

## **Analyse Géospatiale de Facteurs Affectant la Réponse d'une Culture de Blé à la Fertilisation Azotée**

**Abdellatif Gountit<sup>1</sup>, Nicolas Tremblay<sup>2</sup>, Driss Haboudane<sup>1</sup>  
John R. Miller<sup>3</sup>, Philippe Vigneault<sup>2</sup> et Yacine Bouroubi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire d'expertise et de recherche en télédétection et en géomatique (LERTG)  
Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)*

*555, boulevard de l'Université, Chicoutimi, Québec, Canada G7H 2B1*

*Téléphone (418) 545-5011 Ext. 5673; Télécopieur : (418) 545-5012*

*Courriel : [abdellatif\\_gountit@uqac.ca](mailto:abdellatif_gountit@uqac.ca) , [driss\\_haboudane@uqac.ca](mailto:driss_haboudane@uqac.ca)*

<sup>2</sup> *Centre de recherche et développement en horticulture, Agriculture et Agroalimentaire  
Canada430, boulevard Gouin, St-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada, J3B 3E6*

*Téléphone (450) 346-4494 Ext. 232; Télécopieur : (450) 346-7740*

*Courriel : [tremblayna@agr.gc.ca](mailto:tremblayna@agr.gc.ca), [vigneaultp@agr.gc.ca](mailto:vigneaultp@agr.gc.ca), [bouroubiy@agr.gc.ca](mailto:bouroubiy@agr.gc.ca)*

<sup>3</sup> *Chair, Department of Earth and Space Science and Engineering Room 104, Petrie Science  
& Engineering Building York University, 4700 Keele Street Toronto, Ontario CANADA M3J 1P3*

*Téléphone: (416)736-2100 Ext 77757; Télécopieur: (416)736-5817*

*Courriel : [jrmiller@yorku.ca](mailto:jrmiller@yorku.ca)*

### **Abstract**

An application of nitrogen that does not take into account the spatial variability of crops requirements can generate an excess of soil nitrates that can contribute to water pollution. An adequate recommendation of nitrogen fertilizer requires a good understanding of the spatial variability of key edaphic factors. This paper aims at describing the relationship between spectral indicators of crop growth, soil electrical conductivity, topography, and the need for nitrogen application. Our first results can be summarized as follows: crop response variability is linked to the combined effects of nitrogen application and soil properties since high NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) values were observed in areas with better drainage and low electrical conductivity.

### **Introduction**

La pollution des eaux par l'azote d'origine agricole est en croissance depuis 1981 (McRae et al. 2000). Une fertilisation excessive en azote provoque un transfert important des nitrates vers les eaux de drainage; ce qui constitue une source importante de pollution des eaux souterraines. Par contre, une application insuffisante d'azote peut affecter le rendement et la qualité de la récolte. Le défi à relever consiste à maximiser le rendement des cultures tout en minimisant le coût des engrais (azote) et en préservant l'environnement. Un apport adéquat de fertilisants azotés respectant les normes environnementales nécessite une meilleure compréhension de la variabilité spatiale des différents facteurs influençant le rendement des cultures dont, entre autres : les propriétés du sol, l'historique des champs agricoles, la microtopographie, la vulnérabilité au lessivage des nitrates et les besoins des plantes en azote. Les systèmes d'information géographique (SIG) et la géostatistique peuvent servir à optimiser le rendement d'une culture tout en réduisant l'impact environnemental (Larson et al. 1997). L'objectif du présent travail est l'utilisation d'une approche géostatistique et des SIG pour analyser la variabilité spatiale des propriétés du sol et examiner les relations entre

les indicateurs spectraux du rendement agricole, d'une part, et la conductivité électrique, la topographie et la fertilisation azotée, d'autre part.

