

EXTRACTION DE LA COMPOSANTE STABLE DE PROSPECTIONS ELECTRIQUES DE SOLS ET CONSEQUENCE SUR LA CARTOGRAPHIE DE LEURS EPAISSEURS

Bourennane, H., Pasquier, C., Cousin, I.
INRAE, URSOLS, 45075, Orléans, France. hocine.bourennane@inrae.fr,
catherine.pasquier.orleans@inrae.fr, isabelle.cousin@inrae.fr

RESUME

Dans cette étude, nous présentons une application de l'approche géostatistique de cokrigage factoriel automatique (AFACK) pour capturer la partie stable de mesures spatio-temporelles d'un signal. Nous montrons que les estimations spatiales d'une propriété pérenne du sol sont mieux réalisées en intégrant, dans un algorithme d'estimation multivariée (cokrigage colocalisé), la partie d'une covariable qui reste stable dans le temps entre deux acquisitions au lieu d'utiliser les acquisitions individuellement.

Mots clés : Cokrigage factoriel automatique (AFACK); Propriété pérenne du sol; Stabilité temporelle; Filtrage géostatistique; Structure indésirable

EXTRACTION OF THE STABLE COMPONENT OF ELECTRICAL PROSPECTIONS OF SOILS AND THE CONSEQUENCE ON THE MAPPING OF THEIR THICKNESSES

ABSTRAT

In this study, the focus has been on presenting a geostatistical approach called automatic factorial cokriging (AFACK) which allows capturing the stable part between the spatio-temporal measurements of a signal. In addition, this study aimed to emphasize that the spatial estimates of a static soil property pattern is well achieved by integrating, in a multivariate estimation algorithm (collocated cokriging), the stable part over the time of a covariate instead of its single acquisitions.

Keywords: Automatic Factorial Cokriging (AFACK); Static soil pattern; Temporal stability; Geostatistical filtering; Undesirable structure

INTRODUCTION

Les sols d'une parcelle agricole peuvent présenter une forte hétérogénéité spatiale, en lien avec la variabilité de l'épaisseur du sol ou celle des propriétés de chaque couche de sol. La connaissance de cette hétérogénéité est fondamentale pour l'agriculteur qui peut ajuster ses pratiques agricoles en connaissance de cause. Les prospections géophysiques spatialisées permettent de capter cette hétérogénéité mais, le signal étant sensible à de nombreux facteurs (ex. la température du sol et sa teneur en eau), il reste délicat de les interpréter en termes d'une caractéristique de sol telle que son épaisseur. Cette étude a ainsi pour objectif de présenter une approche géostatistique permettant de capturer la partie stable ou encore la composante continue entre deux prospections géophysiques par résistivité électrique réalisées à deux dates différentes sur les sols d'une même parcelle, afin d'en déduire une propriété permanente du sol, son épaisseur.

MATERIEL ET METHODES

Site et donnés

Le site d'étude est situé en Beauce (France). Il s'agit d'une jachère de 2 ha. L'épaisseur du sol (ST) a été mesurée à partir de 33 sondages à la tarière. Des prospections électriques ont été réalisées à plusieurs dates à l'aide d'un dispositif (MuCEP : Panissod et al., 1997) qui permet de mesurer la résistivité électrique pour trois profondeurs d'investigation différentes (avec des espacements inter-

électrodes de 0,5 m, 1 m et 2 m). Les profils de résistivité, espacés de 2 mètres, représentent un ensemble de données d'environ 52000 points de mesure par profondeur d'investigation. Dans ce travail, nous nous sommes concentrés uniquement sur les mesures de résistivité électrique de la deuxième profondeur d'investigation car plusieurs travaux (ex., Besson et al., 2010) réalisés sur le site d'étude ont montré que l'épaisseur maximale du sol est de l'ordre du mètre. Ces mesures ont été enregistrées en avril, juin et août, elles sont référencées respectivement dans la suite Z_{avril} , Z_{juin} et $Z_{\text{août}}$.

Cokrigage factoriel automatique (AFACK)

Le krigeage factoriel est une technique de filtrage basée sur le variogramme où la variable spatiale étudiée est modélisée par une fonction aléatoire, $Z(\mathbf{x})$, qui est décomposée en facteurs spatialement indépendants (Matheron, 1982).

Si la partie bruit d'un ensemble de données est considérée comme indépendante de la partie signal complémentaire, le krigeage factoriel, en estimant $S_{\text{SIGNAL}}(\mathbf{x})$, permet de filtrer la composante bruyante d'un ensemble de données : $Z(\mathbf{x}) = S_{\text{SIGNAL}}(\mathbf{x}) + S_{\text{Noise}}(\mathbf{x})$.

