



**Quatrièmes Rencontres nationales**  
**de la Recherche sur les sites et sols pollués**  
**26 et 27 novembre 2019, Le Beffroi de Montrouge**  
**(Portes de Paris)**

**Suite d'outils logiciels dédiés à la reconnaissance et l'étude de sites pollués (FUI MATRICE)**

**Jean-Baptiste MATHIEU<sup>1\*</sup>, Florine GARCIA<sup>1</sup>, Christian Trocmé<sup>1</sup>, Michel H. GARCIA<sup>1</sup>, Carola MIRGON<sup>2</sup>,  
Christian BELLIER<sup>2</sup>, Etienne TAFFOUREAU<sup>2</sup> et Equipe MATRICE**

<sup>1</sup> : KIDOVA, 155 av. R. Salengro, 92370 Chaville, France,  
jb.mathieu@kidova.com, florine.garcia@kidova.com, christian.trocme@kidova.com,  
michel.garcia@kidova.com

<sup>2</sup> : BRGM, 3 av. Claude-Guillemin - BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2, France,  
c.mirgon@brgm.fr, c.bellier@brgm.fr, e.taffoureau@brgm.fr

\* contact : Jean-Baptiste MATHIEU

### Résumé

Le projet de recherche MATRICE intègre une démarche géostatistique dans l'analyse des données collectées et leur traitement pour conduire au mieux une campagne de reconnaissance selon un objectif souhaité. Pour répondre à cette problématique, une démarche a été définie à partir des résultats du projet REPERAGE et des outils logiciels ont été développés en complément d'outils existants pour la rendre opérationnelle. Une application mobile, SRMobile, a ainsi été développée pour collecter au mieux les données sur le terrain et faciliter leur transfert entre terrain et bureau d'étude. Cette application intègre une liaison avec les bases de données et les services gérés par le BRGM pour permettre une meilleure connaissance des milieux au voisinage du site et faciliter le contrôle-qualité des données. Les données récoltées sont ensuite intégrées pour établir ou mettre à jour un modèle de pollution des sols et l'incertitude associée grâce à des logiciels existants. Pour lever ces incertitudes, un logiciel SRSampling a été développé pour calculer des plans d'échantillonnage complémentaires qui sont ensuite transférés au terrain via SRMobile. L'ensemble de ces étapes est répété plusieurs fois, dans des délais compatibles avec ceux de la campagne de reconnaissance.

### Introduction

Conduire une campagne de reconnaissance en prenant en compte au fur et à mesure les données collectées pour décider du positionnement des suivantes à une fréquence qui convient permet d'améliorer considérablement l'évaluation de l'état de pollution des sols d'un site potentiellement pollué. La suite d'outils SoilRemediation® (SR) a été complétée pour atteindre cet objectif avec :

- la collecte de données et leur transfert facilités entre terrain et bureau d'études,
- la liaison avec les bases de données et des services gérés par le BRGM,
- l'intégration des données pour établir ou mettre à jour un modèle de pollution des sols et l'incertitude associée,
- le calcul de plans d'échantillonnage complémentaires à même de lever ces incertitudes,
- le transfert des plans d'échantillonnage facilité entre bureau d'études et terrain.

Le développement de ces outils s'inscrit dans le cadre du projet de recherche MATRICE [1].

Cet article présente la démarche et les outils développés pour la conduite de campagne de reconnaissance de terrain couplée à un traitement géostatistique des données.

## Matériel et méthodes

La démarche en 4 étapes (figure 1) s'appuie sur les résultats du projet REPERAGE [2], financé par l'ADEME et propose les outils nécessaires pour améliorer, compléter et rendre opérationnelle la démarche REPERAGE.

1. La collecte de données et leur transfert vers le bureau d'étude en charge de la modélisation, via une application mobile, SRMobile, associée à une plateforme internet dédiée, SRServer. Leurs objectifs sont les suivants :
  - réduire les temps nécessaires à l'import des données « terrain » pour leur traitement géostatistique,
  - réduire les possibilités d'oubli ou d'imprécisions dans le relevé d'informations « terrain »,
  - réduire les possibilités d'erreurs de saisie lors de la copie de notes de terrain,
  - permettre le pilotage de campagnes de reconnaissance à distance,
  - s'adapter aux contraintes du terrain en proposant des solutions opérationnelles en cas de couverture internet ou GPS défaillantes.
2. L'établissement ou la mise à jour d'un modèle géostatistique de la pollution des sols et d'incertitude associé. Pour cette tâche, le projet MATRICE tire parti d'outils et workflows de la SoilRemediation Suite :
  - un workflow dédié à l'import, l'analyse et la visualisation des données environnementales [3],
  - un workflow guidant l'utilisateur pour faciliter et fiabiliser la modélisation géostatistique des teneurs en polluants dans les sols et la quantification des incertitudes associées par rapport à des objectifs de reconnaissance ou dépollution [4].
3. Le calcul d'un plan d'échantillonnage complémentaire permettant de lever au mieux les incertitudes jugées inacceptables à l'aide d'un workflow développé dans le cadre de MATRICE, nommé SRSampling [5].
4. Le transfert à l'équipe de terrain du plan de sondages ou échantillonnage proposé et de la carte de classification des sols qui peut servir à adapter les points d'échantillonnage si nécessaire.

