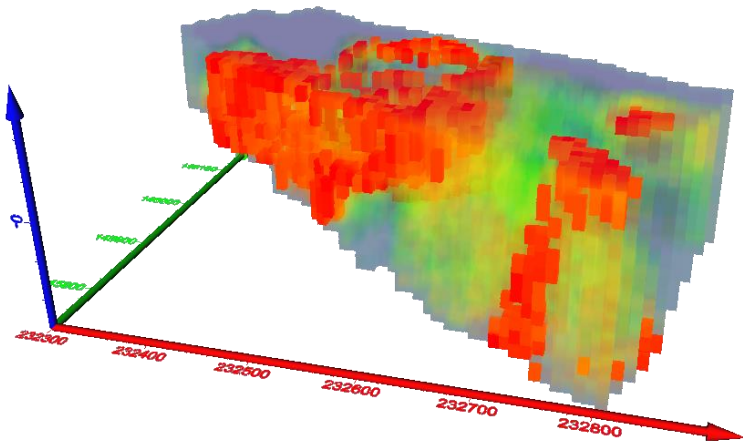




Mardi 13 novembre 2018

La géostatistique ou comment exploiter les données générées sur les chantiers SSP au travers de l'utilisation de nouveaux outils numériques

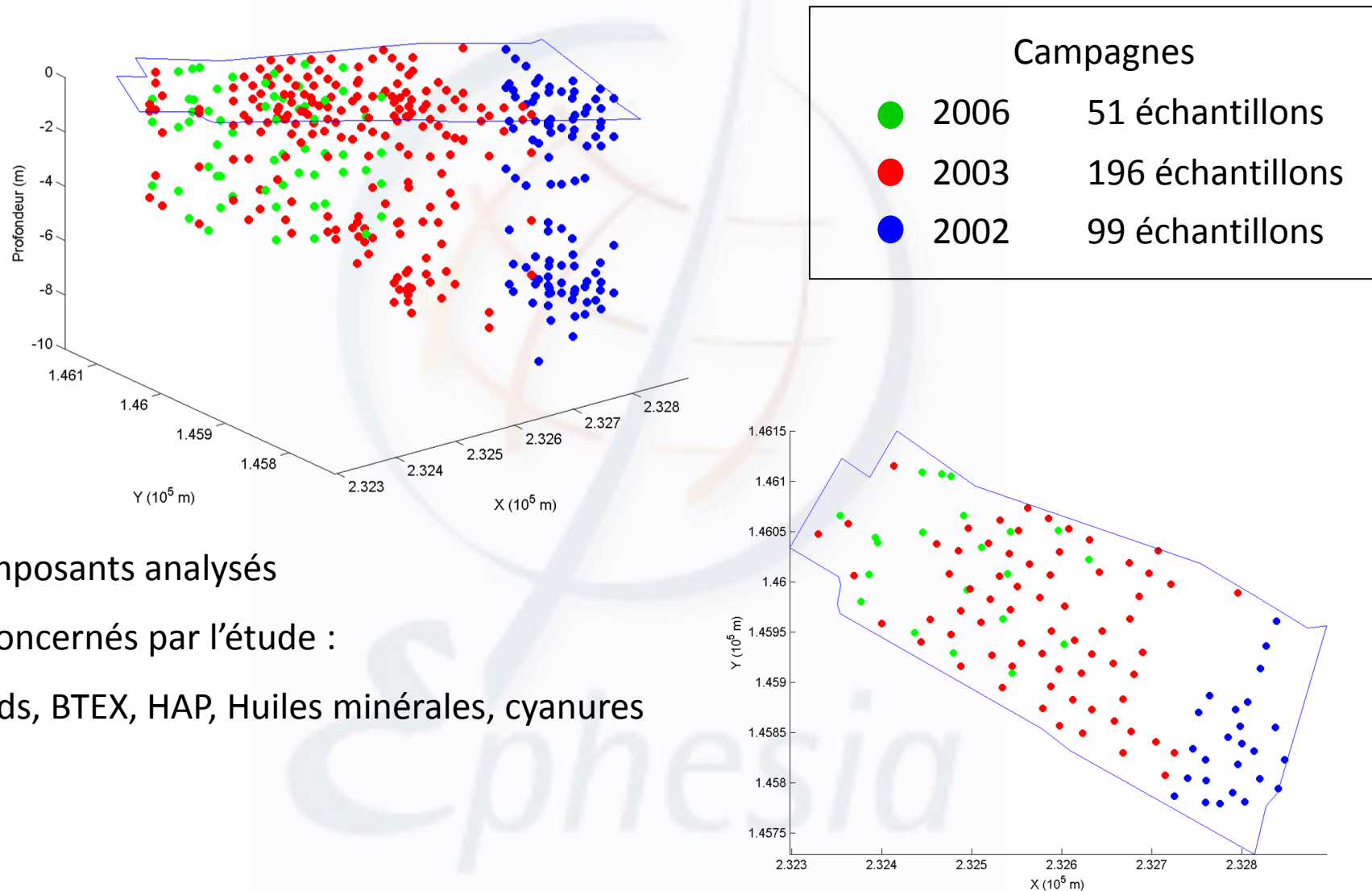
Dimitri D'Or, Ephesia Consult





- Ancienne cokerie
- Usine d'engrais et de produits chimiques
- Histoire complexe
- Superficie : 11.5 ha





