

Bilan de masse d'une source de solvants chlores

Application des méthodes géostatistiques
Assistance aux travaux et comparaison à la masse extraite

JT Géostatistiques ADEME & RECORD, 23 Janvier 2019

Sébastien Kaskassian, Solène Coppens, Thierry
Ruffenach (Tauw France)

Claire Fauchoux, Jean-Jacques Péraudin
(Geovariances)

Le site et les objectifs de l'étude

Site

- Fabrication Tube de Verre et Luminaires (1952-2017)
- Nappe (4-5 m prof.) dans un aquifère de sables fins (substratum argileux à 7m environ)
- Diagnostics (2011-2016, sol / nappe / MIP)
Masse estimée (plus proche voisin, plans 2D) ~ **30 T**
- Plan de gestion (2016) → Travaux (2017-2019)
In-Situ Electrical Resistance Heating dans la « zone centrale »
Masse proposée par Entreprise (2017 après Etat initial) ~ **70 T**



Objectifs / stratégie

- Evaluer la masse de solvants chlorés dans la zone de traitement afin de **dimensionner les travaux et aider à la contractualisation** (objectifs de traitement = Concentration Finale & Masse Extraite)
- Stratégie : **modélisation géostatistique et étude de sensibilité (données, modèles)**

Les données initiales

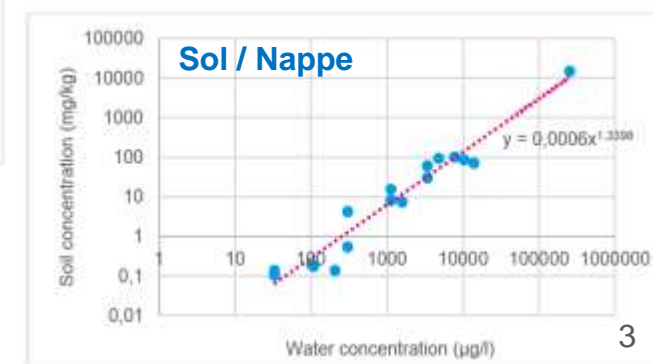
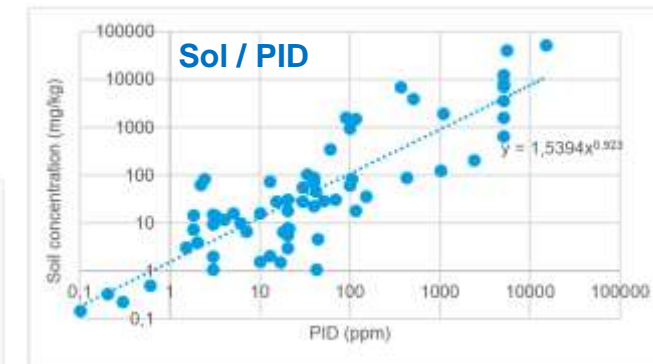
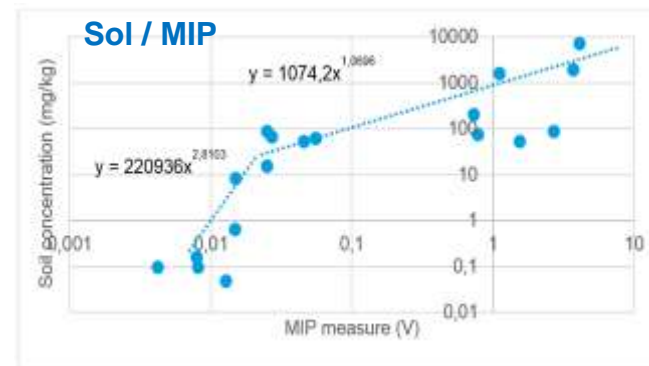
Echantillons de sol – différents diagnostics orientés

- 6 campagnes de diagnostic à l'échelle de tout le site ou dans des zones spécifiques (contraintes d'accès) : 2011 à 2016, échantillons entre 30cm et 1,5m de longueur
- 1 campagne d'état initial de la zone de traitement en 2017 : sondages plus profonds, maillage régulier et prélèvement tous les mètres en profondeur (20cm de longueur)
- Mesures PID au droit de chaque échantillon + analyse au laboratoire
- Protocoles différents : foration, longueur des échantillons, conservation ...

Autres matrices

- Diagnostic MIP dans la rue
1 échantillon tous les 20 cm en prof.
- Suivi de nappe à l'échelle du site
1 à 2 campagne / an entre 2011 et 2018
échantillon moyen ~ 3m de longueur

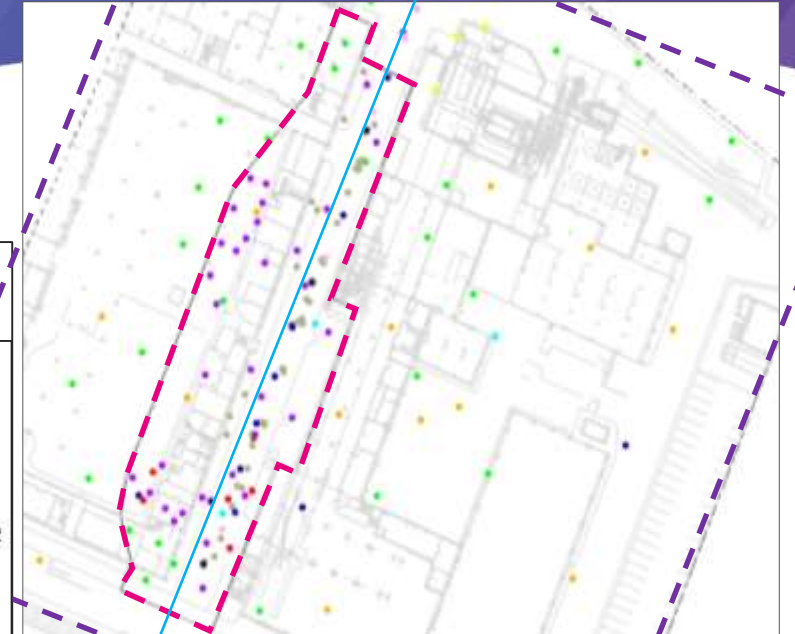
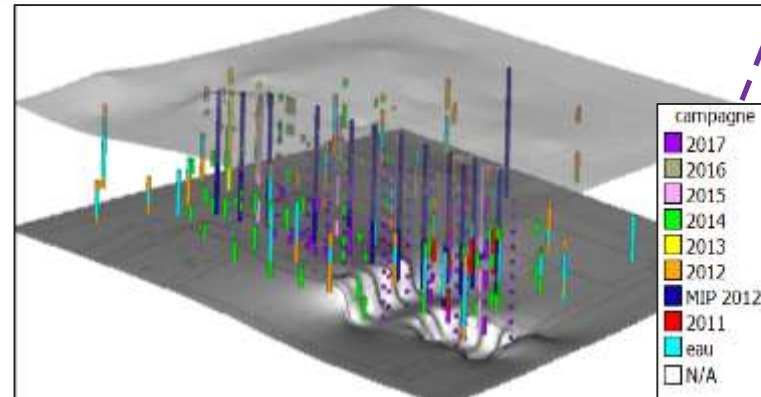
Recherche de corrélations (Sol vs. PID / MIP / Nappe) pour utiliser le maximum de données représentatives de différentes échelles et à différentes positions



