



# JOURNÉE TECHNIQUE SUR LA GÉOSTATISTIQUE APPLIQUÉE AUX SITES POLLUÉS



*Retours d'expériences et perspectives*

Mercredi 23 janvier 2019 • Paris

Avec le soutien de **GeoSiPol**

## DELIMITATION D'UN IMPACT À MULTIPLES TRACEURS ET DEFINITION D'OBJECTIFS DE RÉHABILITATION

Caroline Le Boulch **RAMBOLL**

Claire Fauchoux  Geovariances  
What we see, the geo before

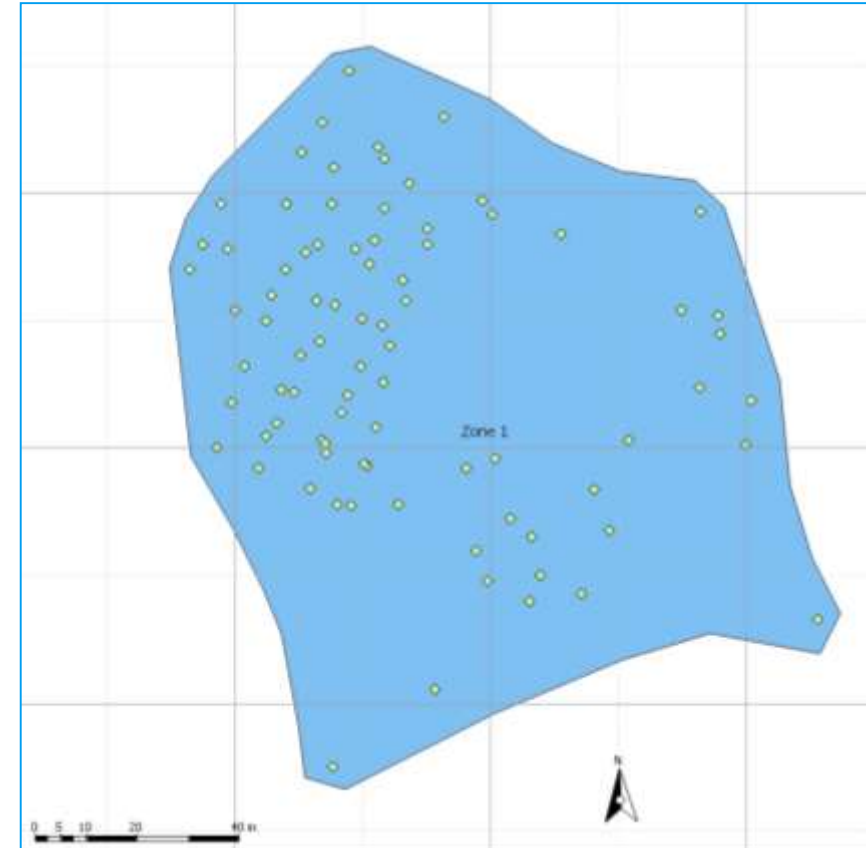
# LE SITE, LA PROBLÉMATIQUE

- Site industriel (chimie) en activité, fortement développé (infra et superstructures)
  - Trois composés principaux identifiés sur la zone concernée - A, B et C
  - Nappe à 10 m de profondeur → ZS / ZNS
  - Caractérisation nécessaire de :
    - L'aire impactée
    - La profondeur impactée
    - La régionalisation des composés, si existante
    - Les masses / volumes de composés
- Définir la (les) meilleure(s) option(s) de dépollution en fonction du type d'impact (type de composé et zone impactée associée) – si une dépollution est envisagée dans le futur

# INVESTIGATIONS ENVIRONNEMENTALES

- 82 forages répartis sur la zone,
    - ✓ espacés de 5 à 15 m sur les endroits accessibles,
    - ✓ profondeurs de forage comprises entre 12 et 83 m
    - ✓ 507 échantillons prélevés
- 507 échantillons analysés pour A et B,  
269 échantillons analysés pour C

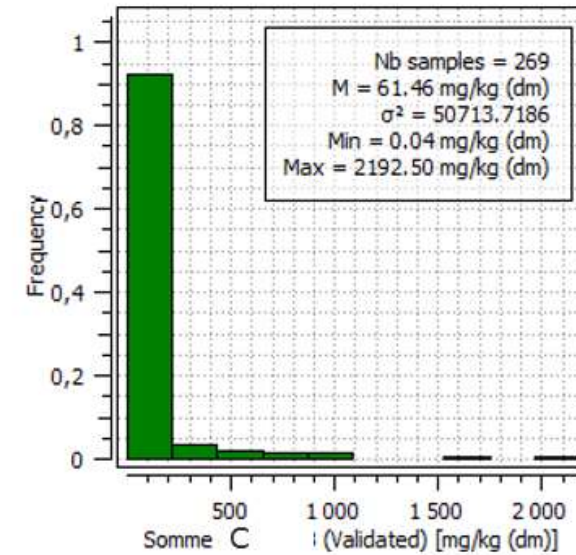
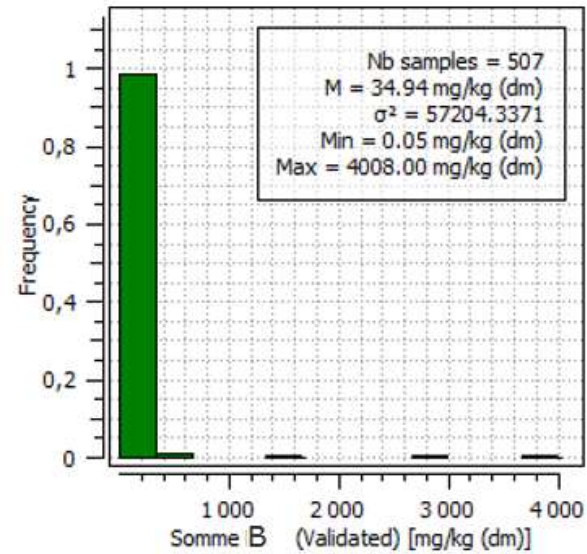
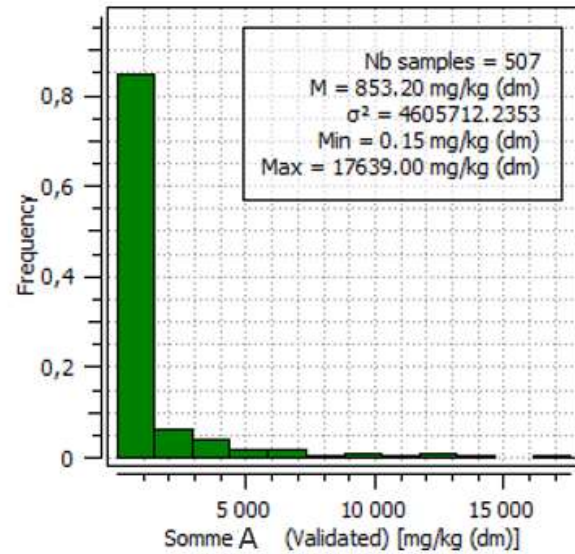
→ Nombre important de données, condition favorable pour une étude géostatistique pertinente



