



# Calcul de plans d'échantillonnage rationalisés pour la conduite de campagne de reconnaissance (FUI MATRICE)

Florine Garcia, Jean-Baptiste Mathieu, Michel  
H. Garcia (KIDOVA) et Equipe MATRICE



Atelier 1 - Interprétation des résultats, bases  
de données, valeurs de fonds

Garcia Florine (KIDOVA)





## Concevoir une campagne de sondages ou d'échantillonnage itérative

### 🎯 Objectifs

- ➔ Première étape : détection ou confirmation d'une pollution des sols
- ➔ Etapes suivantes : réduction de l'incertitude sur l'état de pollution des sols

## Concevoir une campagne de sondages ou d'échantillonnage itérative

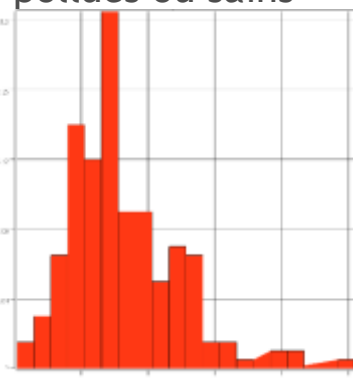
### Questions utiles / nécessaires

#### → Quelles incertitudes à lever ?

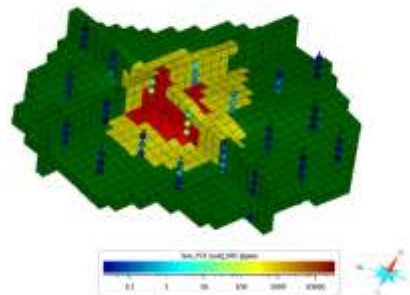
- Incertitudes **globales** sur des volumes ou masses de sols pollués ou de polluants
- Incertitudes **locales** sur des teneurs en polluants, des masses de polluants, des sols pollués ou sains

#### → Quelles reconnaissances

- des sondages, échantillons, points
- directs, indirectes
- des données : régionales
- directes de données et



Calcul de plans d'échantillonnage rationalisés pour la conduite de campagne de reconnaissance (FUI MATRICE)



e  
(géostatistiques)