Dimensions du modèle

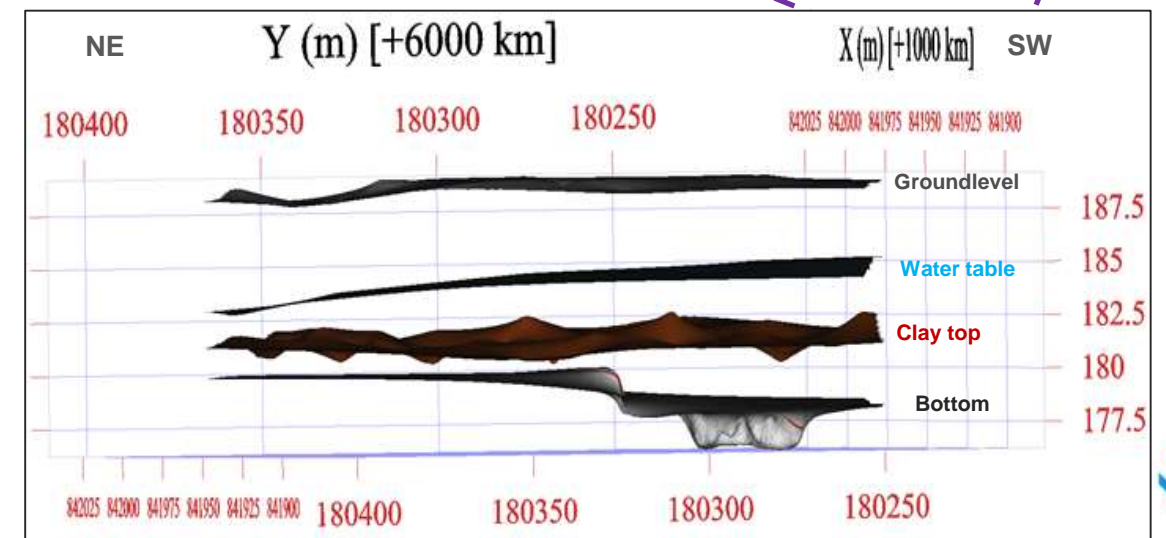
Zone de traitement

- Superficie = 3 159 m²
- Prof. = 8 à 12m
- Données : sols (2015-2017), MIP, quelques piézomètres



Zone de prise en compte des données

- Superficie = 24 846 m²
- Prof. = 8 à 12m
- Données : sols (2011-2017), MIP, tous les piézomètres
- Maillage : 1x1m x 0,5m



Modélisation des lithologies et prise en compte des données en dehors de la zone de traitement

