

Numérique et agriculture de précision

Par Jean-Paul BORDES

Directeur Recherche et Développement, Arvalis – Institut du végétal

L'agriculture de précision est un concept apparu en France au début des années 2000 avec pour objectif d'apporter « la bonne dose, au bon endroit, au bon moment ». Cette idée repose sur un constat toujours vrai, celui que toute parcelle agricole est un milieu vivant et hétérogène. Faute de matériels adaptés et de conseils agronomiques spatialisés, cette hétérogénéité est longtemps restée un handicap pour une activité agricole qui ne savait que gérer des pratiques moyennes sur chaque parcelle. La révolution numérique, qui touche aujourd'hui tous les secteurs d'activité, y compris l'agriculture, ouvre de nouvelles perspectives avec la dernière génération de capteurs et la puissance des systèmes d'information. L'agriculture de précision, renforcée par les progrès du numérique, permet aujourd'hui de transformer ce handicap en une opportunité de progrès.

Une définition élargie des concepts

Lorsque l'on parle de numérique et d'agriculture de précision, chacun met derrière ces concepts des définitions qui renvoient vers son propre référentiel et son expérience personnelle. On constate souvent que les représentations de chacun, au travers de ces termes, sont souvent plus étroites qu'elles ne le devraient. Par exemple, derrière le concept d'agriculture de précision, on met souvent l'idée de « la bonne dose, au bon endroit », qui renvoie vers ce que les agronomes appellent la modulation des intrants dans la parcelle, c'est-à-dire des systèmes de diagnostic de la variabilité intra-parcellaire liée aux caractéristiques du sol ou des végétaux associés à une application automatique de la bonne dose d'intrants nécessaire à chaque endroit de la parcelle. Cette idée n'est pas fautive, mais elle est probablement trop étroite. Il faudrait en effet ajouter à cette notion très spécifique tout l'univers des outils d'aide à la décision (se présentant d'ailleurs souvent sous une forme numérique) qui permettent aux agriculteurs de mettre en œuvre une agriculture précise ou, plutôt, de précision. Pour être plus juste sur la définition de l'agriculture de précision, il serait préférable d'utiliser la formule suivante : « la bonne dose, au bon endroit et au bon moment ». Il en va de même pour le numérique, qui devrait, avec la même logique, recouvrir les capteurs, les systèmes d'information, les bases de données, les terminaux numériques (comme les *smartphones*...), les automatismes, la robotisation, etc.

Si cette précision est importante, c'est parce que le monde agricole n'a cessé, au cours du temps, de s'appuyer sur le progrès technologique au sens large du terme pour faire progresser non seulement les conditions d'exercice de

ses métiers, mais aussi la performance globale de ses activités sur les plans économique, environnemental et social, etc. Les technologies du numérique sont perçues par le monde agricole comme un nouveau moyen pour tendre vers une agriculture de plus en plus précise (mais peut-être pas seulement).

Qu'attend-on de l'agriculture de précision ?

La première question que l'on est en droit de se poser est celle de la finalité. En quoi l'agriculture de précision est-elle un facteur de progrès ? La réponse est liée au fait que l'environnement agricole physique, en tout cas à l'échelle de l'agriculture française, est un environnement éminemment variable tant à l'échelle spatiale qu'à l'échelle temporelle. Concernant l'échelle spatiale, les agriculteurs ont déjà fait l'expérience de la variabilité des rendements au sein d'une même parcelle : ceux-ci peuvent varier assez communément du simple au double, y compris dans une parcelle réputée homogène. La Figure 1 de la page suivante représente la variabilité de la biomasse produite par un blé au stade du gonflement de l'épi, c'est-à-dire quelques jours après l'apparition de la dernière feuille. Nous pourrions avoir la même variabilité, et parfois une variabilité supérieure, au niveau du grain récolté.

La Figure 2 de la page suivante montre au travers d'un exemple que le besoin en intrant (ici le besoin en engrais azoté) peut lui aussi varier dans des proportions très importantes.

