



MATERIEL AGRICOLE

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES AUX SERVICES DE
L'AGRICULTURE ET DES AGRICULTEURS

Alexandre Meyniel

Hydrogéologue-Pédologue-Cartographe
Chargé du développement de l'agriculture de précision

Service Agronomie Environnement Productions végétales

CHAMBRE D'AGRICULTURE DU LOIRET

REPUBLIQUE FRANÇAISE

Etablissement public

loi du 31/01/1924

Siret 184 500 031 000 28

APE 9411Z

www.loiret.chambagri.fr

Moteurs, ordinateurs de bord, autoguidage, cartographie des parcelles, le secteur agricole n'échappe pas aux avancées technologiques. Ces avancées apparaissent comme un véritable confort de travail pour les agriculteurs mais elles permettent aussi une meilleure gestion des pratiques culturales via la gestion « intra-parcellaires » (apports d'intrants...). Elles contribuent ainsi à améliorer le confort et l'efficacité du travail mais aussi la productivité. Néanmoins, l'utilisation de toutes ces nouvelles technologies demande un temps d'adaptation pour les agriculteurs.

GUIDAGE ET PILOTAGE PAR GPS : LA TECHNOLOGIE AGRICOLE DE PLUS EN PLUS PRÉCISE

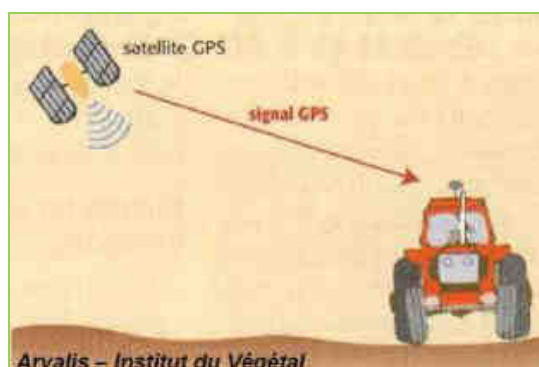
Parmi l'ensemble des nouvelles technologies qui s'est développé ces dernières années auprès du public agricole, le GPS paraît être la plus innovante d'entre elles. L'utilisation du géopositionnement en agriculture est en plein développement. Le GPS permet à tout utilisateur équipé de déterminer de façon continue sa position. Ainsi, les exemples d'application sont multiples comme l'autoguidage des tracteurs, le jalonnage ou encore la modulation intra-parcellaire... A la clé de nombreux avantages : gain de temps, limitation des recouvrements, réduction des intrants...

UN BESOIN, UNE PRÉCISION...

Le GPS offre à l'agriculteur la possibilité de géolocaliser ses tâches quotidiennes. Comme les automobiles de tourisme, les engins agricoles utilisent le GPS. Selon l'application effectuée par l'agriculteur à l'aide de sa console GPS, il existe différents types de signal. Ces derniers vont jouer sur la précision de la tâche à effectuer par l'agriculteur. Ils vont être transmis directement via la console GPS embarqué sur la machine. La précision nécessaire à l'agriculteur ne sera pas la même qu'il s'agisse d'un travail en grande culture ou d'un travail de maraîcher. En fonction de l'utilisation qui en sera faite, on peut déterminer le besoin en précision, et donc le type de signal nécessaire. Plusieurs niveaux de précision peuvent être définis.

✓ GPS, GLONASS, GALILEO :

Il s'agit là de réseaux de satellites dont fait partie le GPS. Ce dernier correspond au réseau satellitaire américain. A ce dernier, peuvent être rajoutés les réseaux européen et russe GALILEO et GLONASS. On parle ici de constellations de satellites. Ces réseaux permettent de géolocaliser tout type de véhicule.