Le cokrigage factoriel étend cette approche à plusieurs variables. Dans le cas particulier de deux levés électriques à deux dates différentes sur la même parcelle, le cokrigage factoriel est conçu pour extraire la partie commune entre les deux ensembles de données et les résidus spatialement indépendants : $Z_1(\mathbf{x}) = S(\mathbf{x}) + R_1(\mathbf{x})$ et $Z_2(\mathbf{x}) = S(\mathbf{x}) + R_2(\mathbf{x})$ où $S(\mathbf{x})$ est la partie commune et $R_1(\mathbf{x})$ et $R_2(\mathbf{x})$ les résidus spatialement indépendants.

Coléou (2002) a introduit une technique de cokrigage factoriel automatique (AFACK), en calculant des variogrammes expérimentaux simples $\gamma_1(\mathbf{h})$ et $\gamma_2(\mathbf{h})$ et le variogramme croisé $\gamma_{12}(\mathbf{h})$. Il est alors possible d'inférer les structures résiduelles $\gamma_{r_1}(\mathbf{h})$ et $\gamma_{r_2}(\mathbf{h})$ par simples soustractions. Enfin, un cokrigage factoriel est réalisé à l'aide de ces variogrammes expérimentaux pour décomposer les données d'entrée, par exemple à partir de deux acquisitions sur le même objet, en une partie commune et deux parties résiduelles.

Méthode de cartographie de l'épaisseur du sol

L'épaisseur du sol est estimée par cokrigage colocalisé (CC) (ex., Xu et al., 1992) à partir des mesures éparses d'épaisseur du sol et du signal stable obtenu par AFACK $S(\mathbf{x})$ comme covariable. CC est également utilisé avec deux autres covariables issues des mesures exhaustives brutes de résistivité électrique $Z_1(\mathbf{x})$ et $Z_2(\mathbf{x})$ en comparaison.

Procédure de validation

La procédure de validation comprend deux aspects différents. Le premier aspect se concentre sur l'évaluation de la capacité d'AFACK à reproduire un signal initial délibérément corrompu par deux bruits différents. Le second aspect de la validation a consisté à reproduire le traitement avec une troisième prospection électrique et vérifier ainsi l'hypothèse que la cartographie d'une propriété permanente utilisant toute partie commune de deux prospections électriques conduirait à une même carte de l'épaisseur du sol.

RESULTATS ET DISCUSSION

Test de l'approche AFACK

Pour tester la capacité de l'approche AFACK à extraire le comportement spatial commun entre deux acquisitions, nous nous focalisons dans un premier temps sur les mesures de résistivité acquises en avril : Z_{avril} . A partir de Z_{avril} , une première acquisition est générée en ajoutant un bruit synthétique à travers une fonction uniforme de paramètres 1.11 et 56.65 (minimum et maximum). Une deuxième acquisition est réalisée en ajoutant un autre bruit synthétique : une fonction gaussienne avec les paramètres 56.65 et 18.36 (moyenne et écart type). Par conséquent, chaque acquisition est constituée d'une partie commune $S(\mathbf{x})$ et d'un résidu $R(\mathbf{x})$ (uniforme ou gaussien). En utilisant AFACK, nous dérivons la partie commune et les deux résidus. L'ajout de la partie commune à chaque résidu permet

de retrouver, respectivement, la première acquisition et la seconde acquisition prouvant qu'AFACK peut être utilisé pour extraire la composante invariable d'un signal acquis à deux dates différentes sur le même support spatial.

Application d'AFACK à deux prospections de mesure de résistivité

En plus de Z_{avril} , nous avons considéré les mesures de résistivité électrique effectuées en juin sur la même parcelle. AFACK appliqué aux deux prospections (Z_{avril} et Z_{juin}), permet d'obtenir la partie commune $S(x)$ aux deux prospections ($Z_{(avril-juin)}$) et les résidus relatifs à chaque prospection : R_{avril} et R_{juin} . La somme des résidus relatifs à chaque prospection et la partie commune permet de valider l'approche de décomposition du signal étant donné que le résultat (Fig. 1) montre une correspondance totale entre la prospection à une date et le résultat de la somme de la partie commune et du résidu de chaque prospection.