# ETUDE GÉOSTATISTIQUE

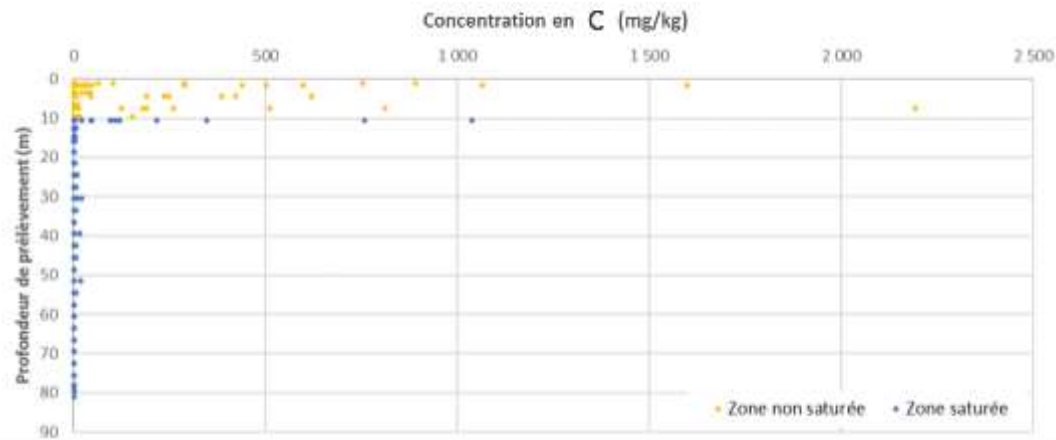
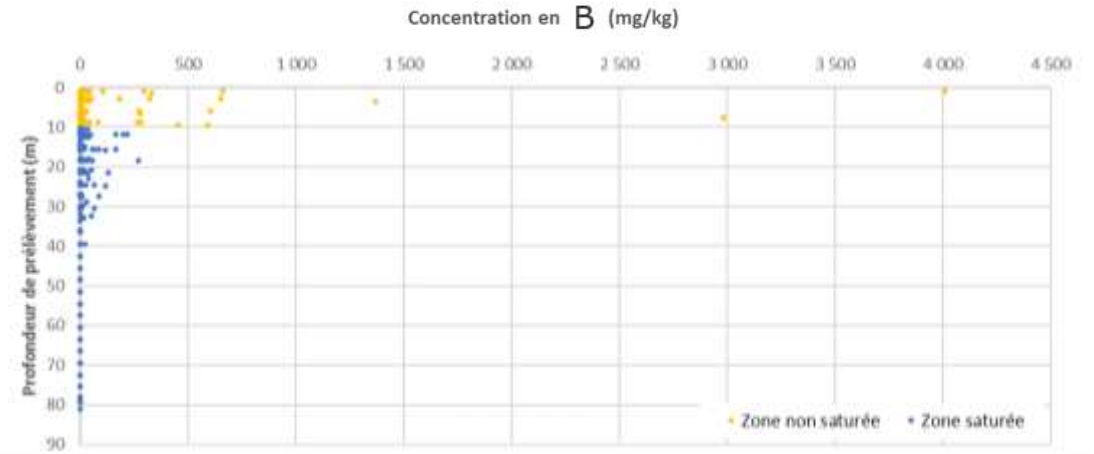
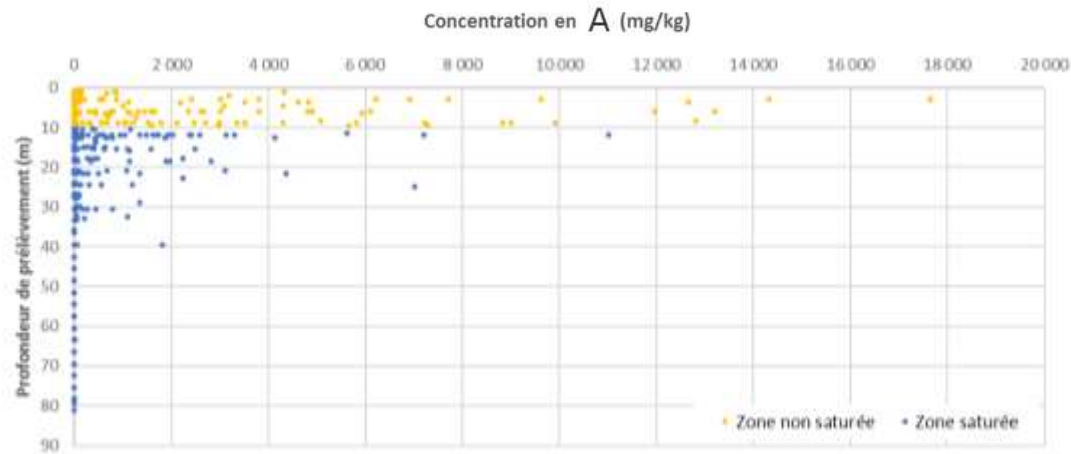
- Analyse exploratoire des données
- Limites du modèle
- Variographie
- Méthodologie de détermination des seuils de réhabilitation
- Cartes de krigeage
- Estimations de volumes impactés, des masses de composés et définition de seuils

# ANALYSE EXPLORATOIRE DES DONNÉES - STATISTIQUES



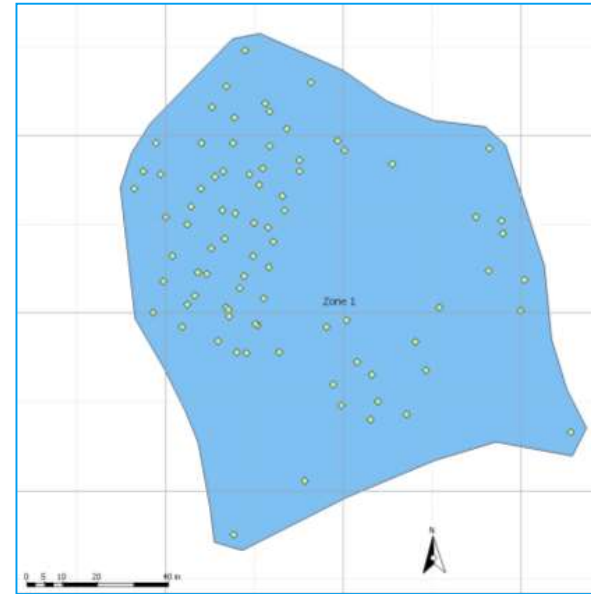
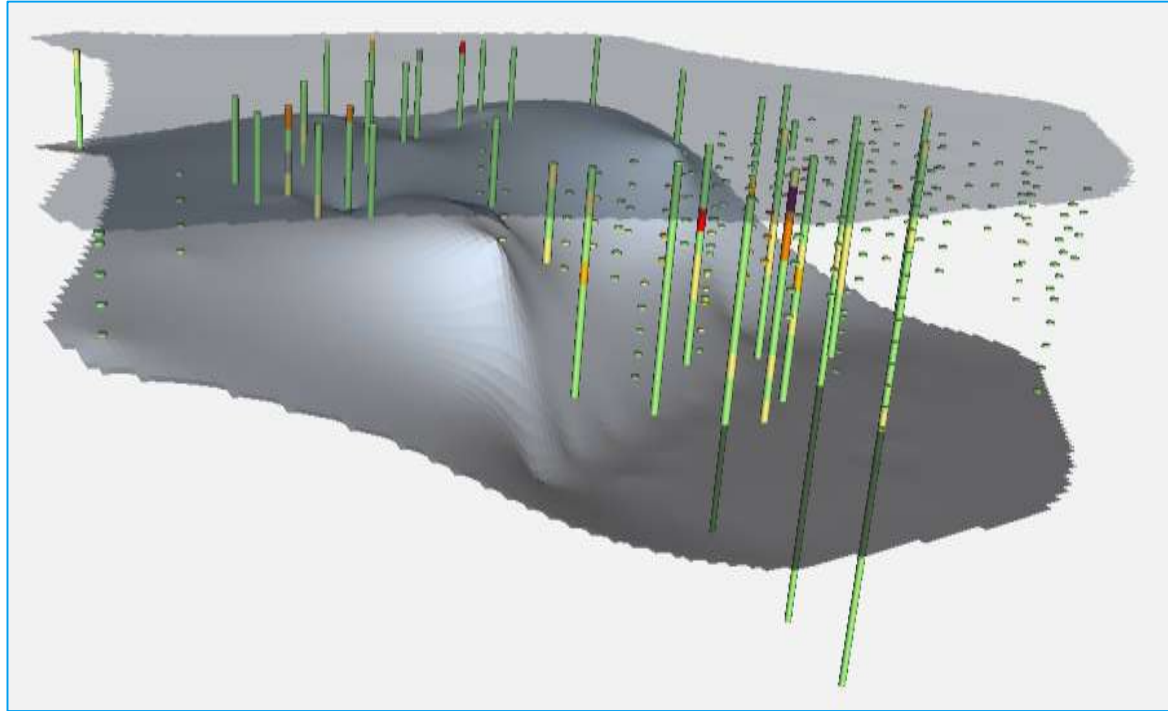
	Nombre	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation	Q5	Q10	Q25	Q50	Q75	Q90	Q95
<b>A</b>	507	0,15	17639	853,2	2146	2,5	0,15	0,20	0,9	13,9	600	2609	4828
<b>B</b>	507	0,05	4008	34,9	239	6,8	0,12	0,12	0,3	1,1	5,0	30,9	88,6
<b>C</b>	269	0,04	2193	61,5	225	3,7	0,04	0,04	0,1	0,4	4,6	123,7	421,0