On comprend au travers de cet exemple tout l'intérêt de pouvoir adapter la dose d'engrais aux besoins réels en « tous points » de la parcelle. Les bénéfices de cette

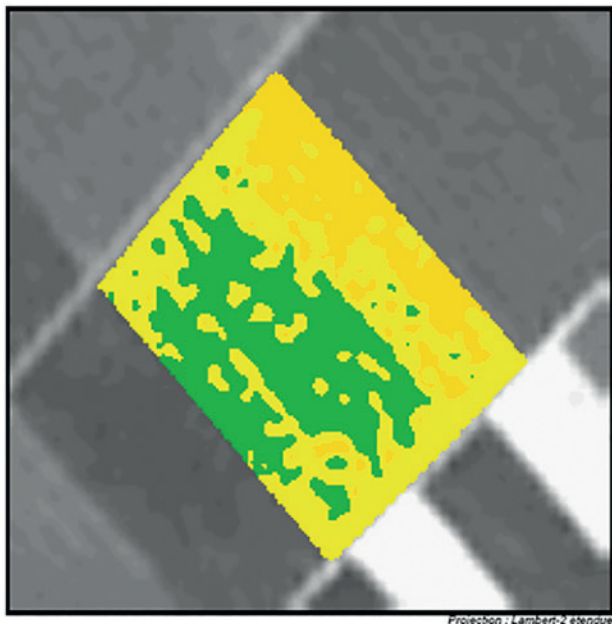


Figure 1 : Exemple, extrait de Farmstar, de la variabilité intra-parcellaire de la biomasse produite par un blé au stade « gonflement de l'épi ». L'échelle des valeurs varie de 5,4 (jaune) à plus de 7,8 (vert) tonnes de matière sèche par hectare.

adaptation sont multiples :

- une économie possible d'engrais, notamment dans les zones manifestant un besoin inférieur à la moyenne de la parcelle ;
- la possibilité, au contraire, d'alimenter plus correctement les zones qui expriment un besoin plus élevé et d'espérer ainsi un meilleur rendement et une teneur en protéines du grain plus élevée ;
- une réduction du risque de surfertilisation dans les

zones les moins exigeantes, ce qui permet de réduire considérablement les risques pour l'environnement.

La Figure 3 ci-après montre le résultat de tests effectués en plein champ visant à comparer l'application d'une dose homogène avec l'application d'une dose modulée d'engrais azoté sur du blé. L'expérimentation, conduite par C. Desbourdes en parcelles agricoles de 2005 à 2008, démontre à la fois un gain de rendement (points verts) et une économie d'azote (différence entre les bâtonnets rouges et les bâtonnets bleus).

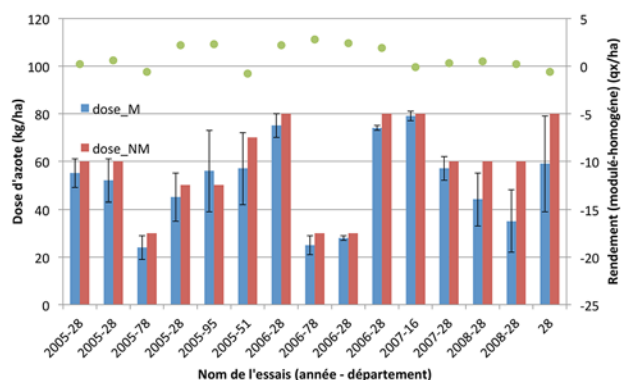


Figure 3 : Résultats d'essais au champ montrant l'intérêt de la modulation intra-parcellaire du dernier apport d'engrais azoté sur blé : économie d'azote et gain de rendement. Caroline Desbourdes, Arvalis Institut du végétal

Ces deux exemples illustrent l'intérêt d'apporter « la bonne dose au bon endroit ». À cette première notion, il convient d'ajouter l'échelle temporelle, qui précise « le bon moment » pour réaliser l'intervention. En agriculture, le choix