Localisation du tracteur par GPS (Source : Arvalis)

Le réseau de base GPS qui est gratuit permet selon le niveau de technologie d'obtenir une précision de plus ou moins 5 mètres. Cette erreur de mesure provient essentiellement de problèmes

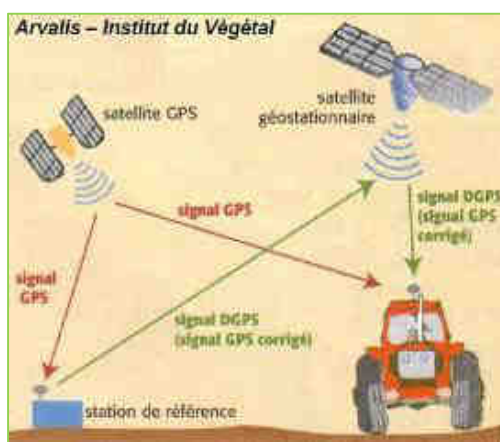
de transmission du signal (du satellite au récepteur). Ce signal est altéré au moment de traverser les différentes couches de l'atmosphère et subi différentes autres perturbations. Globalement, la perturbation évolue lentement et sa valeur est donc la même pour de vastes zones.

Cela suffit amplement pour connaître la route sur laquelle circule une voiture. Toutefois, cette technologie est inutilisable pour des travaux agricoles qui nécessitent une précision centimétriques dans la réalisation des différentes tâches agricoles (semis, traitement...).

Afin de palier à cette erreur de précision et en vue d'assurer une plus grande précision pour du guidage agricole, ont été développé des procédés (DGPS, RTK) pour corriger les signaux satellites. Ces systèmes utilisent des stations dont la position est fixe et connue.

✓ **GPS Différentiel (DGPS) :**

Ce système de géolocalisation fonctionne avec les mêmes constellations de satellites évoquées précédemment. A la différence du GPS classique, c'est l'apport d'une correction qui définit la direction et l'amplitude du décalage.



Localisation du tracteur par le procédé du GPS différentiel (DGPS)
(Source : Arvalis)

Concrètement, plusieurs stations fixes équipés de balises GPS et localisé très précisément à la surface du globe calcule la correction à réaliser entre la position fournie par les satellites et la position réelle de l'objet. La station transmet alors à la console GPS embarquée sur le tracteur via un satellite géostationnaire la correction du signal. Ainsi, la correction est apportée en temps réel à la console du tracteur qui utilise le signal standard (GPS, GALILEO, GLONASS) ainsi que la correction envoyé par la base fixe.

Précision	15-50 cm			7-15 cm	5-10 cm	
Correction différentielle (dGPS)	Egnos	SF1	OmniSTAR VBS	OmniSTAR XP	OmniSTAR HP	SF2
Propriétaire du dGPS	UE	John Deere	Omnistar	Omnistar	Omnistar	John Deere
Mode de transmission de la correction	Transmission sous forme de fréquences (ondes radio)					
Coût abonnement	Gratuit	Gratuit	82 €/mois à 275 €/mois	environ 1200 €/an	environ 1800 €/an	430 €/mois
Marque des récepteurs	Tous	John Deere	La majorité	La majorité	La majorité	John Deere

Correction différentiel DGPS offerte aux agriculteurs via les satellites de communication
(Sources : ALPA, CRAL)

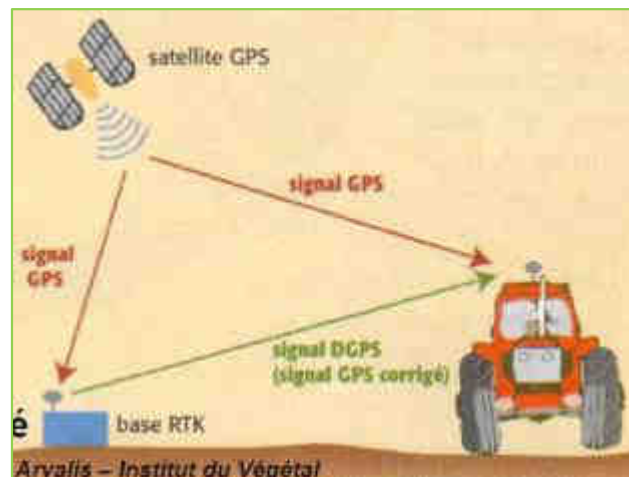
Ce procédé permet d'obtenir des précisions inférieures au mètre. Toutefois, celui-ci est payant. De plus, selon le système de correction souscrit (EGNOS, OMNISTAR...), la précision du tracteur peut varier entre 5 et 50 cm.



Ce procédé est très couteux et nécessite généralement un abonnement à un système de correction comme mentionné dans le tableau ci-dessus. Celui-ci est conseillé pour de la gestion d'apports d'engrais et de pulvérisation de produits phytosanitaires.

