

L'imagerie multispectrale comme outil d'analyse et de diagnostic pour la productivité des sols en agriculture de précision

Matthieu de Pinel de la Taule¹, Samuel Morissette², Patrick Ménard¹, Karine Jean¹

¹ Centre de géomatique du Québec, 534 Jacques-Cartier Est, Chicoutimi (Qc) G7H 1T5 (www.cgo.qc.ca)

² Agrinova, 640 rue Coté Ouest, Alma (Qc) G8B 7S8 (www.agrinova.qc.ca)

Mots clés : Images aériennes, agriculture de précision, proche Infrarouge, NDVI, géomatique

Résumé : Deux Centres collégiaux de transfert de technologie (CCTT) québécois de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean ont mis en place un projet qui consiste à jumeler la géomatique et l'agriculture de précision. Agrinova, CCTT spécialisé en recherche et innovation en agriculture et le Centre de géomatique du Québec, CCTT spécialisé en géomatique, ont développé un projet de recherche appliquée démontrant les avantages d'utiliser l'imagerie aérienne multispectrale combinant le visible et le proche infrarouge comme outil d'analyse et de diagnostic de la productivité des sols en agriculture de précision. Ce projet a été mené dans les champs du groupe Propur situés dans la municipalité de Saint-Ambroise (Saguenay-Lac-Saint-Jean). L'équipe de recherche a effectué des relevés de terrain sur la biomasse, la chlorophylle ainsi que des relevés de sol pour évaluer quelle était l'intensité des corrélations entre l'information recueillie à partir des images et les données in situ. Les résultats obtenus se sont avérés très satisfaisants.

Contexte thématique en agriculture de précision

Les parcelles agricoles présentent une variabilité intraparcellaire au niveau de la fertilité des sols. Cette variabilité affecte la productivité et la rentabilité par unité de surface. Ainsi, une gestion plus fine des opérations agraires selon la fertilité des sols permettrait d'améliorer la productivité des cultures. Selon la *Commission géomatique agricole et agriculture de précision* de la CRAAQ¹, il faut, dans un premier temps, connaître cette variabilité en utilisant des techniques telles que l'imagerie aérienne, l'échantillonnage des sols ou la conductivité électrique apparente. En second lieu, il faut en comprendre l'origine et savoir si elle est intrinsèque au sol ou si des opérations peuvent en modifier la fertilité. L'identification du ou des facteurs affectant cette variabilité s'avère essentielle. Finalement, la gestion de cette variabilité par l'adaptation des opérations culturales nécessite la compréhension des phénomènes mis en cause. Cette étude ne cherche pas à apporter de réponse sur la cause d'un éventuel dérèglement des sols, mais, bien de démontrer le potentiel de l'imagerie aérienne multispectrale comme étant une source fiable d'information pour localiser les irrégularités de croissance et ainsi évaluer la productivité des sols.

Introduction

L'équipe de recherche menant ce projet a procédé à l'élaboration complète de la méthodologie : acquisition des images, collecte des données sur la zone d'étude, compilation et traitement des informations et interprétation des résultats. L'enjeu de la procédure consistait à évaluer la biomasse aérienne par l'imagerie multispectrale grâce à l'indice de végétation normalisé (NDVI²), de corrélérer à la présence réelle de trèfle relevée sur le terrain (biomasse et chlorophylle) et d'identifier le(s) facteur(s) causant cette variabilité. L'équipe de recherche souhaite également à travers les conclusions de ce projet appuyer le fait que ces technologies, proportionnellement peu onéreuses, peuvent être intégrées aux pratiques de gestion agraire et peuvent apporter aux agriculteurs une plus value importante par rapport à la compréhension de leur sol.

¹ Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec

² Normalized Difference Vegetation Index

Vol d'acquisition

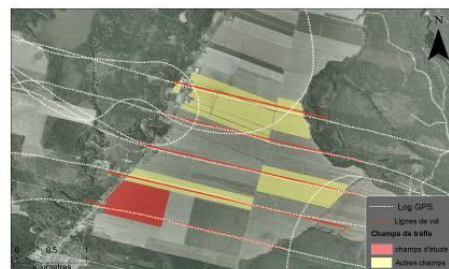
Les prises de vues aériennes ont été réalisées grâce à l'utilisation d'un monomoteur de type Piper PA128 ayant une ouverture au niveau du plancher ainsi qu'une structure pouvant accueillir le système d'acquisition qui est décrit dans la section suivante.