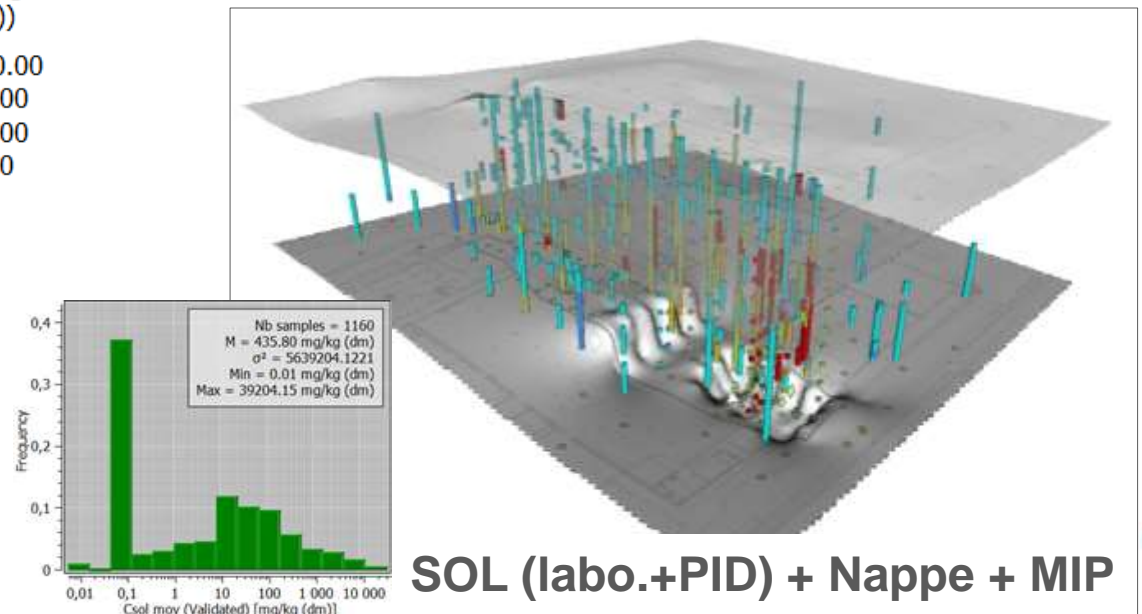
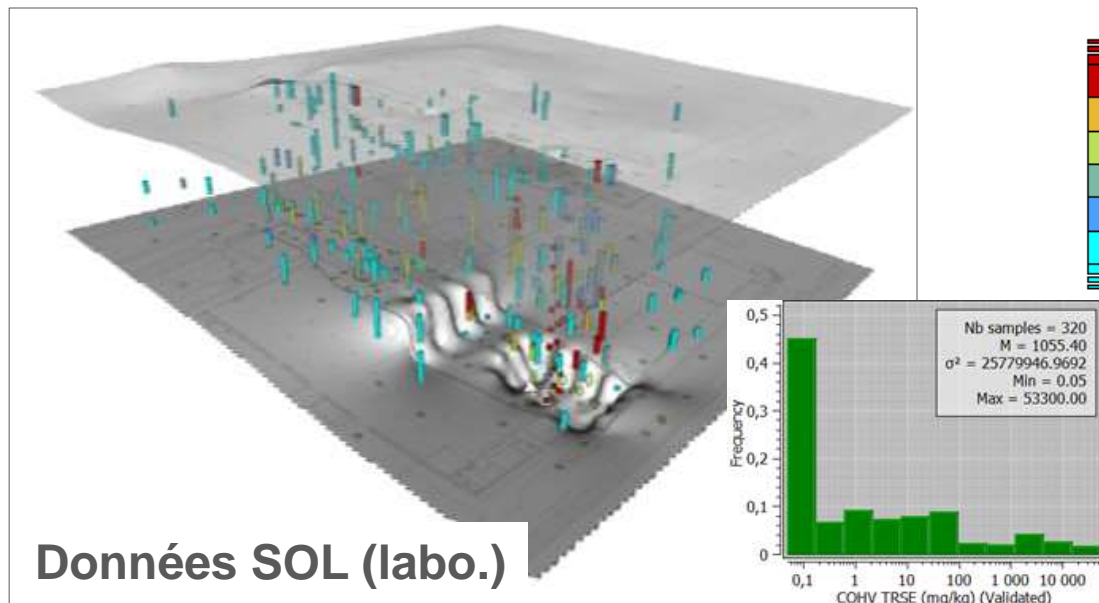
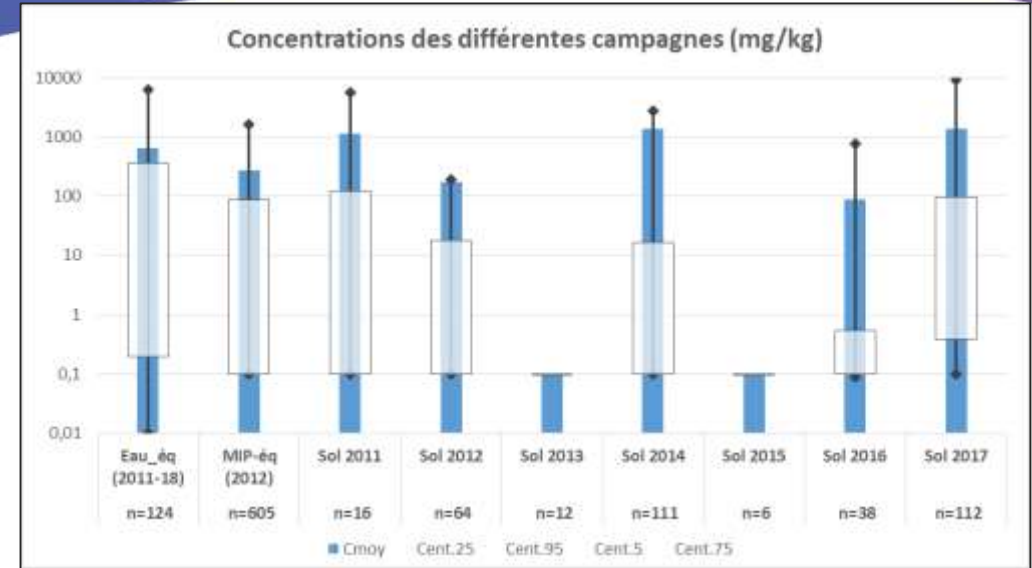


Choix de modélisation : Données

Choix des données utilisées

- Concentrations SOL (analyses) seulement
- SOL (analyses & PID) + MIP / Nappe

Enrichissement spatial du modèle et cohérence verticale (MIP-PID) et horizontale (nappe) à différentes échelles



Données SOL (labo.)

SOL (labo.+PID) + Nappe + MIP



Choix de modélisation : Estimation

Méthodes de modélisation

- Krigeage vs. Simulations
- Transformation des données (Gauss)
- Régularisation des longueurs d'échantillon
- Declustering
- Corrélations aux variables auxiliaires : rég. manuelles vs. simulations multi-variables
- Autres choix :
 - Variogramme,
 - Voisinage,
 - ...

	Données sols	Données auxiliaires	Régularisation	Declustering	Transformation gaussienne	Krigeage	Simulations
Model 1	X					X	
Model 2	X		X	X	X		X
Model 3	X	Régressions				X	
Model 4	X	Régressions	X	X	X		X
Model 5	X	Multivariable	X	X	X		X

Estimation de l'incertitude

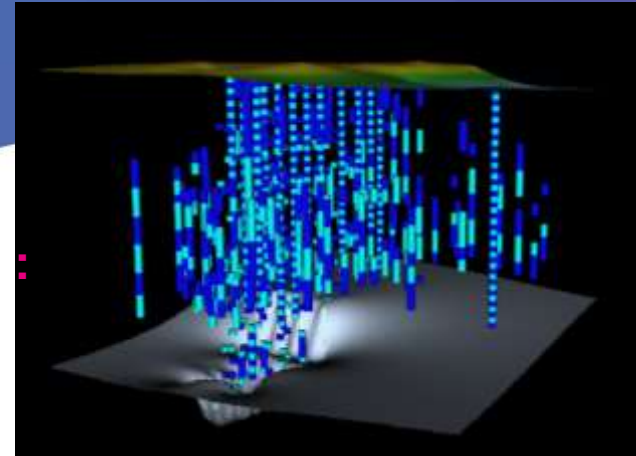
- Krigeage : masses extrêmes calculées sur le champ 3D des valeurs Ckrig. \pm Erreur
- Simulation : P5 et P95

Modèles du + « simple » (1) au + « complexe » (5) : évaluation de la sensibilité des choix