✓ **RTK (GPS cinématique en temps réel) :**

Il s'agit là du système de géolocalisation publique le plus performant du marché en agriculture. Le RTK permet d'apporter une correction encore plus précise aux alentours de 2,5cm. Il reprend les principes du GPS et du DGPS. A ces derniers s'ajoutent une seconde correction provenant de stations fixes situées à proximité de l'exploitation de l'agriculteur (5 à 70km). La station RTK mesure la différence de position entre celle fournie par le GPS et la position réelle de l'objet, à l'identique du DGPS. Mais, cette fois-ci la correction est transmise à la console GPS par onde radio ou par téléphonie mobile. La transmission est ainsi quasi-instantanée.



Localisation du tracteur par le procédé du RTK (Source : Arvalis)

Le RTK se différencie du DGPS par l'absence de dérive du signal ce qui permet d'avoir une précision constante et de revenir exactement au même endroit pour des opérations culturales successives. De plus, ce système ne nécessite pas d'abonnement (correction payante) mais l'investissement (qui varie suivant la portée de l'onde radio) est très onéreux concernant l'acquisition d'une balise seule.

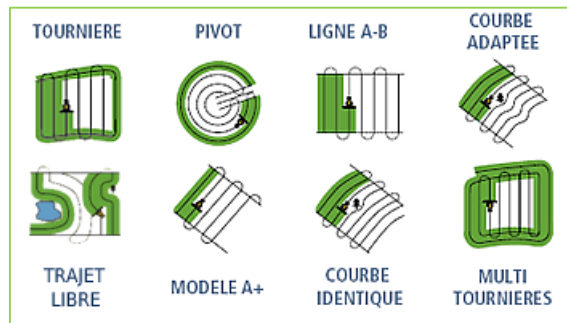
Le gain de précision est très intéressant dans le cadre d'activité nécessitant un travail extrêmement régulier tel que la plantation d'asperges ou le désherbage mécanique... Ainsi, le dispositif RTK ne semble se justifier que pour des cultures spécialisées à hautes valeurs ajoutées ou de très grandes surfaces.

L'AUTOGUIDAGE, UN VRAI CONFORT DE TRAVAIL

Avec l'apparition des systèmes de corrections du signal GPS (DGPS, RTK), les agriculteurs ont pu apporter un certain confort à leur travail des champs. Une simplification des opérations culturales successives est apparue avec la fin du jalonnage (simplification du guidage) et le passage pour de nombreux agriculteurs à de l'autoguidage. L'objectif est ici de faciliter le guidage de l'engin pour l'agriculteur. Une meilleure régularité du travail et surtout la diminution de la fatigue du chauffeur, voilà les principaux intérêts. C'est d'ailleurs l'application première de ce nouvel outil !

Ce dernier trouve tout son intérêt avec les outils de grande largeur pour éviter les recouvrements sur plusieurs centimètres ou les manques. Le chauffeur effectue un premier passage pour repérer les lignes de travail, puis le système lui indique automatiquement où placer son tracteur

ou sa moissonneuse-batteuse lors des passages suivants. Fini le jalonnage ! Ces systèmes de guidage ou d'autoguidage ont différents modes de fonctionnement selon la géométrie de la parcelle.



Type de guidage d'engins agricoles (Source : Géo-Pro)

Par guidage par console GPS, on peut différencier deux type de conduite : la conduite assisté avec l'indication par la console de la direction que doit prendre l'agriculteur (barre de guidage) ; et le guidage automatique de l'engin agricole (autoguidage).

Concernant l'assistance guidage, ce procédé permet d'atteindre une précision de 20-30cm. La barre de guidage est une assistance à la conduite qui indique la position du tracteur par rapport à une ligne de référence. Généralement transmise sous la forme d'une suite de diodes électroluminescentes (LED) ou sur un écran large, ce dispositif indique au chauffeur la correction de trajectoire à apporter (droite/gauche). Avec ce dispositif, il y a donc une erreur humaine inévitable. Ainsi, la correction RTK ainsi que les corrections DGPS inférieures à 10cm dans le cadre de ce guidage sont complètement inutiles. Il s'agit là de la configuration de guidage la plus simple.



