilientes les fermes vis-à-vis du changement climatique, des à-coups économiques...

1.4. Le numérique au service de la prise de décision

Les nouvelles technologies du numérique contribuent à améliorer la prise de décision (Figure 6).

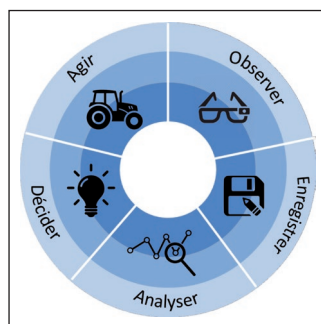


Figure 6

Le numérique au service de la prise de décisions.

Observer

Si les yeux sont des capteurs précieux, les satellites, les drones, le smartphone viennent compléter avec un gain substantiel de précision les méthodes d'observation.

Enregistrer

Le transfert des données est rendu possible grâce à de nouveaux protocoles de communication. Les réseaux bas débit permettent ainsi de transmettre des données météo pour un coût limité.

Analyser et décider

Les méthodes de calcul et les modèles ont beaucoup progressé ces dernières années. L'enjeu désormais est de rendre accessibles les sorties des modèles aux utilisateurs finaux. L'aspect marketing ne doit pas être négligé. Si l'interface du modèle n'est pas très conviviale et les indicateurs donnés difficilement interprétables, aucun agriculteur n'utilisera l'outil, aussi bon soit-il.

Agir

Il existe de nouvelles façons d'intervenir dans les champs, beaucoup plus précises. Un exemple bien connu est celui du GPS dans les voitures. La technologie RTK¹¹ qui équipe les tracteurs de la Digifirme® de Boigneville permet de revenir à 2 cm près au même endroit. Cette technologie permet de biner¹² sans difficulté

11. RTK (« Real Time Kinematic ») : cinématique en temps réel, une technique de positionnement par satellite permettant une très haute précision GPS.

12. Biner : contrôler les adventices par un passage d'outil mécanique (outils à socs).

un blé semé à 15 cm d'écartement. Cette opération participe à une gestion plus durable des adventices.

2 Le numérique au service de la prise de décision agricole

2.1. Des données météo fiables, en temps réel (instantanées et prévisionnelles), pour un coût modéré

Les données météo sont très importantes pour l'agriculture. Les conditions météorologiques conditionnent le développement des cultures et de leurs bioagresseurs, les interventions aux champs, etc. Avoir accès à des données météo fiables est donc un enjeu majeur, en particulier dans un contexte de changement climatique où les aléas sont plus fréquents (Figure 7).

En Île-de-France, environ 3 000 stations météo connectées ont été déployées ces dernières années. Ce sont des stations assez compactes, économes en énergie comme celles de la Figure 8.

Elles sont innovantes par :

- leur coût maîtrisé : aujourd'hui, on peut s'en acheter une pour 500-1 500 € avec un abonnement annuel de 50 à 100 € ;
- l'utilisation de réseaux bas débit, qui permettent l'utilisation de protocoles de transmission de l'information adaptés non pas à des images mais à des petits messages transmissibles sur de longues distances. Cela nécessite dix fois moins d'antennes que pour le téléphone cellulaire, si bien

qu'avec un millier d'antennes, la France entière est couverte ;

- leur capacité communautaire : l'intérêt de ces stations est aussi de permettre l'accès aux autres stations du secteur, si bien qu'elles forment entre elles des réseaux communautaires de stations météo où l'ensemble des données collectées est partagé.

