



# INVESTIGATIONS ET CARACTERISATION DE LOCAUX AVANT DEMANTELEMENT - COUPLAGE D'UN CODE DE TRANSPORT ET D'UN CODE DE GEOSTATISTIQUE

**Yvon DESNOYERS**

GEOVARIANCES  
49 bis, avenue Franklin Roosevelt  
77215 Avon

[desnoyers@geovariances.com](mailto:desnoyers@geovariances.com)

**Gabriel JUHEL**

DAHER NCS  
22, rue du Pont Noir  
26700 Pierrelatte

[g.juhel@daher.com](mailto:g.juhel@daher.com)

## 1. Introduction

Actuellement en France, les projets de démantèlement se multiplient. Bien que bénéficiant d'un retour d'expérience toujours plus important, l'une des problématiques les plus récurrentes et les plus sensibles consiste à déterminer les Débits d'équivalents de Dose (DeD) aux postes de travail au cours des opérations de démantèlement. Une autre problématique relative à la gestion des déchets consiste à estimer les volumes de déchets générés au cours des opérations d'assainissement ainsi que leur activité radiologique. Ces questions sont essentielles pour le dimensionnement de solutions techniques optimisées et pour l'estimation des coûts et délais associés. Il est donc plus que nécessaire de développer et mettre en œuvre une méthodologie standard, applicable sur tout type de chantier de démantèlement, permettant de répondre à ces problématiques fondamentales.

Conscients de ces problématiques, les exploitants prévoient pour chaque projet de démantèlement à venir, une phase préalable d'investigations et de caractérisations afin notamment d'anticiper les problématiques liées à la radioprotection des intervenants, la sûreté et la gestion des déchets. Des cartographies en DeD et des prélèvements sont donc réalisés. Encore faut-il pouvoir les exploiter.

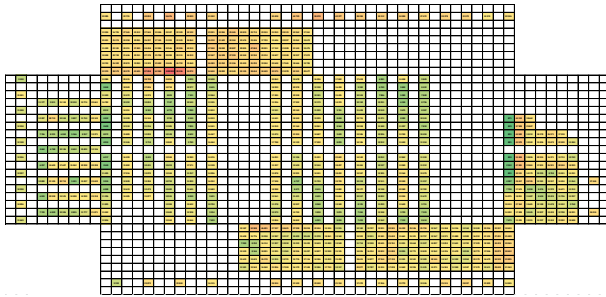
La méthodologie développée par GEOVARIANCES et DAHER NCS consiste en un couplage entre un code de transport de particules et un code de géostatistique afin, d'une part de remonter des DeD aux activités volumiques, et d'autre part d'interpoler les valeurs d'activité volumique entre les points de mesure et donc d'affiner les estimations du terme source et des volumes de déchets. Enfin, l'intégration du terme source ainsi finement estimé dans un modèle de transport de particules permet de répondre à toutes les problématiques de radioprotection et notamment l'estimation des DeD aux postes de travail.

## 2. Caractérisations et Investigations

La première phase consiste à rassembler les informations les plus précises en privilégiant les mesures non destructives, en particulier à partir d'une cartographie radiologique en DeD. Dans l'idéal, cette cartographie sera réalisée sur 100% des surfaces selon un maillage au plus fin compte-tenu des contraintes techniques et de temps de mesure. Dans des installations ou des pièces de dimensions raisonnables, ce maillage sera compris entre 50 cm \* 50 cm et 100 cm \* 100 cm.

Dans le cas de cartographies en extérieur, pour des pièces de grandes dimensions, mais aussi de manière générale, le choix du maillage approprié peut être réalisé à l'aide de la méthodologie géostatistique qui permet d'établir le plan d'échantillonnage le plus adapté en fonction de la surface totale, du nombre de points souhaités et du temps d'échantillonnage. Cette optimisation prend alors en compte la connaissance de l'historique de la zone à caractériser et la structure spatiale du phénomène attendu (voir §4) pour ajuster la maille initiale a priori. Des outillages automatisés peuvent également être utilisés à la fois pour

gagner en précision de positionnement de la mesure, de temps de réalisation et donc de gain dosimétrique en application de la démarche ALARA.



