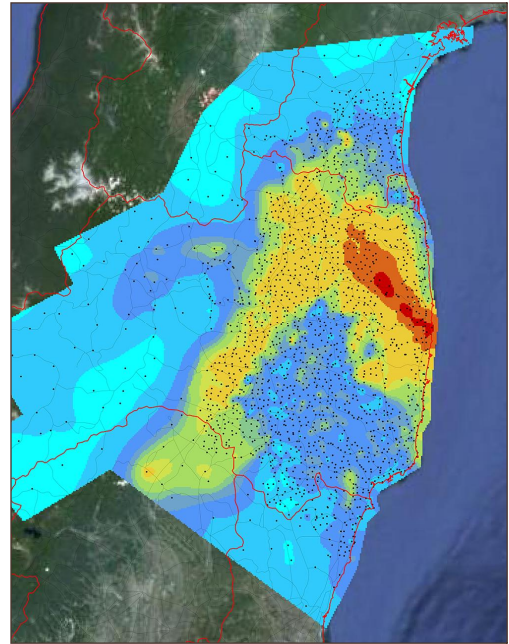




L i v r e b l a n c



Cartographie de débit de dose

Utilisez-vous la bonne
méthode d'interpolation ?



Cartographie de débit de dose

Utilisez-vous la bonne méthode d'interpolation ?

Mettez en œuvre la méthode d'interpolation qui vous
donne les clés pour évaluer la fiabilité de vos cartes.

L'objectif de toute cartographie est de fournir une image réaliste et fiable du phénomène étudié. Les cartes de débit de dose sont usuellement obtenues par interpolation de mesures ponctuelles. Le choix d'une méthode d'interpolation déterministe par *inverse des distances au carré* (ou *inverse des distances quadratiques*) est souvent abusivement justifié par le fait que le débit de dose provenant d'une source ponctuelle est théoriquement inversement proportionnel au carré de la distance entre la source et le point de mesure.

Ce livre blanc montre pourquoi cette interpolation par *inverse des distances au carré* n'est pas la méthode la plus adéquate pour la cartographie de débit de dose et comment l'approche géostatistique par krigeage fournit une cartographie fiable et de qualité.

Cette approche géostatistique est mise en œuvre par Geovariances depuis plus de quinze ans dans le cadre de nombreux projets d'assainissement de sites contaminés par des radionucléides (CEA, Andra, etc.).



Etes-vous confiant dans la qualité de vos cartes ?

Mesures de débit de dose autour d'une source ponctuelle

Avec une source ponctuelle, la décroissance du débit de dose est théoriquement inversement proportionnelle au carré de la distance à la source. Cette formule permet d'estimer le débit de dose en un point à partir d'une mesure réalisée à une certaine distance de la source. Elle provient du fait que le flux global est identique sur toutes les sphères (surface proportionnelle à d^2) ayant pour centre la source d'émission.

Dans la zone d'étude, un réseau d'échantillonnage selon une grille régulière (tous les deux mètres) permet de mesurer le débit de dose provenant de la source ponctuelle (au centre de la zone).

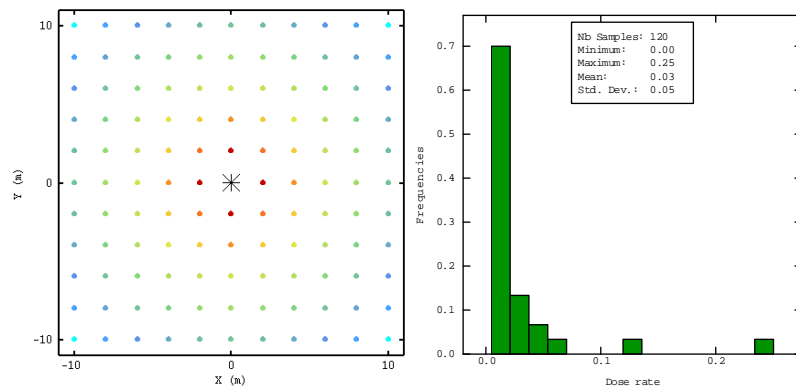


Fig.1 : Réseau d'échantillonnage régulier autour de la source et histogramme des débits de dose mesurés