Les informations de pluviométrie (jours avec et sans pluie, quantité tombée, lieu) sont des éléments indispensables pour déclencher une intervention dans les champs afin de les protéger du développement d'une maladie. Or, la pluie peut être très localisée sur un secteur donné : qu'il pleuve sur une parcelle x ne préjuge pas de la pluie tombée sur une parcelle y,

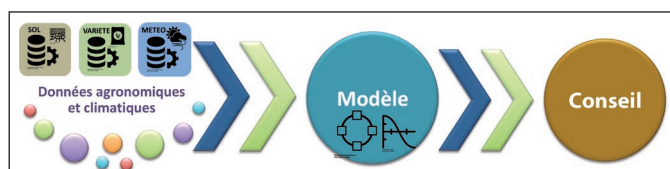


Figure 7

Les données agronomiques essentielles à la prise de décision.



Figure 8

Stations météo connectées.

même voisine de 5 km. La perspective offerte par ces réseaux de stations météo est d'obtenir des données spatialisées de plus en plus précises, c'est-à-dire d'obtenir des données météo en un point géographique non couvert par une station météo. De plus, les données météo prévisionnelles seront de plus en plus fiables : le gain de précision est d'un jour tous les dix ans.

2.2. Une surveillance des cultures toujours plus performante et facilitée

Le téléphone, un outil de reconnaissance

Des applications de reconnaissance d'adventices, de bioagresseurs, d'auxiliaires sur téléphone existent déjà (Figure 9) ou sont en cours de développement. Des progrès importants sont attendus dans les prochaines années.

L'amélioration des applications sur téléphone sollicite le « *Deep learning* »¹³, qui s'appuie sur des bases de données conséquentes et qui sont constamment enrichies. Pour exemple, une application permettant la reconnaissance d'adventices doit apprendre à reconnaître un coquelicot d'un ray-grass¹⁴ en se servant de très nombreuses



Figure 9

Agriculteur utilisant son téléphone sur le terrain.

photos de ces deux herbes. L'enrichissement de ces bases de données est en cours, tant au niveau national qu'international. La diversité des cultures et de leurs bioagresseurs¹⁵ (adventices, ravageurs et maladies) est telle que les agriculteurs et leurs techniciens ne sont pas en mesure de tous les connaître. Ce type d'application est alors primordial dans leur prise de décision.

Des pièges connectés en développement

Les pièges connectés sont un autre outil technologique à destination des agriculteurs. Plusieurs versions sont en cours de développement. Sur la Digifirme® de Boigneville, sont actuellement expérimentés des pièges connectés de la société De Sangosse (Figure 10). Ils sont destinés à améliorer le suivi de l'activité des limaces, majoritairement actives la nuit.

L'activité des pucerons et/ou des cicadelles est également suivie grâce à des pièges englués connectés (Figure 11).

Le développement de ces pièges est freiné par le manque de connexions adaptées à la transmission des images captées. En effet, les réseaux bas débit ne suffisent pas, il faut des procédures de transmissions de type GSM, qui sont plus coûteuses. Les technologies de ce genre devraient, pour cette raison, être plutôt utilisées par des techniciens dans le cadre de réseaux de surveillance.

13. « *Deep learning* » : apprentissage profond, type d'intelligence artificielle où la machine est capable d'apprendre par elle-même à partir de données, contrairement à la programmation où elle se contente d'exécuter à la lettre des règles prédéterminées.

14. Le ray-grass est l'une des adventices les plus répandues dans les cultures de céréales. Il est de plus en plus répandu et constitue une des principales causes d'insatisfaction chez les agriculteurs.

15. Bioagresseurs : aussi appelés « ennemis des cultures », sont des organismes vivants qui attaquent les plantes cultivées et sont susceptibles de causer des pertes économiques.

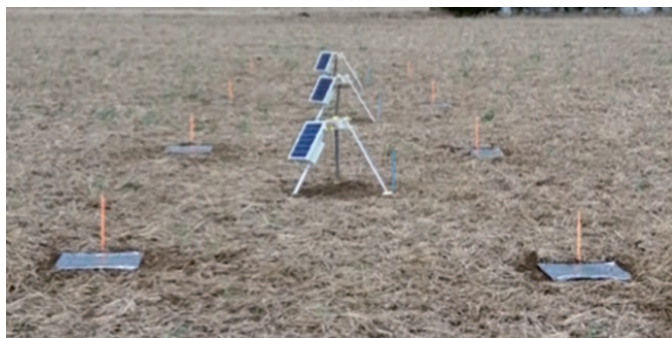


Figure 10

Piège connecté De Sangosse pour le suivi des limaces.