- ① Notions d'incertitudes
- ② Méthodologie
- ③ Application
- ④ Conclusions

## Incertitudes globales ou locales

- Incertitudes globales sur volumes ou masses de sols pollués ou de polluants

→ Savoir combien peu importe où

- Incertitudes locales sur teneurs ou masses de polluants

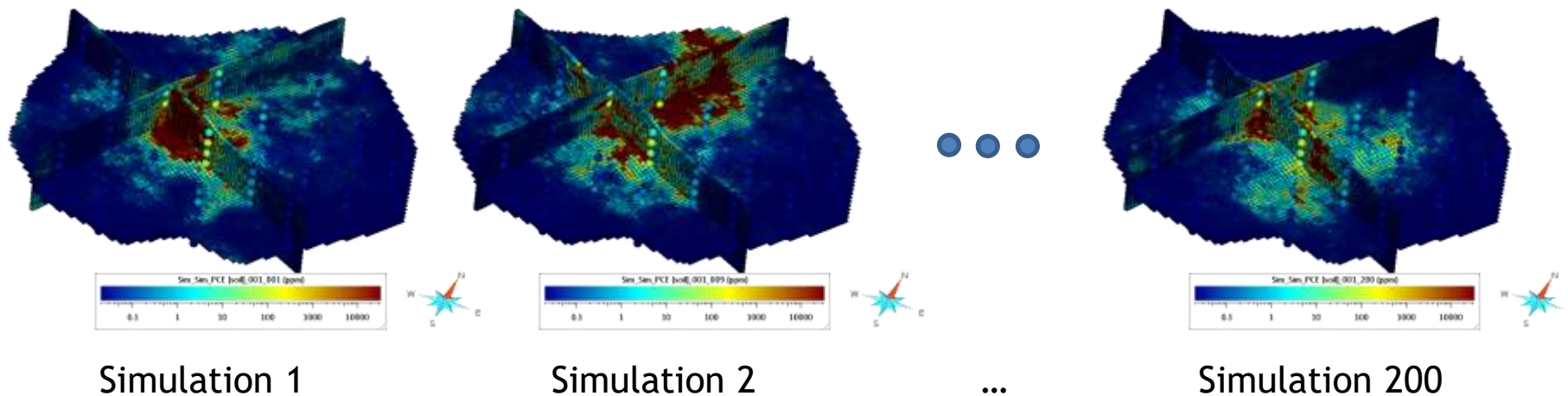
→ Savoir où et par conséquent combien



**Incertitudes généralement visées**

## Incertitudes locales : illustrations

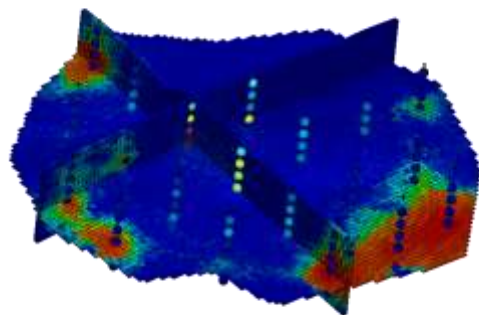
### Modèle géostatistique d'une pollution des sols au PCE



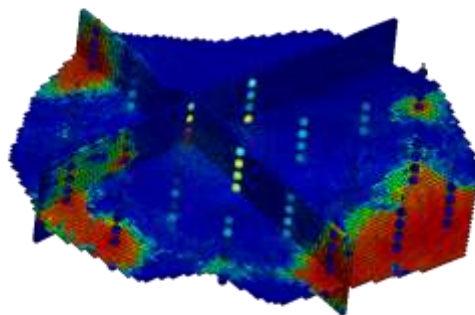
## Incertitudes locales : illustrations

### ○ Incertitude sur teneurs moyennes en PCE estimées

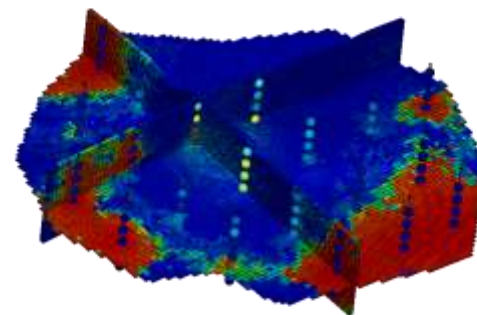
➔ Probabilité d'avoir plus de X% d'erreur par rapport à la moyenne



10% d'erreur



20% d'erreur

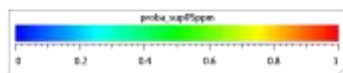
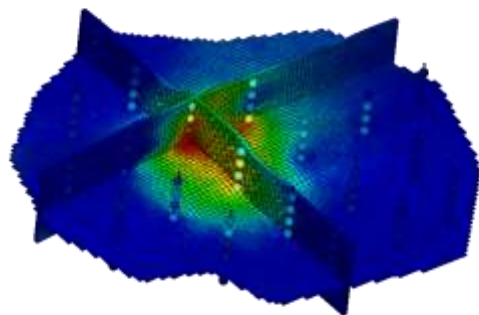


40% d'erreur

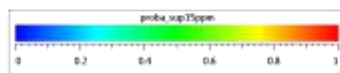
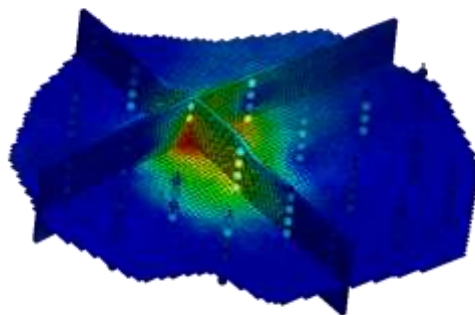
## Incertitudes locales : illustrations

### ○ Incertitude sur le dépassement de seuil de teneur critique

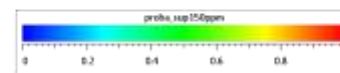
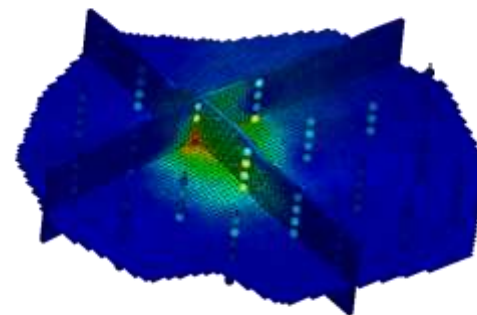
➔ Probabilité que teneur en PCE > seuil critique (local)



