



Liste des études ou travaux sur les sites et sols pollués

1. Cokeries en Lorraine (1994, 1995)

- Conseil et assistance pour la délimitation d'une pollution de sols par des HAP et des métaux lourds et pour l'estimation de l'incertitude sur le volume total de terrain contaminé (approche par cartes de probabilités).
- Développement d'outils logiciels pour l'intégration de différents types de données géophysiques (résistivités de sols).
- Développement d'outils adaptés à la visualisation de l'impact de pollution en 3D.

2. Raffinerie dans le Sud de la France (1995)

- Conseil et assistance dans l'application de méthodes géostatistiques pour la délimitation d'une pollution par des hydrocarbures à partir de données directes de teneur (peu nombreuses) et de données secondaires (abondantes) de type chromatographie en phase gazeuse.

3. Site industriel dans le Sud de la France (1996)

- Simulation conditionnelle de la teneur initiale et résiduelle en métaux lourds pour un site partiellement décontaminé.
- Calcul de la probabilité que les teneurs en métaux lourds dépassent en certains endroits des seuils donnés.
- Développement d'un logiciel d'optimisation de l'échantillonnage. La méthode a pour objet de déterminer le nombre minimal et l'emplacement d'échantillons complémentaires de manière à ramener partout, jusqu'à un niveau acceptable, la probabilité (risque) que le sol soit faussement classé comme contaminé ou propre.

4. Conseil et assistance pour l'application de la géostatistique dans le diagnostic de sites contaminés (cas d'étude 2D et 3D) et dans la rédaction de documents techniques présentant l'approche géostatistique (1995, 1996)

- Pour le compte de l'INERIS dans le cadre d'un programme technique du Ministère de l'Environnement sur la problématique des sols contaminés. Participation à des cours de l'INERIS sur les sols pollués, avec une introduction à l'analyse des données, la géostatistique et l'analyse de risque.

5. Conseil et assistance dans le domaine du diagnostic environnemental de sites pollués et de l'évaluation des risques de transfert de la pollution (1998)

- Elaboration d'une méthode analytique et création d'un programme permettant de déterminer les épaisseurs réellement mobilisables de flottant, ou LNAPL : par exemple des hydrocarbures, reposant sur une nappe d'eau souterraine, à partir des épaisseurs mesurées dans les piézomètres de suivi, de la connaissance du type de flottant, des caractéristiques pétrophysiques et hydrogéologiques de l'aquifère, et par l'estimation des profils de saturation au-dessus de la nappe.
- Diagnostic de contamination de sols et modélisation en écoulement et en transport de polluant. Conception et développement d'un logiciel d'estimation de l'incertitude sur des modèles analytiques de transport (approche stochastique).

6. Etude bibliographique des approches géostatistiques appliquées à la caractérisation d'aquifères (1998)

- Aspects abordés : intégration d'informations secondaires de type géophysique, évaluation comparative de méthodes d'estimation et de simulation stochastiques et des effets sur le transport de masse, méthodes de problème inverse pour l'intégration de données d'écoulement dans l'estimation ou la simulation de champs de perméabilité, changement d'échelle, recommandations pratiques sur une approche géostatistique tirées des données sur un site potentiel pour un laboratoire souterrain. Pour le compte de l'ANDRA.

7. Etude de l'état de contamination en HAP de talus de terre dans un site minier dans le Nord de la France (1999)

- Choix d'un schéma d'échantillonnage des talus de terre, analyse statistique des données et quantification de l'incertitude sur les volumes de terre contaminée.

8. Ancienne décharge dans la région lyonnaise (1999, 2000)

- Conseil et assistance pour : la délimitation d'une pollution de sols par des HAP et des métaux lourds, l'estimation de l'incertitude sur le volume total de terrain contaminé, l'optimisation d'une campagne d'échantillonnage complémentaire, la détermination du stock de polluants dans les sols comme terme source de la pollution de la nappe phréatique.
- Approches par krigeage d'indicatrice et par simulation conditionnelle avec prise en compte de données directes (teneurs) et indirectes (lithologie, relevés organoleptiques, mesures PID) et de corrélations entre polluants.