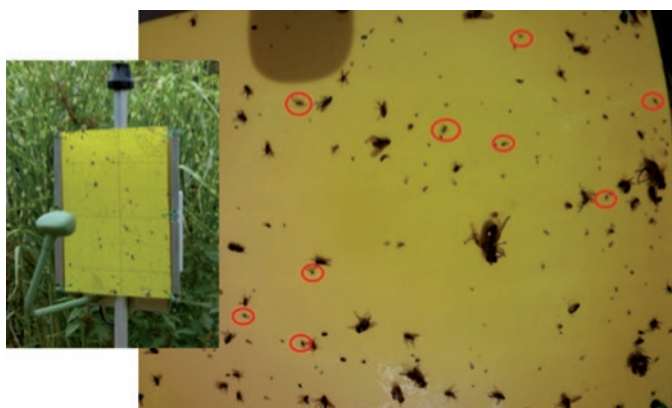


Figure 11

Piège Advancee pour le suivi de pucerons et cicadelles au champ.

Des réseaux d'observations agriculteurs

En complément des réseaux officiels d'observation des territoires permettant la rédaction hebdomadaire des Bulletins de Santé du Végétal, des réseaux d'observation agriculteurs se développent. Ils permettent de mutualiser des données d'observations et d'être par conséquent, plus réactifs en cas de problème sanitaire.

La surveillance du risque insectes en cours de stockage

La période pendant laquelle le grain est stocké dans les silos

est à risque par rapport aux insectes. Or, il serait dommageable que les efforts déployés au champ pour produire du grain de qualité et en quantité soient réduits à néant du fait d'un mauvais stockage et de la présence d'insectes dans les silos. De nouvelles perspectives en termes de surveillance des grains stockés s'offrent aux acteurs agricoles grâce au développement de capteurs connectés dans les silos permettant d'améliorer la surveillance des grains stockés (Figure 12). Identifier la présence d'insectes très précocement permet d'envisager



Figure 12

Silo contenant des capteurs.

des méthodes alternatives aux insecticides. Certaines filières interdisent en effet l'utilisation d'insecticides au stockage (Label rouge, CRC, bio...).

2.3. Une prise de décision facilitée et pertinente

En cours de campagne, les agriculteurs tentent d'intervenir dans leurs champs aux périodes les plus adéquates, soit au moment où les plantes en ont besoin, comme par exemple, pour les apports d'engrais azotés (essentiels à la nutrition des plantes). Ceux-ci sont gérables et pilotables de façon fine grâce à

l'outil FARMSTAR^{®16}, dont les conseils sur blé pour la campagne 2020-2021 pour la Digiferme[®] de Boigneville sont représentés sur la **Figure 13**. FARMSTAR[®] est un service proposé depuis dix ans dans le cadre d'un partenariat avec Airbus, Arvalis et TERRES INOVIA. Il utilise des images satellitaires qui fournissent des mesures indirectes de chlorophylle¹⁷ et de bio-