Méthodologie : prendre en compte la structure spatiale du phénomène mesuré

A partir de ce réseau régulier de mesures, l'objectif est de cartographier l'ensemble de la zone. Deux méthodes d'interpolation sont utilisées :

Etes-vous sûr que vos cartes donnent une image pertinente de la réalité ?

- L'interpolation par **inverse des distances au carré**, qui vise à calculer la valeur interpolée comme une moyenne pondérée de l'information environnante. Les poids sont calculés par l'inverse de la distance au carré entre les points de données et le point cible. Cette méthode déterministe ne prend pas en compte la structure spatiale du phénomène.
- L'approche **géostatistique**. Le modèle de variogramme ajuste la structure spatiale du phénomène observée à partir des points de mesure. L'estimation est réalisée par krigeage de la transformée gaussienne (aussi connu sous le nom de krigeage multi-gaussien ou d'espérance conditionnelle), permettant de quantifier l'incertitude d'estimation sous la forme d'un intervalle de confiance à 95%.

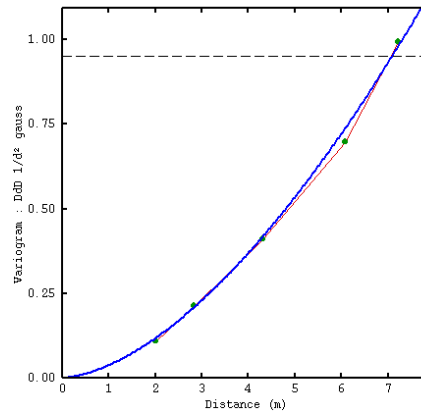


Fig. 2 : Modèle de variogramme ajusté sur la transformée gaussienne du débit de dose

Bénéfices de la géostatistique

Les résultats d'estimation sont illustrés le long d'un profil autour de la source (l'origine) jusqu'à une distance de 10 m de part et d'autre de la source (localisée en $X=0$). Les points de données sont répartis tous les 2 mètres le long d'une grille régulière.

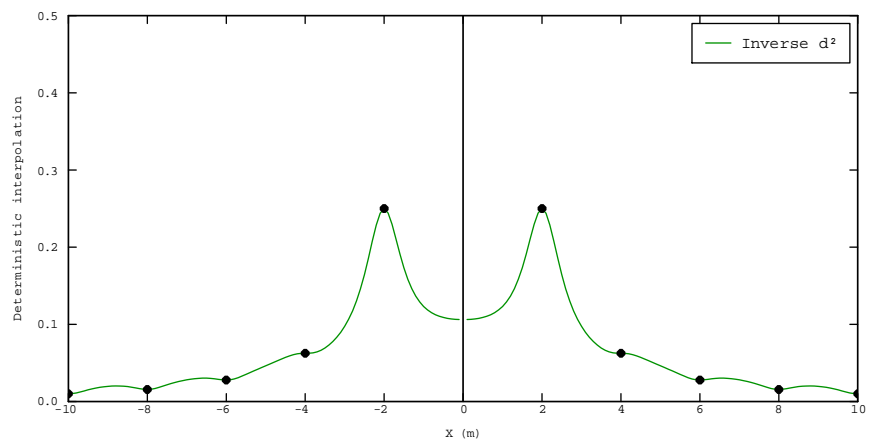


Fig 3 : Interpolation du débit de dose par inverse des distances au carré

Références

- E. Aubonnet (Geovariances), D. Dubot (CEA): Radiological characterization for decommissioning – methodology, approach and example of a nuclear facility – SFEN 2013
- Y. Desnoyers (Geovariances), D. Dubot (CEA): Geostatistical Methodology for Waste Optimization of Contaminated Premises – ICEM 2011
- J. Attiogbe (Geovariances), D. Dubot (CEA DSV), N. Jeannée (Geovariances), Y. Desnoyers (Geovariances): Isatis and Kartotrak, an efficient combination for the characterization of radiological contaminations - StatGis 2009