Figure 1 - Piper PA 128



L'acquisition s'est effectuée sur une superficie de 7 kilomètres carrés composée de différents champs d'intérêt. Le vol s'est déroulé le 29 septembre 2011 par une journée dégagée et a comporté 5 lignes de vol réalisées à une altitude de 4500 pieds (1371 m). Cette altitude, combinée aux spécifications du capteur, a permis d'acquérir des images d'une résolution spatiale de 30 cm par pixel. L'équipe de recherche à bord de l'appareil était munie d'un GPS de haute précision branché à une application cartographique. Ce dispositif a permis de suivre en temps réel le déroulement du vol et de donner au pilote une information supplémentaire sur sa position afin de respecter l'enlignement de l'avion sur les trajectoires préétablies.

Figure 2 - Carte représentant les zones d'étude, les lignes de vols ainsi que la trajectoire de l'avion



Descriptif de la méthode d'acquisition des images

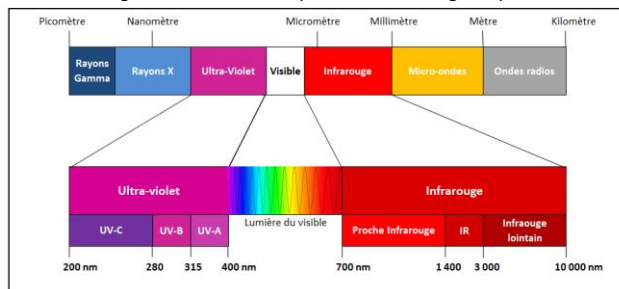
Dans le cadre de ce projet, l'équipe a utilisé une caméra permettant d'acquérir des images dans le domaine du visible et du proche infrarouge, la ADC-Lite développée par la société Tetracam. Le capteur CMOS de cette caméra permet de réaliser des images d'une taille de 2048 x 1536 pixels (3.2 méga pixels). Elle a été spécialement conçue pour capter les longueurs d'onde allant de 550 à 920 nanomètres, soit les parties vertes, rouge et proche infrarouge du spectre électromagnétique.

Figure 3 - Caméra multispectrale ADC-Lite de Tetracam



Comme le démontrent de nombreuses publications (Knipling, 1970; Jackson, 1983; Tucker, 1979; Jackson et Huete, 1991; Weigand *et al.*, 1991), l'intérêt d'utiliser de telles longueurs d'onde permet d'aller chercher des informations spécifiques sur le couvert végétal. Les informations recueillies dans les longueurs d'onde du proche infrarouge (700 à 1400 nm) permettent d'extraire l'intensité de la réflectance de la végétation et de calculer des indices de végétation (ex.: NDVI, GNDVI³, LAI⁴) très utile en agriculture de précision (Woolley, 1971.).

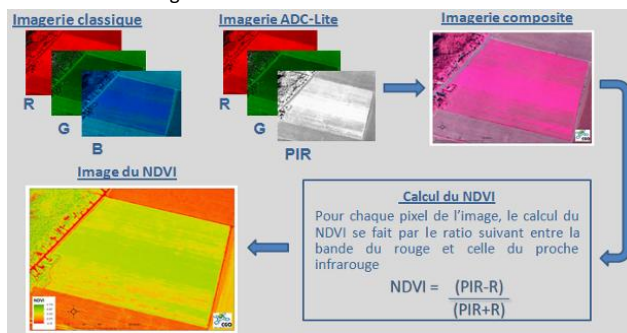
Figure 4 - Schéma du spectre électromagnétique



Imagerie visible, proche infrarouge et calcul du NDVI

Une image couleur classique comporte 3 bandes spectrales correspondant au rouge, au vert et au bleu (communément appelée RVB ou RGB en anglais). L'image produite par l'ADC-Lite, est composée également de 3 bandes spectrales, mais celle du bleu est remplacée par une bande en proche infrarouge. Ainsi, cette caméra acquiert des images composites (visible et proche infrarouge) qui permettent de calculer l'indice de végétation normalisé ou NDVI en utilisant les bandes du rouge et du PIR.