# ANALYSE EXPLORATOIRE DES DONNÉES - STATISTIQUES

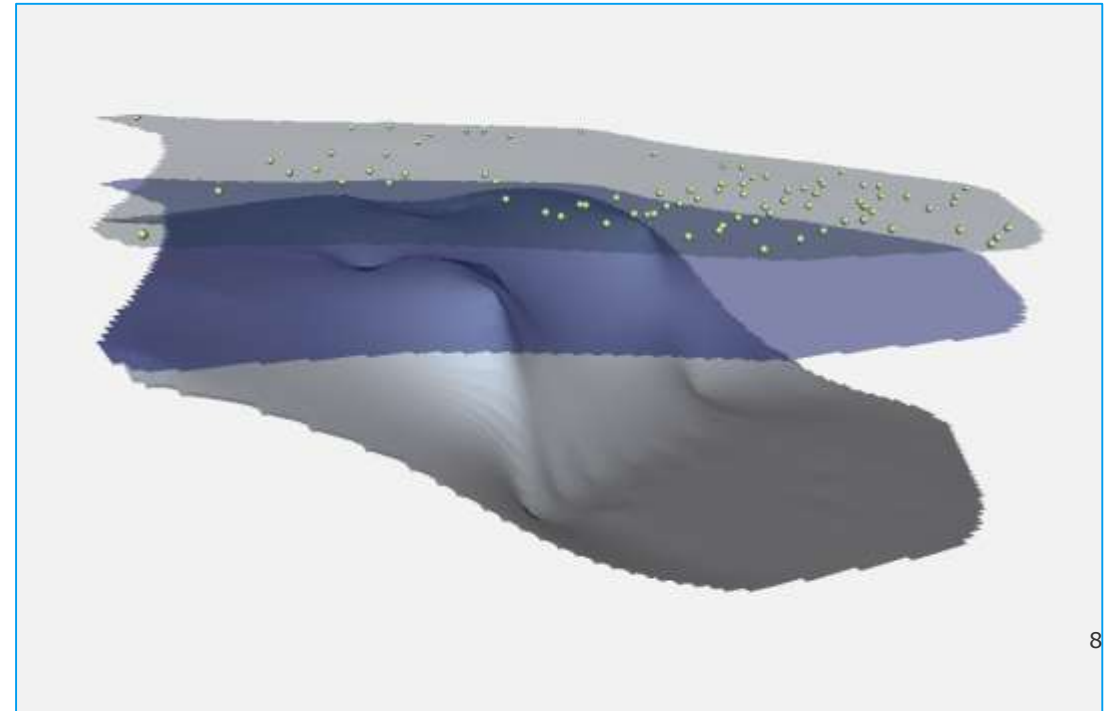


- Différenciation ZS / ZNS
- Absence d'impact au-delà de 40 m

# LIMITES DU MODÈLE



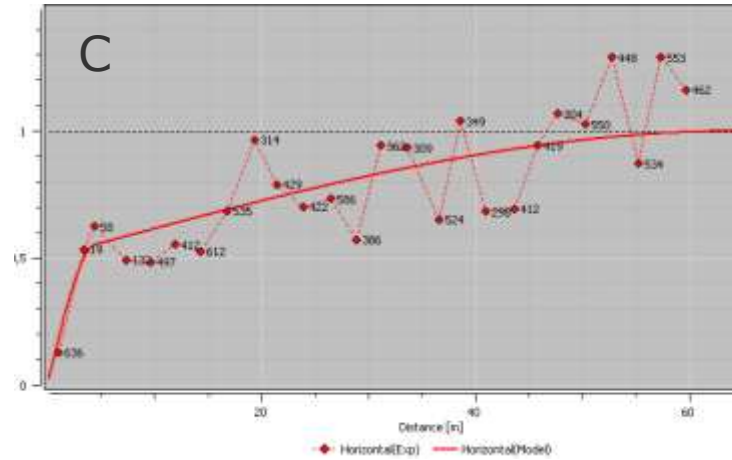
→  
nord



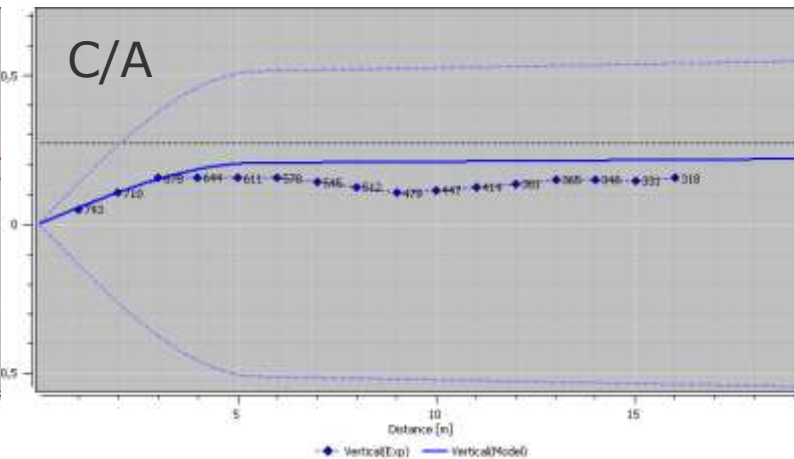
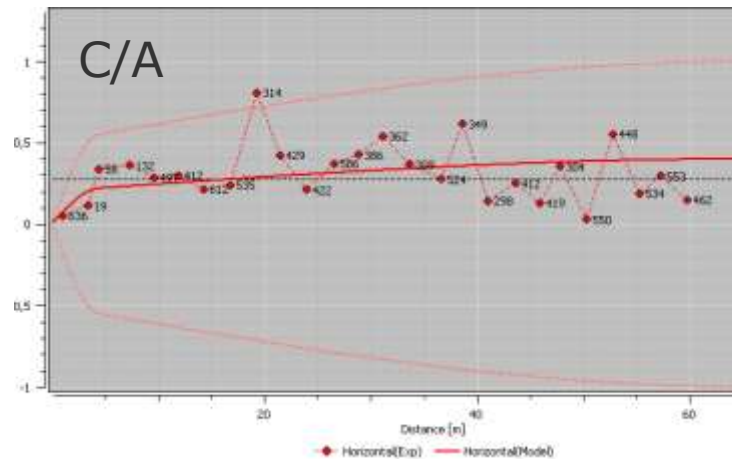
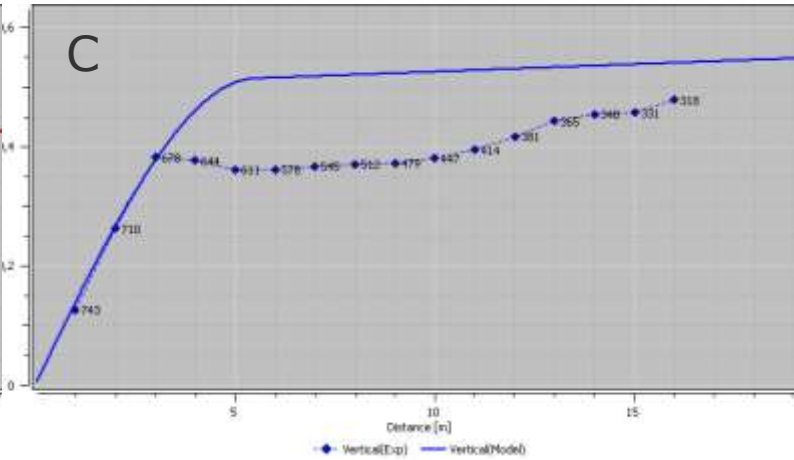
# VARIOGRAPHIE

- Création de modèles multivariés permettant de prendre en compte la corrélation spatiale entre les paramètres (modèles identiques ZS/ZNS)
- Intérêt particulier pour le composé C pour lequel le nombre d'échantillons est inférieur
- Exemple : composé C et variogrammes croisés avec le composé A