Teneur > 5 ppm



Teneur > 15 ppm



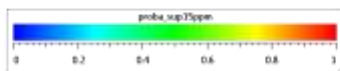
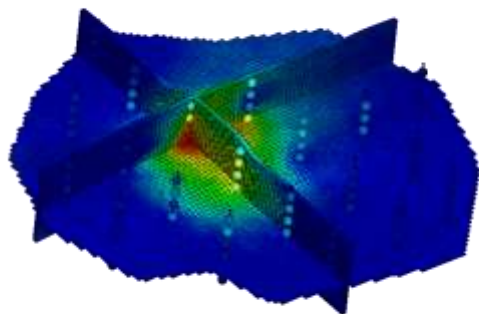
Teneur > 150 ppm



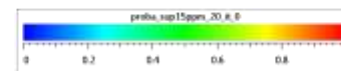
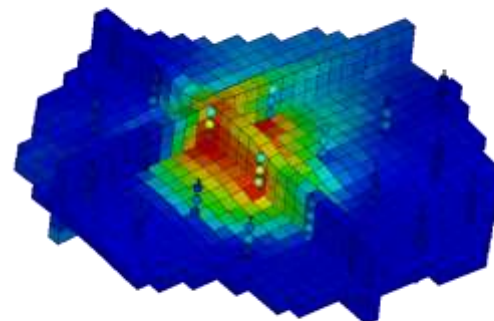
## Incertitudes locales : illustrations

### Effet de grille sur l'incertitude de dépassement de seuil

→ Grille de simulation géostatistique & grille de dépollution



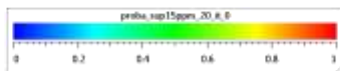
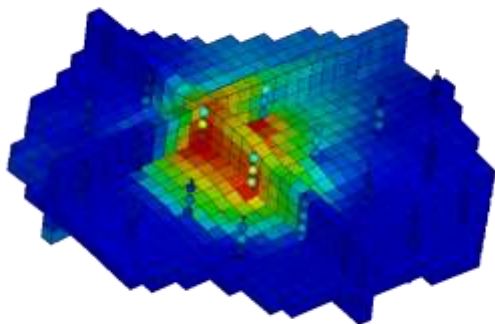
Grille fine (cellule de 0.1 m<sup>3</sup>)



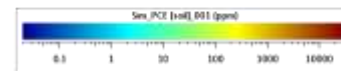
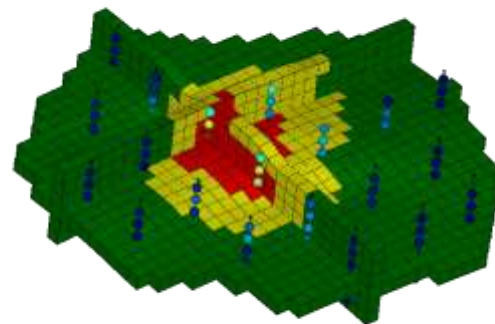
Grille grossière (cellule de 3 m<sup>3</sup>)

## Incertitudes locales : illustrations

- Traduction de l'incertitude en classification des sols par rapport à des critères de risque de se tromper



Probabilité teneur > 15 ppm



**Pollué** si Prob > 0.8  
**Sain** si Prob < 0.2  
**Incertain** sinon

Classification des sols

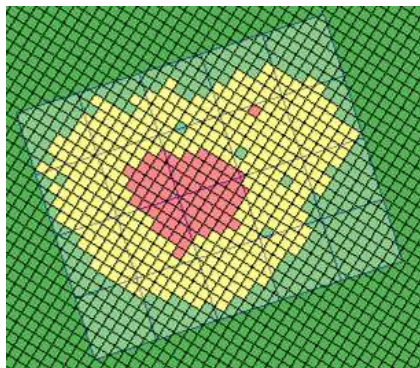
## Approche itérative (phasage possible)

