

Agriculture numérique en grande culture

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 01.06.Q07

2022, révisée en septembre 2025

Joël LORGEUX, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Mots clés : agriculture numérique - guidage - agriculture de précision - modulation d'épandage - algorithme - outil de pilotage

L'agriculture numérique est devenue une réalité avec le développement de nouvelles technologies de l'information. De quoi parle-t-on en pratique, et comme cela se passe-t-il en grande culture ?

Cette fiche privilégie une vision pragmatique de terrain.

Pas de numérique sans data !

L'agriculture est une source illimitée d'informations (data en terminologie moderne !), car elle est capable d'intégrer toutes les variables définissant le milieu (air, eau, sol, biotope), celles qui caractérisent les interventions (temps, énergie, composition...), et tous les flux entre ces données. Initialement les données étaient traitées principalement pour des besoins économiques de gestion : calcul de marge brute, de prix de seuil, de prix de revient, et permettaient des comparaisons économiques de mode de production.

Actuellement les données trouvent leur valorisation dans les analyses de cycle de vie, les modèles environnementaux, la traçabilité des productions, les bilans énergétiques. C'est un nouveau champ de valorisation qui se dégage. Pour l'agriculteur, la première donnée sensible est la météo, et c'est souvent par cette entrée qu'il se familiarise avec les modèles et autres algorithmes.

Les évolutions technologiques majeures (Figure 1)

NTIC : Les nouvelles techniques de l'information et de la communication ont considérablement accéléré la production de data ; le téléphone mobile puis le smartphone sont des outils du quotidien. L'ordinateur est bien sûr entré dans les fermes, mais avec un taux de pénétration et d'utilisation plus faible que le smartphone.

GPS : Le *Global positioning system* est devenu une application banale, qui résulte de la combinaison de diverses constellations de satellites, initialement américains et russes, puis chinois et européens. C'est une déclinaison civile d'un usage initialement militaire.

Pour l'agriculture le DGPS qui a été déclencheur du développement car il permet d'être plus précis (dizaine de cm) et de revenir au même endroit à plusieurs dates d'intervalle. Sa précision s'est renforcée avec le RTK (*Real Time Kinematic*) qui permet des corrections en temps réel, et d'atteindre une précision de 2,5 cm stable dans le temps. Le RTK peut être porté soit par un système couplé à des balises radio au sol, soit par la téléphonie mobile (VRS) soit remplacé par le RTX qui s'est fortement amélioré depuis 2019 (ce dernier, porté uniquement par des balises virtuelles grâce à l'amélioration des réseaux satellitaires). L'ensemble de ces évolutions permet de trouver une solution de guidage de précision adaptée à son territoire.