Horizontal

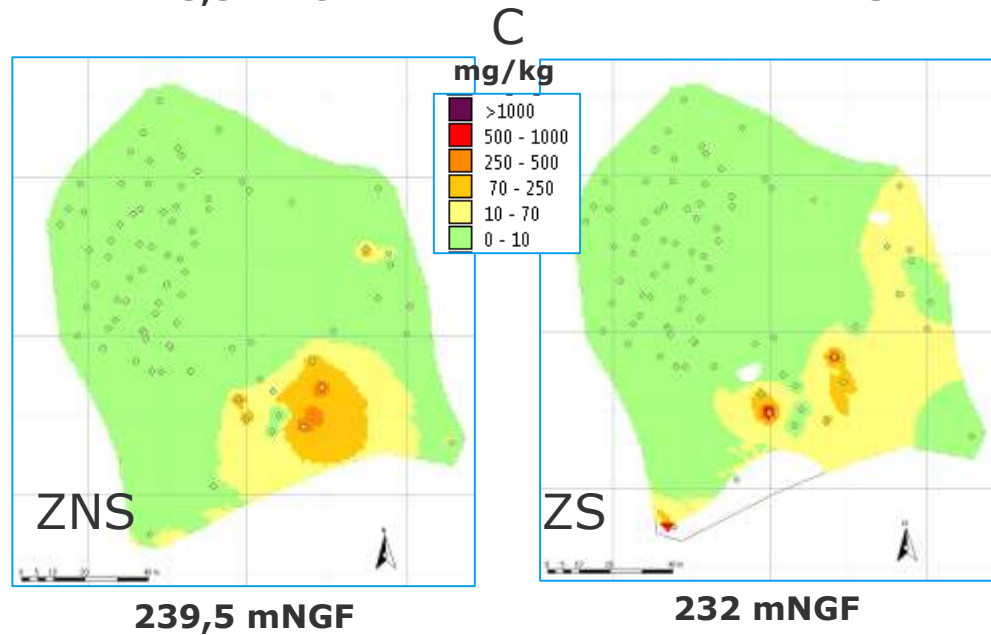
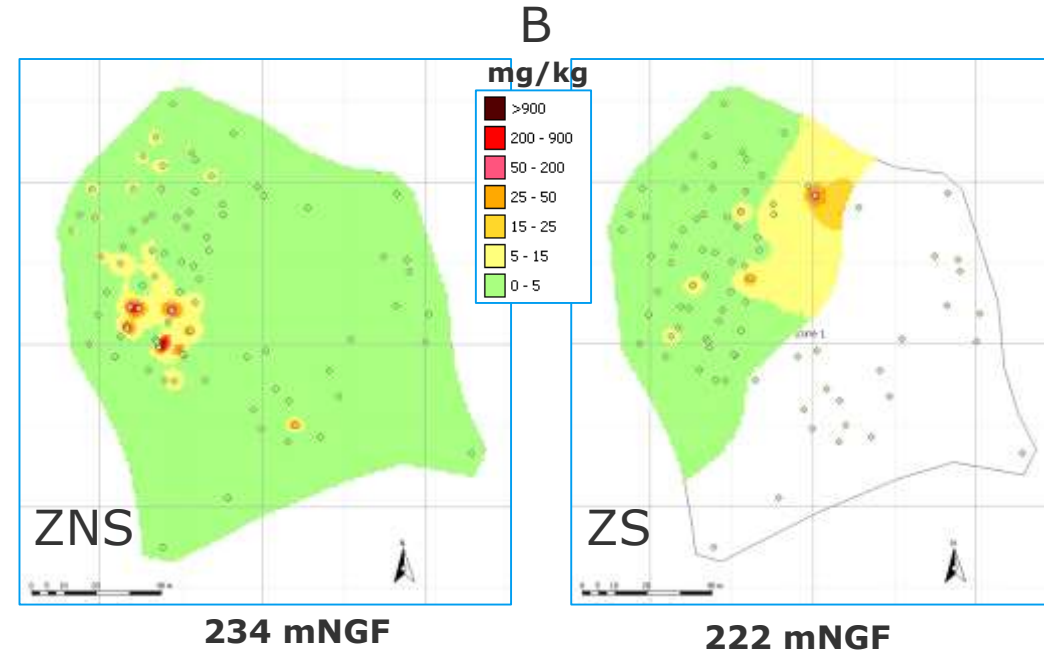
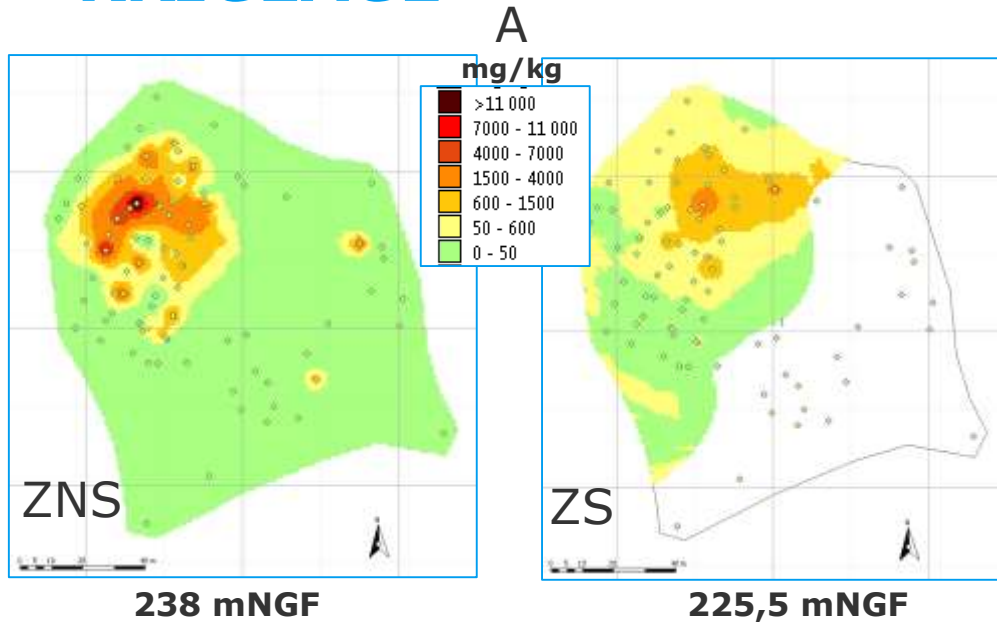


Vertical





# KRIGEAGE

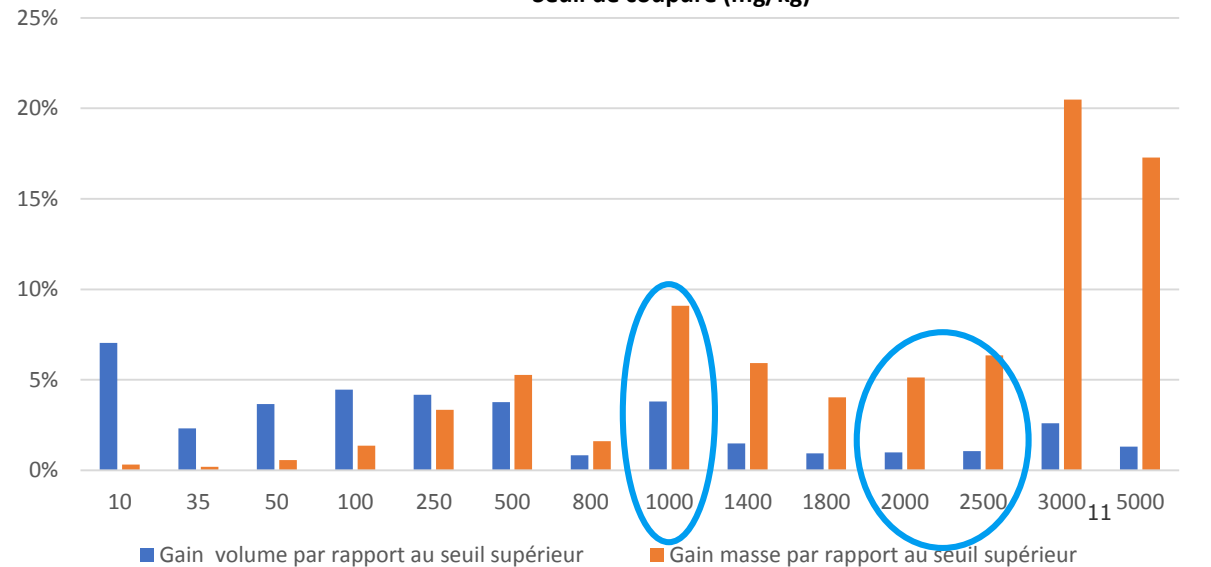
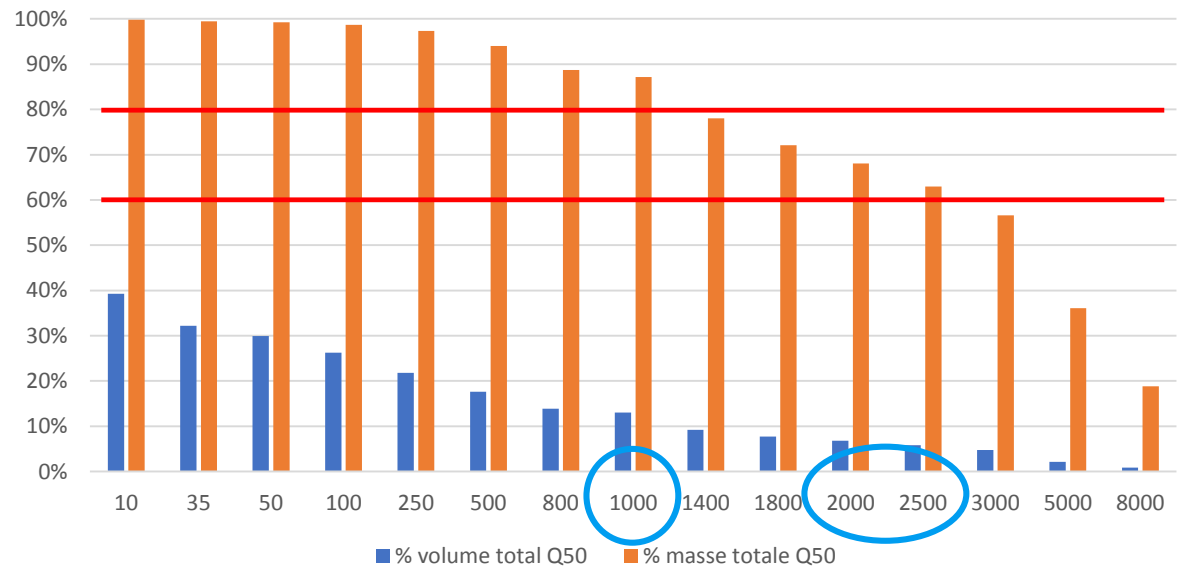
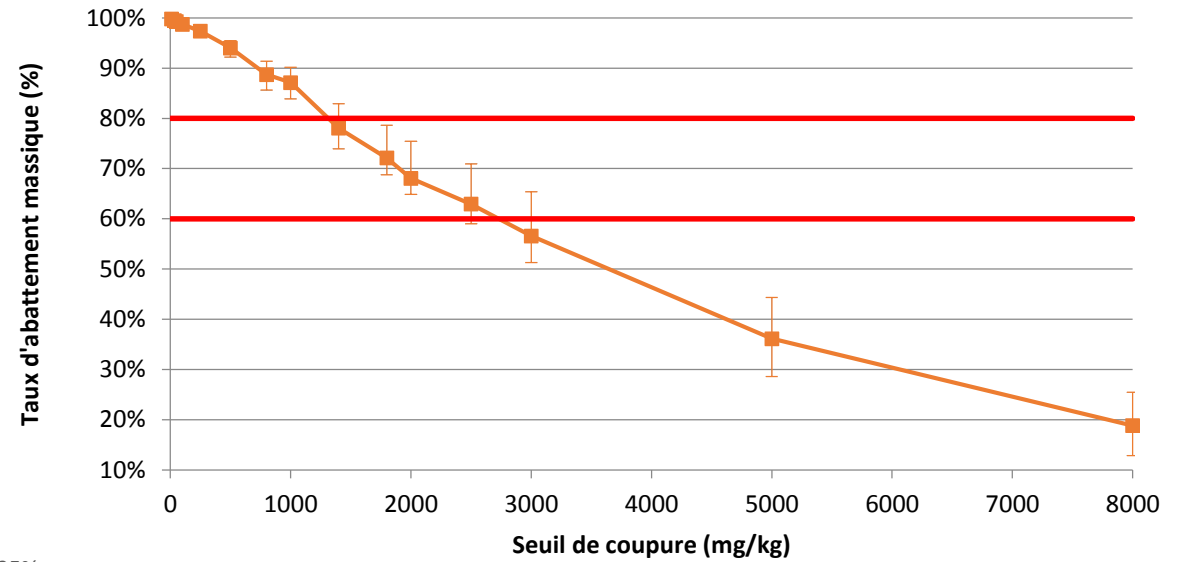
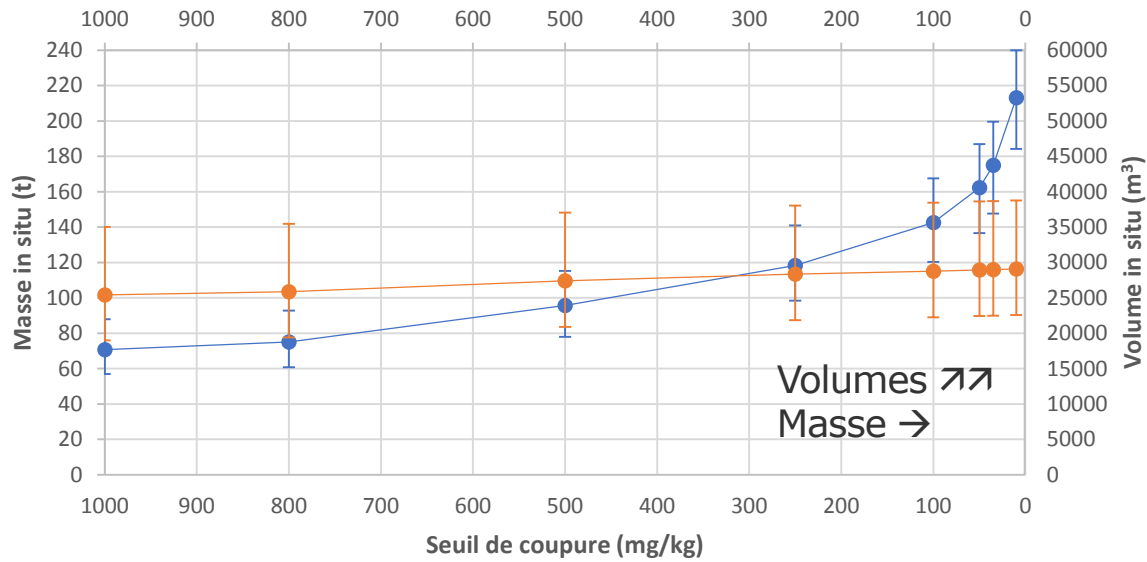