- **Méthode**
  - ➔ Fondée sur l'approche élaborée dans les projets OUTRAGE et REPERAGE
- **Entrées**
  - ➔ Zones incertaines issues d'une classification des sols
    - Tirées d'un modèle géostatistique des teneurs sur une grille adaptée
    - Calculables à partir d'une carte de probabilité définissant l'incertitude spatiale
  - ➔ Nombre de points de sondages (3D) ou d'échantillonnage (2D)
  - ➔ Mode de répartition des données
    - Horizontalement : régulier, régulier corrigé, stratifié
    - Verticalement : régulier systématique
  - ➔ Zones non accessibles (optionnel)
- **Résultats**
  - ➔ Nouveau plan de sondages ou échantillonnage rationalisé

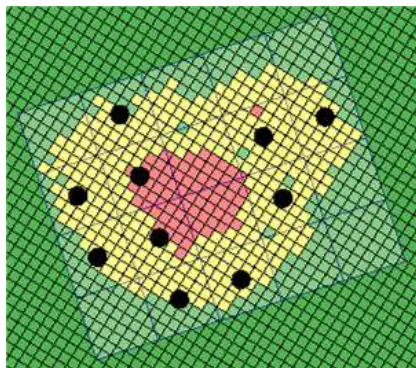
## Illustration

### Mode de répartition des données horizontalement

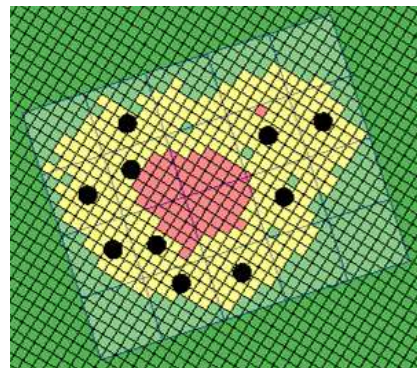
Pollué Sain Incertain



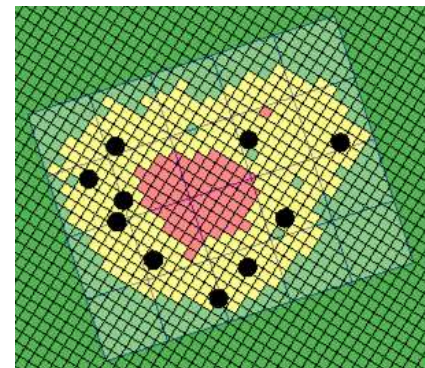
Classification et grille d'échantillonnage régulière



Echantillonnage régulier



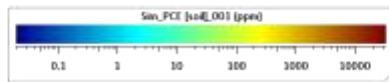
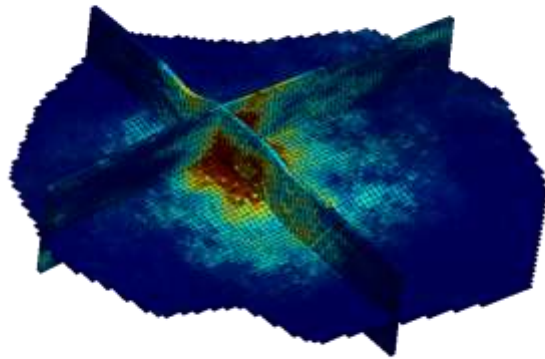
Echantillonnage régulier corrigé



Echantillonnage stratifié

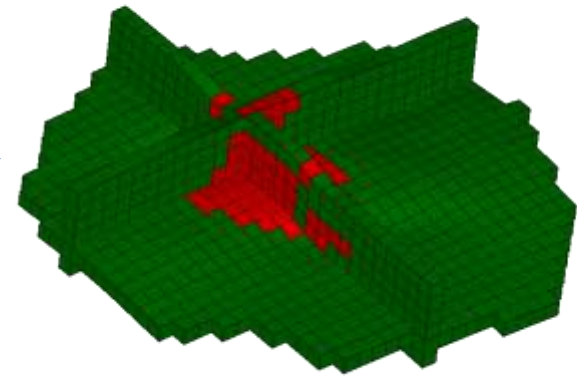
## Déroulé de la démarche

### Modèle de pollution de référence simulé



Teneurs en polluants simulées

Seuil :  
15 ppm



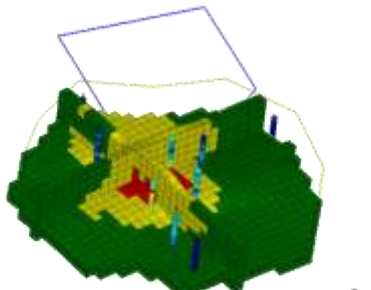
Classification des sols comme pollués ou sains pour seuil critique de 15 ppm