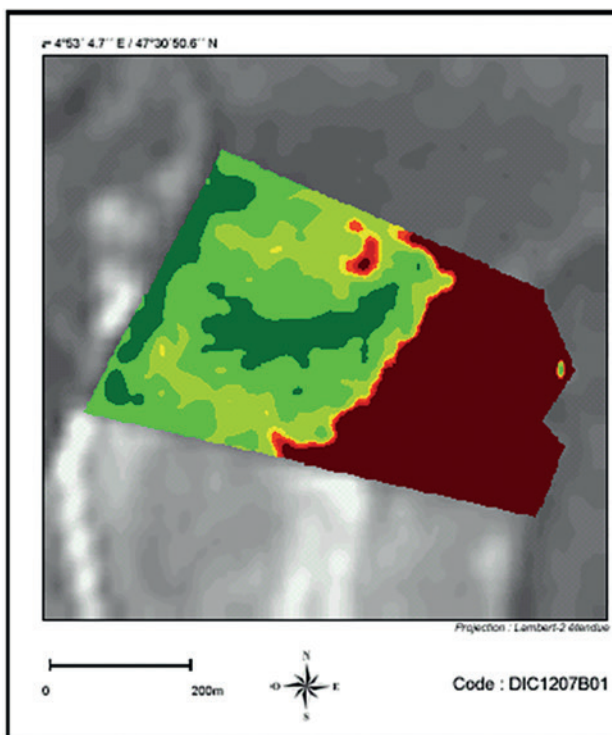


Figure 2 : Exemple, extrait de Farmstar, de besoins en engrais azoté du blé au stade « gonflement de l'épi ». L'échelle de valeur varie de 0 kgN/ha (vert) à plus de 80 kgN/ha (rouge foncé).

FARMSTAR Conseil Blé d'Hiver

Préconisation 3ème Apport d'Azote

Parcelle : Le grand champ

Surface : 21.6 ha Semis : 03/10/2003
 Variété : Soissons Densité : 400

Carte de préconisation
 Conseil au 29/04/2004

Dose	% Surface	% Surface cumulée
0	14.0	14.0
30	28.9	42.8
40	15.3	58.1
50	1.8	59.9
60	1.3	61.2
70	1.1	62.3
≥ 80	37.7	100.0

Dose recommandée 80 U

Commentaire :
 Dose recommandée pour satisfaire les besoins de la parcelle sous réserve qu'il n'y ait pas eu d'apport d'engrais dans les 20 jours précédant l'interprétation.

Prochain stade Dernière feuille pointante vers le 08/05/2004

Créneaux d'intervention

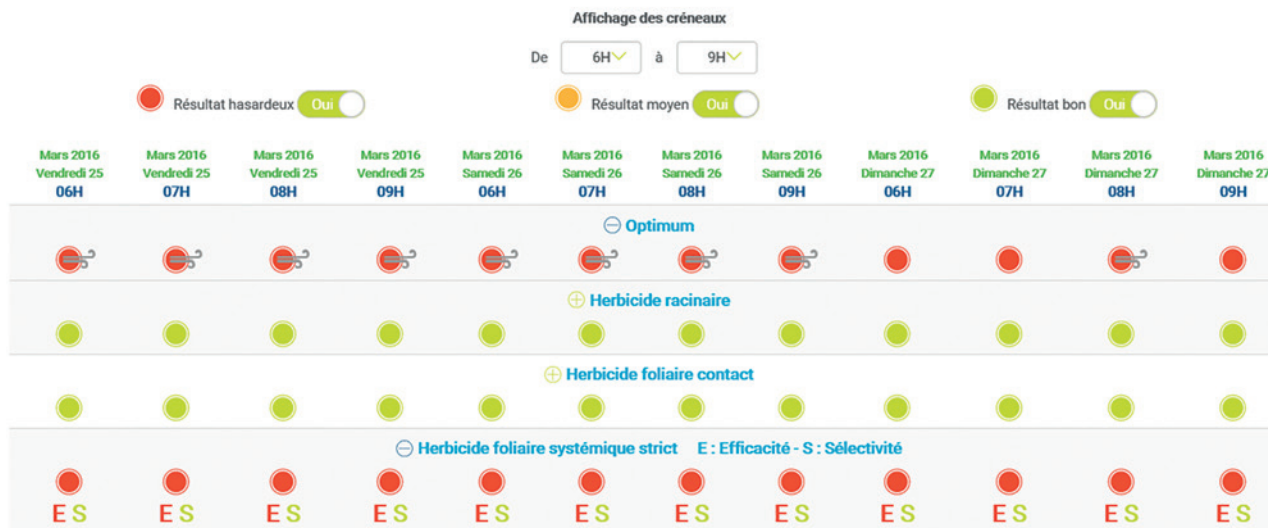


Figure 4 : Conseil extrait de l'application Taméo (Arvalis-Météo France). Conditions d'efficacité (E) et de sélectivité (S) de plusieurs types d'herbicide (racinaire, foliaire de contact ou foliaire systémique) en fonction des conditions climatiques (favorables, en vert / et défavorables, en rouge).

des périodes d'application peut s'avérer déterminant pour le résultat en termes de rendement et de qualité, dont l'impact économique est évident. Pour illustrer ce type de situation, prenons par exemple les conditions d'application d'un herbicide. Les paramètres climatiques au moment de la pulvérisation impactent fortement son efficacité. La Figure 4 ci-dessus montre comment il est possible d'indiquer à l'agriculteur le bon moment pour procéder à cette application. En l'occurrence, l'exemple illustré indique que le vent sera trop fort au cours des 3 jours à venir (vendredi, samedi et dimanche) pour envisager de procéder au traitement.