Rappel :

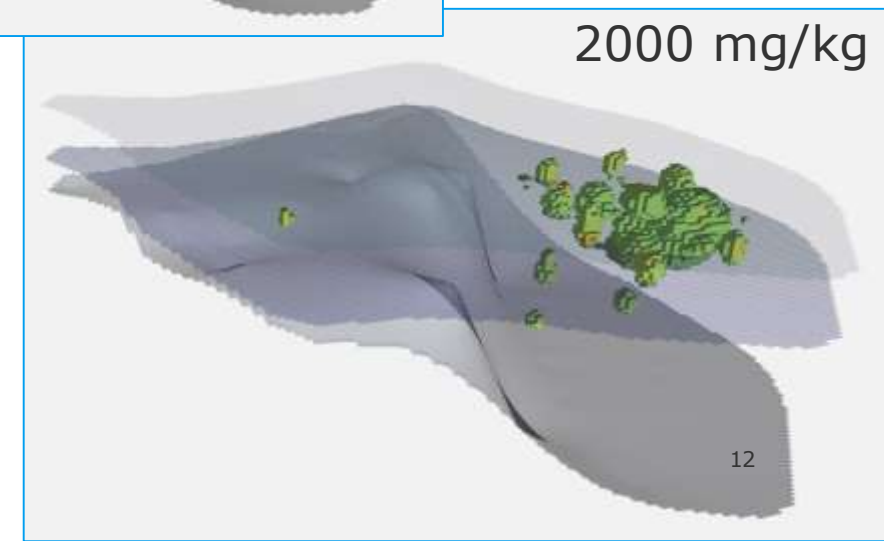
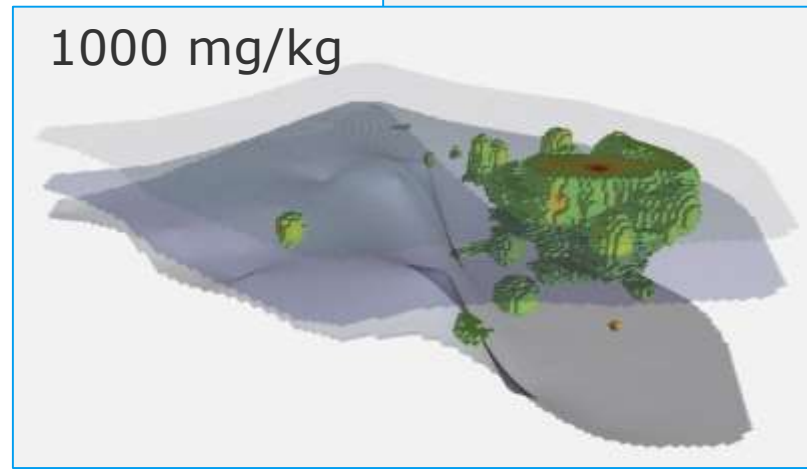
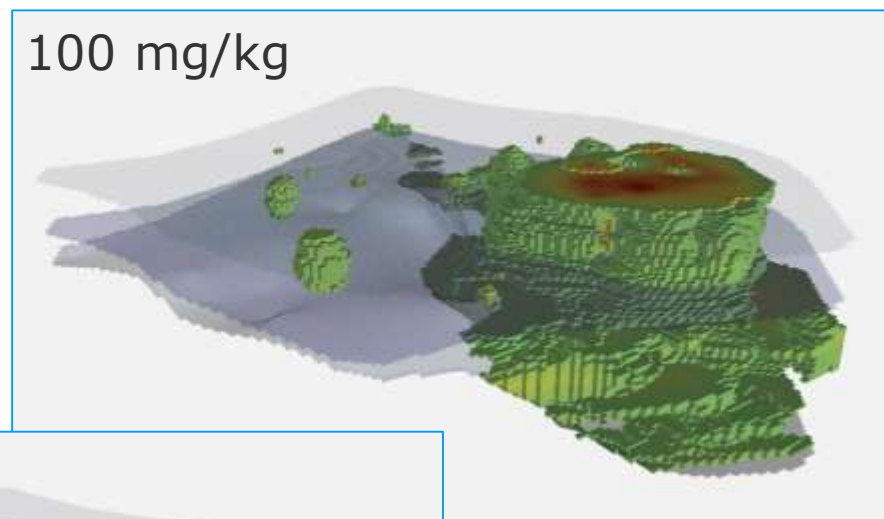
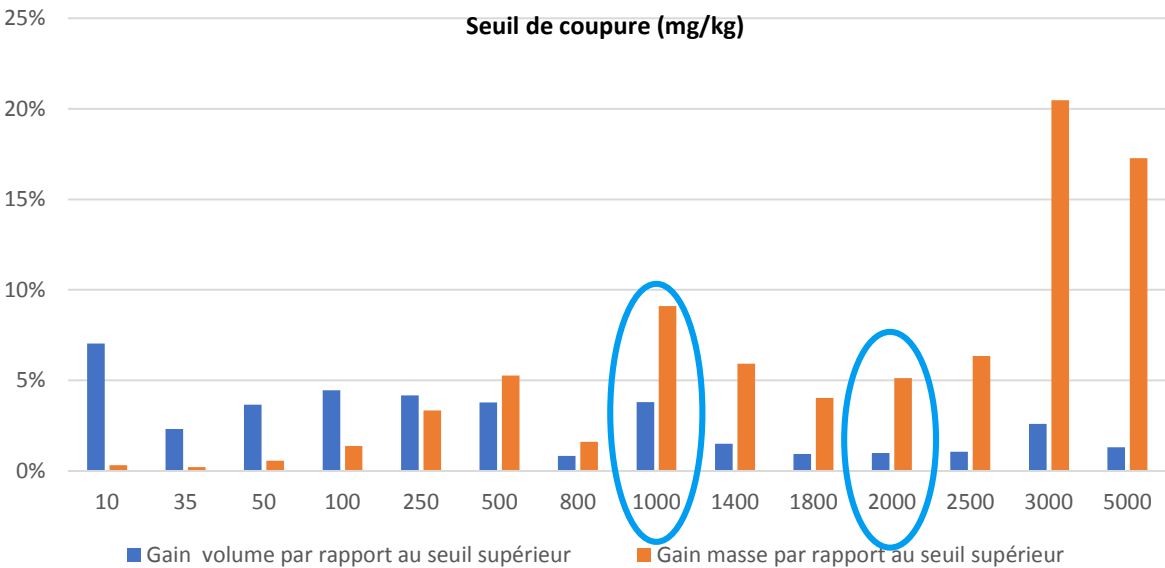
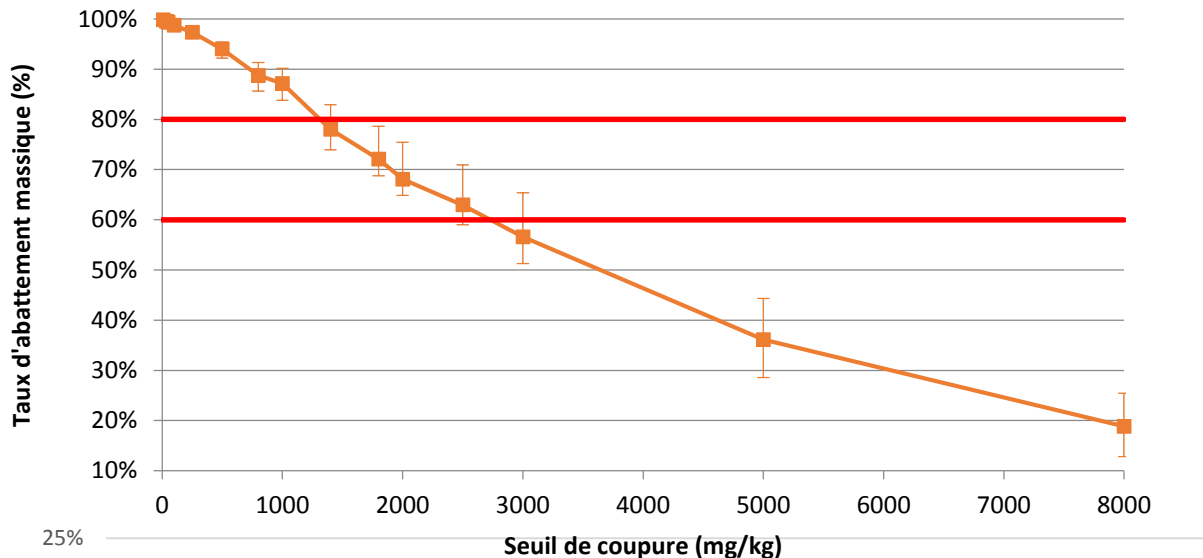
Interface ZS / ZNS à 233 mNGF