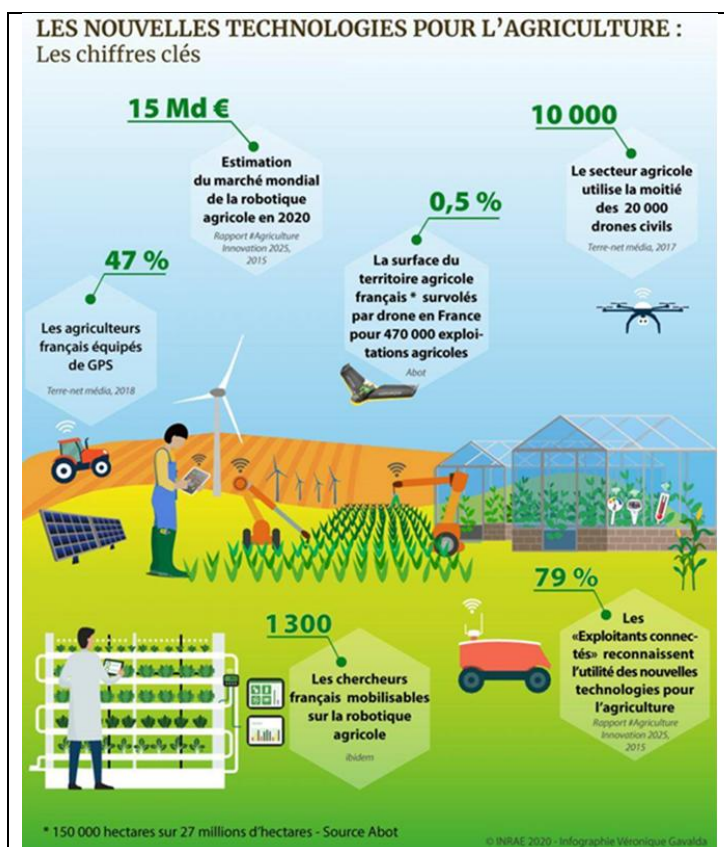


Figure 1 : Chiffres clés des nouvelles technologies de l'information en agriculture

Automatisme : le couplage de données entre elles, ainsi que les progrès de l'électro-mécanique et de la robotique, ont permis de créer des liens entre les machines et les données traitées. La norme ISOBUS, par exemple, a été déterminante pour la compatibilité des équipements du tracteur ; on sait ainsi relier un conseil d'application géolocalisée d'engrais (enregistré sur une console) avec un épandeur inféodé qui suivra automatiquement les modulations à faire selon l'avancement du tracteur. Cependant, il reste encore du chemin d'harmonisation à faire pour simplifier les protocoles entre marques différentes.

Algorithme : les applications mathématiques ont fait un grand pas dans les modèles et l'interprétation des données, faisant des algorithmes la clef des règles de décision d'un module de conseil.

Intelligence artificielle et machine learning : la capacité des machines à apprendre par elles-mêmes, en corrigeant progressivement les erreurs, est une étape majeure dans les utilisations agricoles. Ainsi, la reconnaissance d'une plante par croisement rapide de données permet de déclencher ou non une intervention de destruction dans le cas du désherbage.

Cas Concrets

1 - Données météo, modèles, OAD

Les données météo sont à la base de la plupart des modèles de conseil. Généralement croisées avec des données de sol et de milieu, elles permettent de simuler la croissance de la plante cultivée, mais aussi : les besoins en eau et nutriments, le devenir de ces éléments dans le sol (en particulier les risques de pertes par lixiviation ou volatilisation), les modalités d'apport, les risques pour le milieu, et les potentiels infectieux par les champignons pathogènes ou les ravageurs.

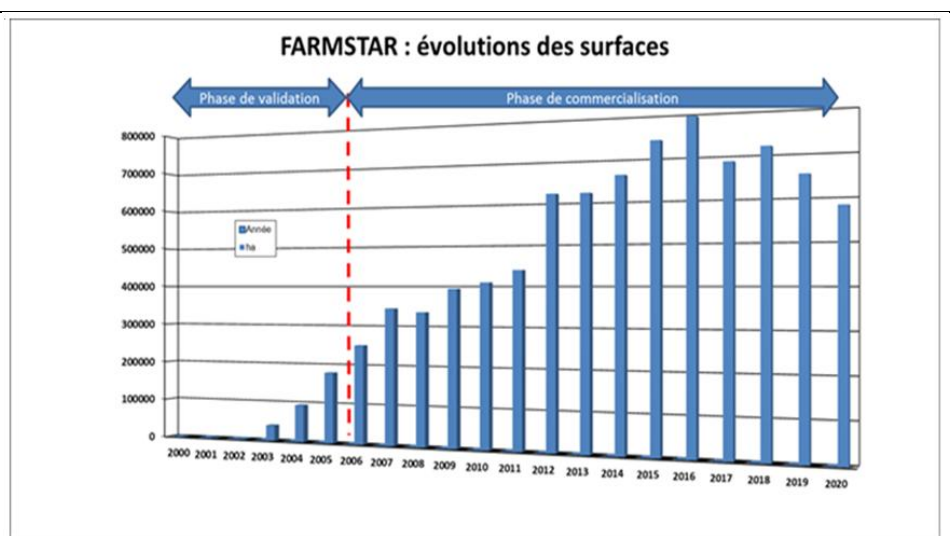
Quelques exemples de développement :