16. FARMSTAR[®] : outil de pilotage d'agriculture par télédétection qui permet de suivre l'évolution des champs, etc.

17. Chlorophylle : pigment vert des végétaux qui joue un rôle essentiel dans la photosynthèse.

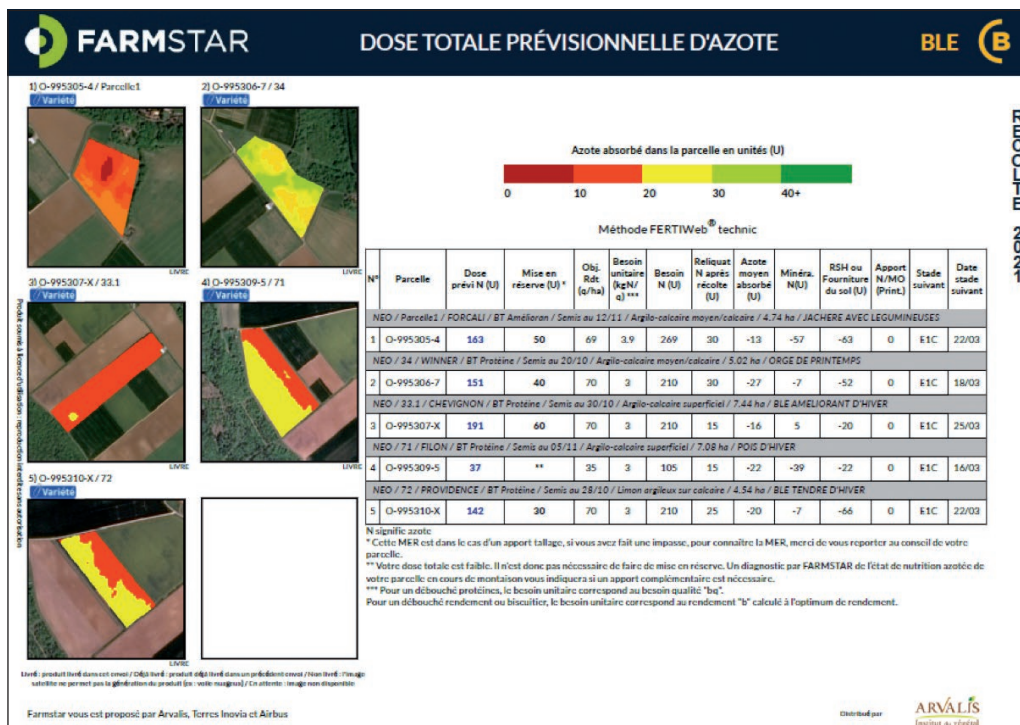


Figure 13

Sorties FARMSTAR[®] 2021 de la Digiferme[®] de Boigneville.

PARCELLES	PIÉTIN-VERSE	ROUILLE JAUNE	SEPTORIOSE		ROUILLE BRUNE	FUSARIOSE
			1 ^{er} traitement	Renouvellement		
P 31 – CHEVIGNON 28/10/2019	🕒	✅	📅 27 avril	🕒	✅	✅
P 33-1 – FORCALI 21/11/2019	🕒	✅	👁️ 30 avril	👁️	✅	🕒
P 33-2 – TENOR 12/11/2019	🕒	⚠️	👁️ 29 avril	🕒	✅	🕒
P-41-2 – RGT SACRAMENTO 25/10/2019	🕒	✅	⚠️ 22 avril	🕒	✅	🕒
P 61 – FILON 18/11/2019	🕒	👁️	👁️ 29 avril	🕒	✅	🕒
P 72 – TENOR 25/10/2019	🕒	⚠️	📅 24 avril	🕒	✅	🕒

Légende des risques agro-olimatiques

- ✅ Risque sur les 5 prochains jours : AUCUN. Aucune intervention nécessaire.
- 👁️ Risque sur les 5 prochains jours : MOYEN. Observation recommandée, consulter les seuils d'intervention.
- ⚠️ Risque sur les 5 prochains jours : FORT. Observation conseillée, consulter les seuils d'intervention.
- 📅 Période conseillée de traitement, observer les symptômes au champ avant d'intervenir.
- 🕒 Période conseillée de traitement dépassée.
- 🕒 Période de prévision non pertinente.
- ❌ Pas d'information.

Figure 14

Sorties TAMEO de la Digifirme® de Boigneville (du 05/04/2020).