Figure 5 - Processus du calcul du NDVI



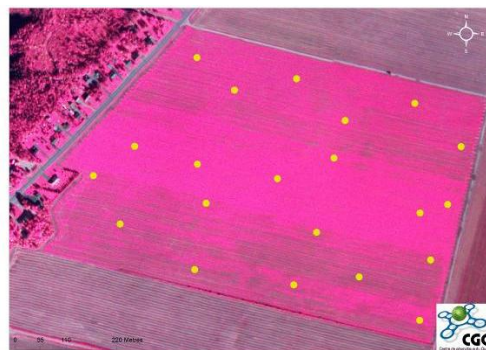
L'indice de végétation NDVI est un indice permettant de calculer le rapport de la différence entre la réflectance du proche infrarouge et la réflectance acquise dans la bande spectrale correspondant au rouge. Le NDVI est l'indice de végétation le plus communément utilisé pour estimer la présence de végétation sur une zone. Cet indice peut varier entre -1 et 1, où -1 correspond à une absence totale de végétation et 1 signifie qu'il y a une présence absolue de végétation.

Méthode de prélèvement des données terrains

Relevés des données terrains

La collecte d'information sur le terrain s'est réalisée le lendemain de l'acquisition d'images (30 septembre 2011) afin d'obtenir des résultats significatifs par rapport aux images. La méthodologie de relevés terrain consistait à collecter, sur chaque point d'échantillonnage (au nombre de 21 sur le champ d'étude), différentes variables permettant d'appuyer l'hypothèse de l'étude.

Figure 6 - Répartition des points d'échantillonnage



Ces variables sont les suivantes : *Chlorophylle, biomasse et analyse de sol*. Étant donné que la répartition du trèfle dans le champ n'est pas uniforme, il était plus pertinent de prélever des données sur une surface suffisamment grande pour que l'information recueillie soit représentative. Ainsi, des quadrats de 3 mètres par 3 mètres ont été délimités autour de chaque point d'échantillonnage représentant ainsi 21 surfaces d'étude de 9 mètres carrés.

Pour les relevés de chlorophylle :

L'équipe a utilisé un appareil, le FieldScout CM1000 de Spectrum Technologies Inc., capable de mesurer le niveau de chlorophylle en captant la réflectance de la végétation au sol. Ce dernier enregistre les longueurs d'onde comprises entre 700 et 840 nm. Une valeur allant de 0 à 999 est exprimée et permet ainsi d'évaluer la teneur en chlorophylle de la zone visée.

³ Green Normalized Difference Vegetation Index

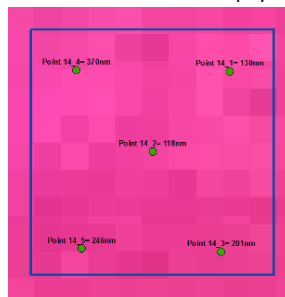
⁴ Leaf Area Index

Figure 7 - Récolte de données avec le FieldScout CM1000



Chacune des données de chlorophylle a été géoréférencée afin de pouvoir localiser les relevés à l'intérieur des quadrats. Le couvert végétal étant très irrégulier, les relevés de chlorophylle ont été faits en 5 points disposés en étoile sur la zone d'étude de 9 m². Cette technique a permis d'obtenir une valeur moyenne de chlorophylle représentative de la zone couverte par le quadrat.

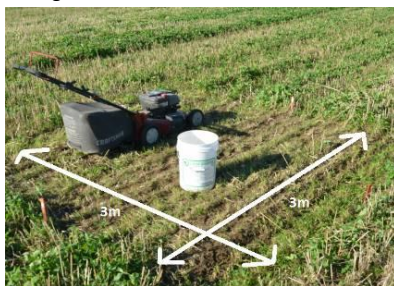
Figure 8 - Répartition des relevés de chlorophylle dans un quadrat



Pour les relevés de biomasse :

Afin de récupérer la biomasse présente à l'intérieur de chacun des quadrats de 9 m², l'équipe a utilisé une tondeuse. La biomasse a ainsi été recueillie dans le sac et a été ensuite pesée. Ceci a permis de chiffrer efficacement la quantité de biomasse prélevée sur chaque zone.

Figure 9 - Prélèvement de la biomasse



Pour les relevés de sol :

Pour effectuer les relevés de sols, la méthodologie a été la même que pour les mesures de chlorophylle, c'est-à-dire en suivant un patron de 5 échantillons, répartis de façon homogène sur la zone d'étude de 9 m² (Figure 10). Des carottes de 17 cm ont été prélevées à l'aide d'une tarière à main. Pour chaque quadrats, un échantillon a été envoyé en laboratoire à des fins d'analyses.