Console GPS avec barre de LED pour assistance au guidage (barre de guidage)
(Source : Géo-Pro)

Pour ce qui est de l'autoguidage par GPS, les consignes de directions sont directement transmises au tracteur. Il n'y a aucun intermédiaire entre le GPS et la machine. Il s'agit là d'un système de substitution au conducteur pour le suivi d'une trajectoire. Dans cette optique, la précision du GPS est primordiale car c'est bien elle qui va donner les informations au système de direction de l'engin. Ainsi, sa performance va dépendre de la précision de la correction utilisée par l'antenne GPS.

Le type d'autoguidage est fonction de l'asservissement présent dans la cabine du tracteur. D'ailleurs cet asservissement va jouer sur la précision. Il existe deux modes d'autoguidage

✓ **L'autoguidage via l'hydraulique :**

L'orbitrol de la direction est relié à l'ordinateur de bord qui contrôle le guidage. L'ordinateur contrôle seul le volant et, dans certains cas, effectue même le demi-tour en bout de champ. Le chauffeur peut alors se concentrer sur le réglage des outils arrière. Le dispositif d'autoguidage est



fixe et agit directement sur le circuit hydraulique de direction. Il n'y a aucune gêne en cabine. Le volant reste fixe. Les roues s'orientent en fonction des informations du GPS.

✓ **L'autoguidage électrique :**

Un moteur électrique est fixé au niveau du volant et c'est lui qui vient modifier la direction. Ces moteurs peuvent se présenter sous différentes formes :

- Crémaillère sur volant existant,
- Molette agrippée au volant,
- Changement intégrale du volant d'origine.



Système d'autoguidage électrique avec molette (Source : Trimble)

L'avantage de ce principe est sa mobilité. Il peut s'adapter sur différentes machines agricoles. Cependant, il marque une gêne dans la cabine du fait du mouvement systématique du volant. De plus, le système est moins protégé.

DU MATERIEL MODULABLE DE PLUS EN PLUS PERFORMANT

En parallèle de la vulgarisation de l'autoguidage des engins agricoles par console GPS, se sont développés des machines agricoles toujours plus performantes dans le souci de simplifier le travail au champ ou de bien gérer les apports d'engrais minéraux afin de réduire les factures d'intrants (distributeurs d'engrais à double centrifuge, distributeur d'engrais pneumatiques à rampes, pulvérisateur...). A ce titre, les contraintes environnementales actuelles imposent d'appliquer des quantités d'engrais minéraux précises avec la tenue d'un cahier d'épandage. Le matériel d'épandage se doit de répondre aux enjeux de la précision de la dose appliquée et de la traçabilité des applications tout en restant performant sur la qualité de répartition des engrais.

Depuis une petite vingtaine d'années, l'électronique s'est invitée à bord de quasiment toutes les machines susceptibles d'être attelées à un tracteur. Ces machines sont construites afin de répondre aux dernières avancées technologiques. Le but est de pouvoir contrôler le débit de l'épandeur à distance et de pouvoir moduler la dose apportée afin de limiter les recouvrements et les impasses, toujours dans le but de l'optimisation du travail mais aussi dans un souci de traçabilité (contraintes environnementales...).

La dernière génération d'épandeurs à engrais peut ainsi intégrer un système de pesée en continu. Avec ce type d'appareil, la mise en service et la modulation de dose est simplifiée. Grâce à l'analyse permanente du poids contenu dans l'épandeur, les dispositifs et le conducteur connaissent

la quantité d'engrais réellement épanchée. Avec la prise en compte de la vitesse réelle d'avancement, les systèmes régulent automatiquement des trappes de débit afin d'épandre la dose programmée via la console de l'outil. On a un contrôle de la cabine de ce qui est épanché sur la parcelle. L'effort porte ainsi sur la manière de rendre plus facile et accessibles les réglages de débit. Le recours à l'électronique embarquée permet l'accessibilité accrue aux réglages et au contrôle de débit en continu depuis la cabine du tracteur.

Ce principe de gestion à distance peut être appliqué à différents outils du simple distributeur d'engrais à centrifuge au semoir en passant par le pulvérisateur à produits phytosanitaires. Il s'agit d'intégrer une certaine modularité et un certain contrôle aux machines agricoles.