L'agriculteur travaille avec des éléments vivants, complexes, hétérogènes et en interaction forte avec le climat (dont les variations sont de plus en plus fortes sous l'influence notamment du changement climatique), sans tenir compte de la volatilité du contexte économique dans lequel évolue son activité. La prise de décision nécessaire pour gérer son exploitation est donc de plus en plus complexe. C'est pourquoi le monde agricole s'est doté d'outils d'aide à la décision (OAD) pour permettre aux agriculteurs de faire les bons choix, ou plutôt pour leur permettre de faire des choix qui soient cohérents avec leurs objectifs professionnels.

L'aide à la décision s'est fortement développée en grande culture dans plusieurs domaines :

- l'implantation des cultures, avec en particulier le choix des variétés, des dates et des densités de semis ;
- la fertilisation des cultures (estimation des besoins en engrais) ;
- la protection des cultures (modèles de prévision des maladies, lutte contre les ravageurs...) ;
- la gestion de l'eau ;
- les diagnostics environnementaux ;
- les performances économiques.

Le Tableau 1 ci-dessous rapporte les OAD majeurs diffusés par Arvalis et leur taux d'utilisation. Il fait apparaître que les surfaces concernées sont très significatives (70 000 ha, pour l'outil de prévision Mileos, ce qui représente 50 % des surfaces françaises cultivées en pommes de terre), et surtout, qu'elles sont en forte progression.

Farmstar Expert	Service d'aide à la conduite des cultures (gestion de l'azote, des risques de maladie et de verse) de blé et de colza à partir d'images satellitaires. Collaboration Arvalis - Airbus	793 000	+7 %
Septo-LIS®, Stadi-LIS® et Prévi-LIS®	Service de prévision des stades des céréales et des risques liés à l'apparition de maladies foliaires (septoriose sur blé)	2 170 000	+18 %
Miléos®	Service de prévision du risque mildiou sur la pomme de terre	70 000	+70 %
Irré-LIS®	Service d'aide à la gestion des irrigations en fonction du besoin des cultures (blé, orge, pomme de terre, maïs, tabac...) et du climat	21 000	+17 %
FertiWeb®	Service d'estimation de la fertilisation nécessaire des cultures (toutes cultures)	1 930 000	-
Taméo®	Service de gestion des risques en fonction de la météo prévisionnelle à la maille du km. Collaboration Arvalis-Météo-France	-	-

Tableau 1 : Surfaces d'utilisation (en hectares) des OAD majeurs de la gamme Arvalis et progression annuelle (en pourcentages).

De Farmstar aux digifermes

Le premier pas opérationnel vers l'agriculture de précision a été marqué par la proposition à grande échelle, dès 2002, d'un service utilisant les images satellite pour produire un conseil spatialisé à la parcelle à destination des agriculteurs afin de les aider à mieux gérer leurs cultures de blé et de colza. Quinze ans après son lancement, ce service couvre aujourd'hui près de 800 000 hectares en France. Il s'est enrichi au fil du temps de nouvelles applications et s'est ouvert à de nouvelles cultures : orge, triticale, maïs. Au-delà du réel intérêt qu'y trouvent les

agriculteurs (ce qui en soi est déjà un gage de leur intérêt pour l'agriculture de précision), l'innovation majeure de ce service réside dans le couplage de deux sphères cognitives *a priori* éloignées l'une de l'autre : le spatial et l'agronomie. Une véritable complémentarité a été créée entre l'imagerie satellitaire et les modèles agronomiques développés par les instituts techniques, pour aboutir à un conseil opérationnel à haute valeur ajoutée à l'attention des agriculteurs. En construisant ce nouveau type de service sont apparues également les questions fondamentales du numérique, lequel connaît aujourd'hui un nouvel élan.

C'est d'abord la question des **systèmes d'information** et de la gestion des grandes bases de données qui est posée. Traiter en l'espace de quelques heures les données issues d'images de la quasi-totalité de la France avec un pixel (surface élémentaire) représentant un carré de 10 à 20 mètres de côté, les combiner avec les données de 80 000 parcelles agricoles, lancer les calculs des modèles agroclimatiques s'appuyant eux-mêmes sur des bases de données agronomiques (variétés, sols, tables décisionnelles, etc.) et renvoyer des conseils aux agriculteurs dans un temps minimum... cela relevait, déjà à cette époque, du défi ! Les progrès du numérique, tant par la rapidité des calculs que par les modes de transmission des données, ont considérablement amélioré la performance du service, et aussi sa fiabilité.