# CHOIX DU SEUIL DE RÉHABILITATION

- Différents outils d'aide à la décision / Pour les trois composés, pour la ZS/ZNS



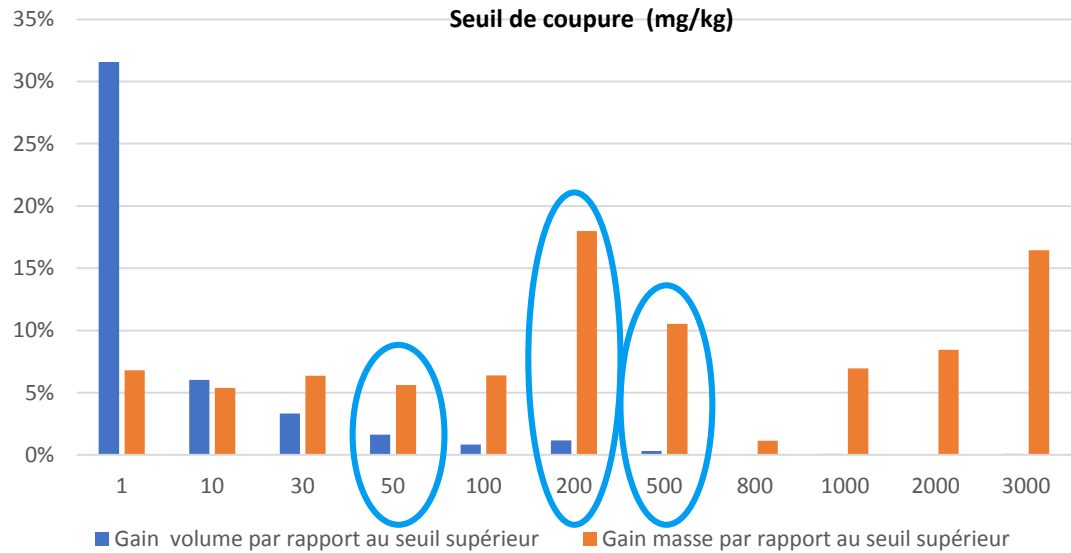
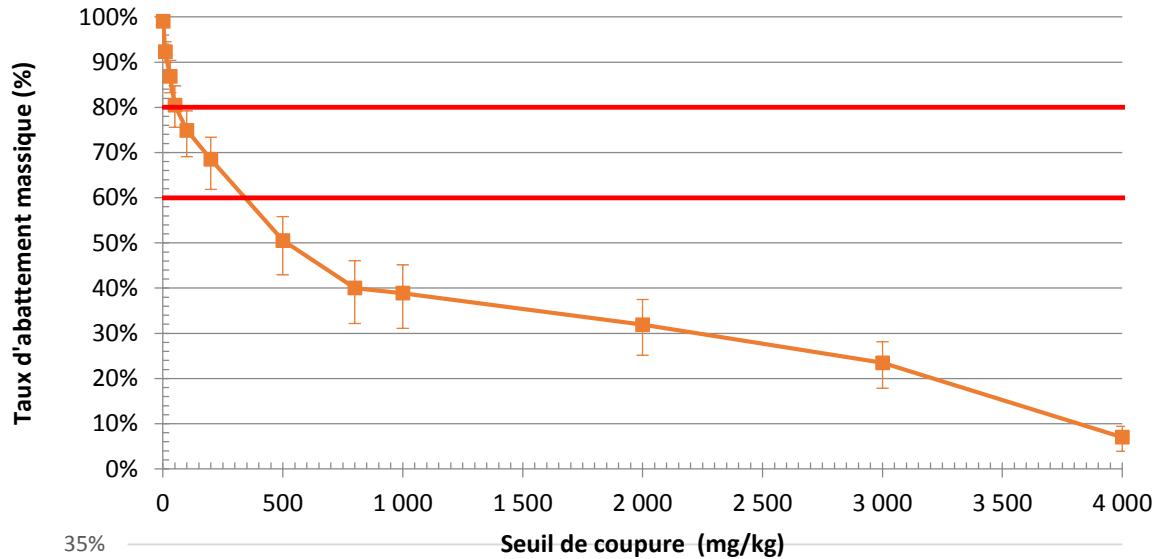
# RÉSULTATS - COMPOSÉ A