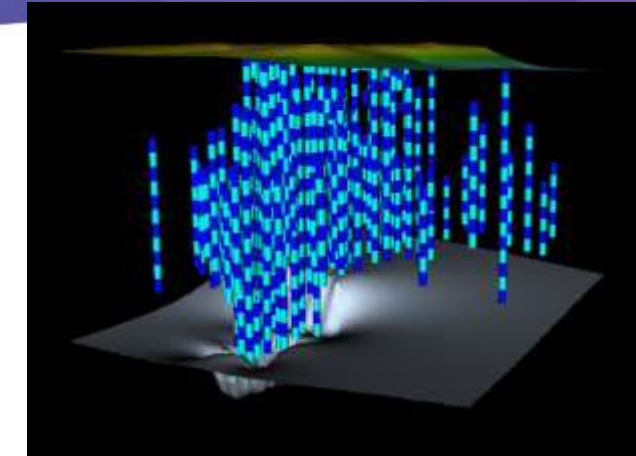


Effets de certaines « options »

Régularisation de la longueur des échantillons : amélioration du Variogramme vertical

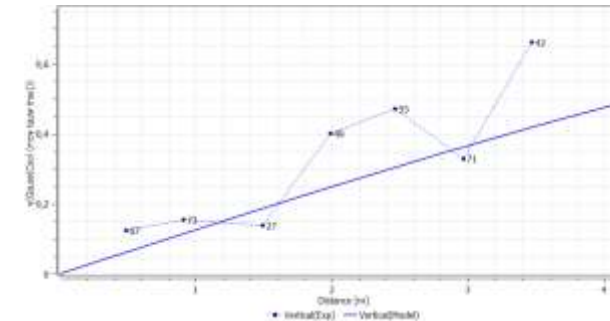


Sans régularisation

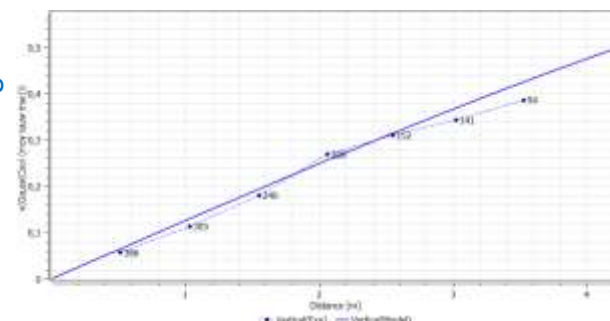


Avec régularisation

	Total Count	Nb (C.>LQ)	Minimum	Mean	Maximum	Standard Deviation
Length (m) / Before	1161	1161	0.2 m	0.72 m	3 m	0.60 m
Length (m) / After	1360	1360	0.2 m	0.51 m	0.6 m	0.032 m
Csol (mg/kg) / Before	1161	359	0.05 mg/kg	749.67 mg/kg	53300.00 mg/kg	4212.20 mg/kg
Csol (mg/kg) / After	1360	598	0.05 mg/kg	1322.39 mg/kg	53300.00 mg/kg	6435.82 mg/kg



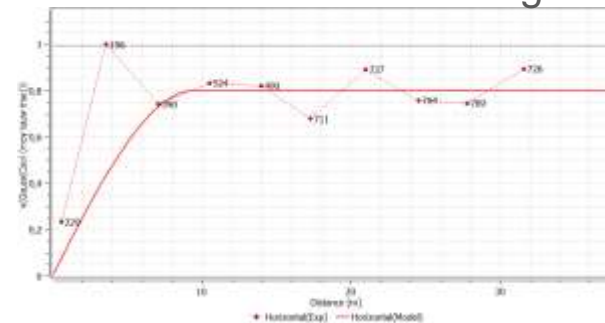
Vertical variogram



Declustering : amélioration du Variogramme horizontal

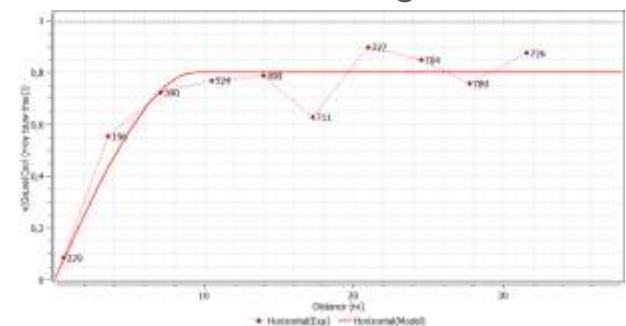
Limite le poids relatif des zones sur-échantillonnées qui sont souvent les plus proches des fortes teneurs (sources) dans les diagnostics orientés

Sans declustering



Horizontal variogram

Avec declustering



Modèles 1 & 2 : utilisation des données sol uniquement

Model 1 : krigeage

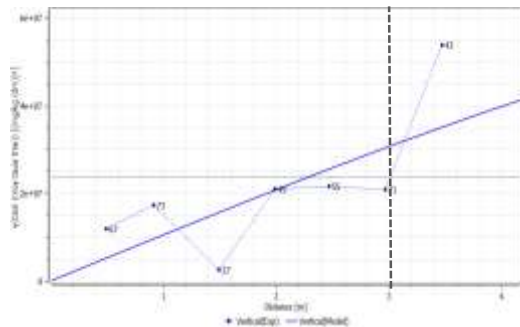
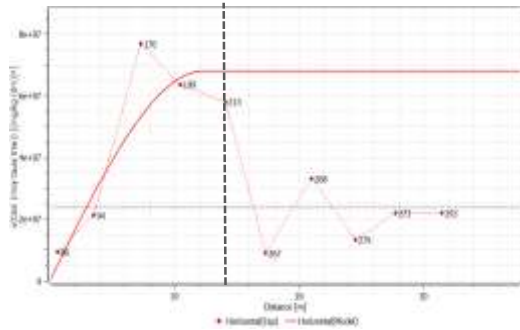
Masse = 47 T (±13)

Variogram model :