Figure 10 - Répartition des relevés de sol

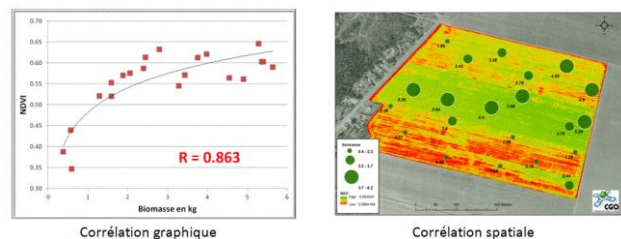


Résultats

Les résultats obtenus après l'analyse des données se sont avérés très significatifs par rapport à notre hypothèse de départ. En confrontant les différentes variables de terrain et l'indice de végétation NDVI, de bonnes corrélations ont pu être établies.

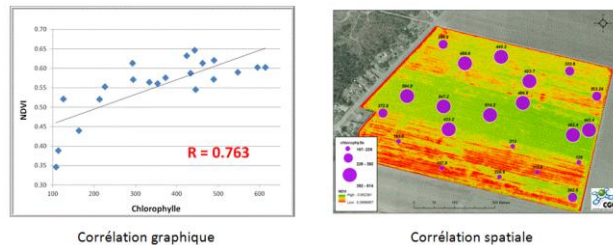
Le coefficient de corrélation est un indice statistique qui permet d'étudier l'intensité de la liaison pouvant exister entre deux variables. Ce coefficient s'échelonne de -1 à 1, où -1 signifie qu'il existe une forte corrélation négative entre les deux variables étudiées, 1 signifie qu'il existe une forte corrélation positive entre les deux variables et 0 correspond à une indépendance totale entre les deux variables.

Figure 11 - Corrélation entre la biomasse et le NDVI



Constat : La corrélation existante entre la biomasse et le NDVI (0.863) signifie que les zones où le NDVI est élevé (c'est à dire, une forte présence de végétation) correspondent aux mêmes zones que celles où la récolte de biomasse a été la plus importante (cf. bande centrale de la carte de droite (figure 11)). Cette interprétation de la corrélation est également valable dans les zones où le NDVI est faible. La carte y indique une très faible quantité de biomasse récoltée. D'un point de vue graphique, cette corrélation est très probante. Le nuage de point, représentant les échantillons de biomasse récoltée, suit de manière flagrante une courbe de tendance logarithmique. Une régression logarithmique a été préférée à une régression linéaire, car il existe un effet de seuil dans cette corrélation. Effectivement, à partir d'une certaine densité végétale, l'augmentation du poids de la biomasse ne se traduit plus forcément par une augmentation de l'indice de végétation, mais plutôt par une stagnation. Cette stagnation est due au fait que le NDVI est un bon estimateur du pourcentage de couverture de la biomasse au sol, mais il ne peut pas prendre en compte l'aspect de densité de la végétation sur un plan vertical, ce qui lui influence grandement la quantité de biomasse récoltée. Donc, même si la quantité de biomasse continue à augmenter, l'indice de végétation, lui, stagnera dû à un effet de saturation.

Figure 12 - Corrélation entre la chlorophylle et le NDVI



Constat : Les résultats concernant la corrélation entre la chlorophylle et le NDVI peuvent être interprétés de manière différente. En effet, dans ce cas-ci, il n'y a pas d'effet de seuil explicable concernant les données de chlorophylle. La répartition du nuage de point à une tendance linéaire très significative qui donne un coefficient de corrélation de 0,76. Ce résultat est extrêmement satisfaisant et permet de valider deux constats. Tout d'abord, cela confirme la corrélation naturelle qui existe entre la biomasse et la chlorophylle (test de corrélation effectué en cours d'étude de 0.86) et donc démontre la pertinence du NDVI. Et deuxièmement, cela illustre la fiabilité des données acquises par le capteur multispectral de l'ADC-Lite car la corrélation a été effectuée avec des données étalonnées, calibrées et certifiées (appareil de mesure professionnel "FieldScout CM1000").