nord

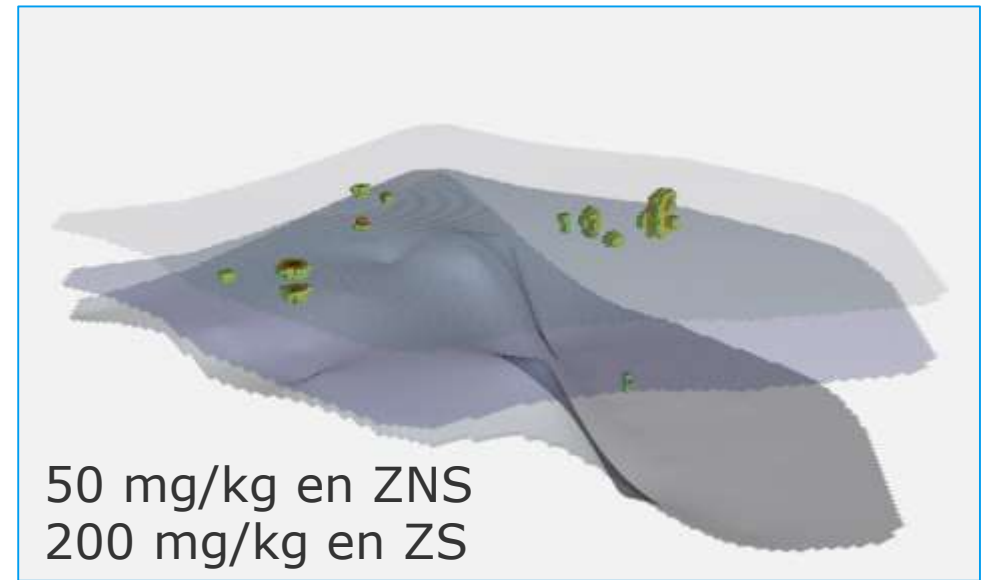
$P(A \geq \text{seuil}) \geq 50\%$

# RÉSULTATS – COMPOSÉ B



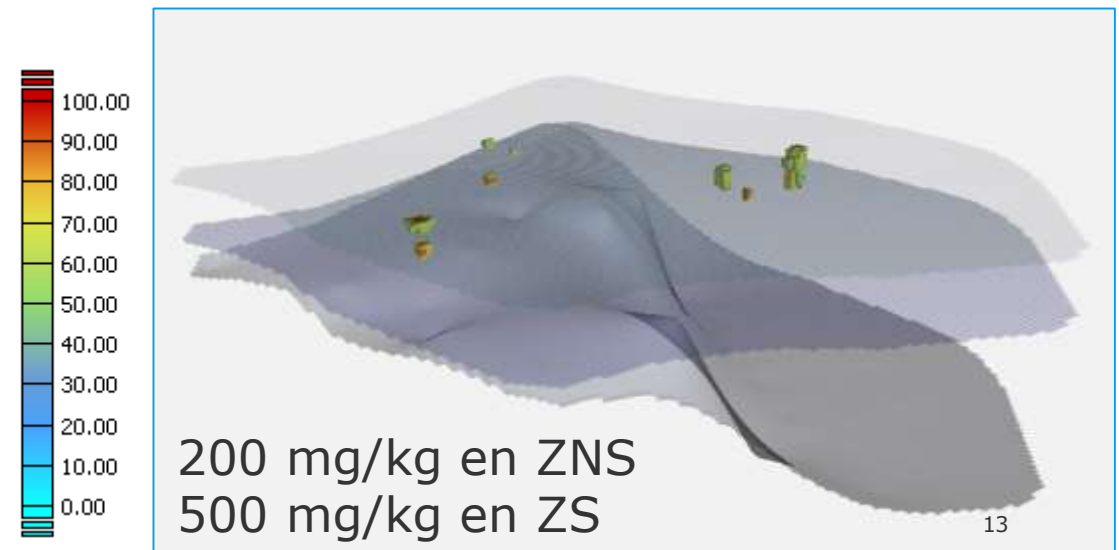
**RAMBOLL**

**Geovariances**  
UNIVERSITÉ DE BRUXELLES - Vrije Universiteit Brussel

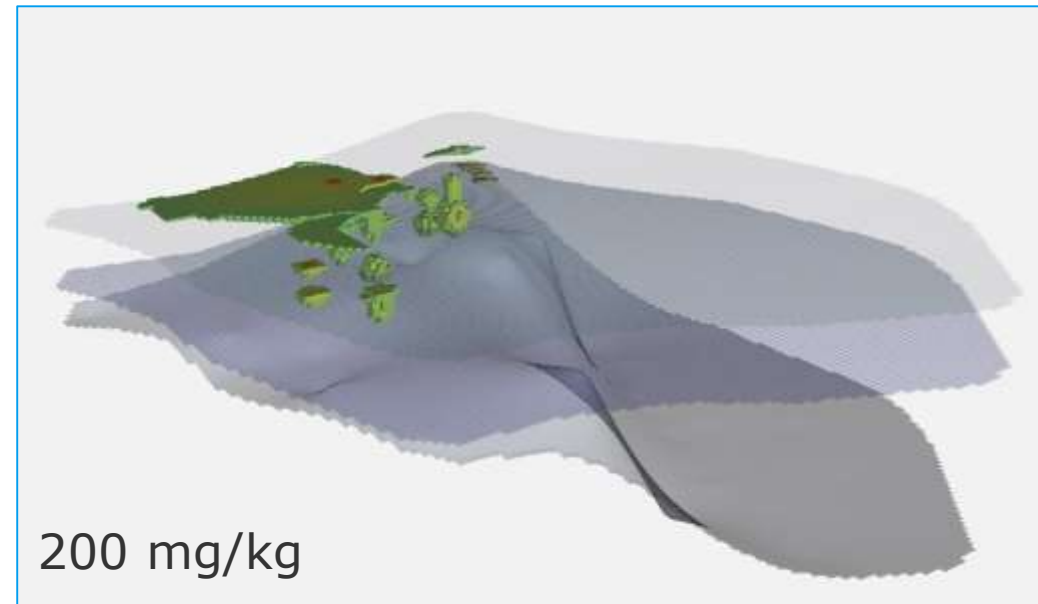
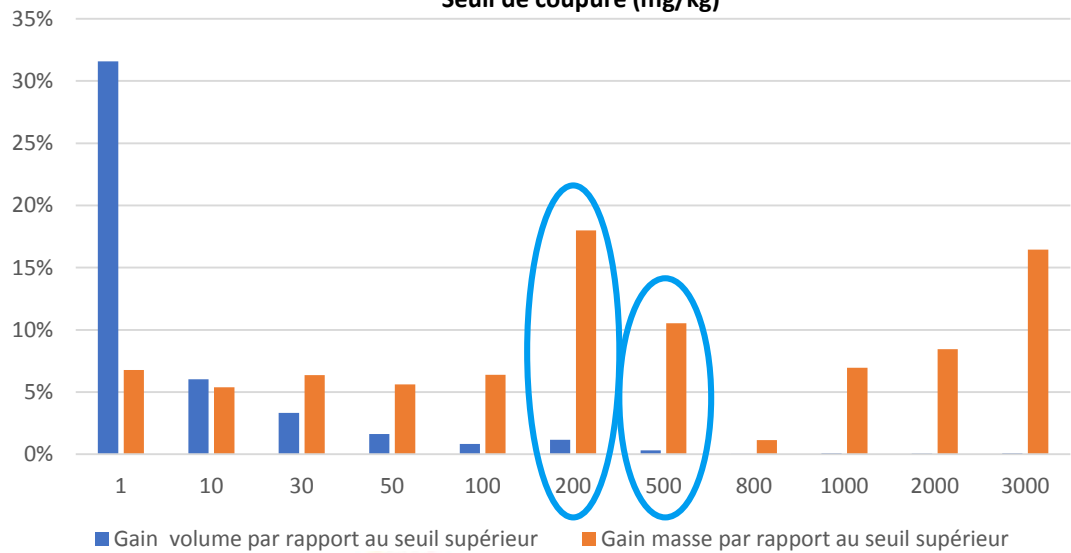
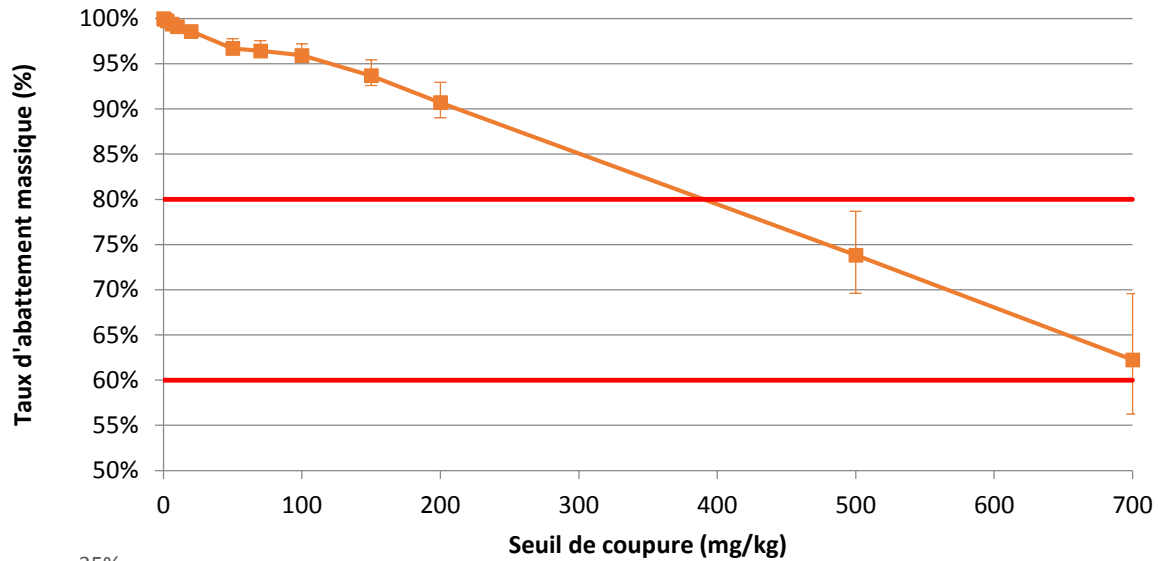