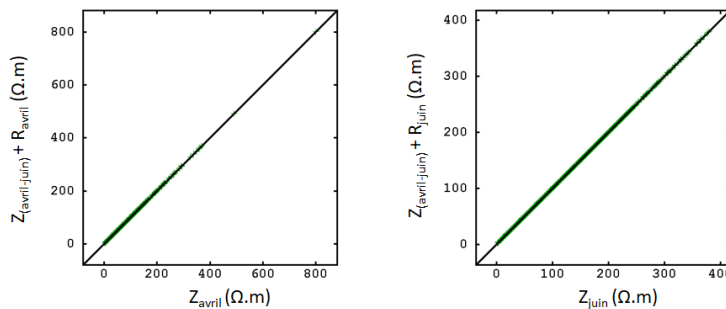


Fig. 1. Résistivité électrique mesurée en avril (Z_{avril}) et juin (Z_{juin}) versus la somme de la partie commune ($Z_{(avril-juin)}$) et des résidus (R_{avril} et R_{juin}), inférés par AFACK

Estimation spatiale de l'épaisseur du sol avec diverses covariables

Afin d'estimer l'épaisseur de sols (ST) sur toute la parcelle, 3 scénarii de cokrigage colocalisé (CC) ont été considérés. Ces scénarii incluent l'utilisation des 33 mesures d'épaisseur du sol et de (a) la partie commune entre les deux prospections ($Z_{(avril-juin)}$) déduite par AFACK, (b) la résistivité électrique mesurée en avril (Z_{avril}) et (c) en juin (Z_{juin}) comme covariables (prédicteur).

Les cartes ST selon les trois scénarii (Fig. 2) révèlent que l'estimation spatiale par CC, en utilisant comme covariable $Z_{(avril-juin)}$, reproduit mieux les statistiques descriptives du jeu de données ponctuel. Par exemple, la variance des estimations atteint 224.71 cm^2 en utilisant $Z_{(avril-juin)}$ comme covariable dans CC contre 100.91 cm^2 et 75.43 cm^2 en utilisant respectivement Z_{avril} et Z_{juin} comme covariable. La variance des 33 mesures ST effectuées dans la zone d'étude est de 230.71 cm^2 .

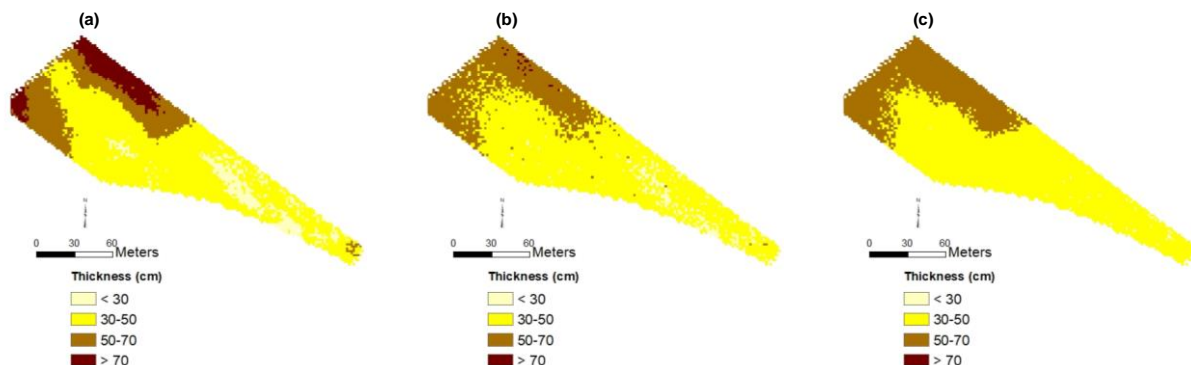


Fig. 2. Epaisseur estimée par cokrigage colocalisé utilisant : la partie commune des deux prospections électriques ($Z_{(avril-juin)}$) (a) ; la résistivité électrique mesurée en avril (Z_{avril}) (b) ; en juin (Z_{juin}) (c) comme covariable.

Pour confirmer le modèle d'épaisseur du sol obtenu par CC en utilisant ($Z_{(avril-juin)}$) (Fig. 2a), l'épaisseur du sol a été cartographiée en utilisant la partie stable dans le temps (partie commune) de

deux autres levés de résistivité électrique du sol (Z_{avril} et $Z_{\text{août}}$). L'épaisseur du sol étant considérée comme une propriété pérenne du sol, un modèle similaire d'épaisseur du sol doit pouvoir être obtenu par une partie stable dans le temps de toutes autres paires de levés de résistivité électrique du sol. Tandis que, les modèles d'épaisseur du sol obtenus à l'aide d'enquêtes uniques pourraient être très différents puisque la covariable utilisée exprime non seulement les propriétés statiques du sol, mais aussi les comportements conjecturaux.

