

# Colloque final

## Pollutions diffuses de la terre à la mer

1<sup>er</sup> juin 2021





# Constitution de référentiels géochimiques locaux pour les sols et proches sous-sols urbains : de la base de données à l'interprétation géostatistique

*Cécile Le Guern, Baptiste Sauvaget (BRGM),*

*Chantal de Fouquet (Mines Paris Tech)*



# Contexte

- Redéveloppement urbain



- Terres excavées



- Valorisation
- Prendre en compte la contamination



SAMOA / Mg Design 2014

Grand Paris Express

43 millions tonnes

Ile de Nantes

1,5 million tonnes sur 15 ans

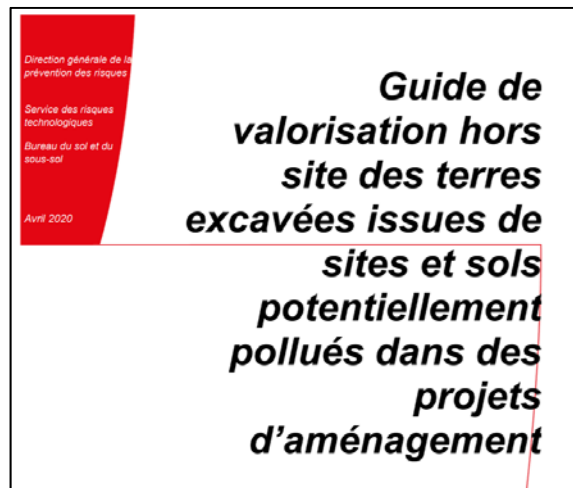
Enjeux économiques et environnementaux

# Gestion des terres excavées



Directe ou via Plateforme

4 guides



3 critères de compatibilité :

- **Fond géochimique**
- Impact eaux
- Sanitaire

# Définitions et objectifs

## Sols urbains

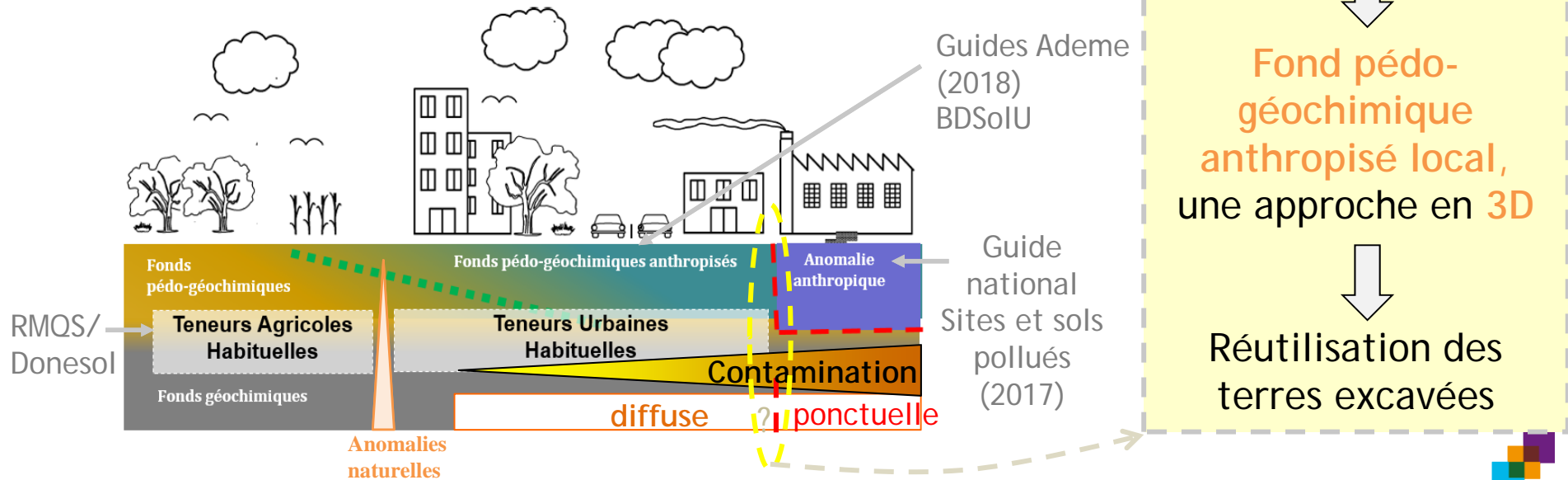
- Matériau meuble
- Plusieurs mètres d'épaisseur
- Potentiellement excavés