# Application (suite)

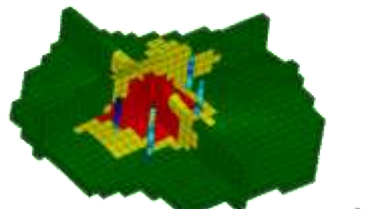


## Déroulé de la démarche

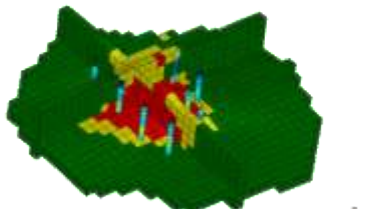
🌀 Résultats : 10 sondages / itération, 12 données / sondage



Etape 1



Etape 2

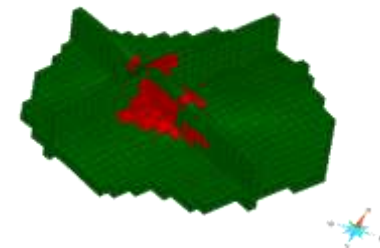


Etape 3



Etape 4

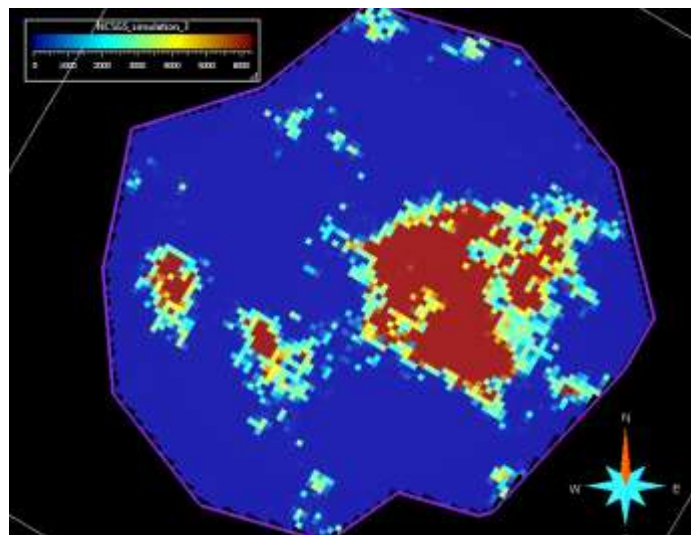
**Pollué**  
**Sain**  
**Incertain**



Classification de  
référence

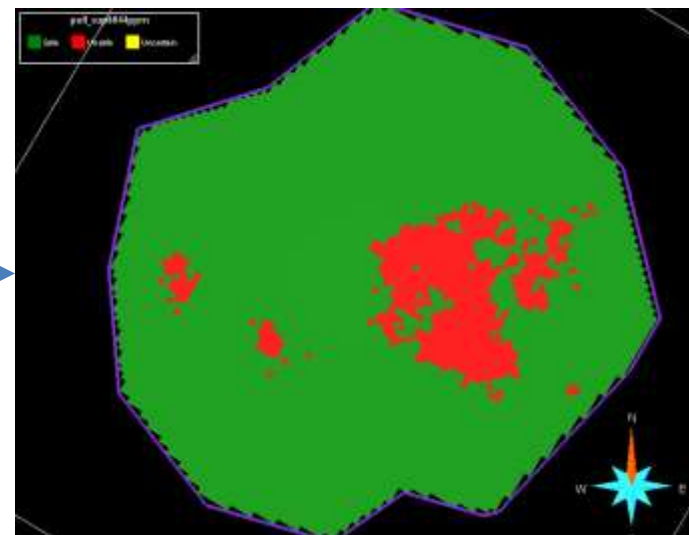
# Application (suite)