Les outils de pilotage de la fertilisation : le principe de détecter l'état nutritionnel d'une plante, afin de décider ou non un apport fertilisant, a été utilisé dans les années 1990 avec des méthodes plus ou moins manuelles comme JUBIL ou RAMSES qui extraient et mesurent une concentration de jus de plante. L'évolution numérique a permis depuis d'utiliser la *réflectance* des feuilles (rapport entre la quantité de lumière incidente et la lumière réfléchie) pour en déduire un indice de nutrition.

Les applications se sont développées avec la télédétection satellitaire, certains satellites étant équipés de capteurs adaptés ou couplés avec des passages d'avion. C'est l'exemple de FARMSTAR qui s'est développé en début des années 2000, et en 2021 atteint plus de 800 000 hectares en France et dessert 13 000 agriculteurs (Figure 2). Aujourd'hui d'autres applications existent utilisant, en particulier les données du réseau de satellites européens SENTINEL2 (WANAKA, CERELIA, MES-SATIMAGES...). Des cartographies de biomasse sont utilisées dans des applications comme YARA pilotage, SMAG, ISAGRI, Earth Daily Agro, FIELD VIEW ou XARVIO. D'autres applications ont été faites avec des capteurs au sol (N-PILOT) ou embarqués (N-SENSOR), qui le plus souvent ont besoin de données de terrain acquises sur une zone de référence pour le calibrage. Selon la qualité des capteurs et des algorithmes utilisés, il est possible de mesurer la biomasse, ou de déterminer un indice de nutrition. Le couplage avec de nouveaux algorithmes (CHN d'Arvalis ou APPI-N de INRAe) permettra de sécuriser les sorties de ces modèles.

Figure 2 : Évolution des surfaces FARMSTAR en France.

Le léger recul observé à partir de 2016 correspond à 2 facteurs : les développements des offres concurrentes (Abelio, Cérélia, Mes Satimages...) et les difficultés générées par les sécheresses de printemps fréquentes entre 2016 et 2020. Au total on considère que l'ensemble des offres couvrent entre 800 000 et 1M ha en France- soit 10% de la surface céréalière.



Des développements sont en cours pour utiliser des longueurs d'ondes spécifiques comme le *bas Infra-rouge* afin d'améliorer la précision et d'identifier d'autres critères de nutrition que l'azote : phosphore, calcium, identification d'un stress, etc.

La technique de la *transmittance* (rapport entre lumière incidente et celle qui traverse la feuille) est aussi utilisée pour identifier le statut de nutrition de la plante. La mesure se fait avec un chlorophylmomètre (N-Tester). Cette mesure est très dépendante de la composition de la chlorophylle.

Autres outils de conseil pour les agriculteurs : les outils sont nombreux pour modéliser des risques infectieux, en croisant les données météo et les modèles épidémiologiques (XARVIO, MYCOLIS, MILEOS...), des conseils de fertilisation (en utilisant le modèle de Burns pour les risques de lixiviation), des suivis de l'irrigation (IRRE-LIS, TAMEO...), des analyses de cycle de vie, des calculateurs de bilan carbone (CARBON EXTRACT, CARBONAGRI...).