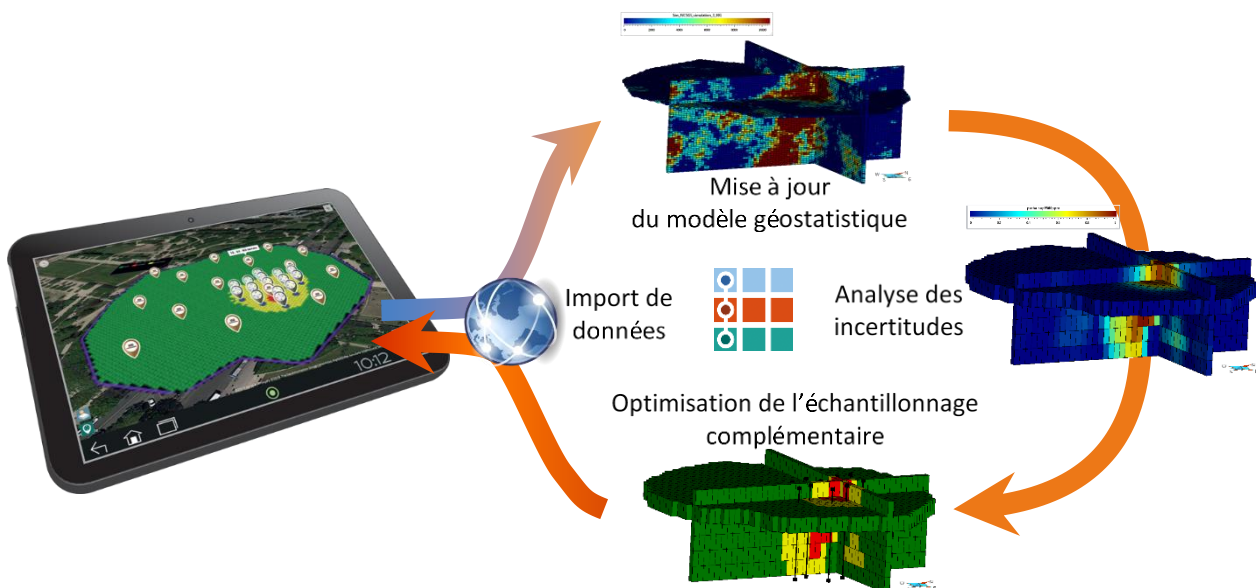


Figure 1. Démarche suivie pour la conduite de campagnes de reconnaissance de terrain couplée à la géostatistique.

## Résultats et discussion

### Application SRMobile

L'application mobile SRMobile, est développée et disponible pour les appareils mobiles Android (à partir de la version 4.2). Les données collectées à l'aide de cette application sont variées et récapitulées dans le tableau 1. Elle tire parti des équipements internes, lorsqu'ils sont disponibles, tels que la puce GPS, l'appareil photo ou la connexion internet pour faciliter la collecte de données et leur contrôle-qualité.

**Tableau 1. Types de données gérées par SRMobile.**

Type	Description des données stockées
Identifiants du site	Nom, adresse et localisation du site.
Source de données	Nom et liste des paramètres physico-chimiques mesurables ainsi que l'unité de mesure choisie.
Lexique lithologique local	Liste des sols décrits sur ou à proximité du site.
Cartes et photos aériennes	Cartes scannées et photos aériennes géoréférencées et importées dans l'application.
Photos sur site	Photos réalisées à l'aide de l'appareil mobile.
Identifiants des sondages	Nom, position GPS, date de forage et profondeur atteinte.
Relevés lithologiques	Relevés lithologiques réalisés le long de chaque sondage.
Identifiants des échantillons	Nom, géoréférencement des échantillons et représentativité (épaisseur/rayon).
Mesures sur site	Mesures effectuées sur le terrain à l'aide d'une « source » de données définie.
Analyses en laboratoire	Mesures réalisées à posteriori (hors site) et associée aux échantillons identifiés.
Données piézométriques	Relevés de niveau de nappe ou de pression hydrostatique dans les sondages.