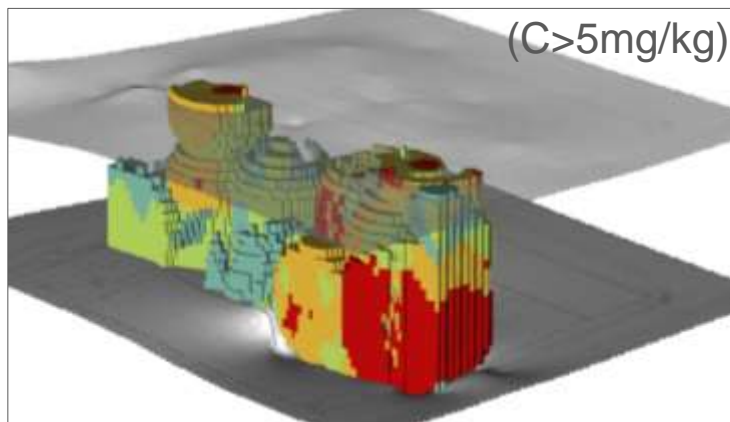
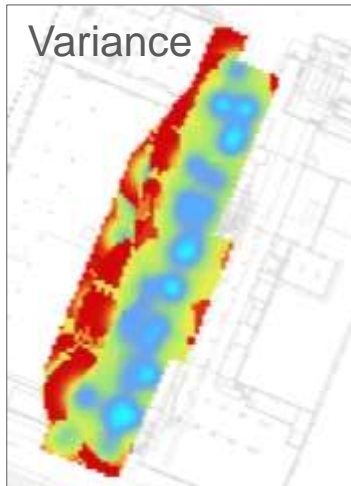
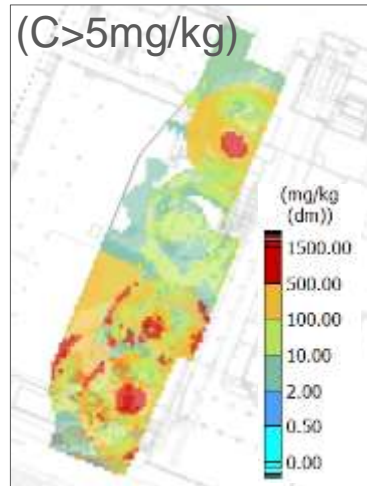
1-spheric

Ranges : 12,37 / 12,37 / 9,67

Sill : 68 000 000

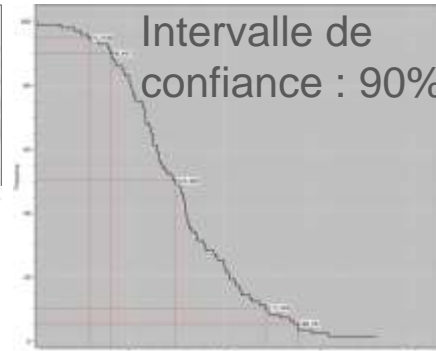
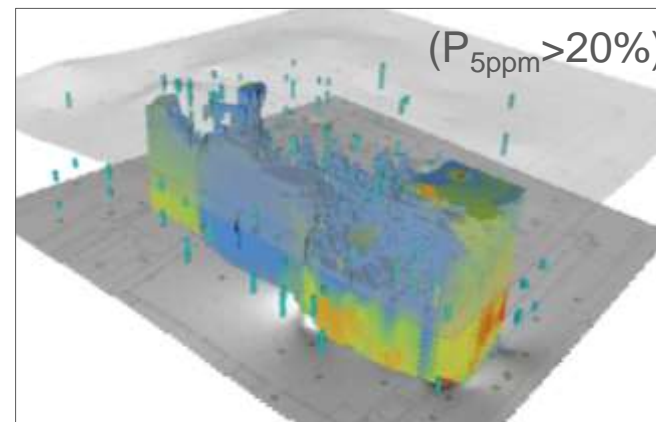
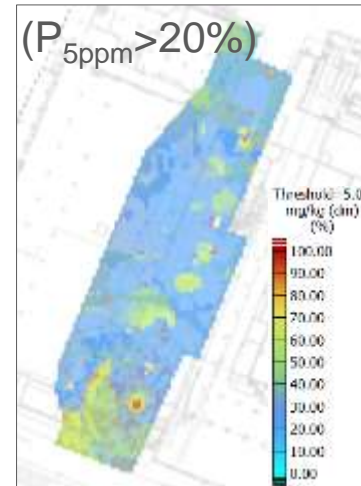


Vois. H = 14m, Vois. V = 3m



Model 2 : simulations (données régularisées , transformées et sans cluster)

($P_{5ppm} > 20\%$)



Masse = 125 T (±16)

Variogram model :

Exponential

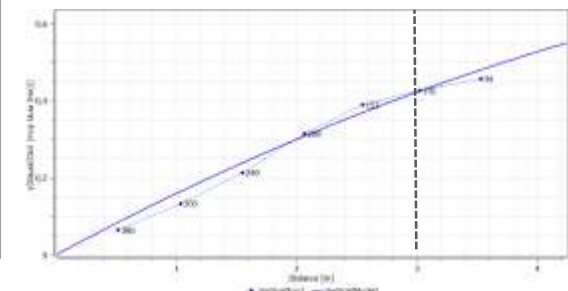
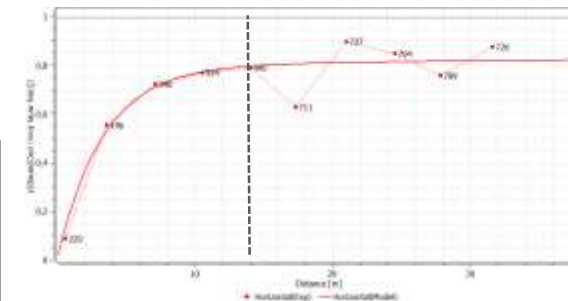
Ranges : 10 / 10 / 19