## Matériels et méthodes

### *Site expérimental et données*

L'étude s'est déroulée en 2004 à la station expérimentale L'Acadie d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à St-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada. Le site expérimental cultivé en blé a une superficie d'un hectare. Le champ a été décomposé en 4 blocs avec 5 traitements azotés. Trois bandes transversales ont reçu des traitements où l'azote a été appliqué en excès (parcelles de références surfertilisées). La base de données utilisée pour l'étude est constituée de: (i) une image CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager); (ii) données d'altitude par LIDAR (LIght Detection And Ranging); et (iii) conductivité électrique apparente (CEA) dans l'horizon 0-30 cm de profondeur, obtenue à l'aide du Veris 3100.

### *Analyses des données*

Elles comportent :

Statistiques descriptives.

Analyse structurale : on cherche à construire un modèle variographique et à caractériser la variabilité spatiale des propriétés du sol (CEA, topographie) et de l'indice NDVI en utilisant les semivariogrammes. Les semivariogrammes sont modélisés afin d'avoir des cartes interpolées par krigeage ordinaire. Le semivariogramme représente la variabilité moyenne des mesures entre deux points en fonction de la distance qui les sépare (Issaks and Srivastava, 1989).

Analyse spatiale SIG : dans cette étape on cherche à déterminer les causes de la variabilité spatiale du NDVI en superposant les différentes cartes produites.

## Résultats et discussion

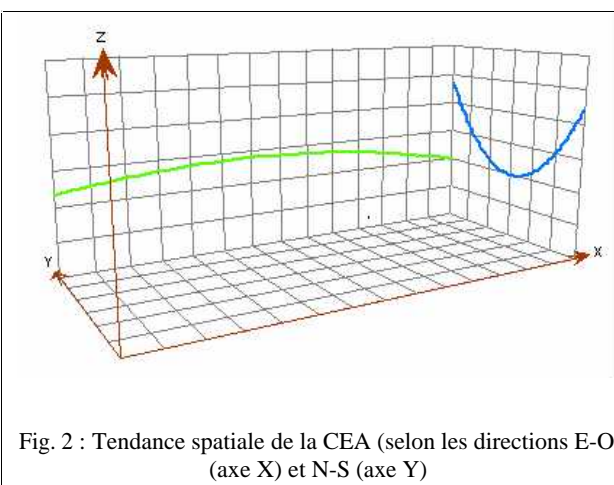
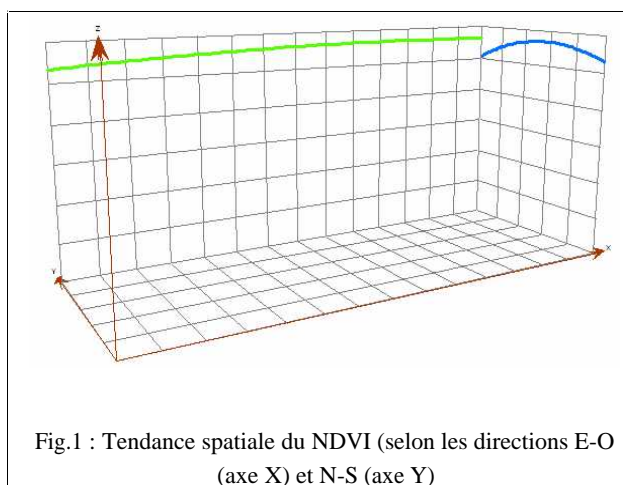
La distribution des données a été analysée afin de bien comprendre la tendance des différents paramètres du sol et de faire apparaître d'éventuelles erreurs.

	min	max	moyenne	écart type	CV %
CEA	5	17	10.2	2.20	21.6
Altitude	44.2	45.28	44.73	0.19	0.42

Tableau 1 : Caractéristiques statistiques de la conductivité électrique apparente et de l'altitude. CV : coefficient de variation (Écart-type/moyenne)

La conductivité électrique du sol et l'altitude suivent une loi normale. La conductivité électrique présente une variation de 21.6%, par contre le modèle numérique d'altitude présente une variation de 0.42% (Tableau 1).