ISOBUS, LA PRISE AGRICOLE UNIVERSELLE

Cependant, il est vite apparu des défauts de normalisation des liaisons entre la console du tracteur et le boîtier de la machine: incompatibilité entre les marques, improductivité, surcoûts... A l'initiative de plusieurs industriels tels que John Deere, le développement d'une norme appelée ISOBUS dont l'objectif est de faire communiquer le tracteur avec son outil attelé sur le mode « plug and play », c'est-à-dire qu'on peut régler les paramètres de l'outil directement depuis la cabine du tracteur, a été mise en place. L'ISOBUS correspond à un protocole de communication standardisé permettant l'interopérabilité des machines agricoles entre elles. On parle aussi de norme Iso 11783.



Prise ISOBUS

L'objectif de ce protocole est de gérer le paramétrage de son outil depuis la cabine de l'engin. Il permet aussi de réduire le nombre de consoles dans la cabine, une seule console pour gérer tout le matériel contrairement à auparavant avec une console par outil. L'ensemble des outils est géré par une seule et même console !



Schématisme du protocole de communication ISOBUS

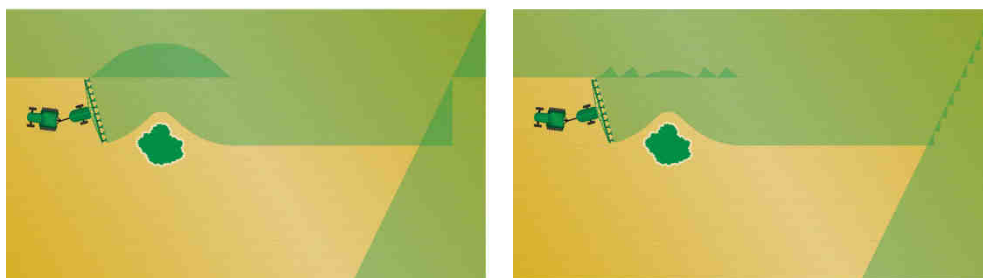
Ce système peut également permettre une liaison entre la console ISOBUS de l'outil et la console GPS. Ce protocole de communication permet alors un suivi géolocalisé du travail à la parcelle, des apports d'engrais minéraux et replace ainsi la technique de modulation intra-parcellaire sur le devant de la scène. Par-delà, le matériel agricole s'est adapté à l'apparition des consoles GPS. Ainsi, le système d'autoguidage peut être couplé à différents matériel qui permettent la variation des réglages en continu sans intervention de l'agriculteur. On a contrôle automatiques des engins agricoles.

LA COUPURE AUTOMATIQUE DE TRONÇON

Avec la mise en place de la norme de communication et le développement des consoles GPS, on passe au fur et à mesure à une gestion spatialisé des apports d'engrais à l'échelle de la parcelle. L'optimisation des recouvrements avec le GPS apparait être une innovation majeure dans le développement des distributeurs d'engrais, des pulvérisateurs ainsi que des semoirs.

La console GPS va pouvoir enregistrer et géolocaliser les travaux des champs en direct. L'agriculteur va donc savoir en simultanément où il a déjà traité sa parcelle et les zones qui lui restent à faire via cette console. Il va ainsi pouvoir éviter les recouvrements dans les secteurs difficiles (pointes...). On parle alors de coupure de tronçon. Toutefois, cette manipulation est assez compliquée pour l'agriculteur qui doit avoir un œil sur tout.

Au-delà d'une simple modification manuelle des paramètres de l'épandeur, le protocole de communication établi entre l'outil et la console GPS permet une gestion automatisé de cette coupure de tronçon. La coupure de tronçon automatique permet de faire des économies d'engrais dans les pointes et les fourrières.



A gauche, pulvérisation sans coupure de tronçon – A droite, pulvérisation avec coupure de tronçon (en vert foncé recouvrement) (Source : Teejet)

Le principe est de fermer ou d'ouvrir les tronçons automatiquement en fonction des zones à traiter ou à semer, évitant ainsi les recouvrements. L'ouverture et la fermeture des tronçons s'effectuent selon l'enregistrement des pratiques directement via la console GPS ;

La coupure de tronçon est la première étape d'une gestion intra-parcellaire des intrants (engrais, traitement...).