Dans le cadre du projet de recherche MATRICE, les liaisons suivantes depuis et vers l'application ont été mises en place.

- Une liaison avec le laboratoire de terrain pour collecter les données analysées sur site immédiatement [1].
- Des liaisons avec les bases de données gérées par le BRGM sur la géologie et les eaux souterraines (BSS, ADES) et sur les analyses de sols en milieu urbain (BDSolU, copropriété ADEME/BRGM). Elles sont susceptibles de renseigner sur les milieux dans ou au voisinage d'un site (géologie, qualité des sols et des eaux) et consultables directement sur le terrain.
- Une liaison avec des services du BRGM (production de coupes de sondage) facilitant le contrôle-qualité des données collectées avant leur envoi pour traitement.

Les données collectées sont stockées sous forme de fichiers au format XML ou PNG, et peuvent être transférées au bureau d'étude en charge de la modélisation via un serveur dédié, SRServer. Cette plateforme dédiée au transfert sécurisé des données collectées via SRMobile se présente sous la forme d'un serveur, d'une base de données et d'un site internet. Elle est accessible depuis un ordinateur à l'aide d'un navigateur web récent ou directement via l'application SRMobile. SRServer permet de partager facilement des fichiers entre le terrain et le bureau d'études en charge de la modélisation. Les fichiers y sont reconnus, classés par site et consultables uniquement par les personnes associées au projet.

#### *Outils pour l'analyse des données, la modélisation géostatistique et le calcul de plans d'échantillonnage*

Les données collectées par l'application SRMobile sont déjà formatées pour pouvoir être importées dans SoilRemediation (SR). Une fois les données importées, le modélisateur peut les analyser puis procéder à la modélisation géostatistique grâce aux deux workflows déjà développés au sein de SoilRemediation [3] et [4].

Une fois le modèle de pollution des sols établi ou mis à jour, le modélisateur peut déterminer une carte de classification des sols selon leur état de pollution comme défini avec confiance ou incertain à partir de carte de probabilité. C'est cette carte de classification qui va ensuite permettre de calculer un plan d'échantillonnage complémentaire à l'aide du workflow SRSampling dont la méthode est détaillée dans l'abstract de Garcia *et al.* [5]. Ces plans d'échantillonnage peuvent ensuite être directement exportés au format lu par l'application SRMobile pour adapter la suite de la campagne sur le terrain.

#### **Conclusions et perspectives**

Cette suite d'outils adaptée à la conduite de campagne de reconnaissance de terrain couplée à un traitement géostatistique des données sont opérationnels et en attente d'être mis en œuvre sur des cas d'étude réels

Une perspective au développement de ces outils est de tendre vers une meilleure prise en compte de données multiples et variées dans des modèles géostatistiques de pollution des sols.

## **Références**

- [1] Ollivier, N., Prudent, P., Coulomb, B., Boudenne, J.-L., Louati, H., Godere, M., Malleret, L., Doumenq, P., Figlia, T. (2019). Projet FUI « MATRICE », Extractions de terrain. Communication soumise aux Rencontres de la Recherche sur les sites et sols pollués, nov. 2019.
- [2] Demougeot-Renard, H., Haouche-Belkessam, L., Denys, S., Garcia, M. H. (2008). Reconnaissance assistée de sites pollués par l'utilisation conjointe de mesures rapides sur site et de traitements géostatistiques – partie 2. Conception et validation d'une démarche itérative de reconnaissance. Rapport final REPERAGE. Rapport FSSADEME2007002.
- [3] Mathieu, J.-B., Garcia, M. H., Garcia, V., Rabaute, A. (2012). Providing cutting-edge graphic and modeling technology for managing, visualizing and analyzing environmental data and for assessing site and soil contaminations. Intersol 2012, 27-30 mars 2012 – Paris.
- [4] Association et groupe de travail GeoSiPol. (2005). Géostatistique appliquée aux sites et sols pollués. Manuel méthodologique et exemples d'application. Document disponible sur : <http://www.geosipol.org>.
- [5] Garcia, F., Mathieu, J.-B., Garcia, M. H., Equipe MATRICE. (2019). Suite d'outils logiciels pour la conduite de campagnes de reconnaissance de sites potentiellement pollués couplant mesures sur site et traitement géostatistique des données. Communication soumise aux Rencontres de la Recherche sur les sites et sols pollués, nov. 2019.

## **Remerciements**

Nous remercions tous les partenaires et les financiers du projet de recherche MATRICE dans lequel les développements des outils SRMobile, SRServer et SRSampling s'inscrivent.