TAMEO : outil de conseil à l'échelle de la parcelle pour piloter les cultures, intégrant la météo, le stade de culture, le risque d'apparition des maladies et repérant les meilleures périodes d'intervention pour protéger la culture.

masse¹⁸, et permettent d'aboutir à un diagnostic : « Est-ce que mon blé est correctement alimenté ? A-t-il besoin d'azote ou pas ? ». Les conseils produits par cet outil, sous forme de cartographie parcellaire, identifient les doses d'azote à apporter et, plus finement, les zones aux besoins en azote différents. Ce dernier point facilite la modulation¹⁹ de dose au sein d'une même parcelle, c'est-à-dire l'apport de quantités différentes selon les besoins réels des plantes. En moyenne, 600 000 hectares sont pilotés chaque année grâce à FARMSTAR®, ce qui en fait un outil d'aide à la décision

très utilisé. Les filières qualité et la réglementation (Directive nitrates) encouragent à l'utilisation de ce genre d'outils.

La surveillance des maladies sur les cultures est un enjeu important pour les agriculteurs. Des outils d'aide à la décision sont disponibles pour les accompagner dans cette surveillance et les aider à déclencher ou non une intervention au regard des informations transmises. La **Figure 14** montre l'interface d'un outil permettant de gérer au mieux les maladies du blé tendre. Cet outil prend en compte les niveaux de résistance aux maladies des variétés cultivées sur la ferme, les dates de semis réalisés et les conditions météorologiques (conditions qui vont conditionner le développement de la céréale et des maladies). Pour chaque parcelle, un risque par maladie

18. Ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale, source d'énergie.

19. Modulation : variation, adaptation, modification du processus selon certains critères.

est déterminé journallement. Sur l'exemple donné, c'est la septoriose²⁰ qui domine. Ce type d'outil permet des bénéfices économiques et environnementaux en évitant de traiter systématiquement les blés sans pour autant faire prendre de risque à l'agriculteur.

Les modèles ne sont qu'une simulation de la réalité qu'il est

20. Septoriose : maladie foliaire du blé dont les symptômes se manifestent par l'apparition de taches ovales jaunes et brunes sur les feuilles.

parfois nécessaire de recalculer grâce à des données réelles. Des travaux de recherche sont en cours. L'utilisation d'images satellitaires, de capteurs positionnés dans les champs, pourrait améliorer les modèles existants (Figure 15).

Les technologies du numérique doivent permettre une prise de décision facilitée et pertinente, en toute transparence (Figure 16).

2.4. Des interventions de plus en plus précises

Exemple du désherbage localisé

La gestion de l'enherbement des parcelles est également un enjeu fort pour les agriculteurs. Le matériel utilisé jusqu'à présent oblige de traiter l'ensemble de la parcelle : les zones avec et sans adventices. Le désherbage localisé signifie qu'on ne pulvérise de l'herbicide que sur des zones où la présence d'adventices a été détectée. Voici un exemple concret, lié à la gestion des chardons dans des parcelles de la Digifirme® de Boigneville.

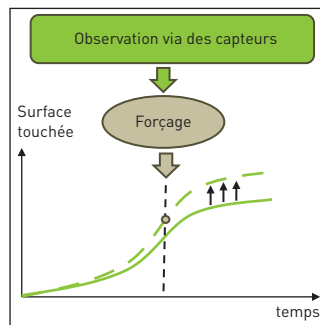


Figure 15

Forçage des modèles : obtenir des modèles toujours plus performants grâce à des données capteurs permettant des recalculs.