L'analyse des tendances a montré qu'il y a (i) une tendance spatiale suivant l'axe Y pour le NDVI, due à la topographie et la conductivité électrique du sol qui sont hétérogènes, (ii) une tendance spatiale pour CEA suivant les deux axes (X et Y) qui pourrait être expliquée par la texture, le drainage et autres propriétés intrinsèques du sol. La tendance du NDVI est totalement opposée à celle de la conductivité électrique. Ainsi, les valeurs faibles de NDVI correspondent aux valeurs élevées de la conductivité électrique (Fig.1 et Fig.2).



Paramètres	Modèle	Portée	Nugget	Palier	Nugget/Palier	ME	RMSS	Dépendance spatiale
CEA	Exponentiel	47.619	0	0.01614	0%	0.02	0.77	élevée
Altitude	Sphérique	29.985	1.97E-7	1.05E-6	18.73%	0.01	0.83	élevée

Tableau 2 : Caractéristiques des modèles choisis (le modèle est plus précis pour une erreur moyenne ME proche de 0 et une erreur moyenne quadratique standardisée RMSS voisine de 1. Un rapport Nugget/Palier inférieur à 25% signifie une dépendance spatiale élevée.)

Le krigeage ordinaire a été réalisé sur les données de conductivité électrique et d'altitude. Les cartes de prédiction ont été estimées pour chaque paramètre et la validation croisée a été utilisée afin de vérifier nos modèles. La validation croisée consiste à comparer les valeurs exactes des échantillons avec leurs valeurs prévues. Le calcul des erreurs moyennes (ME) et l'erreur moyenne quadratique standardisée (RMSS) permet d'avoir une idée sur la qualité des cartes produites. Plus l'erreur moyenne tend vers 0 et le RMSS tend vers 1, plus le modèle choisi est précis. Le tableau 2 présente les paramètres des semivariogrammes retenus. Une variable est censée avoir une forte dépendance spatiale, si le rapport Nugget/Palier est inférieur à 25%, et avoir une dépendance moyenne si le rapport est entre 25% et 75%. Autrement la variable a une faible dépendance spatiale (Cambardella et al., 1994).

La figure 3 montre la carte de la conductivité électrique après krigeage. Les valeurs faibles de la conductivité électrique sont regroupées dans la partie ouest et est du champ. Cela est probablement dû à la texture du sol, à la teneur en matière organique et au drainage du sol. Avec la carte de NDVI (Fig.4), il est possible de percevoir l'effet des traitements sur le NDVI pour les différentes sous-parcelles : plus la dose d'azote est élevée plus le NDVI l'est aussi. On peut également constater que cette relation est modulée par un effet spatial assez marqué notamment entre la partie nord-ouest et sud-est du champ.

La superposition des cartes NDVI et CEA d'une part, et des cartes de drainage du sol et NDVI d'autre part, montre que les valeurs élevées du NDVI se trouvent dans des zones où on a une conductivité électrique relativement faible et un meilleur drainage de surface malgré le taux faible d'azote appliqué. Ceci est particulièrement visible dans la partie est du champ (Figures 4, 5 et 6).

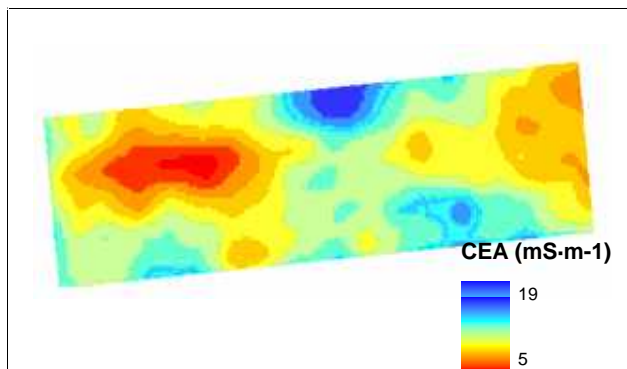


Fig. 3 : Variabilité spatiale de la conductivité électrique.