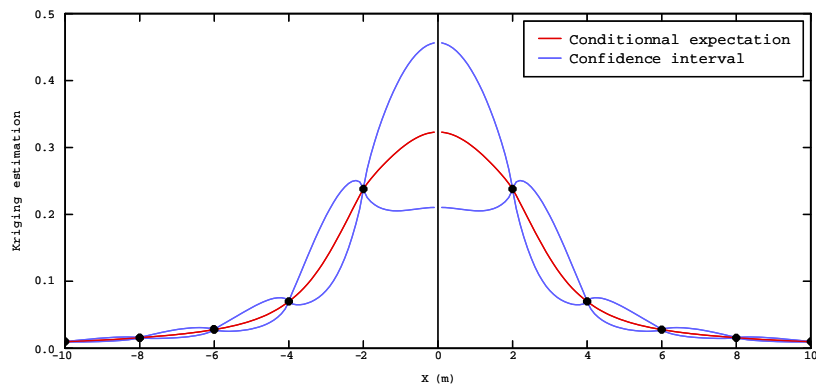


Fig. 4 : Interpolation du débit de dose par expérience conditionnelle



Success Story

Depuis 2012, l'Institut de Protection Radiologique et de Sûreté Nucléaire IRSN met en œuvre l'approche géostatistique pour la réalisation de cartes de débit de dose dans le cadre de la surveillance du territoire français. La même méthodologie a été utilisée en situation post-accidentelle à Fukushima.

Plus d'informations :
link.geovariances.com/irsn-success-story.

Le krigeage associe un niveau de confiance à chaque point de la carte interpolée.

Le krigeage permet une cartographie plus cohérente avec la réalité.

La comparaison entre interpolation déterministe et estimation géostatistique permet de mettre en évidence de grandes différences entre les résultats d'interpolation.

- L'interpolation par **inverse des distances au carré** présente des fluctuations artificielles des valeurs estimées, l'interpolateur étant attiré entre les points par la tendance moyenne des données. Entre 0 et 2 mètres, une forte sous-estimation du débit de dose peut être constatée, ainsi que, dans une moindre mesure, une surestimation entre 6 et 8 mètres, ou entre 8 et 10 mètres.
- L'**estimation géostatistique** présente un comportement bien plus cohérent avec la réalité puisqu'il se base sur la structure spatiale du phénomène. Il est même capable d'estimer des valeurs plus élevées que celles mesurées pour la zone à proximité de la source (entre -2 et +2 m) en raison de la bonne continuité spatiale du phénomène et de la modélisation de l'histogramme (anamorphose gaussienne).

Dans le cas présent, le krigeage est réalisé sur la transformée gaussienne de la variable, qui permet de fournir des résultats d'estimation plus avancés : en plus de la valeur interpolée, un intervalle peut être calculé pour un niveau de confiance donné (ici égal à 95%). Ce dernier est naturellement plus élevé entre les points de données et en particulier pour les valeurs fortes (entre 0 et 2 m notamment, de part et d'autre de la source).

Aux points de données (tous les deux mètres sur l'axe des abscisses), les différents interpolateurs redonnent naturellement la valeur mesurée (propriété de non-biais).

Quant aux résultats de cartographie, l'approche déterministe produit artificiellement des petites sources ponctuelles autour de la vraie source, qui n'est d'ailleurs pas identifiée. En revanche, la cartographie géostatistique reproduit correctement la répartition des niveaux de débit de dose autour d'une source centrale et unique, comme attendu.