A cet effet, la prospection électrique réalisée en août ($Z_{\text{août}}$) a été utilisée conjointement avec Z_{avril} pour extraire la partie commune ($Z_{\text{avril-août}}$). Ce résultat ($Z_{\text{avril-août}}$) a été utilisé comme covariable pour obtenir une nouvelle carte (Fig. 3a) de l'épaisseur du sol.

Cette carte est assez similaire à celle présentée sur la figure 2a réalisée par CC en utilisant $Z_{\text{avril-juin}}$ comme covariable. Globalement les valeurs des deux cartes (Fig. 3b) s'alignent le long de la première bissectrice ($r = 0.994$), avec des écarts variant de 0 à 20 cm, avec une moyenne de 1 cm. Nous démontrons ainsi qu'une cartographie utilisant la partie stable dans le temps du signal d'une autre paire de prospections électriques conduit à une carte similaire d'une propriété pérenne du sol comme son épaisseur.

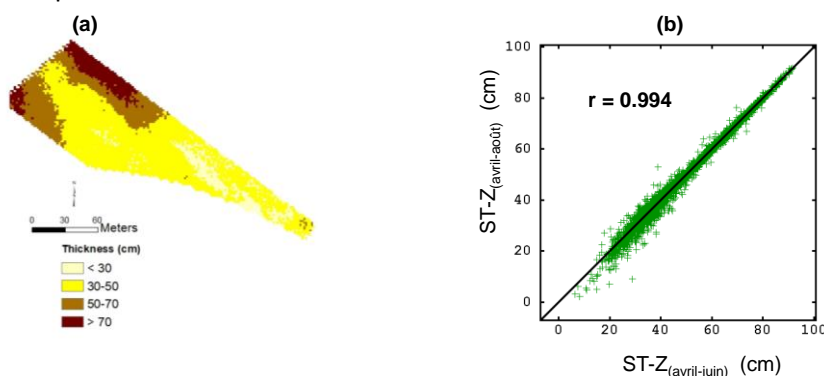


Fig. 3. Epaisseur du sol (ST) estimée par cokrigage colocalisé (CC) utilisant la partie commune ($Z_{\text{avril-août}}$) de deux prospections électriques réalisées en avril et août **(a)**; ST par CC utilisant $Z_{\text{avril-juin}}$ comme covariable *versus* ST par CC utilisant $Z_{\text{avril-août}}$ **(b)**.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Grâce à cette étude, nous avons révélé que l'approche de cokrigage factoriel automatique (AFACK) permet d'estimer les effets non stables affectant un signal spatial. Appliquée à des données exhaustives de résistivité électrique du sol, cette approche a conduit à une extraction du bruit et à une meilleure estimation du signal stable dans le temps. En outre, cette étude renforce le concept selon lequel l'analyse multi-temporelle de données géophysiques exhaustives, telles que les mesures de résistivité électrique du sol, est plus appropriée que l'analyse mono temporelle pour la cartographie d'une propriété pérenne du sol. Plus généralement, AFACK est une technique de filtrage pertinente, qui peut être utilisée dans différents contextes de séparation de données spatio-temporelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Besson, A., Cousin, I., Bourennane, H., Nicoulaud, B., Pasquier, C, Richard, G., Dorigny, A., King, D., 2010.** The spatial and temporal organization of soil water at the field scale as described by electrical resistivity measurements. *European Journal of Soil Science* 61, 120–132.
- Coléou, T., 2002.** Time-lapse filtering and improved repeatability with automatic factorial co-kriging (AFACK). *64th European Association of Geoscientists & Engineers Conference & Exhibition, Florence, Italy.*
- Matheron, G., 1982.** Pour une analyse krigeante des données régionalisées. *Internal note N-732, Centre de Géostatistique, Fontainebleau.*
- Panissod, C., Dabas, M., Jolivet, A., Tabbagh, A., 1997.** A novel mobile multipole system (MUCEP) for shallow (0-3m) geoelectrical investigation: the 'Vol-de-canards' array. *Geophysical Prospecting*, 45, 983–1002
- Xu, W., Tran, T.T., Srivastava, R.M., Journel, A.G., 1992.** Integrating seismic data in reservoir modeling: the collocated cokriging alternative. *Proceedings of 67th Annual Technical Conference of the Society of Petroleum Engineers, paper SPE 24742, 833-842, Washington.*