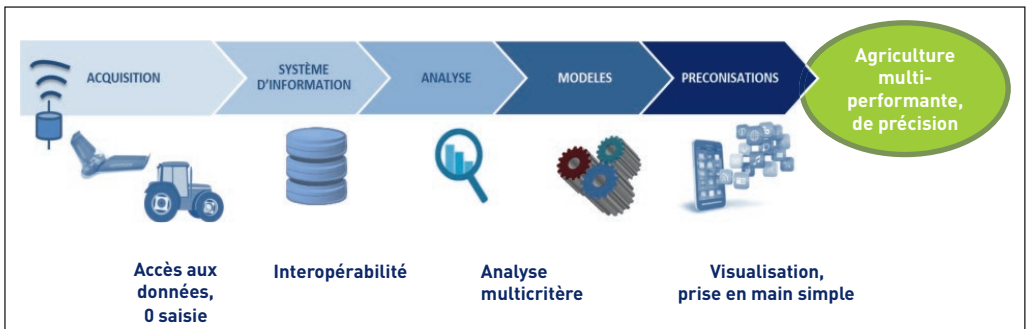


Figure 16

Amélioration du processus en vue d'une agriculture multi-performante.

En 2019, dans le cadre d'un partenariat avec une entreprise du numérique, nous avons testé des capteurs embarqués sur le pulvérisateur (**Figure 17**). Ces capteurs ont permis d'élaborer une carte localisant les chardons qui a ensuite été convertie en carte de préconisation. Dans les deux cas étudiés, nous avons réussi à réduire l'utilisation d'herbicides : 79 % et 88 % des surfaces n'ont pas été traitées !

Les technologies du numérique sont essentielles pour assurer une gestion durable des produits phytosanitaires des cultures. Les progrès attendus, impliquant du « *Deep learning* », permettront d'être toujours plus précis, améliorant ainsi la performance technique, économique et environnementale des fermes.

Utilisation de robots

La majorité des robots disponibles sur le marché, sont des porte-outils qui vont entre autres biner les cultures. Leur intérêt réside dans leur autonomie, libératrice de temps pour les agriculteurs (**Figure 18**). Un certain nombre de robots a été testé sur la Digiferme® de Boigneville afin d'étudier leurs guidages et les efficacités de leurs interventions.

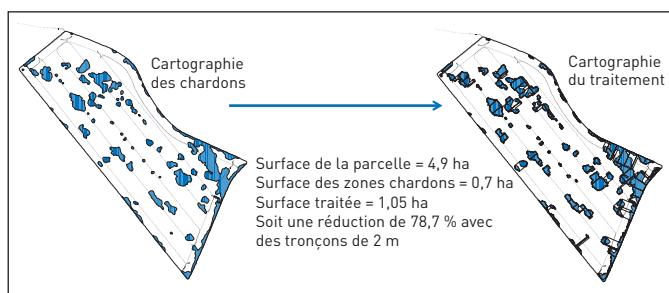


Figure 17

Cartographie de localisation des chardons et cartographie du traitement associées.

Ces robots autonomes sont développés en premier lieu sur des cultures à haute valeur ajoutée du fait de leur cherté et des nombreuses contraintes réglementaires et techniques à surmonter. Parmi celles-ci, la circulation d'une parcelle à une autre est gênée par la présence de fossés, de chemins et de routes, à ce jour impossibles réglementairement à contourner en l'absence d'un être humain. Les parcelles agricoles françaises sont de taille modeste, obligeant le franchissement régulier de ces obstacles. Des chercheurs de l'INRAE (Institut National de la Recherche Agronomique et de l'Environnement) estiment ainsi que des flottes de petits



Figure 18

Test du robot Dino - Naïo et du désherbeur Ecorobotix.

robots seront plus faciles à transférer d'une parcelle à une autre.

2.5. Mettre en place un véritable pilotage tactique et stratégique

Un tableau de bord connecté est un outil que de nombreux agriculteurs rêveraient d'avoir. Un outil qui permettrait de remonter et compiler toutes les informations utiles à la gestion de la ferme au

quotidien. Si des outils d'aide à la décision technique existent, l'aspect économique n'y est pas pris en compte. Avec des prix soumis aux cours mondiaux, il est essentiel de pouvoir inclure le coût des intrants dans ces outils pour calculer des optimums technico-économiques (où le prix de vente des céréales couvre le coût des intrants) et aider à la prise de décision (Figure 19).