→ nord

$P(B \geq \text{seuil}) \geq 50\%$

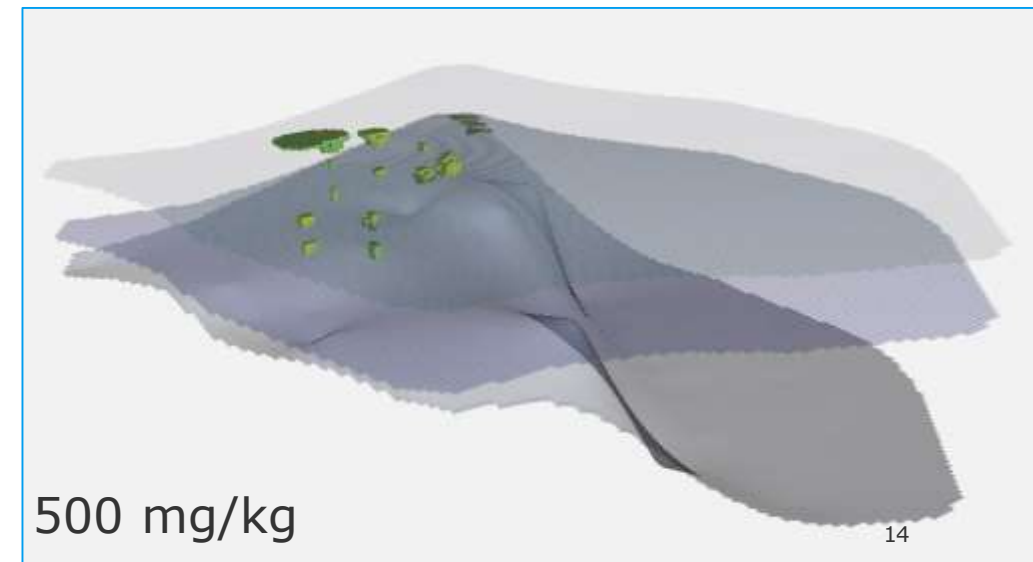
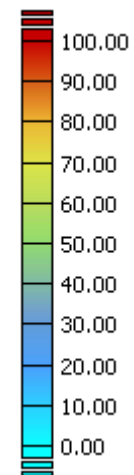


# RÉSULTATS – COMPOSÉ C



→ nord

$P(C \geq \text{seuil}) \geq 50\%$



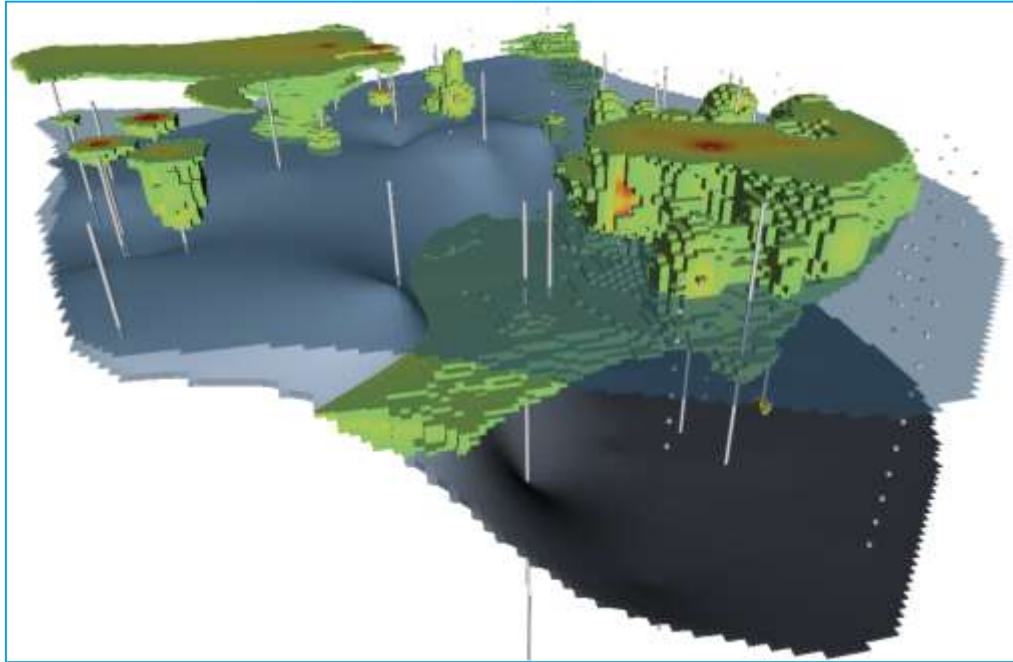
# CONCLUSIONS...

- L'interpolation des concentrations en composés permet de conclure à une estimation dans la zone étudiée d'environ (quantités « les plus probables ») :
  - 328 tonnes de composé A - Compris entre 245 et 468 tonnes (90% de certitude)
  - 14 tonnes de composé B - Compris entre 9 et 24 tonnes (90% de certitude)
  - 42 tonnes de composé C - Compris entre 27 et 70 tonnes (90% de certitude)

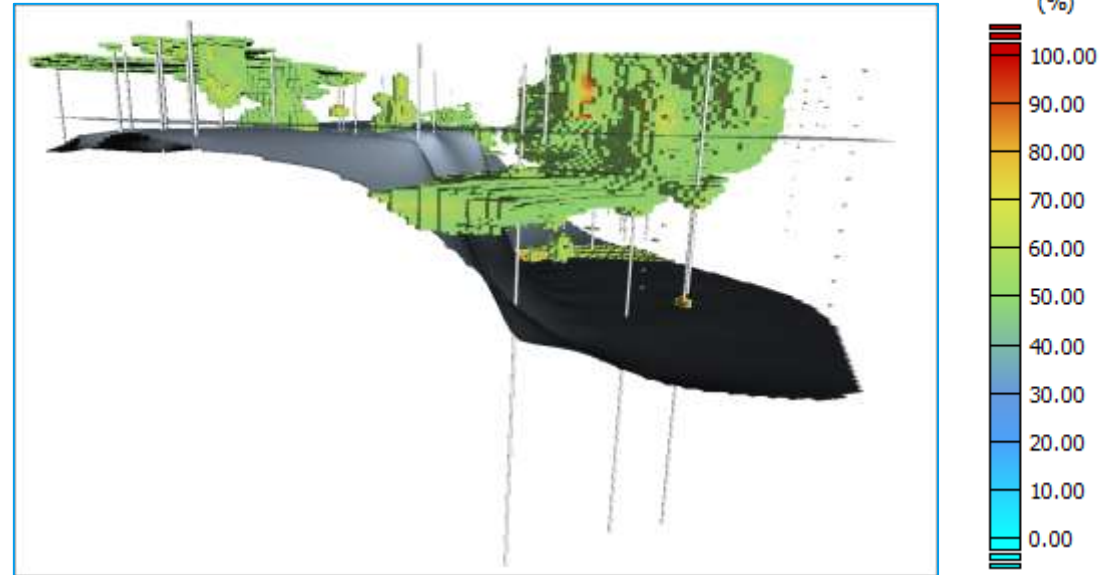
Élément	Zone	Masse totale	Seuil 1	Masse > seuil 1	Abattement avec seuil 1	Seuil 2	Masse > seuil 2	Abattement avec seuil 2
		Q5  ---- Q50  ---- Q95		Q5  ---- Q50  ---- Q95			Q5  ---- Q50  ---- Q95	
A	ZNS	90,6  ---- 116,6 ----  155,3	1000	76  ---- 101,6 ----  140,1	87.1%	2000	58,8  ---- 79,4 ----  117,2	68.1%
	ZS	155,1  ---- 212 ----  313,5	1000	150,3  ---- 206,7 ----  308,5	86.3%	2000	94,5  ---- 140,4 ----  243,5	66.2%
B	ZNS	3,2  ---- 4,6 ----  6,6	200	2  ---- 3,1 ----  4,9	68.5%	500	1,4  ---- 2,3 ----  3,7	50.5%
	ZS	5,9  ---- 9,4 ----  17,8	200	4,1  ---- 7,3 ----  15,2	77.8%	500	2,9  ---- 5,6 ----  12,9	59.2%
C	ZNS	19,6  ---- 28 ----  44,6	200	17,4  ---- 25,4 ----  41,4	90.7%	500	13,6  ---- 20,7 ----  35,1	73.8%
	ZS	7,2  ---- 13,8 ----  25,2	200	5,9  ---- 11,7 ----  22,6	85.1%	500	4,1  ---- 8,8 ----  18	64.1%

- Régionalisation de la pollution : sud-est pour le composé C, nord ouest pour les composés A et B
- Proposition de seuils optimaux pour chaque composé volumes sols/abattement de masse du composé
- Incertitudes de l'extension des impacts en composé C au sud de la zone et en profondeur

## ... ET PERSPECTIVES



- Cartographie croisée des trois composés avec abattement de 80% et probabilité > 50%



- Bilan coûts avantages pour les volumes calculés, en fonction de différentes techniques de remédiation envisagées et en fonction de ZS/ZNS – risques et incertitudes associés

# Excavation ZNS (A [1000 mg/kg]/B [200 mg/kg]/C [200 mg/kg])