### Spécificités

- Hétérogènes (remblais)
- Peu accessibles (scellés)

Thèse  
Baptiste Sauvaget  
(2019)

## Fond pédo-géochimique



# Géochimie des sols urbains : Spécificité des données en France

Sauvaget et al., 2019

## Protocole européen Urge2

- Echantillonnage régulier évitant les zones (potentiellement) polluées
- Analyses par un unique laboratoire et selon un protocole unique
- Echantillons de sol de surface (parfois composites) 2D

## Données disponibles en France

- Echantillonnage orienté : sites (potentiellement) contaminés
- Analyses par différents laboratoires et selon différents protocoles
- Echantillons de sols jusque plusieurs mètres de profondeur 3D

Problème : échantillonnage préférentiel et hétérogène

Comment utiliser ces données ?

# Approches statistiques

Sauvaget et al., 2020

## Méthodes usuelles : valeurs seuil (S)

□ 90ème centile (ou 95ème)(Q95) (Ander 2013, Cave 2012, McIlwaine 2014, Rothwell, 2015, ISO Standard 19258, 2011)

□ Vibrisse supérieure (UW) (Jarva 2014, Reimann 2005, Rothwell 2015, Tarvainen 2011)

$$S_{\text{Vibrisse}} = Q_{75} + 1.5 (Q_{75} - Q_{25})$$

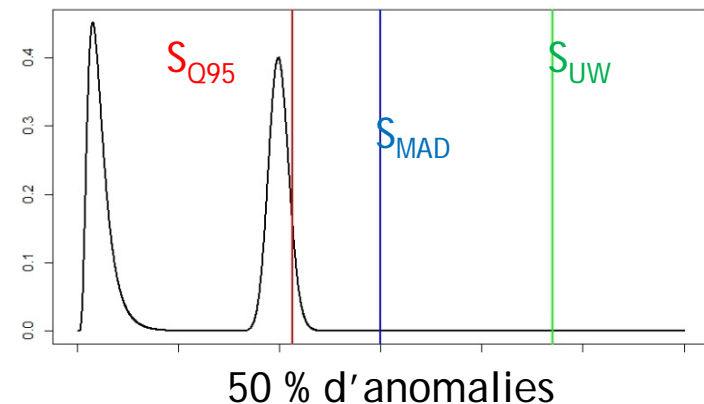
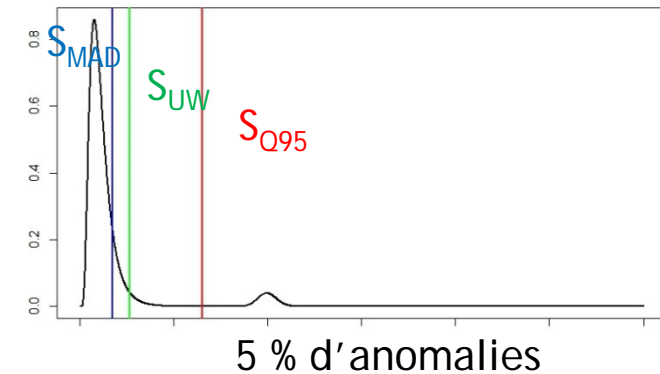
□ Ecart à la médiane (Median absolute deviation)(MAD) (Tukey, 1977)

$$S_{\text{MAD}} = Q_{50} + (2 \text{ MAD})$$

Avec  $\text{MAD} = \text{médiane}_i (|X_i - \text{médiane}_j (X_j)|)$

## Résultats influencés par :

- distribution des données
- **proportion d'anomalies** : nombreuses en contexte site pollué
- méthodologie d'échantillonnage (nombre, position, volume)