AGRICULTURE DE PRECISION : LA MODULATION INTRA-PARCELLAIRE

Avec l'apparition de consoles GPS, la modulation intra-parcellaire des doses d'azote et de la fumure de fond revient sur le devant de la scène. L'objectif est de mettre la bonne dose au bon endroit ! Pour cela, plusieurs paramètres sont à prendre en compte.

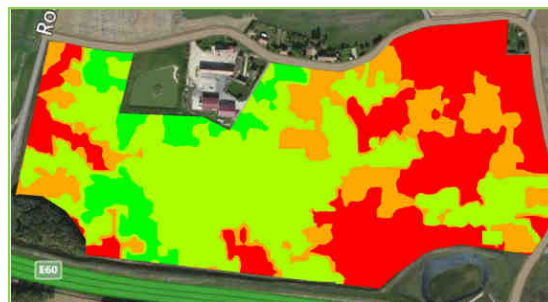
Le développement des capteurs de sols et de plantes (biomasse) permet une analyse plus précise et rapide de la variabilité intra-parcellaire (conductivité des sols, images satellites, drones, capteurs embarqués...). A cela s'ajoute la possibilité de certains systèmes GPS d'enregistrer l'hétérogénéité à l'intérieur d'une parcelle lors des travaux des champs (cartographie de rendement sur une moissonneuse batteuse...). Ce dispositif implique la possibilité d'une part de quantifier les variations intra parcellaire (capteur de rendement) et d'autre part d'enregistrer cette variation. Ces données récoltées pendant le travail doivent pouvoir être exportées pour les valoriser, car la cartographie n'est pas une fin, mais un moyen de la réduction des intrants.

D'ailleurs, l'utilisation des cartes de modulation est rendue actuellement possible par les protocoles de communication entre le tracteur et les outils d'épandage.

Evidement ce type de modulation, est très complexe et nécessite un lourd investissement que ce soit en matériels ou en outils de traitement de données (logiciel, analyse, etc.).

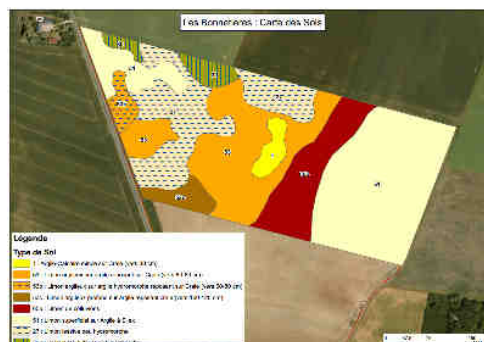
PRISE EN COMPTE DES HETEROGENEITE INTRA-PARCELLAIRES

La modulation intra-parcellaire n'est pas qu'une simple adaptation de matériel au vu des dernières avancées technologiques. Il s'agit d'une nécessité à la fois réglementaire avec les contraintes environnementales actuelles (maîtrise des marges, respect de l'environnement, réduction des émissions de gaz à effet de serre...) mais aussi d'observations agronomiques sur les parcelles.



Carte de conductivité apparente des sols
(Source : Chambre d'Agriculture du Loiret)

Les essais menés par différents instituts (ARVALIS...) et différentes Chambres d'Agriculture ont mis en évidence des hétérogénéités parcellaires à l'échelle des parcelles au niveau des sols due à des processus de formation différente mais aussi à des différences de géomorphologie (dépression, pente...). Ces différences de sols peuvent induire des différences en éléments minéraux disponibles pour la plantes. De plus, elles peuvent mettre en évidence des zones à différents potentiel agronomique.



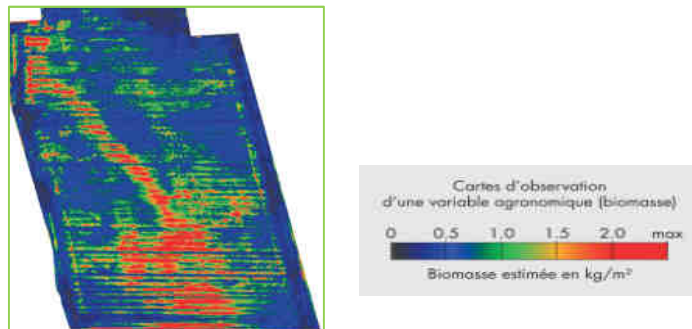
Cartographie des sols à la parcelle
(Source : Chambre d'Agriculture du Loiret)

Le remembrement successif du micro-parcellaire des années 60 et l'augmentation actuelle des surfaces agricoles a, de plus, entraîné des différences de richesses des sols à l'échelle de la parcelle (phosphore, potasse, magnésium...). Ces différences vont impacter directement la croissance des plantes. Des zones à différents rendements peuvent alors être définies.