Une autre question est rapidement apparue : celle qui concerne la **propriété des données**. À qui appartiennent les données ? Et d'abord, de quelles données parle-t-on ?

C'est une question de fond qui a conduit le service à proposer des règles de fonctionnement préservant l'anonymat des agriculteurs et leur garantissant la pleine propriété intellectuelle des données propres à leurs parcelles. Le système se nourrit également de la masse des données produites pour générer de nouveaux modèles et de nouveaux services. C'est là le début de la valorisation des données individuelles à des fins d'intérêt collectif. Notons que la propriété intellectuelle ne s'applique pas seulement entre les agriculteurs et les fournisseurs du service, mais qu'elle s'applique aussi entre les partenaires créateurs du service.

Le service *Farmstar* a posé également une autre question fondamentale : celle de l'**interopérabilité des systèmes d'information et des bases de données**. Le relais entre les fournisseurs du service et les agriculteurs est assuré par les coopératives, les négoce et les chambres d'agriculture. Or, ces entreprises et ces instances disposent de leur propre système d'information (il ne faut pas oublier que les agriculteurs eux-mêmes disposent de plusieurs types de logiciels de gestion parcellaire). La compatibilité des données nécessaire pour obtenir un *continuum* d'informations fluide et fiable est indispensable pour être à même d'assurer un service de qualité.

En 2017, les questions d'interopérabilité sont traitées *via* des systèmes API (*Application Programming Interface*) ; l'Internet est accessible avec un débit suffisant dans les campagnes ; les consoles dans les tracteurs s'adaptent

à plusieurs formats ; les connexions GPS ou RTK ont été fiabilisées ; et la connectique tracteur-outils est en voie de standardisation. Les applications numériques explosent aujourd'hui, y compris dans le domaine agricole, à un point tel que le concept de « ferme numérique » (ou « digi-ferme ») fait son apparition dans le domaine expérimental.

Deux digifermes créées par Arvalis, l'une en grande culture, l'autre en polyculture et élevage, proposent d'étudier les applications possibles du numérique au niveau d'une exploitation, d'évaluer leur intérêt sur divers plans et de coconstruire avec des *start-ups* de nouvelles applications. Une liste non exhaustive des tests en cours donne un aperçu des innovations numériques émergentes dans le domaine agricole :

- des robots de désherbage capables de remplacer ou de diminuer considérablement l'utilisation d'herbicides ;
- des systèmes de guidage automatique des tracteurs et des automoteurs ;
- des drones équipés de capteurs pour détecter la présence de mauvaises herbes dans les champs ;
- l'utilisation de puces RFID pour la gestion automatique des intrants ;
- toute une panoplie d'outils d'aide à la décision (fertilisation, irrigation, protection des cultures, conservation des grains...) ;
- des capteurs connectés installés dans les champs (mesure de la température, de la pluviométrie, de l'humidité du sol...) ;
- des pièges connectés pour alerter de la présence de ravageurs ;
- des capteurs installés dans les cellules de stockage de grains ou de tubercules ;
- les analyses rapides du sol et des matières premières ;
- des sondes de surveillance automatique des vèlages ;
- des systèmes de surveillance de l'activité des animaux ;
- la mesure électronique de la pousse de l'herbe pour adapter le calendrier fourrager ;
- le tableau de bord connecté de la ferme (robot de gestion globale et d'alerte sur les tâches quotidiennes)

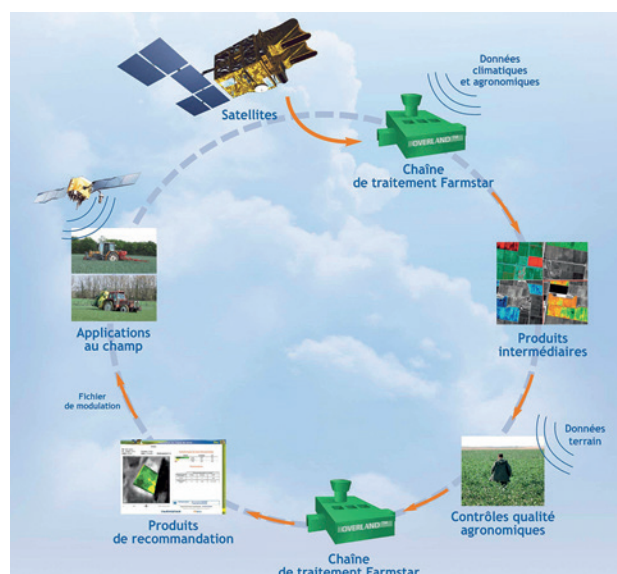


Figure 5 : Boucle technologique pour le traitement des données dans le cadre du service Farmstar.