**Figure 1 : Exemple de cartographie en DeD des parois et des sols d'un local**

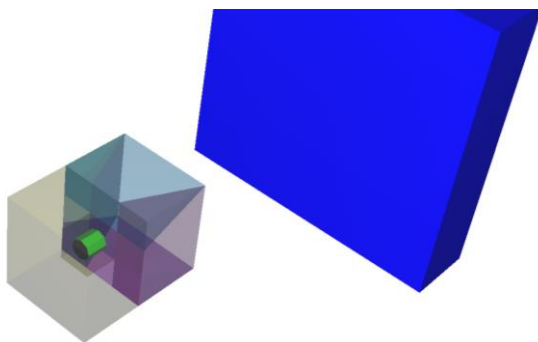
Cette cartographie radiologique du signal émergent est complétée par une série de prélèvements en profondeur afin de déterminer le spectre et les profils de migration. Le plan d'échantillonnage pour ces prélèvements est également dimensionné en fonction des résultats obtenus par géostatistique. Les échantillons prélevés sont ensuite analysés en laboratoire afin d'en déterminer précisément l'activité et le spectre.

### 3. Code de transport

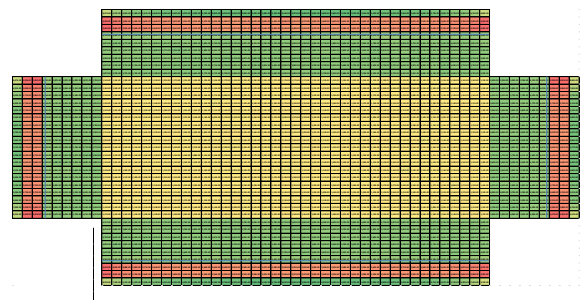
La complexité des installations nucléaires en démantèlement, la multitude des termes sources et la nécessité d'intégrer toutes ces composantes dans le cadre d'un calcul de DeD au poste de travail nécessite l'utilisation d'un code de calcul de transport 3D. Par ailleurs, il n'est pas rare de constater des problématiques liées à la diffusion des rayonnements dans certaines structures (toitures, parois, etc.) qui nécessitent l'utilisation d'un code de transport permettant le calcul des diffusions.

Pour toutes ces raisons, DAHER NCS utilise un code 3D probabiliste : MCNP, permettant de simuler le transport des neutrons, photons et électrons. Il est aujourd'hui reconnu comme le code de référence à l'échelle internationale pour les études de radioprotection et les études de sûreté-criticité. Ce code permet notamment de prendre en compte toutes les spécificités de la mesure (bruit de fond, collimation, dispositions géométriques complexes, répartition isotopique ou en activité non homogène, etc.).

La modélisation des mesures permet de reproduire avec une grande précision les conditions opératoires dans lesquelles ont été obtenus les DeD dus au signal émergent. De cette manière, il est possible de calculer les activités radiologiques à l'origine des DeD mesurés par l'intermédiaire d'une fonction de transfert.



**Figure 2 : Exemple de modélisation d'une mesure de DeD sous MCNP**



**Figure 3 : Exemple de cartographie des fonctions de transfert d'un local obtenue sous MCNP**

En effet, il peut être complexe de comparer des DeD mesurés dans des configurations diverses avec la prise en compte de caractéristiques particulières. Aussi, les seules valeurs pouvant être inter-comparées sont les valeurs d'activités.

#### 4. Code de géostatistique

Pour le volet géostatistique, GEOVARIANCES s'appuie sur KARTOTRAK, solution logicielle intégrée pour la caractérisation des sites et sols pollués (radiologique et chimique). L'analyse initiale des données d'entrée met en évidence la continuité spatiale du phénomène (variographie 2D et 3D).

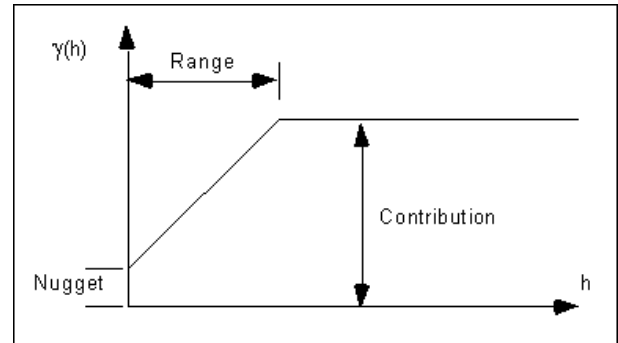
Cette structure spatiale est analysée et interprétée grâce au variogramme qui estime la variabilité entre des couples de points.