Tableau 1- Corrélation entre le NDVI et les analyses de sol

pH eau	pH tampon	%m.o	P	K	Ca	Mg	Al	SatP/Al	Fe	Cu	Mn	Zn	B
0.46	0.28	0.27	0.45	0.11	0.35	0.14	-0.25	0.39	-0.39	0.42	-0.15	0.43	0.73

Lors de l'analyse en laboratoire des échantillons de sols, 14 composantes ont été extraites (tableau 1). En effectuant des corrélations entre le NDVI et chaque composante de l'analyse de sol, les résultats extraits ont permis d'identifier des phénomènes déjà observés et des corrélations connues entre la présence de certains éléments (bore, phosphore et pH) et la productivité du trèfle (CRAAQ, 2010).

Conclusion

En partant du fait qu'un fort indice de chlorophylle indique une forte présence de biomasse et qu'une importante quantité de biomasse est révélatrice d'une bonne productivité, il est possible de conclure que le NDVI, obtenu à partir d'images aériennes multispectrale, peut être un bon indicateur et un bon outil de diagnostic du rendement d'une culture. L'étude des échantillons de sols doit être approfondie en fonction des spécificités de chaque culture étudiée pour pouvoir pousser plus loin l'interprétation des résultats. Les plantes sont des organismes complexes qui nécessitent une multitude d'éléments organiques et chimiques pour croître et prospérer, mais aussi l'aspect physique du sol comme la compaction, la disponibilité en eau et la texture, joue un rôle prépondérant. Cependant, outre cette conclusion, le fait d'obtenir une vue globale de la densité de végétation d'un champ grâce à l'acquisition d'images aériennes multispectrale permet de révéler aussi d'autres informations pertinentes pour la gestion agricole. En effet, au même titre que la cartographie de rendement, l'imagerie aérienne devient alors une information fiable et surtout plus précise qu'une perception visuelle. Une délimitation très marquée de la densité foliaire d'une culture peut résulter d'anciennes pratiques agraires (type de travail du sol, revitalisation (organiques ou minérales), nivellement, période de jachères, fertilité des sols (chimiques, physique et biologique) ou dommages biotiques ou abiotiques). Ce type d'informations, relevé et mis en évidence, permet alors de mieux comprendre et d'identifier de manière juste l'origine de la variabilité des sols, en vue de la contrôler. Ainsi, l'utilisation de nouvelles technologies dans le milieu de l'agriculture de précision, telle que l'imagerie aérienne multispectrale, ouvre de tout nouveaux horizons pour se diriger vers une agriculture raisonnée et réactive.

L'équipe de recherche projette de renouveler cette étude durant l'été 2012 afin de pouvoir mesurer l'impact de la culture de rotation (le trèfle) sur la culture principale. L'objectif de ce second volet sera d'effectuer une nouvelle acquisition d'images multispectrale (en juillet 2012), de recalculer la biomasse, la teneur en chlorophylle ainsi que l'indice de NDVI sur les mêmes quadrats qu'en 2011, mais sur la culture principale. À cela sera rajouté le rendement de pommes de terre en septembre 2012 qui permettra d'obtenir un portrait complet du cycle agraire du champ d'étude.

L'objectif à plus long terme de ce projet est de valider cette méthodologie et d'éveiller l'intérêt des producteurs agricoles à effectuer des acquisitions multi-dates au cours de la saison de croissance. Cela permettrait de surveiller l'évolution des cultures et le cas échéant, avoir accès à des outils d'aide à la décision fiables pour orienter les décisions à prendre sur le terrain. C'est par des projets comme celui-ci qu'AgriNova et le Centre de géomatique du Québec souhaitent sensibiliser le milieu agricole à l'intérêt d'utiliser la géomatique, la télédétection, la collecte et la gestion d'informations géoréférencées provenant des champs. L'objectif final serait ainsi d'optimiser les pratiques agraires et de valoriser la productivité des entreprises agricoles.

Références

- CRAAQ, Commission chimie et fertilité des sols, 2010. Guide de référence de fertilité des sols, 2e édition.
- Jackson, 1983. Spectral indexes in N-spaces, *Remote Sensing Environment*, 13(5):409-421.
- Jackson, R.D., and A.R. Huete, 1991. Interpretation vegetation indexes, *Preventive Veterinary Medicine*, 11(3-4):185-200
- Knipling, E.B., 1970. Physical and physiological basic for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation, *Remote Sensing Environment*, 1:155-159.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 8;127-150.
- Wiegand, C.L., A.J. Richardson, D.E. Escobar, and A.H. Gerbermann, 1991. Vegetation indexes in crop assessments, *Remote Sensing of Environment*, 35;105-119.
- Woolley, J.T., 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves, *Plant Physiology*, 47(5):656-662.