

Satellites et agriculture de précision

Lénaïc Grignard¹, Chloé Romier¹

Résumé. L'agriculture de précision offre un nouveau regard sur la parcelle pour une meilleure gestion des intrants. Les images satellite ont ouvert un angle inédit d'observation du comportement de la biomasse verte à l'échelle inter et intraparcellaire. Elles permettent la prise en compte de sa variabilité dans les décisions culturales et d'ajuster ainsi la bonne dose, au bon moment, au bon endroit, avec pour résultat une amélioration des bilans économiques, agronomiques et environnementaux. Cet article présente de manière succincte la démarche de l'agriculture de précision, de l'analyse des hétérogénéités intraparcellaires à partir d'images satellite ou de cartes de rendement à la modulation des intrants, à travers un exemple de service en agriculture de précision proposé par la société GEOSYS aux agriculteurs en France et à l'étranger.

Mots clés : agriculture de précision, gestion des intrants, aide à la décision, images satellite, agronomie

Introduction

Le concept d'agriculture de précision repose sur le constat qu'une parcelle n'est pas homogène. La prise en compte de cette variabilité intraparcellaire et du contexte agro-climatique local associé permet d'optimiser les différentes étapes de la conduite d'une parcelle pour apporter la bonne dose, au bon endroit, au bon moment. Les objectifs intrinsèques sont d'améliorer les résultats agronomiques, économiques et environnementaux. On considère en général quatre étapes dans les approches d'agriculture de précision : 1) l'acquisition de données pour mieux comprendre le fonctionnement de la parcelle : la mesure ; 2) le traitement des données pour les transformer en information pertinente et analysable ; 3) l'analyse de ces données pour la prise de décision, parfois via l'utilisation de modèles agronomiques ; 4) la mise en œuvre : adaptation de la conduite agronomique. Cette approche peut se décliner à plusieurs échelles : l'interparcellaire qui permet de comparer les parcelles entre elles, d'adapter la conduite parcelle par parcelle, et de déterminer entre autres celles qui sont les plus variables ; la parcelle, notamment pour améliorer la connaissance de son comportement agronomique via la compilation d'informations historiques ; l'intraparcellaire, avec une modulation des intrants au semis ou en cours de saison en fonction du contexte spatio-temporel. Depuis une dizaine d'années, des entreprises proposent aux agriculteurs des services d'agriculture de précision. D'abord marginale, l'adoption de ces pratiques est en pleine expansion. Ainsi, parmi les services existants, GEOSYS propose FarmSat[®], un service d'agriculture de précision pour les grandes cultures, en France (sous la marque Cerelia[®]) et à l'étranger (Etats-Unis, Canada, Brésil, Australie, Royaume Uni, Ukraine, Russie). GEOSYS est la filiale d'un groupe coopératif américain, Land O'Lakes. Avec plus de cinquante employés en France, aux Etats Unis, au Brésil et en Australie, GEOSYS contribue depuis plus de 25 ans à développer les performances de l'agriculture sur les cinq continents, en fournissant aux acteurs des filières agro-industrielles des solutions innovantes pour optimiser l'utilisation des ressources, améliorer les rendements et réduire l'impact des aléas.

Des images satellite comme outil de mesure

Il y a une quarantaine d'années, des scientifiques ont commencé à utiliser des capteurs embarqués dans des satellites pour observer la terre et quantifier la densité de végétation verte. Des mesures du rayonnement solaire réfléchi dans le rouge et le proche infrarouge permettent de suivre l'activité photosynthétique et la surface foliaire ou la biomasse verte. En effet, une caractéristique des plantes chlorophylliennes est d'absorber les longueurs d'onde du rouge pour alimenter la photosynthèse tandis que les structures cellulaires des parois réfléchissent fortement le proche infrarouge. Une modification de surface foliaire verte d'un couvert affectera sa réflectance dans ces longueurs d'onde (Breda, 2003). La combinaison de ces longueurs d'onde (et d'autres) produit divers indices de végétation. Le plus couramment utilisé est le NDVI (normalized difference vegetation index), défini par Tucker (1979). C'est la différence normalisée entre les réflectances dans le proche infrarouge et le rouge : $NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$.