## Sensibilité au nombre de sondages par itération jusqu'à 60



Teneurs en polluants simulées

Seuil :  
6000 ppm

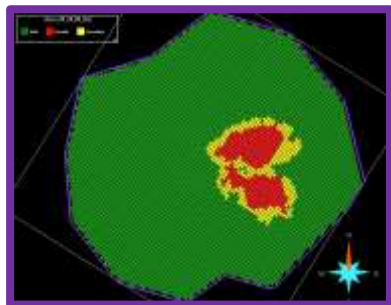


Classification des sols comme pollués ou  
sains pour seuil critique de 6 000 ppm

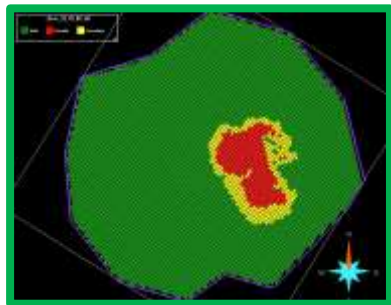
# Application (suite)



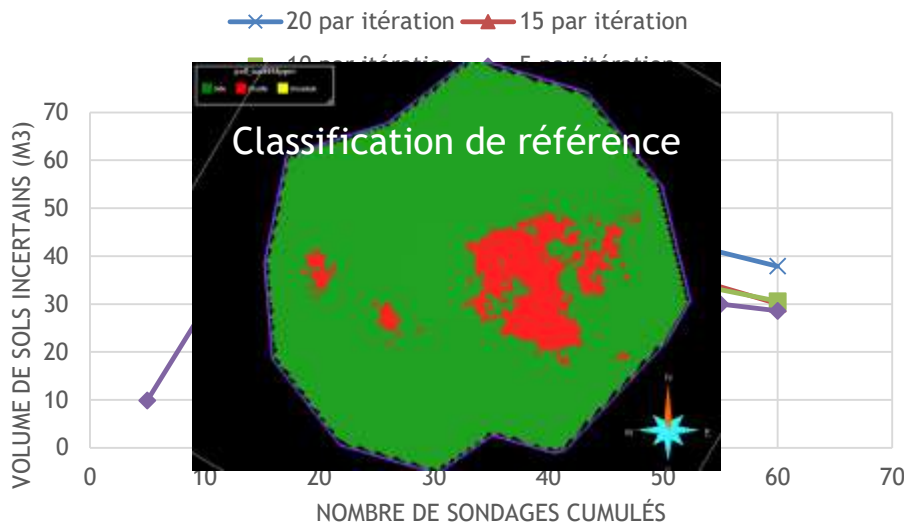
## Sensibilité au nombre de sondages par itération jusqu'à 60



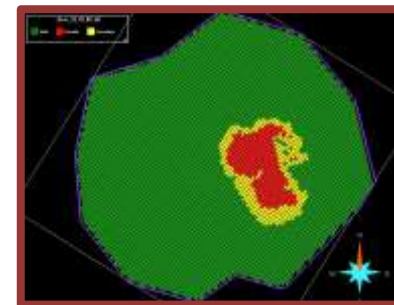
5 / itération



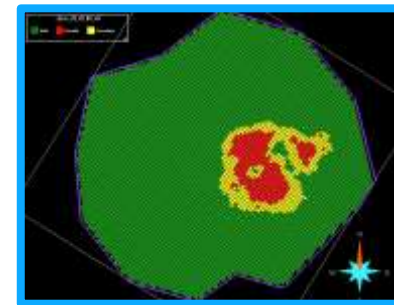
10 / itération



Volume zone incertaine



15 / itération



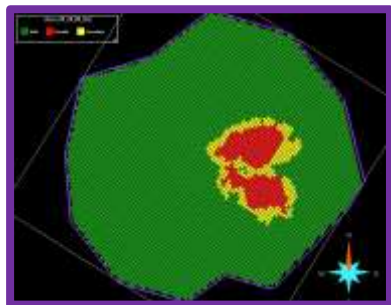
20 / itération



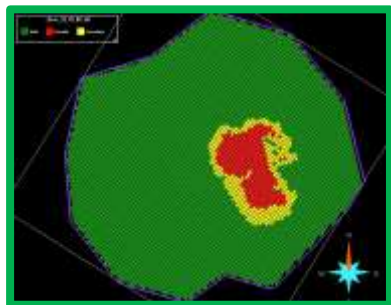
# Application (suite)



