

Projet REPERAGE : Démarche de couplage de mesures sur site et de méthodes géostatistiques. Présentation et mise en œuvre « en temps réel » sur un ancien site sidérurgique à l'aide d'un FPXRF

Auteurs : Dr. Hélène Demougeot-Renard ⁽¹⁾, Dr. Laurence Haouche-Belkessam ⁽²⁾, Dr. Sébastien Denys ⁽³⁾, Dr. Michel Garcia ⁽¹⁾, Dr. Dimitri D'Or ⁽¹⁾

(1) FSS International r&d, 1956 av. R. Salengro, Chaville

(2) ISSeP, Zoning A. Schweitzer, Rue de la Platinerie, B-7340 Colfontaine

(3) INERIS, Unité Déchets et Sites pollués, Parc Alata, BP 2, F-60550 Verneuil-en-Halatte

Résumé:

La caractérisation des sites pollués effectuée à l'aide de prélèvements de sol et d'analyses de laboratoire est une étape longue et coûteuse. De telles pratiques incitent à limiter le nombre de points de mesure et ne permettent pas facilement, dans une même campagne, d'utiliser les premiers résultats d'analyse pour ajuster la localisation de nouveaux points d'échantillonnage.

Depuis plusieurs années sont apparus sur le marché de nouveaux appareils portatifs permettant d'analyser sur le terrain la teneur en polluants dans les sols en un temps très court. Parmi ceux-ci les spectromètres portables à fluorescence de rayons X (FPXRF) sont de plus en plus utilisés pour analyser les métaux. Dans le même temps, des approches géostatistiques adaptées aux particularités des sites et sols pollués ont été développées en Europe et sont de plus en plus utilisées pour cartographier les sols en fonction de seuils réglementaires ou estimer des quantités de matériaux contaminés, tout en en quantifiant les incertitudes locales ou globales associées. Le couplage des deux outils, mesures sur site et méthodes géostatistiques, permet d'envisager des campagnes de reconnaissance optimisées où le nombre et la localisation de nouveaux points de mesure sont déterminés au fur et à mesure de l'acquisition des données dans l'objectif de réduire l'incertitude affectant la modélisation de la contamination.

Le projet de recherche REPERAGE vise à concevoir une démarche associant mesures sur site et traitement géostatistique pour conduire de façon rationnelle des campagnes de reconnaissance par rapport à des scénarios et des objectifs classiques de gestion de sites contaminés (par ex. classification des sols par rapport à des seuils, estimation de tonnages, estimation de coûts de dépollution). Le travail réalisé inclut le développement théorique de la démarche et d'un code permettant de la mettre en œuvre, la validation de la démarche à partir des données d'un site réel bien renseigné, les environs de l'ancienne usine MétalEurop (Nord de la France), et sa mise en œuvre « en temps réel » sur le site d'une ancienne usine sidérurgique (Henricot II, Belgique).

La communication aura pour objet de présenter les principaux résultats obtenus dans le cadre de ce projet.

1 La démarche de couplage mesures sur site-géostatistique et sa validation

La démarche s'inscrit dans le contexte d'étude suivant : les sols doivent être classés par rapport à des seuils dans les catégories « contaminé » ou « sain », les seuils pouvant être des seuils de risque (indices de risque ou excès de risque individuel) ou bien des seuils de réhabilitation (teneurs limites au-delà desquelles les sols doivent être valorisés, traités ou mis en décharge). La collecte des données a pour objectif de réduire l'incertitude sur la classification des sols, dans des contraintes financières (budget limité), temporelles (délais de réalisation de l'étude) et géographiques (zones inaccessibles à l'échantillonnage en présence de bâtiments, câbles, etc.) propres à l'étude.

La classification et l'incertitude sur sa classification sont modélisées sur la base d'un ensemble de cosimulations colocalisées des teneurs en polluants, conditionnées par l'ensemble des données disponibles.

La démarche consiste à collecter un ensemble de données en plusieurs jours, les données étant utilisées d'un jour à l'autre pour mettre à jour la classification des sols et l'incertitude associée, et proposer un positionnement de nouvelles données dans les zones classées comme « incertaines ». Elle comprend une étape préliminaire et un ensemble d'étapes itératives.

L'étape préliminaire est destinée à établir les lois de régression entre mesures sur site et analyses de laboratoire, lois qui sont spécifiques à chaque site et aux conditions d'étude (ex. protocole de prélèvement, méthode analytique). Ces lois de régression sont essentielles puisque, bien que ce soient les mesures sur site qui sont multipliées ici, ce sont actuellement des analyses de laboratoire

qui seules peuvent être comparées à des valeurs réglementaires ou bien utilisées pour le calcul des niveaux de risque. Les lois de régression constituent donc le moyen de déduire des valeurs de laboratoire à partir de valeurs obtenues par les outils de terrain. Cette étape préliminaire vise aussi à établir un premier modèle de corrélation spatiale pour les polluants d'intérêt.