Pour un phénomène structuré, cette variabilité spatiale augmente progressivement pour se stabiliser à un certain palier pour une distance caractéristique appelée « portée » (ou « range » en anglais). C'est la signature spatiale du phénomène.

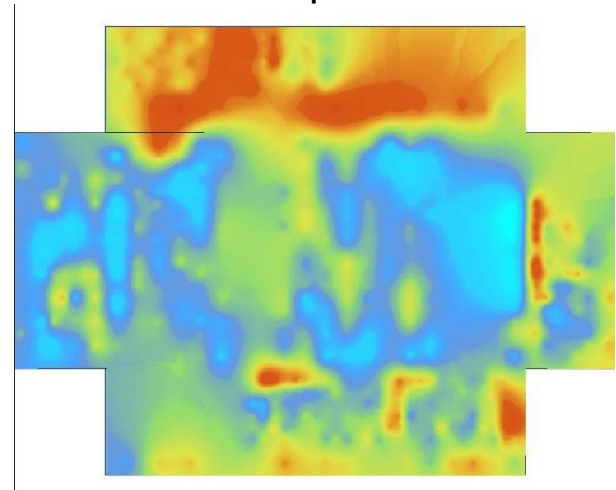
Les méthodes géostatistiques permettent ensuite d'estimer localement la grandeur étudiée par krigeage (meilleur interpolateur linéaire sans biais) et par d'autres estimateurs non linéaires. Cette interpolation est accompagnée d'une quantification de l'incertitude associée.

C'est la valeur ajoutée de la méthodologie géostatistique puisqu'elle permet la prise de décision. Sur la base des cartographies obtenues, l'analyse de risque permet en effet de positionner judicieusement des mesures complémentaires pour améliorer la connaissance de la distribution spatiale des rayonnements et la précision des cartographies d'une part, et de classer les déchets « sur pied » en fonction de seuils radiologiques d'autre part (estimation des surfaces et des volumes).

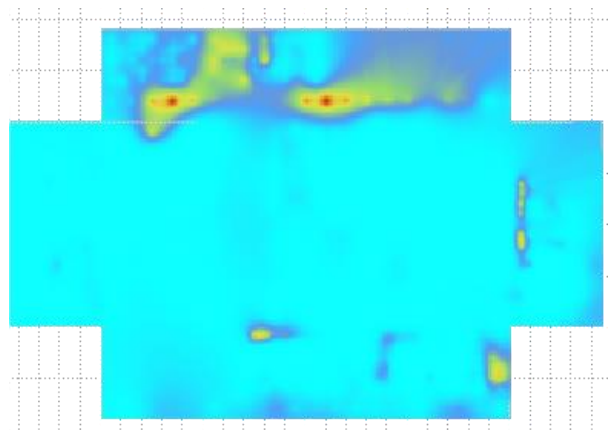
Ce cadre méthodologique rigoureux permet ainsi l'intégration et la valorisation de l'ensemble des données disponibles, notamment les informations historiques, pour cartographier la contamination en surface et en profondeur, permettant l'estimation des volumes à traiter tout en quantifiant les incertitudes d'estimation.



**Figure 4 : Exemple de variogramme théorique**



**Figure 5 : Exemple de cartographie en activité massique obtenue après krigeage avec KARTOTRAK**



**Figure 6 : Exemple de cartographie de probabilité de dépassement d'un seuil de contamination**

## 5. Conclusion

Cette approche couplant l'utilisation d'un code de transport de particules et d'un code de géostatistique permet de caractériser radiologiquement au plus près les locaux en vue de leur assainissement. La connaissance de ces caractéristiques : activités volumiques et profils de migration, permet de déterminer les conditions d'intervention et les DeD attendus au poste de travail dans le but d'identifier les opérations dosantes et de proposer des alternatives en application de la démarche ALARA. D'autre part, elle permet d'anticiper les volumes de déchets à traiter et donc d'anticiper les agréments pour la prise en charge de ces déchets. C'est pourquoi, il apparaît nécessaire d'initier ces phases de caractérisation et d'investigation en amont des chantiers d'assainissement et de démantèlement.

De nombreux aspects sont en jeu car à partir de l'exploitation de l'ensemble des informations disponibles, cette méthodologie permet l'optimisation de l'échantillonnage, la gestion des incertitudes et l'analyse de risque sur les résultats d'estimation, permettant une maîtrise global des projets de démantèlement et de remédiation.