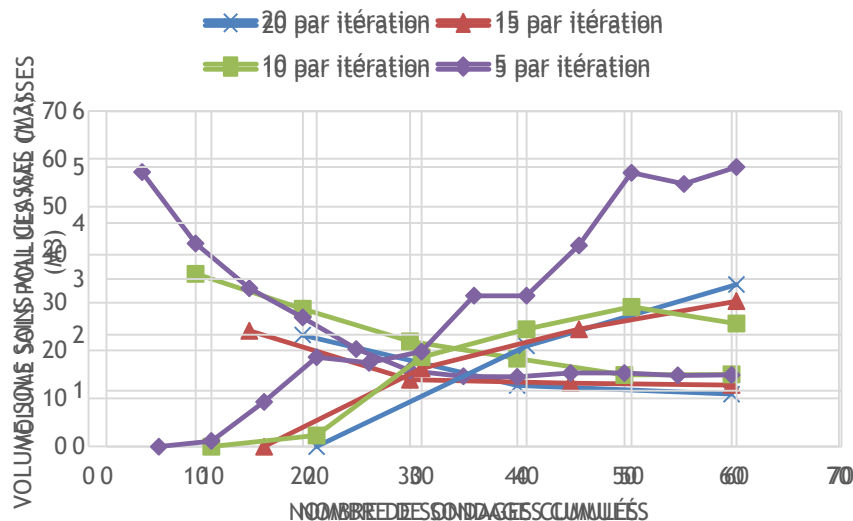
## Sensibilité au nombre de sondages par itération jusqu'à 60



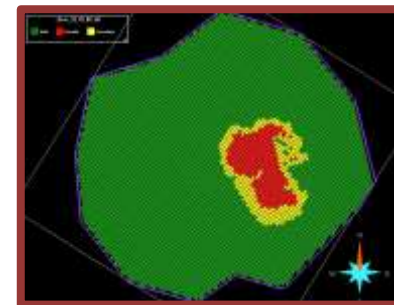
5 / itération



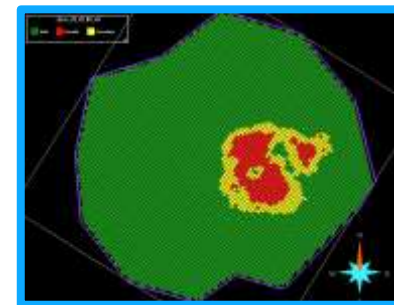
10 / itération



Volume de sols mal classés  
comme **sains** ou **pollués**



15 / itération



20 / itération

- Rationalisation de plans de sondages ou échantillonnage
  - ➔ Problème d'objectif de reconnaissance en termes d'incertitudes globales ou locales à lever
  - ➔ Problème de stratégie d'échantillonnage associée à des contraintes opérationnelles
- Couplage entre mesures sur sites et traitement géostatistique rendus opérationnels grâce à :
  - ➔ l'amélioration d'outils de mesures sur site
  - ➔ le développement d'outils logiciels adaptés et d'utilisation facile



## Ce qu'il faut retenir

### Résultat / point clé des travaux :

- ➔ Aboutissement des travaux de recherche OUTRAGE/REPERAGE (projet ADEME) suivi de MATRICE (projet FUI) sur le couplage entre mesures sur sites et traitement géostatistique avec la production d'un outil logiciel (SRSampling) adapté à la conduite de campagnes de reconnaissance

### Piste de recherche prioritaire :

- ➔ Mise en œuvre de l'outil sur des cas d'étude réels en s'intéressant d'un point de vue méthodologique au phasage des campagnes, aux biais statistiques et à la mise à jour des modèles géostatistiques (collaboration avec le BRGM dans le cadre du projet MATRICE)

# Remerciements



## Partenaires & soutiens financiers projet de recherche



**Paradigm® / EMERSON™** partenaires de  
dans l'environnement





## Voir poster avec présentation des outils

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

J.-B. Mathieu, F. Garcia, C. Trocmé, M. H. Garcia, C. Mirgon, C. Bellier, E. Taffoureau et Equipe MATRICE