Quant au pilotage stratégique (Figure 20), de nombreux

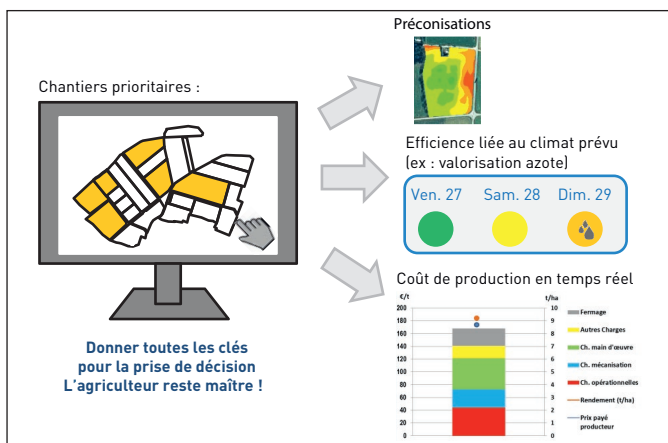


Figure 19

Objectif d'un pilotage tactique optimisé et simple à utiliser.

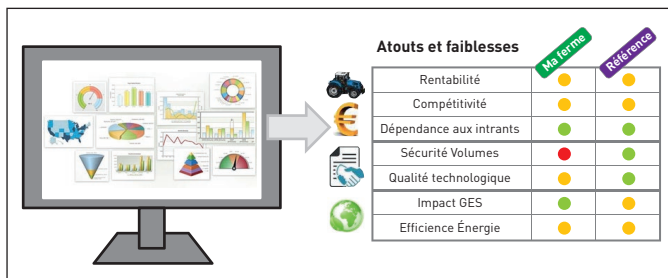


Figure 20

Objectif d'un pilotage stratégique.

outils restent à créer pour aider l'agriculteur à connaître les atouts et faiblesses de sa ferme en termes économique, technique et environnemental. Il est en effet très compliqué pour un céréalier d'avoir accès à des indicateurs de performance concernant sa ferme. Cependant, le développement de ce type d'informations ne sera pertinent qu'à la condition que les valeurs obtenues soient facilement interprétables, par exemple, en les comparant à des valeurs de son environnement proche.

2.6. La démocratisation des technologies

La démocratisation de ces technologies est nécessaire pour garantir le déploiement réussi de ces technologies jusqu'aux utilisateurs finaux : les agriculteurs. Ces technologies, si elles sont intéressantes, doivent pouvoir être mises en place chez l'ensemble des agriculteurs et pas seulement chez les plus érudits et les plus techniques. Cela passera par l'abaissement des prix de ces technologies : après une première phase incontournable de prototypes souvent très chers, l'industrialisation permettra de les proposer à un prix de plus en plus abordable pour l'immense majorité des agriculteurs.

Le prix d'achat n'est pas la seule clé de réussite du déploiement de ces technologies. Il est absolument indispensable que la prise en main de ces technologies soit facilitée et accessible aux agriculteurs. Plus l'outil d'aide à la décision sera facilement

compréhensible et utilisable, plus les agriculteurs s'en saisiront.

3 Autres services rendus par le numérique au niveau du monde agricole

3.1. Une meilleure communication entre les agriculteurs, les techniciens, le monde de la recherche et le grand public

Les réseaux sociaux et, plus globalement Internet, ont permis de simplifier l'accès à de l'information technique et de faciliter les échanges de savoirs. Les agriculteurs sont très présents sur les réseaux sociaux. Bon nombre d'entre eux communiquent également sur leur métier auprès du grand public sur les réseaux sociaux et les plateformes vidéo. Ils y expliquent, en toute transparence, leurs interventions et les raisons qui les poussent à protéger leur blé, à fertiliser leurs champs avec des engrais, à travailler leurs sols, etc. Ils sont les ambassadeurs les mieux placés pour informer le grand public et comblent ainsi un manque d'informations complètes dans la presse grand public sur ces thématiques agricoles.