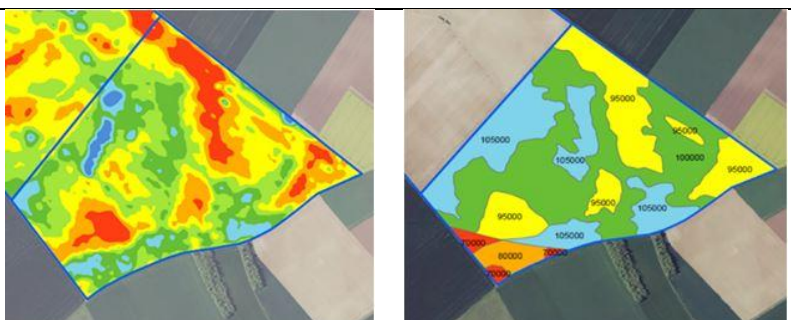
2 - Capteurs, réseaux

Les usages agricoles des capteurs sont très nombreux : tous les applicatifs de la domotique sont utilisables. Les mesures automatiques de température, de niveau, de fermeture ou de débit, de surveillance ont des applications immédiates dans le quotidien de l'agriculteur. Le transfert de ces données multiples et fréquentes, via les systèmes de transmission par basses fréquences, réduit fortement le coût énergétique de ces échanges et permet un couplage facile avec les smartphones ; c'est le cas des stations météo connectées partagées en réseau (SENCROP, WEENAT...)

3 - Agriculture de précision, modulation des applications

Le numérique a permis le déploiement de l'agriculture de précision et les modulations d'épandage. Les capteurs embarqués sur un engin agricole, ou portés par un drone ou un satellite, vont permettre de déterminer des cartes de potentiels, de sensibilité du milieu et des cartes d'épandage, grâce au couplage avec des analyses de sol et des mesures de résistivité du milieu. Les semoirs, épandeurs et pulvérisateurs sont capables d'ajuster la dose de semis, la profondeur et les doses à appliquer, en fonction des fichiers de modulation gérés par la console. Le site de BE API (<https://beapi.coop/l-essentiel-de-l-agriculture/>) présente un large échantillon d'applications (Figure 3).

Figure 3 :
Exemple des modulations de doses de semis de maïs (à droite), en fonction des mesures de résistivité et de cartographie des sols (à gauche).
Source : BE API



4 - Robotique, automatisation

Des robots autonomes sont déjà en utilisation en culture pérenne et en maraîchage ; en revanche, en grandes cultures, les premières démonstrations sont en cours, pour des techniques soit d'arpentage soit d'interventions comme le binage, hersage ou la pulvérisation.

L'exemple du désherbage est révélateur : il est possible de :

- faire reconnaître une plante à une machine : algorithme, caméra, guidage, machine learning ;
- faire détruire la plante ciblée mécaniquement, chimiquement ou électriquement, en intervenant en localisé (ex projet WeedElec) ;
- rendre cette machine autonome.

Le coût est encore trop élevé pour une banalisation des usages, mais la faisabilité technique est proche.

5 - Valorisation des données, couplage produits/data

Face aux enjeux climatiques, l'agriculture doit mieux identifier ses impacts environnementaux, mais aussi formaliser ses capacités de séquestration du carbone. La production de données est indispensable pour en apporter la preuve. Le développement du marché du carbone, la maîtrise énergétique des exploitations agricoles, les attentes des consommateurs et des filières sont autant d'enjeux pour produire, stocker et gérer les données, afin d'identifier les leviers agronomiques et économiques de performance. Demain il faudra savoir

coupler une production avec une base numérique d'informations multicritères. Ce sera un grand terrain de jeu pour l' Intelligence Artificielle dont il faudra maîtriser les algorithmes !

Ce qu'il faut retenir :

L'agriculture numérique est en marche, la digitalisation des métiers se développe de l'amont à l'aval.

La valorisation économique des données de production est un enjeu fondamental dans l'équilibre économique des exploitations. Il est important que le monde agricole garde suffisamment la main dans les mécanismes qui vont se mettre en place pour accéder à ce revenu complémentaire.

D'autre part, la robotisation des interventions se développe, le couplage *capteur et intelligence artificielle* a des champs d'applications immenses dans le machinisme agricole. L'optimisation des interventions, le positionnement des semences, leur densité de semis, la gestion de l'eau et des intrants, l'autoguidage des engins, sont autant d'outils d'assistance au service de l'agriculture et de l'environnement : il est nécessaire que les acteurs agricoles les maîtrisent et valorisent au mieux.