9. Projet TRANSPOL (2000, 2003)

- Participation au groupe de travail TRANSPOL (intercomparaison et validation des codes de TRANSport de POLLuants) dirigé par l'INERIS pour le compte du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
- Simulation avec le simulateur polyphasique TOUGH2-T2VOC du cas type n°1 (CT1) d'une pollution d'un aquifère par une fuite accidentelle d'huile. Deux cas traités pour une huile légère (benzène) et lourde (naphtalène).



10. Ancien site industriel (usine à huile) en région parisienne pour un projet de réhabilitation (2002)

- Conseil et assistance pour la délimitation d'une pollution de sols par des hydrocarbures et l'estimation de l'incertitude sur le volume total de sols contaminés.
- Approche par simulation conditionnelle avec prise en compte de données directes (teneurs) et indirectes (coupes de sondage, relevés organoleptiques).

11. Épuisement du stock de polluant sur le site d'une ancienne chaufferie en région parisienne (2002)

- Estimation de la répartition spatiale des saturations résiduelles en polluants dans les sols à l'endroit d'anciennes cuves souterraines remanié.
- Simulation avec TOUGH2-T2VOC de l'épuisement au cours du temps du stock de polluants.
- Déduction de l'historique de pollution (termes sources) pour une simulation avec Visual MODFLOW de la contamination de la nappe phréatique.

12. Effet de la dépollution d'un site dans le Nord de la France sur la migration de HAP depuis la nappe alluviale contaminée vers la nappe captive sous-jacente (2002)

- Assistance dans la définition d'un modèle conceptuel de migration verticale des HAP d'un aquifère à l'autre à travers un aquiclude et de transport par la nappe captive sous-jacente.
- Validation avec TOUGH2-T2VOC de résultats de modèles obtenus avec Visual MODFLOW.
- Etablissement d'une méthodologie et développement d'un code (sous Excel-VB) pour simuler l'impact de scénarios de dépollution de l'aquifère supérieur sur l'état contamination futur de la nappe captive sous-jacente. Approche par convolution d'une (unique) solution élémentaire de transport, simulée numériquement, en fonction de l'historique d'évolution du terme source de la contamination (application du principe de superposition aux modèles de transport).

13. Pollution au plomb de sols dans et autour d'un site industriel dans le Nord de la France (2003)

- Cartographie, sous forme de cartes de probabilités, du risque de dépassement de teneurs en plomb dans les sols pour une pollution d'origine aérienne.

14. Pollution multiple (22 substances organiques et minérales) d'un ancien centre de production de gaz en Italie (2003)

- Cartographie des probabilités de dépassement des seuils de dépollution, par substance
- Cartographie des probabilités globales de dépassement des seuils, probabilités pour que l'une au moins des substances soit supérieure à son seuil de dépollution
- Estimation des volumes de sol à dépolluer dans les différentes zones de réaménagement (résidentielles, industrielles).

15. Cours de formation continue sur les sites et sols pollués à l'Université de Neuchâtel en Suisse (2003 - aujourd'hui)

- Conception, organisation et animation d'un cours destiné aux professionnels des sites pollués.
- Cours certifiant patroné par l'Office Fédéral de L'Environnement et les associations professionnelles CHGEOL, ASR et SIA.
- Trois éditions en 2003, 2004 et 2005. Prochaine édition prévue en 2007.



16. Evaluation des risques sanitaires et quantification de l'incertitude (2003)

- Mise en œuvre d'une approche probabiliste (simulations de Monte Carlo) pour quantifier l'incertitude affectant l'évaluation du risque d'inhalation de substances cancérigènes sur site pollué. Prise en compte de l'incertitude liée aux paramètres identifiés comme les plus sensibles.
- Développement d'un module spécifique de quantification de l'incertitude : application XI-MonteCarlo adaptée à un code d'évaluation des risques développé sous Excel.