3.2. Le numérique au service de la recherche agricole pour relever les défis d'aujourd'hui et de demain

Le numérique, de plus en plus mobilisé dans les actions de recherche agricole, contribue et contribuera à relever les défis agricoles d'aujourd'hui et de demain. Ce n'est pas la

solution magique, mais ce sera une pierre à l'édifice. Entre autres, le numérique facilitera et améliorera l'acquisition de références techniques, dont les plus pertinentes seront transférées de plus en plus rapidement aux utilisateurs finaux : les agriculteurs. Ces informations précieuses contribueront à améliorer le pilotage tactique et stratégique de toutes les fermes et à répondre toujours mieux aux attentes des consommateurs et des citoyens.

Si chez les agriculteurs, les capteurs qui sont en cours de développement sont relativement peu chers, des installations plus conséquentes sont en cours de développement et d'utilisation dans le domaine de la recherche agricole. On retrouve toutes sortes de capteurs : des caméras RGB²¹, des

21. Caméras RGB : caméras qui fournissent simultanément une image couleur et une carte de profondeur caractérisant la distance des objets vus.

LiDAR²², etc., on les verra plutôt sur des « arches », sur des véhicules comme la phéno-mobile²³ ou des drones (Figure 21). Grâce aux développements récents, le numérique permettra entre autres d'accélérer la sélection variétale. Par exemple, les serres présentées sur la Figure 21 permettent de contrôler la pluviométrie sur un champ. Ainsi, alliées à des technologies performantes, elles contribueront notamment pour le blé et pour le maïs, à sélectionner des variétés plus tolérantes au changement climatique et plus spécialement à la sécheresse..

22. LiDAR : « *Laser imaging Detection and Ranging* », méthode de télédétection et de télémétrie semblable au radar, mais qui émet des impulsions de lumière infrarouge au lieu d'ondes radio, puis en mesure le temps de retour après avoir été réfléchies sur des objets à proximité.

23. Phéno-mobile : véhicule qui parcourt de manière autonome des parcelles et recueille des informations sur l'état des plantes grâce à des capteurs embarqués.

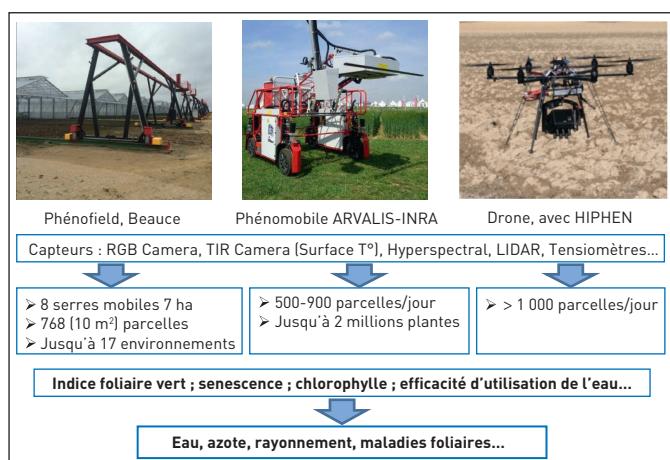


Figure 21

Infrastructures et outils utilisés par Arvalis.

La technologie avec, mais pas contre l'humain

Le premier capteur reste l'humain : ce sont nos yeux, nos mains. Toucher la terre, nous indique si elle est humide, et si, par exemple, un semis est possible. Se rendre physiquement sur des parcelles facilite l'observation directe de maladies. L'agriculture numérique ne doit en aucun cas nous éloigner des champs. Elle doit être au service des agriculteurs et des agronomes pour leur faciliter le travail quotidien mais aussi pour les aider à relever les défis majeurs auxquels nous devons et devons faire face.