Sill : 0,8

Spheric

Ranges : 500 / 500 / 7

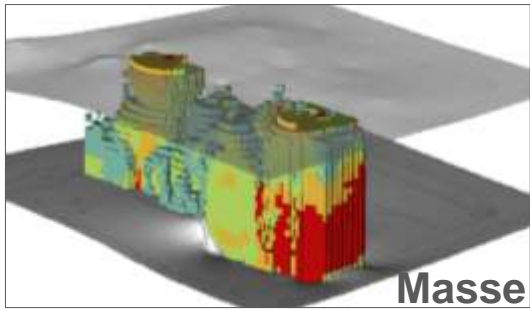
Sill : 0,2



Modèles 3, 4 & 5 : utilisation de toutes les données

Model 3 : krigage

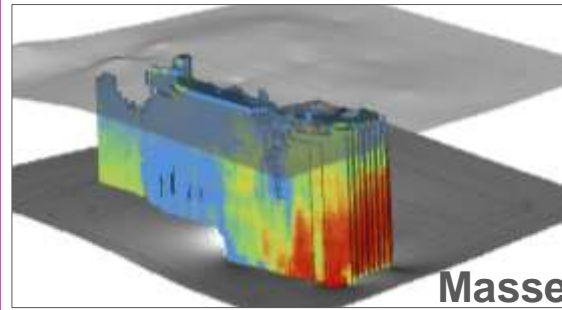
Vois. H = 14m, Vois. V = 3m



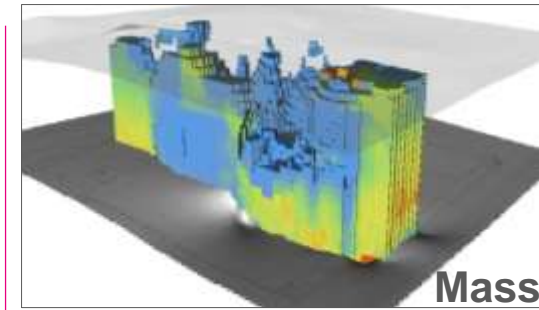
Masse = 34 T (± 8)

Model 4 / 5 : simulations (données régularisées, transformées et sans cluster)

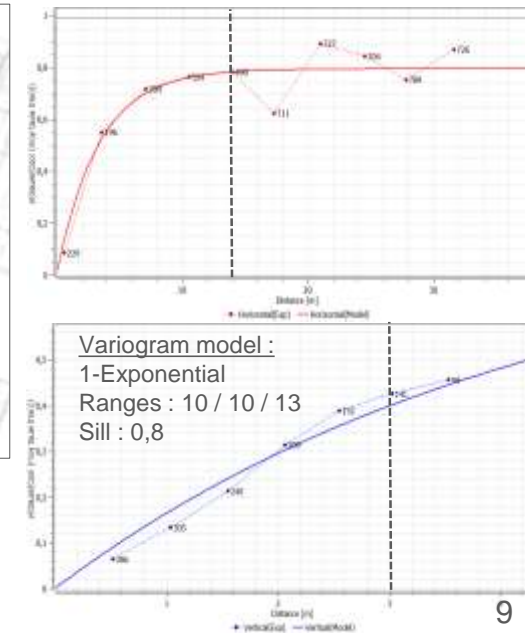
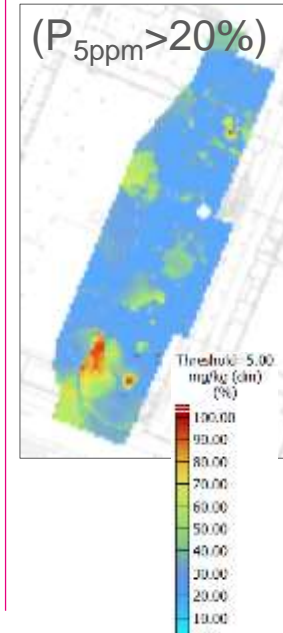
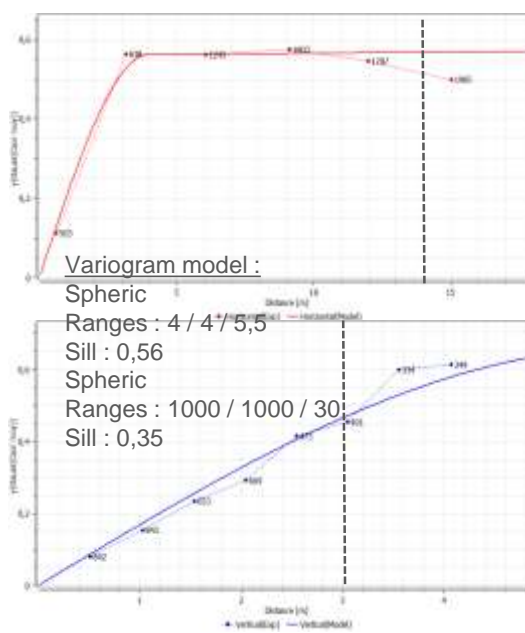
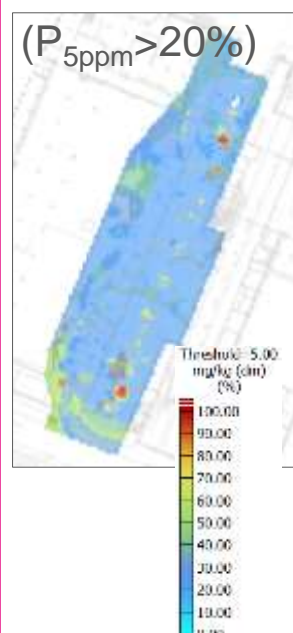
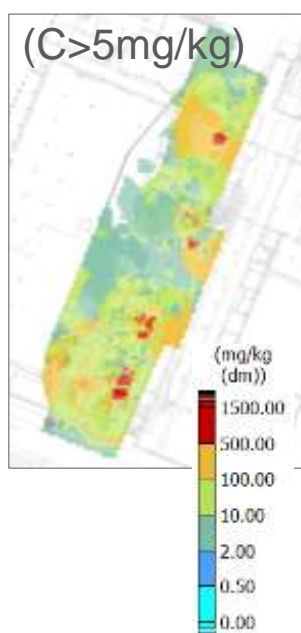
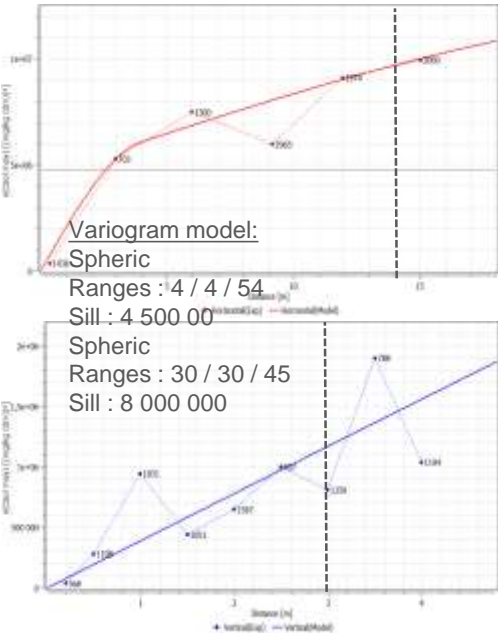
Régressions « Manuelles » / Multivariables