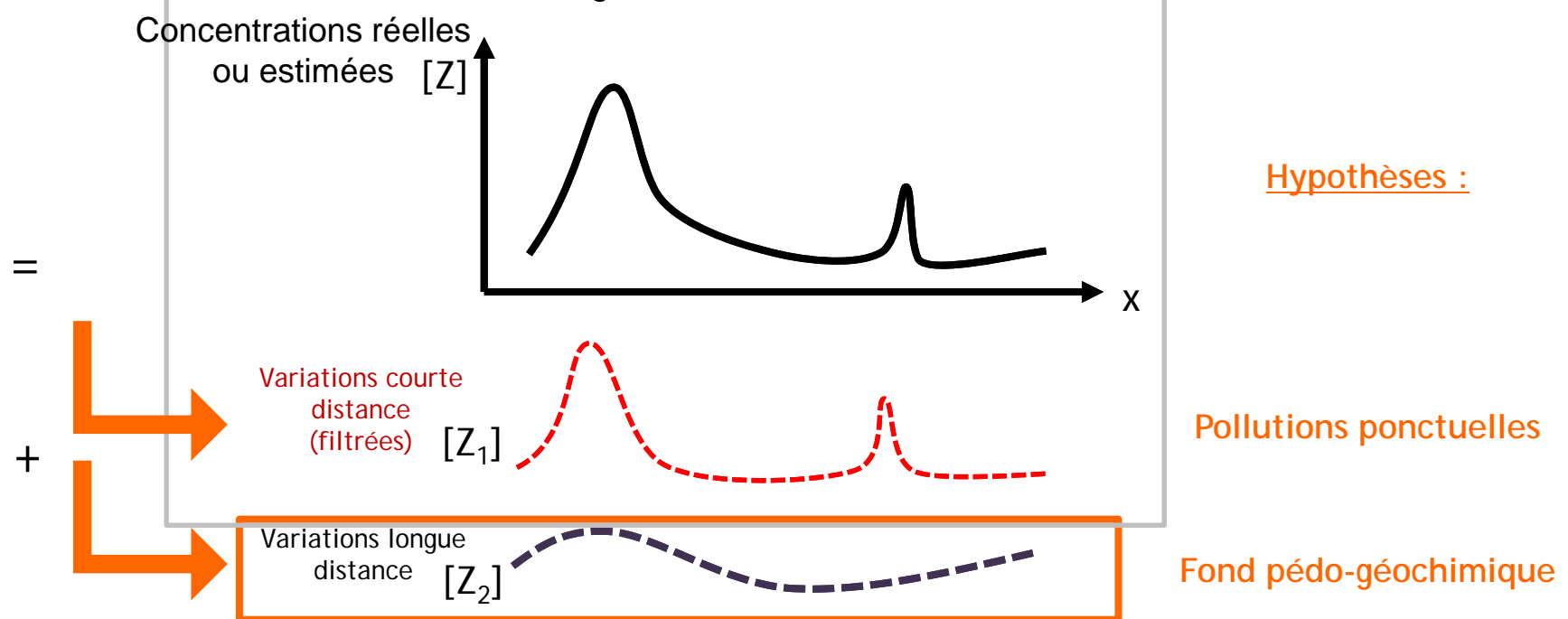


La séparation des anomalies n'est pas garantie pour les données disponibles

# Spatialisation du fond par filtrage géostatistique

Principe :

- dissocier les teneurs en composants avec différentes échelles de variabilité spatiale
- estimer les variations longue distance en filtrant les variations courte distance



Modifié d'après Sauvaget, 2019

$$Z = Z_1 + Z_2 + \text{moyenne estimée}$$

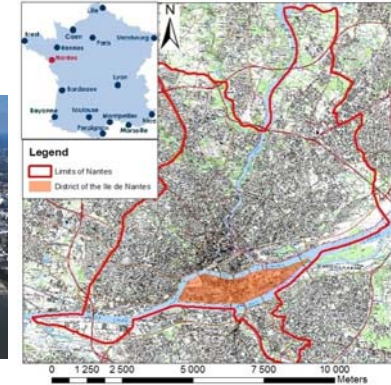
Le résultat dépend de l'échelle retenue



# Cas d'étude : Ile de Nantes

337 ha, 5 km de long  
 Projet de réaménagement long terme (2000-2037)