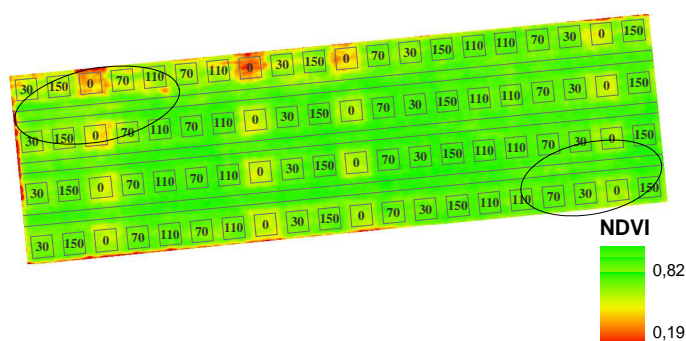


Fig. 4 : Variabilité spatiale du NDVI en fonction du traitement azoté (les chiffres indiquent les quantités d'azote appliquées en kg/ha).

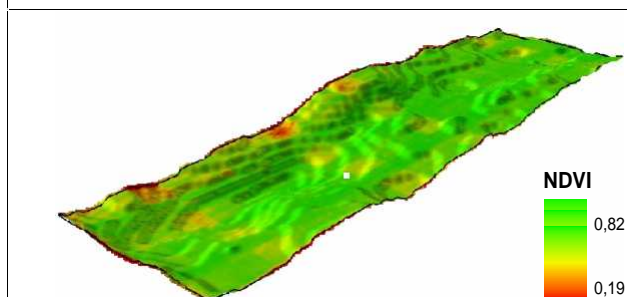


Fig. 5 : NDVI en fonction de la conductivité électrique (CEA en relief)

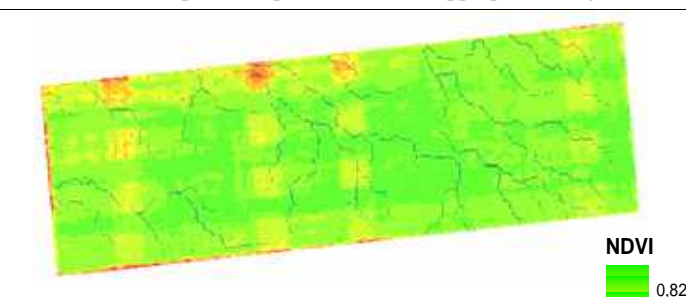


Fig. 6 : NDVI et le drainage de surface.

## Conclusion

L'effet spatial résultant de l'hétérogénéité du sol a influencé le NDVI obtenu après application variable de la fertilisation azotée. Les valeurs élevées du NDVI se trouvent dans des zones où on a un meilleur drainage du sol avec une conductivité électrique relativement faible, malgré le taux faible d'azote appliqué. Ainsi, nous avons identifié deux paramètres importants pour la préconisation de la fertilisation azotée, à savoir, la topographie et la conductivité électrique.

## Remerciements

Les auteurs remercient le CRSNG du Canada, le FQRNT du Québec (subventions de Driss Haboudane) et le programme GAPS d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (subventions de Nicolas Tremblay) pour leurs soutiens financiers.

## Références

- Bakhsh, A., T. S. Colvin, D. B. Jaynes, R. S. Kanwar, U. S. Tim. "Using soil attributes and GIS for interpretation of spatial variability in yield." Transactions of the Asae 43(4): 819-828, 2000.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, and R.F, Konopka, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58, 1501-1511, 1994.
- Corwin, D. L., and S. M. Lesch, Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles and Guidelines. Agron. J. 95, 455-471, 2003.
- Goovaerts, P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York, 1997.
- Issaks, E., and Srivastava, R.M. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, 1989.
- McRae, T. C. A. S. Smith et L. J. Gregorich. L'agriculture écologiquement durable au Canada : rapport sur le projet des indicateurs agro-environnementaux. Rapport No. AAC 2022/F. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, Ontario. 226 pages, 2000.

Shahandeh, H., A. L. Wright, F. M. Hons, R. J. Lascano, Spatial and Temporal Variation of Soil Nitrogen Parameters Related to Soil Texture and Corn Yield, *Agron. J.* 97, 772-782, 2005.