Figure 6 : Les axes de recherche & développement au sein des Digifermes® Arvalis.

Un des objectifs (et pas des moindres) des digifermes est aussi d'évaluer l'intérêt économique de toutes ces applications. Une exploitation agricole est d'abord une entreprise économique qui doit, pour assurer sa survie, rechercher en permanence des gains de compétitivité. Ce dispositif expérimental permettra de trier les innovations entre ce qui relève du monde de l'utile et ce qui relève de celui des gadgets.

Pourquoi numérique et agriculture de précision font-ils bon ménage ?

La révolution du numérique dans le domaine agricole se nourrit de deux sortes d'innovation :

- l'explosion des capteurs miniaturisés à faible coût,
- et l'exploitation des grandes bases de données.

Les progrès technologiques en matière de conception et de construction des capteurs contribuent non seulement à leur diversification, mais également à réduire considérablement leur coût de production. À titre d'exemple, des capteurs à réflectance infrarouge de la taille d'une boîte d'allumettes peuvent prétendre analyser des constituants du végétal avec une précision suffisante pour permettre à un agriculteur de prendre des décisions en toute connaissance de cause sans avoir à faire pratiquer une analyse coûteuse (souvent par un laboratoire) dont le résultat sera connu, dans le meilleur des cas, dans les jours suivants. Il est évident que ce type d'innovation (si les tests le confirment) peut révolutionner les pratiques agricoles au quotidien. Le lien avec l'agriculture de précision est direct, car, souvent, la mise en œuvre d'une technique plus « précise » nécessite un diagnostic objectif de la situation et un retour d'information rapide. Les capteurs couplés à des logiciels d'interprétation peuvent apporter ce service pour un faible coût. La multiplication des mesures n'est plus un facteur limitant et offre, de surcroît, la possibilité de cartographier et de spatialiser les caractéristiques du sol, les besoins des cultures, d'individualiser l'alimentation des animaux, etc. Dans la chaîne technologique de l'agriculture de précision, le maillon « diagnostic spatialisé à faible coût » restait le maillon faible. Levé partiellement, ce verrou est en passe de l'être totalement.

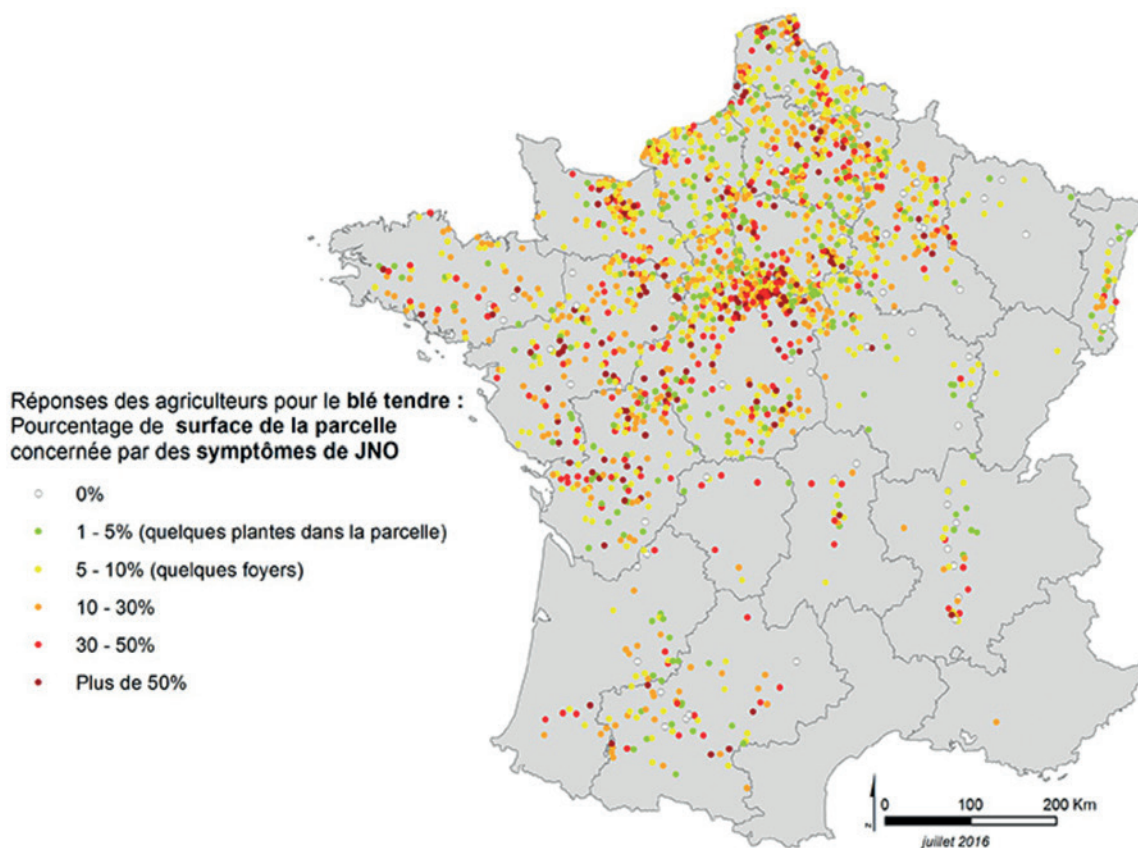
L'autre pilier de la révolution numérique en agriculture repose sur l'exploitation des grandes bases de données. L'exemple le plus illustratif que nous pouvons en donner est celui des modèles prévisionnels de maladies. Ces outils prévisionnels du risque sanitaire sont très utiles aux producteurs pour déclencher à bon escient un traitement ou, au contraire, le suspendre s'il n'est pas absolument nécessaire. Dans les deux cas, la pratique est gagnante. Pour cela, il faut disposer de modèles agroclimatiques performants par type de bio-agresseur (ce sont des modèles qui utilisent des données climatiques et les connaissances sur le parasite en cause).