Territoire historiquement très industrialisé  
 Nombreux remblais

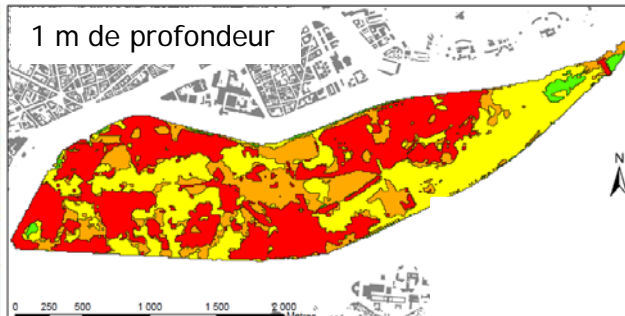


Activités (potentiellement) polluantes (IHU)

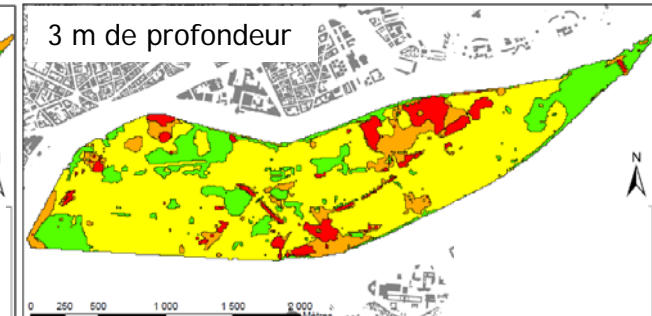


INTRA-SITES  
 • Sites classés  
 Le Guern et al., 2016  
 Réalisation BRGM 2015. Sources : BRGM, Orthophoto IGN 2004.

Remblais (modèle géologique 3D)



1 m profondeur	Superficie Ile
Remblais suspects	42%
Remblais divers	21%
Remblais assimilés naturels	35%
Alluvions	2%



3 m profondeur	Superficie Ile
Remblais suspects	7%
Remblais divers	9%
Remblais assimilés naturels	66%
Alluvions	18%