Micro-parcellaire des années 1960 (Source : Géoportail)

A ces différences de sols peuvent être associées des différences de développement de la plante. L'ensemble de ces observations peuvent être regroupé. Il est judicieux de prendre en compte les paramètres pédologiques (sol) et biologiques (plante) ensemble afin de pouvoir apporter la bonne dose au bon endroit !



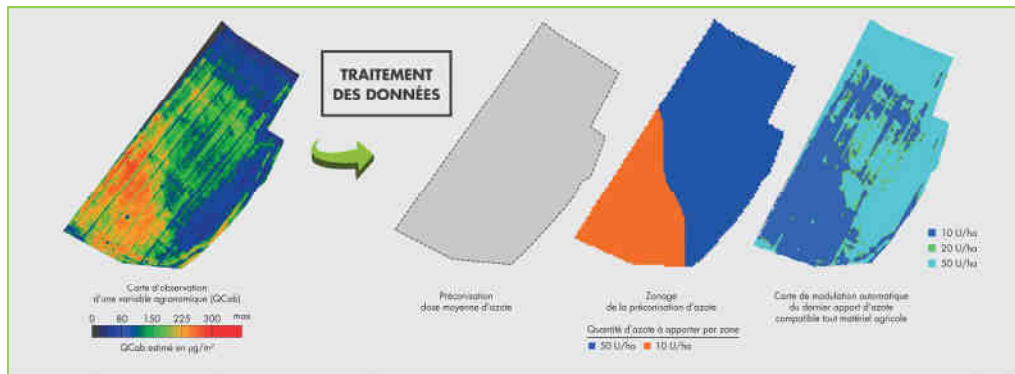
Carte de biomasse sur une parcelle colza (Source : Airinov')

Il existe différents outils afin de cartographier les hétérogénéités intra-parcellaires. C'est par l'observation de ces hétérogénéités dans les années 70-80 qu'est né le principe «d'agriculture de précision. Par définition, ce principe C'est un principe de gestion vise à optimiser la qualité des interventions de l'agriculteur (apports d'engrais, désherbage...) en tenant compte la variabilité intra-parcellaire (sol, plante).

Mais il a fallu attendre ces dernières années et les innombrables avancées technologiques pour que ce principe soit appliqué dans les champs.

DES CARTES DE MODULATION AUTOMATIQUE

La cartographie des hétérogénéités intra-parcellaires est une chose. Ce n'est pas l'aboutissement de l'agriculture de précision. Ces hétérogénéités doivent être retranscrites en données agronomiques. L'intervention d'un conseiller agronomique s'avère indispensable pour convertir cette acquisition de données en cartes de préconisation.



Exemple de traitement de données sur une carte de biomasse de blé (Source : Airinov')

Les questions sont les suivantes : Comment transcrire les différences de potentiel agronomique des sols en données agronomiques pures (doses à épandre, semis...) ? Comment prendre en compte avec mon matériel les différences de développement du couvert végétal (apports d'azote) ?

Une simple donnée de biomasse ou de nature de sol n'est pas suffisante. Tout un travail d'interprétation est à prévoir derrière d'où l'intervention d'un expert agronomique. De plus, la réalisation de telles cartes nécessite des logiciels de cartographie spécialisés qui ne sont pas forcément à la portée d'agriculteur.



Exemple de carte de modulation en Super 38 (phosphore)
(Source : Chambre d'Agriculture du Loiret)

Toujours dans un souci de compatibilité, ces cartes de modulations doivent être retranscrites dans un format adapté au matériel agricole utilisé. Celle-ci doit être pour l'agriculteur « prête à l'emploi ».

Cette carte de modulation peut correspondre soit à une carte de préconisation d'apports d'azote ou bien d'engrais de fond ou encore de traitements phytosanitaires.