¹ GEOSYS, 5 rue Vidailhan, F-31130 Balma, France ; www.geosys.fr
Auteur pour correspondance : lenaic.grignard@geosys.com

L'analyse du NDVI tout au long du cycle végétatif des plantes permet de faire des diagnostics sur la croissance de la biomasse intraparcellaire (Jonckheere et al., 2004).

Il existe de nombreux satellites d'observation de la terre. Ils se différencient en particulier par le type des capteurs qu'ils embarquent (longueurs d'onde enregistrées notamment), la fréquence de revisite au-dessus d'une zone, et la résolution spatiale c'est-à-dire la dimension d'un pixel au sol. Des résolutions spatiales entre 5 et 30 m (Rapid Eye : 5 m, Deimos : 20 m, LS8 : 30 m) sont utilisées en agriculture de précision, résolutions compatibles avec la variabilité intraparcellaire qu'il est pertinent d'analyser et les largeurs d'épandage des épandeurs d'engrais.

Mieux connaître ses parcelles

L'adaptation de la conduite de la parcelle à son contexte géographique et temporel peut se faire grâce à un meilleur diagnostic du comportement de la biomasse verte de la parcelle. Ce diagnostic peut être alimenté en amont de la saison agricole, par une compilation et une analyse des informations historiques, ou en cours de saison, avant une opération culturale.

Mesurer la variabilité

Deux parcelles voisines peuvent avoir des caractéristiques agronomiques très différentes. Il est alors intéressant d'adopter une conduite différente en fonction de leurs caractéristiques. De même, à l'intérieur de la parcelle, toutes les parcelles sont loin d'être homogènes. Moduler les apports d'intrants à l'intérieur de la parcelle prend alors tout son sens. Un point d'entrée dans l'agriculture de précision est donc la définition d'indicateurs de variabilité entre parcelles et à l'intérieur de la parcelle. Cela peut être fait sur un jeu d'images acquises lors de rotations précédentes ou l'année en cours, et à des moments clé du cycle de culture.

Les images présentées en **Figure 1** illustrent cette problématique. Elles représentent la cartographie d'un indicateur de biomasse verte dérivé du NDVI, sur des parcelles de maïs. Son analyse visuelle met en évidence une hétérogénéité de développement pendant la saison culturale, entre les parcelles (à gauche) et à l'intérieur de la parcelle (à droite).

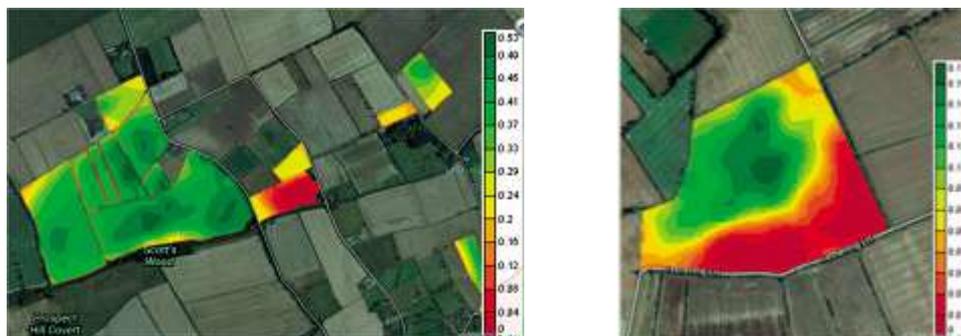


Figure 1. Carte d'indicateur normalisé de biomasse verte dérivé du NDVI mettant en évidence une variabilité interparcelle et intraparcellaire.

Pour mieux prendre en compte cette hétérogénéité intraparcellaire, une approche peut consister à découper la parcelle en zones de fonctionnement homogène.