© BRGM



© BRGM



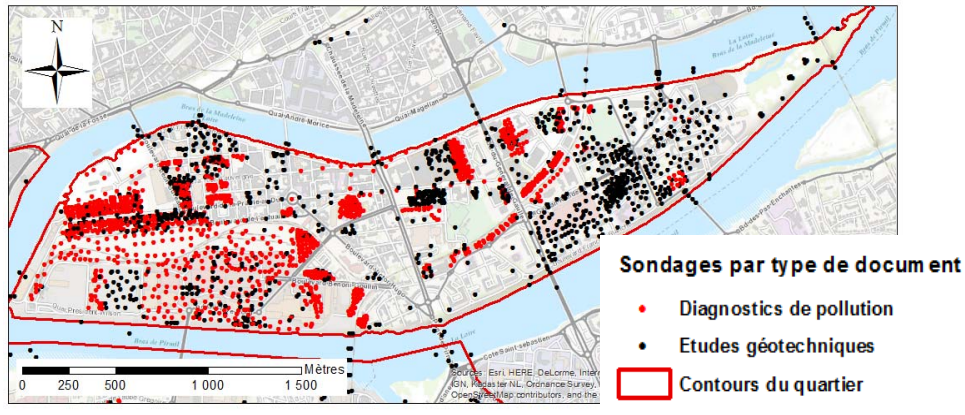
© BRGM

Test d'application :  
 Remblais assimilés naturels

# Jeu de données

Base de données locale - BRGM

2500 sondages, 4400 échantillons

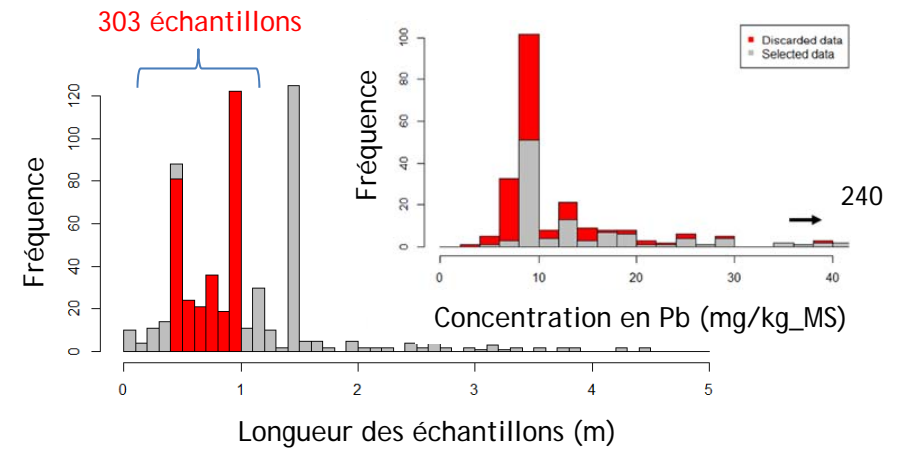


⇒ 581 échantillons représentatifs des remblais hydrauliques sableux

⇒ 303 avec longueur entre 50 cm et 1 m

Pb (mg/kg_MS)	Min	Max	Médiane	Moyenne	Ecart type
581 données	3.0	240	10	20.4	27.6
303 données	5.6	240	13	27.5	35.0

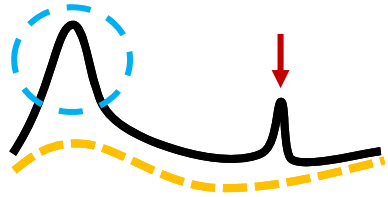
MATRICE DE CORRELATION			
	Cu	Pb	Zn
Cu	1	0.85	0.89
Pb	0.86	1	0.84
Zn	0.88	0.83	1



Seuils stat Pb (mg/kg_MS)	UW	MAD	Q90	Q95
581 données	28.4	15.4	32.5	40.3
303 données	57.5	21.9	56.9	92.3

Sauvaget et al., in prep.

# Application à l'échelle du quartier



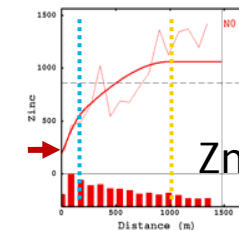
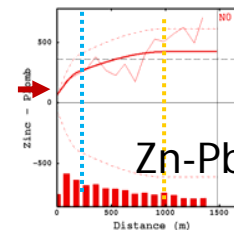
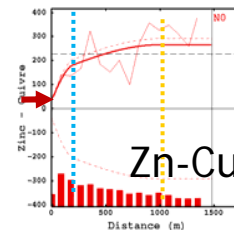
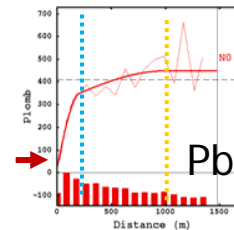
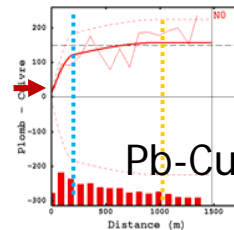
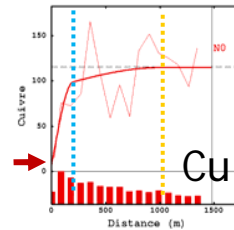
Variogrammes simples et croisés  
Ajustés au modèle linéaire de corégionalisation  
303 échantillons