Masse = 43 T (± 15)



Masse = 51 T (± 23)



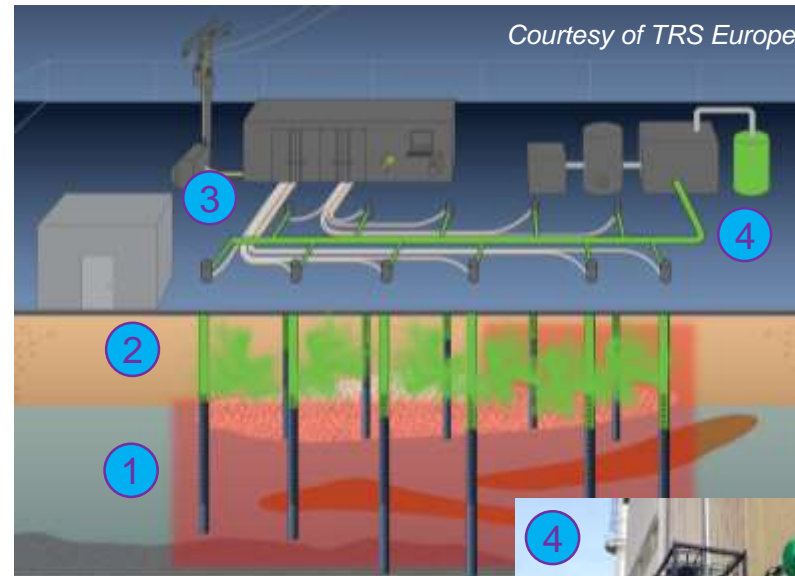
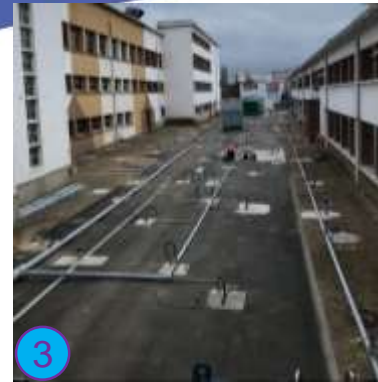
Traitement par ERH

Systeme de traitement

- Chauffe des sols en ZNS et ZS (0-12m) par circulation d'un courant électrique
- Maillage d'électrodes, de puits gaz et de points de contrôle
- Extraction de vapeurs et traitement sur CA

Planning

- Installation : Sept.2017 – Avril.2018
- Chauffe : Avril.2018 – **Janv.2019**
- Refroidissement puis Etat Final



- 1 – Réseau d'électrode
- 2 – Réseau de puits Gaz
- 3 – Installation en surface
- 4 – Collecte et traitement des Gaz et Condensats



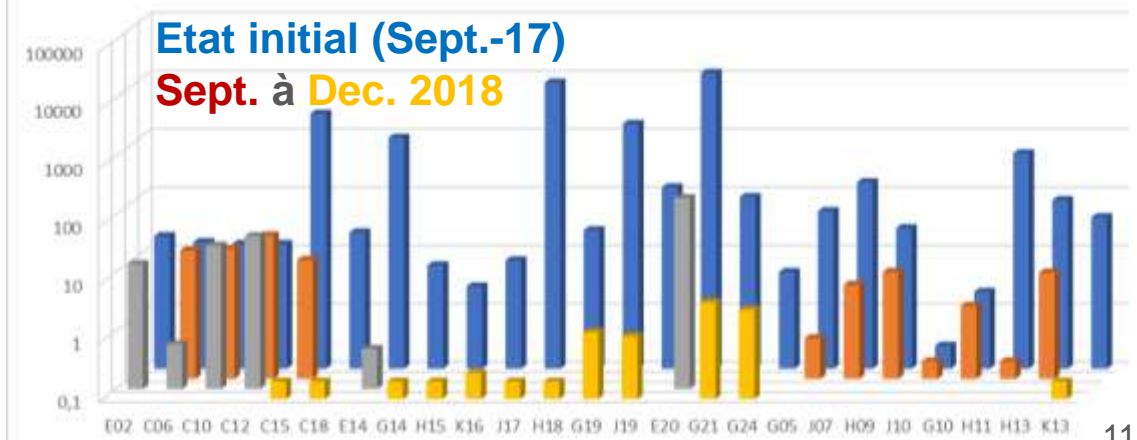
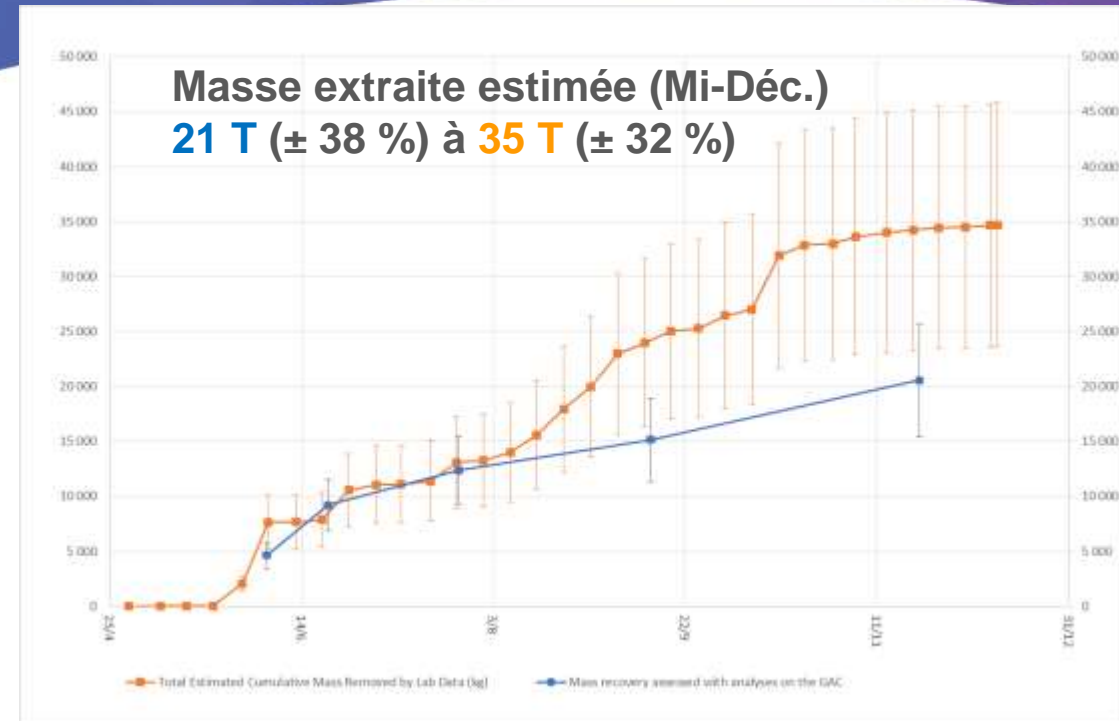
Estimation de la masse extraite à mi-Décembre