Délimiter des zones de fonctionnement homogène

L'objectif du zonage est de raisonner en sous-unité de comportement homogène (McBratney et al., 2005). Pour générer ce zonage, une technique consiste à cibler des images historiques à des dates clé (conditions climatiques extrêmes, dates clé du cycle cultural) et à appliquer des algorithmes qui permettent d'isoler des zones homogènes ou de tracer des zones de transition.

A GEOSYS, un outil de zonage a été développé suite à des travaux menés avec la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et l'USDA (United States Department of Agriculture) au début des années 2000. Cet outil, nommé SaMZ, est utilisé dans la première étape de l'agriculture de précision qui consiste, en fonction des hétérogénéités identifiées sur les images satellite, à définir des zones qui vont être retenues et exploitées comme unité d'analyse, comme support pour optimiser les placements des échantillonnages de sol, et comme unité de gestion des intrants (semences, fertilisants). La deuxième étape consistera à effectuer la modulation des intrants, c'est-à-dire à les appliquer de manière variable dans la parcelle en fonction du zonage et du raisonnement des intrants effectué dans la première étape. L'agriculteur pourra le faire de manière automatisée s'il dispose d'un matériel (semoir, épandeur) équipé pour faire de la modulation.

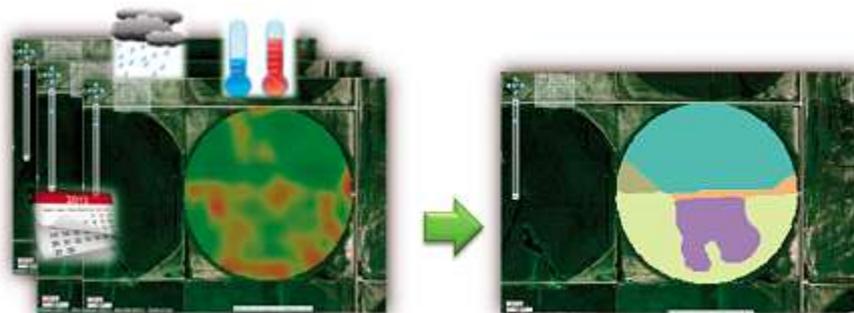


Figure 2. Exemple de résultat de zonage : à gauche : image brute de NDVI ; à droite : résultat du zonage sur une série historique d'images, sur la même parcelle.

Mieux comprendre sa parcelle en compilant des informations annexes

Se limiter aux images satellite n'a de sens que si aucune autre donnée n'est disponible sur la parcelle. Une autre entrée classique de l'agriculture de précision est l'enregistrement sur plusieurs années et l'analyse de cartes de rendement. Elles permettent de comprendre l'impact de la variabilité de la parcelle sur l'expression de son potentiel dans les différentes zones et dans diverses conditions agro climatiques (Bachmaier et al., 2009). Pour pouvoir faire cette analyse correctement, il faut disposer d'outils simples, interopérables et compatibles avec les différents formats de fichier enregistrés par les moissonneuses batteuses et éviter les interprétations erronées qui découlent souvent d'un mauvais traitement des données. GEOSYS a breveté une méthode performante basée sur une approche scientifique originale pour les cartes de rendement en intégrant l'ensemble des corrections nécessaires pour obtenir des données fiables et interprétables. Les principaux types d'erreurs et leur correction sont illustrés par les **Figures 3 et 4**.