LE DRONE : NOUVEL OUTIL DE PILOTAGE DES CULTURES

Parmi les capteurs permettant de cartographier les hétérogénéités à l'échelle de la parcelle, le drone est sûrement l'outil le plus innovant. C'est l'outil actuel de gestion des pratiques culturales. Ce dernier équipé d'un capteur multispectral va permettre d'estimer l'état de la culture. IL s'agit du principe de télédétection. Cet outil innovant mesure l'énergie renvoyée par le feuillage des cultures pour déterminer l'état de vigueur ou de faiblesse du couvert végétal. L'objectif est d'adapter les

apports d'intrants en fonction des besoins de la plante à un temps t. L'exploitant obtient alors une cartographie précise du couvert de sa parcelle. Il va alors pouvoir moduler via une carte de modulation ses apports d'azote en fonction de ce que la plante a déjà consommée.



AgriDrone de la société Airinov' (Source : Airinov')

Cet outil va permettre d'obtenir une cartographie du couvert végétal sur la parcelle à très haute résolution. Pour un vol effectué à 150 mètres de haut, la résolution du capteur sera de 15cm/pixel. Une telle précision va permettre de pouvoir réaliser des cartes de modulation ultra-précise avec une préconisation au mètre carré. Une fois la carte réalisée, il suffit de la charger sur sa console GPS et le tour est joué ! Avec le protocole de communication, aucune manipulation de la console du pulvérisateur ou de tout autre outil n'est à prévoir.

La modulation d'apports d'azote est l'un des débouchés de ce nouvel outil. D'autres perspectives sont en cours de développement telles que la localisation d'adventices pour cibler les zones à traitement ou encore la localisation de dégâts de gibiers.

SUIVI AGRONOMIQUE DES PARCELLES PAR SATELLITE

L'apparition du drone est liée au développement de la télédétection spatiale. Depuis quelques années, plusieurs services de télédétection spatiale se sont orientés vers le monde agricole. Le développement fulgurant des capteurs multi spectraux et l'augmentation toujours plus importante de la résolution de ces mêmes capteurs a permis le développement de nombreux débouchés à ce domaine de recherche.



Présentation du service d'imagerie satellite de FARMSTAR (Source : FARMSTAR)

Au niveau agricole, le lancement de service comme FARMSTAR a permis de vulgariser ce domaine. Il s'agit de services opérationnels et innovants uniques au monde alliant imagerie satellite et expertise agronomique, dédié à l'agriculture de précision et au pilotage des cultures. Cet outils (FARMSTAR) a été développé par Arvalis Institut du Végétal et EADS-ASTRIUM en collaboration avec le CETIOM et l'ITB.

Le principe est identique que celui proposé par le drone mais il ne nécessite aucune intervention de terrain. Les images sont réalisées par les satellites et les cartes sont directement transmises par mail à l'agriculteur. Les images satellites vont permettre de caractériser l'état de vigueur de la culture dans le but d'optimiser les apports d'azote.

CAPTEURS EMBARQUES : UNE PRECONISATION EN TEMPS REELLE

Encore une fois, cette technologie fait appel au procédé de télédétection spatiale. On peut ici parler de télédétection au champ. A l'inverse des procédés précédents, le capteur est directement embarqué sur la machine et analyse en temps réelle la réflectance de la végétation pour fournir un conseil de dose d'azote simultané. Le capteur est directement connecté via un port ISOBUS à la console du distributeur ou u pulvérisateur



Tracteur avec distributeur centrifuge d'engrais équipé d'un capteur N-Sensor

Il en existe de différentes sortes et de différentes marque (Yamara, Trimble, Class...). Le but est une nouvelle fois de mettre la bonne dose au bon endroit.

L'apparition du guidage par GPS a donné une nouvelle dimension au machinisme agricole et au travail des champs. La combinaison des contraintes environnementales actuelles et la nécessité d'un confort de travail pour l'agriculteur a permis l'émergence de nouveaux outils bourré d'électronique embarqué nécessitant une adaptation constante des agriculteurs. Après 15 ans de somnolence et avec l'apparition des derniers capteurs pouvant caractériser l'hétérogénéité des parcelles, la modulation intra-parcellaire des doses d'azotes et de la fumure de fond a fait sa réapparition.