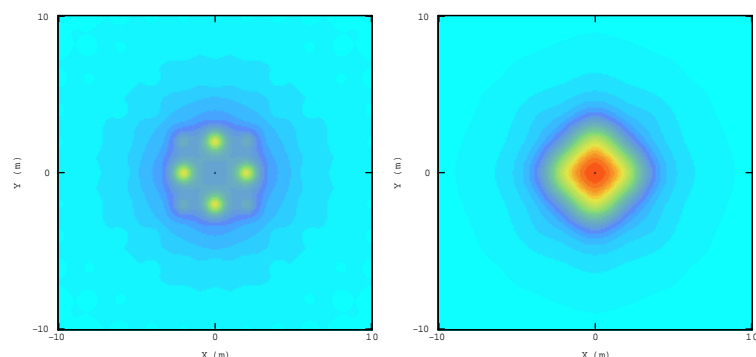


Fig 5 : Cartographie du débit de dose par inverse des distances au carré (à gauche) et par interpolation géostatistique (à droite)



Qui est Geovariances?

Geovariances combine une activité de développement logiciel, de bureau d'étude et de formation spécialisée en géostatistique. Nous avons plus de 45 employés, incluant des consultants en environnement et des statisticiens.

Geovariances développe et commercialise deux solutions logicielles :

- **Kartotrak** est une solution logicielle tout-en-un entièrement dédiée à la caractérisation de contaminations chimiques ou radiologiques.
- **Isatis** résulte de plus de 25 années d'expérience d'application industrielle de la géostatistique et constitue une solution logicielle complète pour toutes les questions géostatistiques.

Expertise unique

Geovariances est leader mondial dans le développement et l'application de solutions géostatistiques innovantes et pratiques. Nous avons une forte expérience dans la caractérisation de sites et avons gagné la confiance de leaders en environnement ainsi que de bureaux d'études.

Geovariances

49 bis, av. Franklin Roosevelt

- 77215, Avon Cedex

France

T +33 1 60 74 90 90

F +33 1 64 22 87 28

PO Box 979

Wynnum, QLD 4178

Australia

T +61 7 33 48 53 33

F +61 7 33 48 53 55

www.geovariances.com

Conclusion

Il est nécessaire de distinguer l'équation physique du phénomène et les formules mathématiques utilisées par l'algorithme d'interpolation.

Le variogramme met en évidence et modélise la structure spatiale du phénomène. De plus, l'estimation par espérance conditionnelle permet de fournir une quantification de l'incertitude d'estimation, par exemple sous la forme d'un intervalle de confiance.

Pour une zone contaminée avec une ou plusieurs sources ponctuelles, l'interpolation par inverse des distances au carré n'est pas adaptée et il est fortement recommandé d'utiliser des méthodes géostatistiques. De la même manière, la géostatistique doit être utilisée dans le processus de traitement de données en présence de sources étendues, à 2D comme à 3D.

Notre expertise

Kartotrak est la première solution logicielle tout-en-un dédiée à la caractérisation des sites et sols pollués. Il est né d'un partenariat de plus de 10 ans entre le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives et Geovariances. Simple d'utilisation, le logiciel propose une chaîne de traitement intégrée guidant l'utilisateur à chaque étape de son projet, depuis le chargement des données et la cartographie de la contamination, jusqu'à l'estimation des volumes de terres contaminés et l'évaluation des incertitudes.

Geovariances offre une expertise unique basée sur plus de quinze années d'expérience dans l'application de la géostatistique aux problèmes d'assainissement de sites. La plupart de ses projets ont été réalisés à la demande du CEA, de l'IRSN ou de l'ANDRA, les acteurs majeurs du secteur nucléaire français.

Pour plus d'information

Nous sommes à votre disposition pour vous faire comprendre la valeur ajoutée de la géostatistique dans le cadre de vos projets de décontamination de site ou de cartographie de contamination.

Contactez nos consultants : consult-env@geovariances.com.