La rouille jaune, par exemple, est une des maladies les plus préjudiciables pour les céréales. En cas d'absence de traitement ou de traitement inadapté, la perte peut atteindre 50 % de la récolte. Comme cette maladie a un développement explosif, il est important de prévoir sa survenue afin de positionner le traitement dans les conditions optimales d'efficacité. Malheureusement, ce champignon a tendance à muter dans le temps, ce qui peut rendre rapidement obsolète un modèle prévisionnel qui avait fait ses preuves jusque-là. Cela fut le cas, il y a de cela quelques années. La remise à niveau d'un modèle peut prendre des années d'expérimentations au champ pour retrouver un niveau de performance satisfaisant. Le choix qui a été fait a été tout autre : nous avons exploité les centaines de milliers d'observations faites par les techniciens et conseillers grâce au réseau national de biosurveillance du territoire et nous avons pu remettre à jour le modèle, en une seule campagne et sans que nous ayons eu besoin de faire un seul essai.

Pour illustrer le bénéfice que l'on peut tirer des bases de données issues de l'observation au champ, nous pouvons citer l'incroyable mobilisation des agriculteurs au cours de l'hiver 2015-2016, qui ont remonté en deux semaines plus de 2 000 observations de terrain, qui ont permis de cartographier les dégâts causés par le virus de la JNO (jaunisse nanisante de l'orge), lequel est lui-même apporté par les pucerons et inoculé aux cultures lors des périodes automnale et hivernale.



Figure 7 : Symptômes de rouille jaune sur du blé tendre d'hiver (en l'absence de tout traitement, la perte peut atteindre 50 % de la récolte).



© ARVALIS

Figure 8 : Les 2 036 remontées d'informations par les agriculteurs sur le niveau d'infestation des parcelles de blé par le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (JNO).

La valeur ajoutée est dans le traitement des données

Si le monde agricole connaît en ce moment une véritable explosion des innovations, en particulier du côté des capteurs, il n'en reste pas moins vrai que la valeur ajoutée se situe dans l'interprétation du signal. Il en va d'ailleurs souvent ainsi. Par exemple, l'imagerie satellitaire était capable, dès le milieu des années 1970, de livrer des informations d'une précision étonnante sur la couverture végétale, mais tant que cette information n'était pas traduite en indicateurs utiles pour les producteurs, nul ne pouvait s'en saisir. Les modèles agroclimatiques n'existaient pas encore à cette époque. Il a fallu attendre le début des années 2000 pour pouvoir opérer un premier couplage et donner du sens à l'information. Nous sommes aujourd'hui confrontés au même problème : la technologie des capteurs évolue plus rapidement que la science du traitement des données, ce qui met parfois en panne une technologie apparemment innovante, mais en manque de décodage.