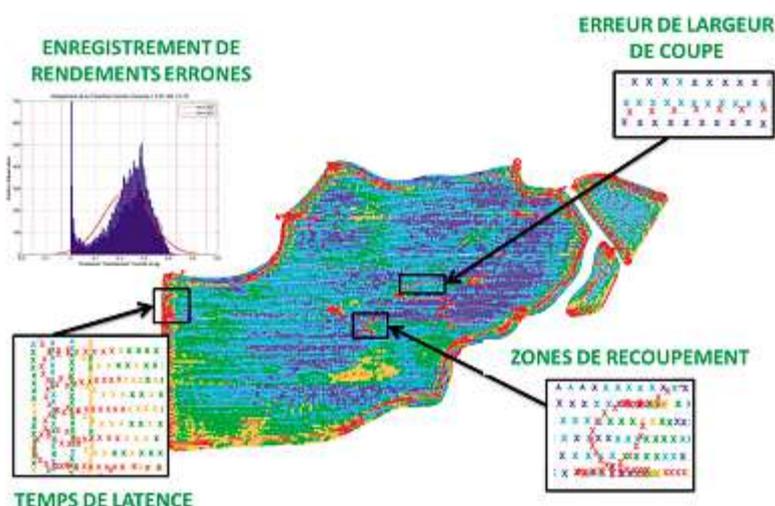


Figure 3. Carte de flux de grain enregistrée par une moissonneuse batteuse – mise en évidence des sources d'erreur (temps de latence = délai entre la coupe d'une tige de blé et le passage des grains battus devant le capteur de flux de grain).



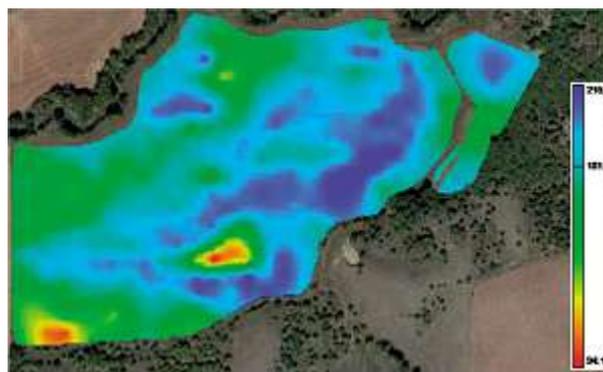


Figure 4. Carte de rendement GEOSYS après traitement des données brutes présentées en Figure 3.

Améliorer la conduite de la parcelle : la bonne dose, au bon moment, au bon endroit ; modulation des intrants

La valorisation la plus fine de l'agriculture de précision consiste à moduler les apports d'intrants en fonction du sol, de l'expression du potentiel de la parcelle, des objectifs de l'agriculteur, et de ses contraintes techniques (Plant, 2001 ; Godwin et al., 2003).

En amont du semis, un redécoupage de la parcelle peut être opéré pour gérer les zones de façon indépendante. Le choix de la variété et/ou de la densité de semis peut être adapté lorsque les contraintes techniques le permettent. Ainsi, faire varier la densité des rangs de maïs au sein d'une parcelle de maïs dans le Sud-Ouest de la France ne sera pas possible du fait de l'absence d'équipement adéquat. En fonction de la stratégie de fertilisation, dans le cas d'un apport d'engrais en même temps que le semis, les doses pourront être modulées par zone ou de façon plus fine tous les 5 ou 20 m en fonction de l'expression du potentiel de la parcelle dans l'historique. En cours de saison, la fertilisation pourra être adaptée en fonction du niveau de développement de la biomasse, ou de la surface foliaire verte, estimé via des images satellite acquises quelques jours auparavant.

Un exemple de préconisation d'application est illustré par les **Figures 5 et 6**. Il s'agit d'un cas réel d'utilisation en Angleterre, sur une parcelle de blé, pour le deuxième apport d'azote de la campagne 2013/2014. La méthode de préconisation a été mise au point par la HGCA (Home Grown Cereals Authority, Institut technique des céréales de Grande Bretagne). Elle relie un couple de valeurs de LAI (leaf area index, ratio entre la surface de feuilles et la surface au sol en m^2 par m^2) et de stade à une dose d'azote. Cette méthode vise à homogénéiser la biomasse de la parcelle en appliquant plus d'azote là où la biomasse est plus faible.