3 composantes

Effet pépité →			
	Cu	Pb	Zn
Cu	1,00		
Pb	1,00	1,00	
Zn	1,00	1,00	1,00

Sphérique 1 : 200m ↔			
	Cu	Pb	Zn
Cu	1,00		
Pb	0,61	1,00	
Zn	0,83	0,51	1,00

Sphérique 2 : 1000m ↔↔			
	Cu	Pb	Zn
Cu	1,00		
Pb	0,89	1,00	
Zn	0,98	0,77	1,00

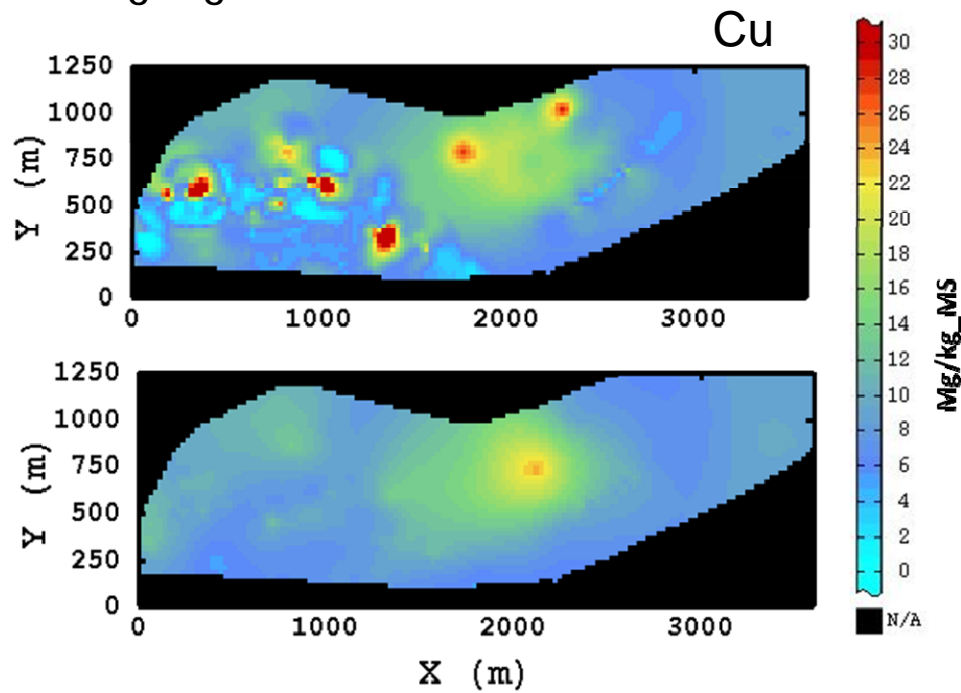


*Sauvaget et al., 2019*

# Application à l'échelle du quartier

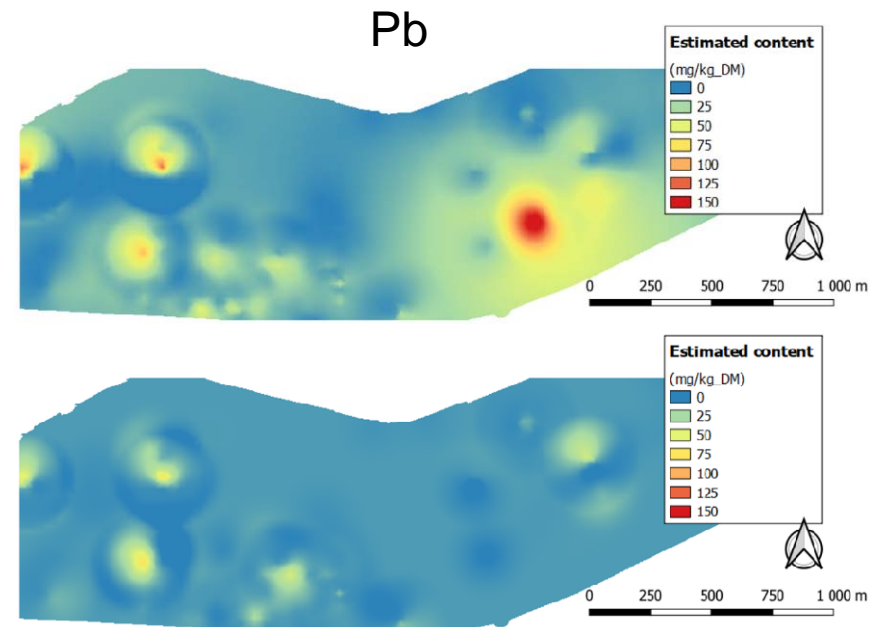
Ex. 303 échantillons

Cokrigage



*Sauvaget et al., 2019*