17. Analyse statistique exploratoire des données d'ESR d'un ancien site industriel de production pharmaceutique et de fabrication de peintures dans le Nord de la France (2004)

- Etude des corrélations entre polluants (hydrocarbures aliphatiques, hydrocarbures chlorés volatils, hydrocarbures aromatiques volatils, métaux lourds), entre polluants et profondeur, et entre polluants et paramètres physiques.
- Etudes des proportions de teneurs mesurées supérieures aux valeurs - guides VCI et VDSS.
- Cartographie d'un indice de risque global permettant de localiser les zones de plus forte intensité de contamination
- Analyse variographique en vue d'une cartographie et d'une estimation de volumes à dépolluer.

18. Optimisation de l'échantillonnage en vue de la caractérisation du site d'une future station d'épuration en Belgique (2004, 2005)

- Analyse critique de l'échantillonnage réalisé en phase de reconnaissance préliminaire.
- Recommandations générales quant à l'établissement de plans d'échantillonnage complémentaire.
- Proposition de stratégies d'échantillonnage complémentaire en fonction des critères d'optimisation choisis.
- Production de cartes : cartographie des teneurs (métaux, HAP), cartographie de l'incertitude liée au classement des sols comme sains ou contaminés.
- Délimitation et évaluation des volumes de sols à dépolluer assorties d'une précision d'estimation.

19. Projet MACAOH. Programme d'études et de recherches sur le comportement et le devenir des composés organo-chlorés aliphatiques dans les aquifères (2004, 2005, 2006)

- Participation au groupe de travail MACAOH (Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les Aquifères des Organo-Halogénés) dirigé par l'ADEME pour le compte du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
- Simulation ou pour certains cas tentative de simulation avec le simulateur polyphasique TOUGH2-T2VOC des cas A0, A1 et A2 de migration de TCE en phase liquide non-miscible.
- Assistance pour la cartographie de saturations et de concentrations en solvants chlorés d'essais pilotes.

20. Groupe de travail national français GeoSiPol (2004 – aujourd'hui)

- Initiation d'un projet de groupe de travail faisant la promotion des pratiques de la géostatistique dans le domaine des sites pollués auprès des bureaux d'étude, sociétés de travaux, Autorités et responsables de sites pollués.



- Fondation du groupe en coopération avec deux acteurs français de la géostatistique appliquée à l'environnement : Géovariances et le Centre de Géostatistique de l'Ecole des Mines de Paris.
- En première action du groupe, élaboration d'un guide méthodologique et de fiches techniques à vocation promotionnelle sur des thèmes d'application jugés prioritaires par les membres adhérents :
 - Comment passer des analyses chimiques à la cartographie de teneurs en polluant ?
 - Comment délimiter et quantifier les zones à dépolluer ?
 - Comment intégrer toute l'information, de l'historique à l'analyse sur site ?
 - Quel est l'apport de la géostatistique à l'échantillonnage des sites pollués ?
- Création d'un site web, organisation d'exposés et de séminaires, participation à des conférences, travaux pratiques.

21. Projet OUTRAGE. Projet de recherche et développement sur un ancien site industriel du Nord de la France présentant une contamination en métaux lourds. Etude des avantages et limites d'une reconnaissance couplant des outils de diagnostic rapide sur site et une démarche géostatistique (2005)

- Synthèse bibliographique sur l'échantillonnage de site pollué faisant appel à des outils de diagnostic rapides et à une démarche géostatistique.
- Comparaison des outils de diagnostic rapide et des analyses rapides en laboratoire au moyen de méthodes statistiques et géostatistiques sur échantillons de site réel.
- Etude et définition d'une méthodologie d'optimisation de l'échantillonnage sur des critères de coûts, de délais et de précision en couplant analyse sur site et géostatistique. Vers un traitement en temps réel des données sur site pour conduire des campagnes d'investigation.
- Application de la démarche complète sur sites réels.