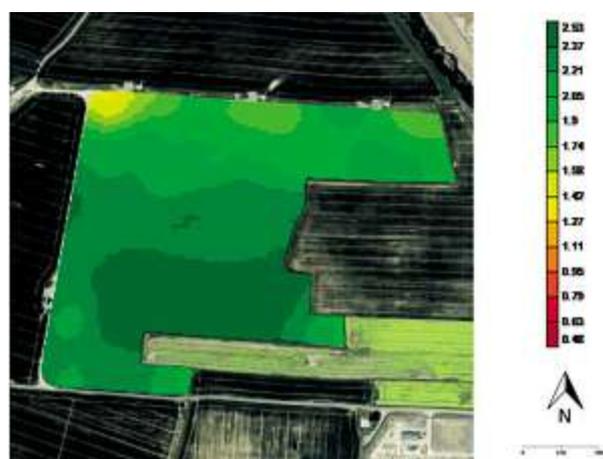


Figure 5. Carte de LAI sur une parcelle de blé en Angleterre - au 28/04/2014.

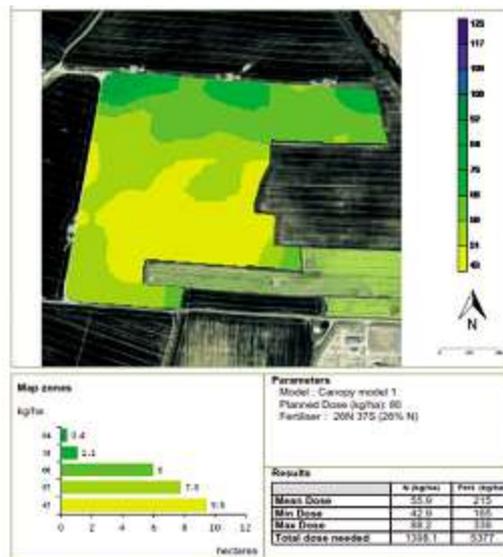


Figure 6. Carte GEOSYS de préconisation d'azote sur la parcelle de la Figure 5, en utilisant la méthode HGCA.

Les résultats de cette démarche d'agriculture de précision se traduisent par une meilleure efficacité des intrants : des gains de rendement et/ou des baisses d'intrants. D'un point de vue agronomique, ces gains découlent du bon sens. D'un point de vue économique les gains doivent dégager une marge supplémentaire après amortissement de l'investissement en matériel et en logiciel. Ces gains varient en fonction de la culture, du contexte agro-climatique et de la typologie de l'exploitation. A titre d'exemple, sur des essais sur maïs dans le Sud- Ouest en 2013, le gain moyen a varié entre 15 et 60 € par hectare.

Conclusions

La démarche d'agriculture de précision est de plus en plus adoptée par les agriculteurs en grande culture. L'Amérique du Nord et l'Australie sont très en avance par rapport à l'Europe. En Europe, les pays du Nord, l'Allemagne et l'Angleterre font figure de pionniers. La technologie est mature, les services associés se déploient. Il reste une large place pour l'innovation, mais l'expérience de ces dernières années montre que l'agriculture de précision sera un des piliers de l'agriculture de demain.

Références bibliographiques

- Bachmaier M, Gandorfer M (2009) A conceptual framework for judging the precision agriculture hypothesis with regard to site-specific nitrogen application. *Precis Agric* **10** : 95-110.
- Breda NJJ (2003) Ground-based measurements of leaf area index : A review of methods, instruments and current controversies. *J Experiment Bot* **54** : 2403-2417.
- Godwin R, Wood G, Taylor J, Knight S, Welsh J (2003) Precision farming of cereal crops : A review of a six year experiment to develop management guidelines. *Biosyst Eng* **84** : 375-391.
- Jonckheere I, Fleck S, Nackaerts K, Muys B, Coppin P, Weiss M, Baret F (2004) Review of methods for in situ leaf area index determination. *Agric Forest Meteorol* **121** : 19-35.
- McBratney A, Whelan B, Ancev T, Bouma J (2005) Future directions of precision agriculture. *Precis Agric* **6** : 7-23.
- Plant RE (2001) Site-specific management : the application of information technology to crop production. *Comput Electron Agric* **30** : 9-29.
- Tucker CJ (1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens Environ* **8** : 127-150.