2 méthodes d'estimation

- **Suivi des gaz en entrée de Filtre CA**
 - Mesures : PID tous les jours + analyse 3 à 4 / mois
 - Masse = Concentrations x Débit
 - Variabilité temporelle (humidité, température, ...)
- **Masse sorbée sur les Filtres CA à chaque changement**
 - Variabilité spatiale des Conc. dans les filtres
 - Variabilité des protocoles d'analyse

Réception par zones = en cours

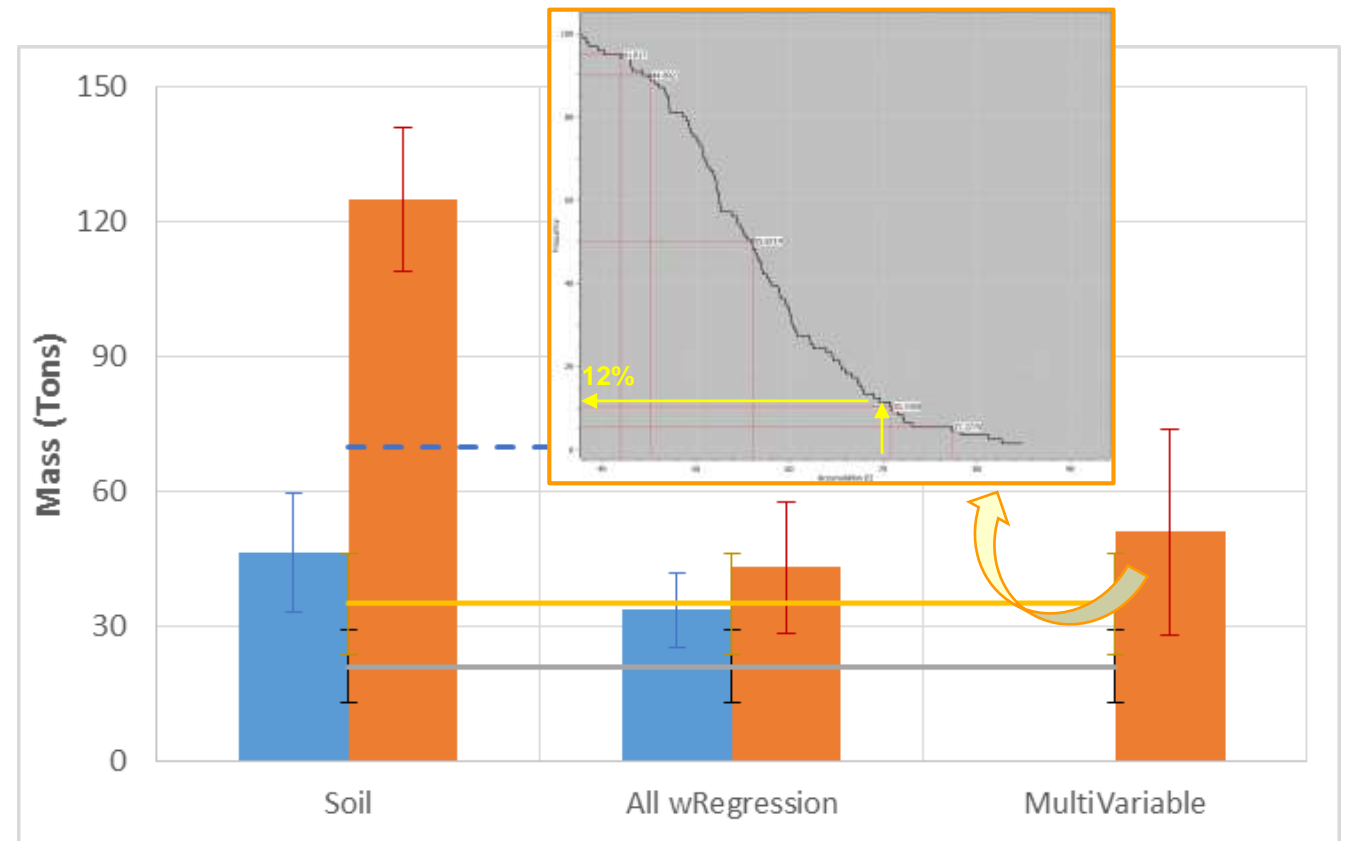
- 25 sondages de contrôle aux points les plus froids
- 6% des échant. > 5 mg/kg
- Poursuite du traitement et réallocation de l'énergie dans les zones non traitées



Conclusions

Evaluer les masses et l'incertitude grâce aux modélisations géostatistiques

- Sécuriser le dimensionnement (prof. des électrodes & masse à piéger sur filtre)
- Sécuriser la contractualisation (risque de dépassement des engagements financiers ~70T)
- Estimation des incertitudes et sensibilité (données x modèle)
- Aide à la réception : évaluation de la probabilité de dépassement ($C > 5$ mg/kg) dans les zones en périphérie du traitement



Merci de votre attention



Sébastien Kaskassian



+33 (0)6 32 15 14 36



s.kaskassian@tauw.com



www.tauw.com