Pb



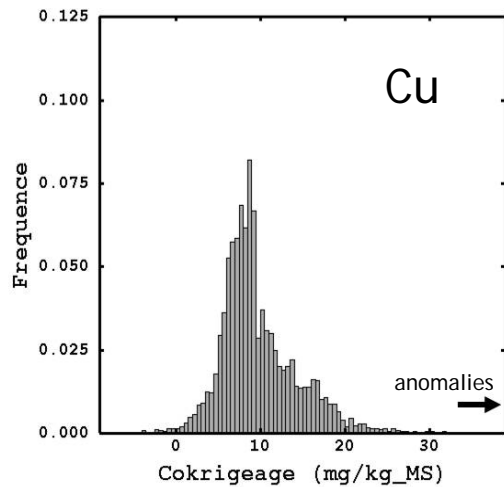
*Sauvaget et al., in prep.*

Filtrage

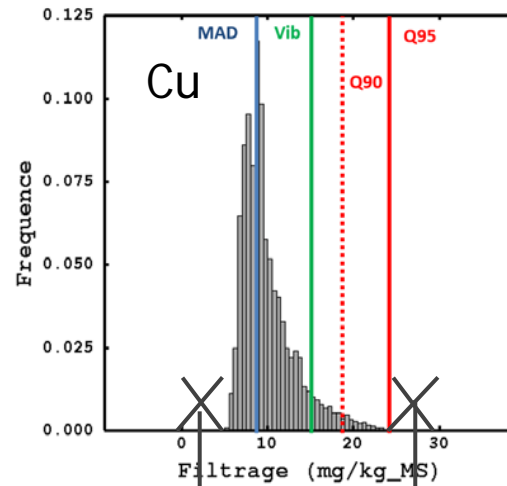


# Echelle du quartier

## Distributions des teneurs estimées

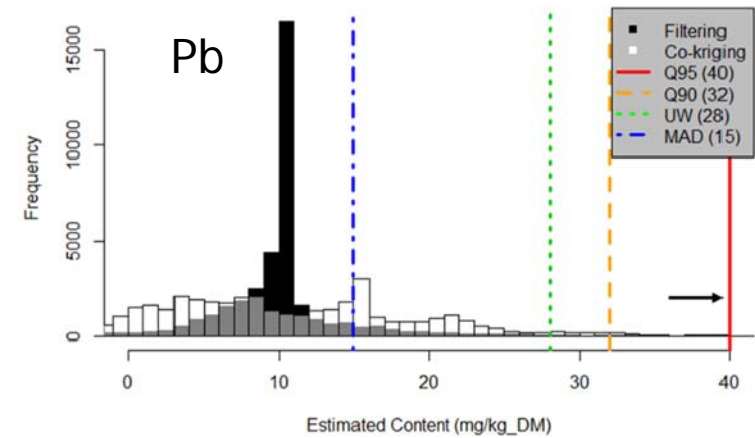


Sauvaget et al., 2019



Anomalies négatives  
Absence de faibles teneurs

Anomalies Positives  
Absence de fortes teneurs

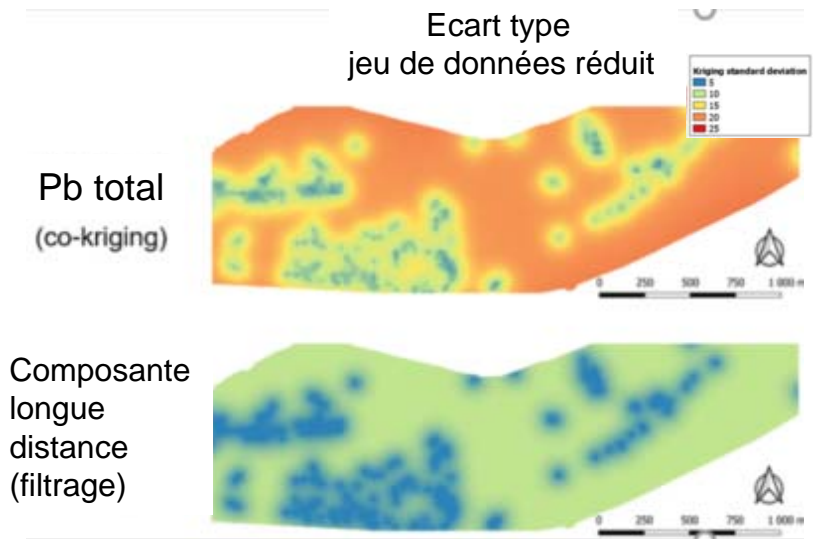


Sauvaget et al., in prep.