Si l'on prend l'exemple des capteurs embarqués sur des drones, l'on s'aperçoit que ce mode d'acquisition de données est capable de délivrer une information très détaillée de la parcelle agricole, à l'échelle centimétrique. Cette ultra-précision n'est pas exploitable à ce jour, car la maille décisionnelle est calée aujourd'hui en fonction des lar-

geurs de travail des matériels agricoles (allant le plus souvent de quelques mètres à quelques dizaines de mètres).

Toujours à propos des drones, un autre exemple concerne la cartographie des adventices dans une parcelle. Les capteurs embarqués sont capables d'enregistrer la réflectance du couvert végétal, mais l'interprétation du signal ne permet pas aujourd'hui de différencier les adventices



Figure 9 : Exemple de plantes adventices localisées entre deux rangs de maïs. Cette configuration est détectable avec des drones équipés de capteurs (mais la différenciation du type d'adventice reste difficile).

des variétés cultivées, sauf dans le cas de cultures en lignes, comme le maïs, le tournesol, la betterave... L'identification du type d'adventice (utile pour déterminer le type de désherbage à opérer) n'est, à ce jour, pas encore opérationnelle.

D'une façon générale, le verrou technologique n'est pas aujourd'hui lié à la performance des capteurs, qui, par ailleurs, vont continuer à s'améliorer. Il est dans le traitement de l'information à haut débit pour, d'une part, lui donner du sens sur le plan décisionnel et, d'autre part, permettre un retour rapide sous la forme de conseils aux producteurs. En effet, en agriculture, le temps de retour est lui aussi un élément déterminant, car les cultures, le climat et les parasites sont en permanente évolution. Si le délai entre le diagnostic et l'intervention, de quelle que nature que ce soit, est trop important, l'information perd la majeure partie de son intérêt, en particulier dans le domaine de la protection des cultures, là où le délai raisonnable se situe entre un jour et une semaine au grand maximum.

Conclusions

On peut retenir de cette réflexion sur le numérique et l'agriculture de précision plusieurs constats et quelques pistes d'évolution.

L'idée la plus importante est que l'agriculture et les agriculteurs sont, pour la plupart, très ouverts aux progrès du numérique, car c'est pour eux un levier supplémentaire pour mieux gérer le contexte très incertain (aléas climatiques et économiques) dans lequel s'exerce leur métier.

L'entreprise agricole est, en outre, un lieu de complexité dans lequel se prennent tous les jours des décisions importantes dans des domaines très différents : économie, agronomie, conduite des animaux, fiscalité, sécurité... Les possibilités offertes par le numérique renforcent les services d'aide à la décision dont les agriculteurs ont besoin, grâce à des outils simples à utiliser et réactifs.

La recherche de précision dans les pratiques culturales est une voie déjà bien connue des agriculteurs, car elle est porteuse de bénéfices sur les plans économique et environnemental. Les applications issues du numérique la renforcent, ouvrant notamment de nouvelles perspectives en matière de modulation intraparcellaire des intrants.

L'aspect social (même si nous l'avons peu développé) bénéficie également des apports du numérique. L'adoption du guidage automatique des engins agricoles, les robots de traite des vaches déjà plébiscités par les éleveurs, les robots de travail dans les champs (encore en test) sont autant d'innovations qui vont vers un allègement de la charge de travail des agriculteurs, un aspect auquel ils ne sont pas insensibles.

Les nouvelles technologies au sens large sont aussi un facteur d'attractivité pour les jeunes qui s'intéressent à l'agriculture et renvoient à la société une image de modernité du monde agricole, ce qui n'est pas sans lui déplaire.

Quelques points focalisant l'attention interpellent cependant le monde agricole, notamment deux d'entre eux. Le premier concerne la question des données et de leur utilisation. La propriété des données produites par les agriculteurs reste un sujet sensible, tout comme l'est leur crainte permanente des contrôles, que viendrait renforcer la mise en connexion de bases de données contenant des informations personnelles sur les agriculteurs. Le second concerne davantage la sphère du conseil technique qui, aujourd'hui, se limite quasi exclusivement à des organismes de développement (chambres d'agriculture, coopératives, négoce), des organismes qui, demain, pourraient être concurrencés par des *start-ups* capables de fournir du conseil grâce au simple traitement de grandes bases de données alimentées par une profusion de capteurs.