Les étapes itératives consistent à mettre à jour la classification des sols avec les données collectées le jour j, puis à proposer un positionnement des points de mesure pour le jour suivant j+1, selon un schéma régulier, dans la zone des mailles « incertaines » de la classification. Bien que certaines étapes-clés restent sous l'expertise du géostatisticien, une grande partie des étapes de calculs ont été automatisées pour que la modélisation puisse être finalisée en quelques heures.

La démarche a été testée et validée en constituant un état de référence d'une contamination des sols (couche 0-20 cm). Un secteur des environs du site MetalEurop a fait l'objet d'une campagne de terrain intensive, de sorte qu'une simulation 2D des teneurs en Pb, polluant principal de la zone dispersé sur de grandes distances par voie aérienne, puisse être générée et constituer un état réaliste et quasi-exhaustif de la contamination. Une simulation séquentielle gaussienne des teneurs en Pb de laboratoire constitue la *référence-labo*, tandis qu'une cosimulation colocalisée des teneurs en Pb mesurées par FPXRF constitue la *référence-FPXRF*. Les deux simulations reproduisent la corrélation de 0.70 observée entre les deux types de données sur échantillons dupliqués.

A partir de ces solutions de référence, la démarche de reconnaissance a été mise en œuvre de manière virtuelle, en collectant les deux types de données, FPXRF et laboratoire, selon le schéma dicté par la démarche, et la classification finale des sols en fin de reconnaissance a été comparée à la *référence-labo*. La modélisation finale après 7 jours de campagne fictive retrouve avec une très bonne précision la classification « vraie » des sols fournie par la *référence-labo* : le modèle classe correctement 87% du volume total de la zone dans les catégories « contaminé » et « sain ».

2 Application dans des conditions réelles sur le site Henricot II

L'application de la démarche sur le site Henricot II a consisté en une étape préliminaire d'une journée (établissement des lois de régression entre mesures sur site et analyses de laboratoire) suivie de 5 jours de reconnaissance itérative. La cartographie 3D de la classification des sols par rapport aux seuils de teneurs réglementaires porte sur plusieurs métaux et concerne 2 m de remblais. Au terme de la reconnaissance, la modélisation fait apparaître une répartition de la contamination en nombreux « spots » de très petites dimensions, avec une incertitude résiduelle liée à l'hétérogénéité du phénomène (contamination constitutive des remblais). Au terme d'une semaine de campagne, dans des délais qui ne pourraient être tenus avec une procédure de reconnaissance classique, le gestionnaire du site dispose ainsi d'une cartographie le renseignant sur la complexité de la contamination et sur lequel il peut s'appuyer pour définir des mesures de gestion.

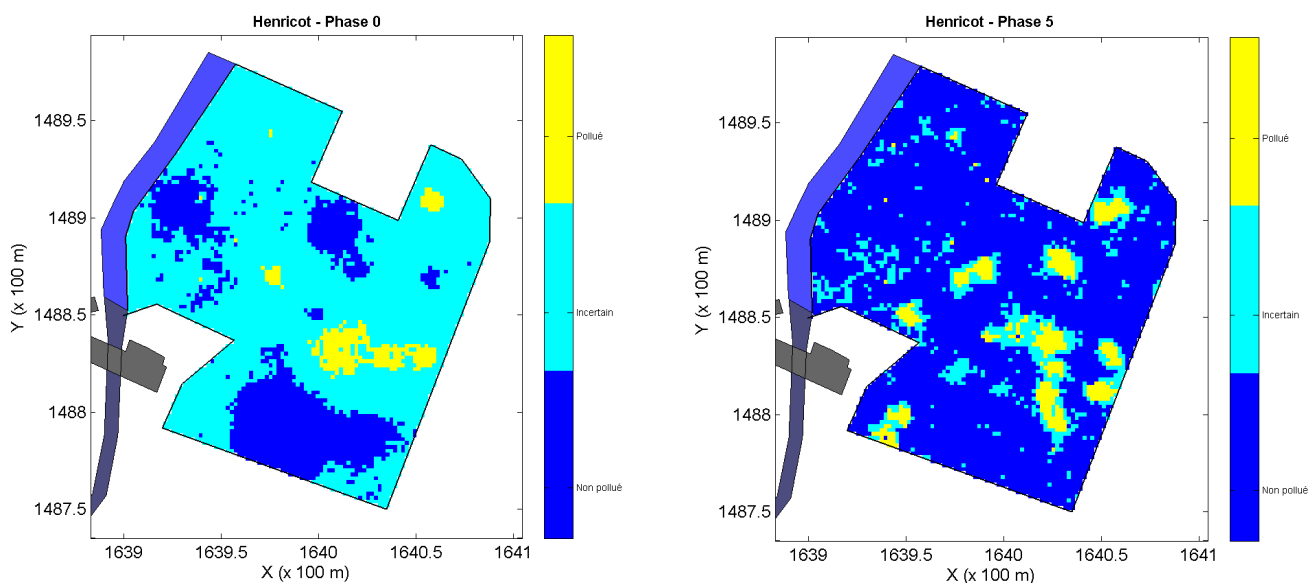


Figure 1 Henricot II - Carte de classification des sols de surface (0-0.25 m) en fin d'étape préliminaire (gauche) et au bout du 5^{ème} jour d'étape itérative (droite)