	Cuivre (Cu)	
	Cokrigage	Filtrage
Minimum	-3,7	5,4
Maximum	67,9	24,1

# Conclusions

- Filtrage géostatistique
  - permet de séparer fond et anomalies
  - base variabilité spatiale
  - nombre important de données nécessaire
  - intérêt vs données non dédiées
  - applicable à différentes échelles
  - fournit une carte d'écart-type
- Analyse exploratoire préliminaire nécessaire
- Les covariables corrélées (ex. potentiel d'anomalie) peuvent être utilisées en complément



Sauvaget et al., in prep.

Applicabilité dans BDSolU à l'étude  
Comparaison de différentes méthodes



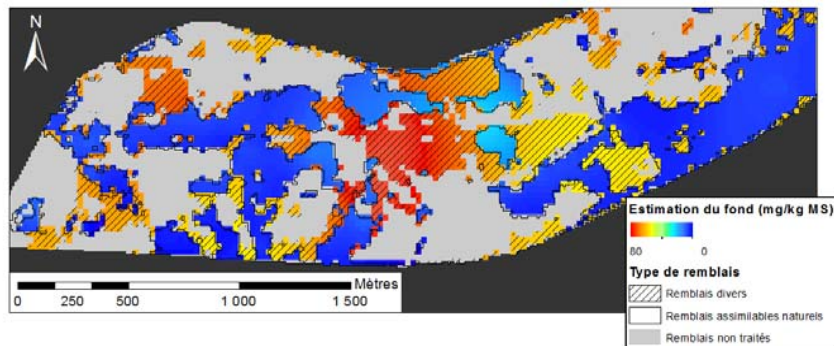
Référentiels de fond pédo-géochimique

*Terres excavées, diagnostics sites et sols  
pollués, études sanitaires*

# Perspectives

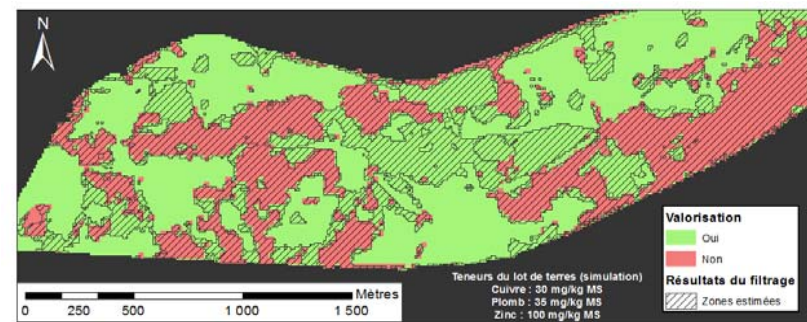
Utilisation possible des résultats dans un outil d'aide à la décision pour la valorisation territoriale des terres excavées

Segmentation des résultats de filtrage par type de matériaux  
Estimation du fond (à une profondeur donnée)



*Sauvaget et al., 2019*

Analyse lot de terres + Comparaison aux estimations du fond  
↓  
Possibilité de réutilisation



Domaines d'application larges : phénomènes ponctuels et diffus

Affinage théorique, application à différents cas d'études



© BRGM

## Merci pour votre attention

- [c.leguern@brgm.fr](mailto:c.leguern@brgm.fr)
- [chantal.de\\_fouquet@mines-paristech.fr](mailto:chantal.de_fouquet@mines-paristech.fr)
- [baptiste.sauvaget@laposte.net](mailto:baptiste.sauvaget@laposte.net)