22. Projet immobilier sur une ancienne gravière remblayée en région parisienne : estimation et cartographie des volumes de sols à excaver par filière de décharge ou de traitement en fonction des teneurs en métaux lourds et en hydrocarbures dans les sols (2005)

- Simulations stochastiques des teneurs en polluants à une échelle fine (modèle 3D).
- Calcul des volumes de sols par classe de décharge ou de traitement (application de seuils d'acceptation en décharge). Quantification de l'incertitude sur ces volumes. Sensibilité aux tailles de maille pour travaux (grille d'excavation).
- Classification et cartographie des mailles comme saines (sols destinés à CET 3) ou contaminées (sols destinés à CET 1 ou 2 ou bio-centre) selon un critère de plus grande probabilité. Pour les mailles plus probablement contaminées, distinction entre type de contamination (métaux lourds ou hydrocarbures ou les deux).
- Mise en œuvre d'une approche risque. Prise en compte de l'incertitude sur la classification des sols et des éléments financiers utiles (coûts de décharge, de tri sélectif, etc.) pour décider au mieux du devenir de chaque maille en terme d'orientation vers une classe de décharge ou de nécessité d'un tri sélectif.

23. Estimation et cartographie des flux de bio-gaz sur décharges (2005)

- Mise au point d'une méthode d'estimation des flux de bio-gaz sur les décharges avec quantification de l'incertitude, à partir de mesures ponctuelles réalisées avec une chambre de flux.
- Évaluation de l'utilisation comme variables secondaires de l'âge et de l'épaisseur des déchets, de l'épaisseur de la couverture.
- Prise en compte du réseau de puits de dégazage.



24. Assistance et développement d'outils pour l'utilisation de T2VOCA à l'évaluation de l'exposition annuelle d'une population située à proximité d'un site pollué (2005)

- Assistance dans la compréhension et l'utilisation de T2VOCA, adaptation du simulateur TOUGH2-T2VOC¹ qui permet de simuler la migration d'un composant organique volatil (COV) depuis les sols vers et dans l'atmosphère.
- Développement d'outils pour la simulation de l'exposition sur une année en fonction d'un historique de conditions météorologiques.
- Assistance dans l'application de la procédure à un cas d'étude.

25. Réhabilitation d'une ancienne cokerie en région liégeoise (Belgique) : estimation et cartographie des volumes de sols à excaver par filière de décharge ou de traitement en fonction des teneurs en métaux lourds et en hydrocarbures dans les sols (2006)

- Simulations stochastiques des teneurs en 16 polluants à une échelle fine (modèle 3D).
- Calcul des volumes de sols par classe de décharge ou de traitement (application de seuils d'acceptation en décharge). Quantification de l'incertitude sur ces volumes. Sensibilité aux tailles de maille pour travaux (grille d'excavation).
- Classification et cartographie des mailles comme saines ou contaminées selon un critère de plus grande probabilité. Pour les mailles les plus probablement contaminées, distinction entre types de contamination (métaux lourds, hydrocarbures, arsenic, cyanures ou pollutions mixtes).
- Mise en œuvre d'une approche risque. Prise en compte de l'incertitude sur la classification des sols et des éléments financiers utiles (coûts de décharge, de tri sélectif, etc.) pour décider au mieux du devenir de chaque maille en terme d'orientation vers une classe de décharge ou de nécessité d'un tri sélectif.

26. Cours d'analyse de données spatio-temporelles de données de santé et environnement (2006)

- Cours de formation destiné aux professionnels de la santé et de l'environnement, proposé avec Prof. Pierre Goovaerts (PGeostat, Michigan, USA).
- Présentation de méthodes géostatistiques adaptées à l'étude des relations entre des données de santé, l'exposition à un stress environnemental (ex. contamination de l'air) et des facteurs socio-économiques (ex. revenu, tabagisme). Illustration sur cas concrets.
- Première édition à Genève (février 2006), deuxième édition à Paris à la demande de l'INERIS (avril 2006).

27. Projet SCARPE. Etude géostatistique de sédiments contaminés d'une rivière canalisée (Nord de la France) (2006)

- Analyse exploratoire des teneurs en métaux et des données de granulométrie.
- Cartographie des teneurs en métaux par krigeage factoriel.
- Interprétation des résultats : superposition de phénomènes de contamination à différentes échelles. Relations avec les rejets en rivière.

¹ T2VOC, dont dispose FSS International, est un simulateur triphasique d'écoulements en milieu poreux et fracturés. Il fait partie d'une famille de simulateurs issus d'un code ou cœur de calcul commun TOUGH2. Tous ces codes y compris T2VOCA ont été développés par l'Université de Berkeley et sont commercialisés par le Département à l'Energie Américain.