- Plus de 50 composants analysés
- 25 polluants concernés par l'étude :
Métaux lourds, BTEX, HAP, Huiles minérales, cyanures
- Problème 3D

Sources de données multiples

Mesures sur site

- Concentrations mesurées sur le terrain
- XRF et autres
- pH
- Lithologie
- Profil microbien
- ...



Drones

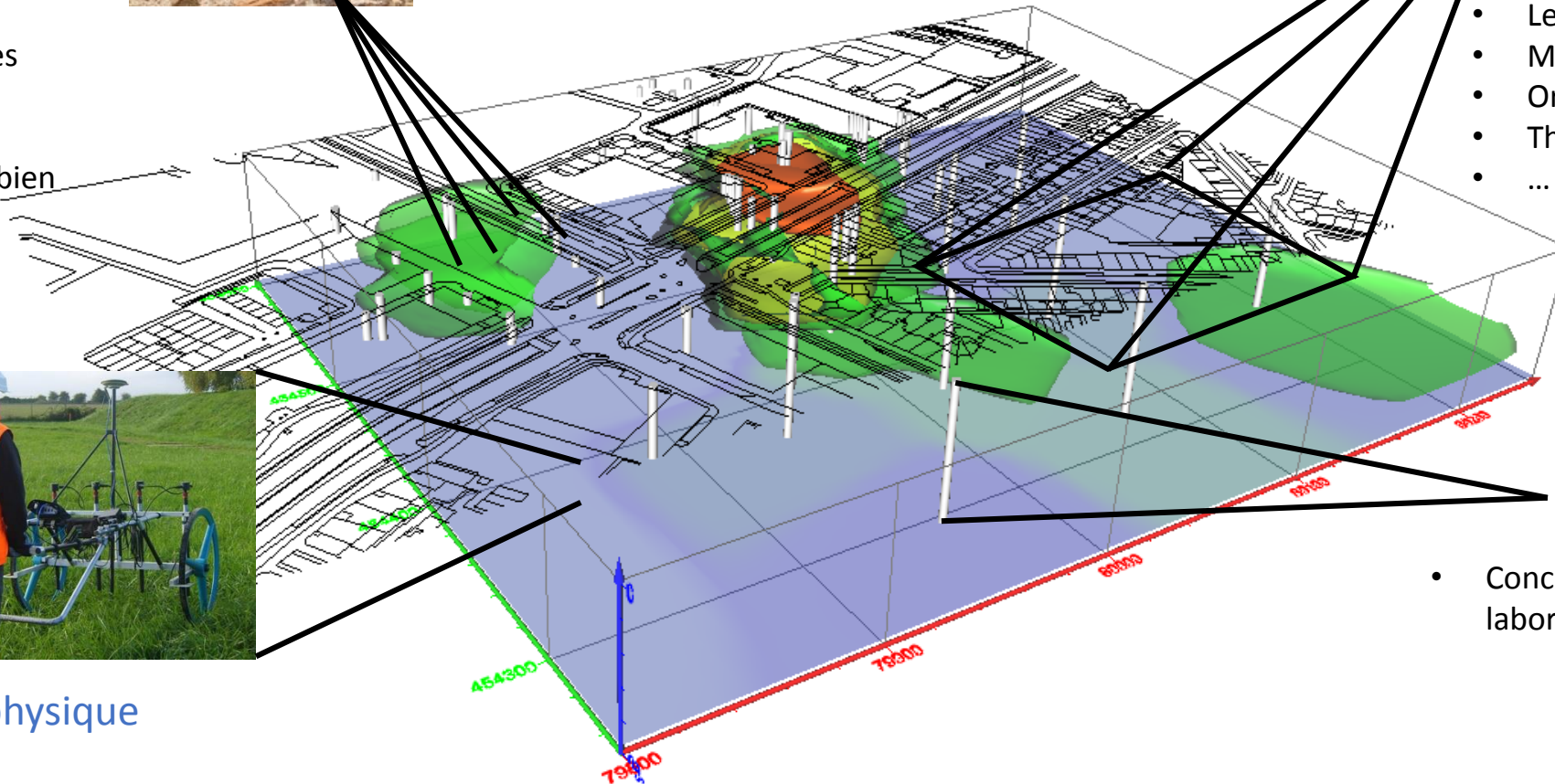
- Levés topographiques
- Modèles numériques de terrain
- Orthophotoplans
- Thermographie
- ...

Forages

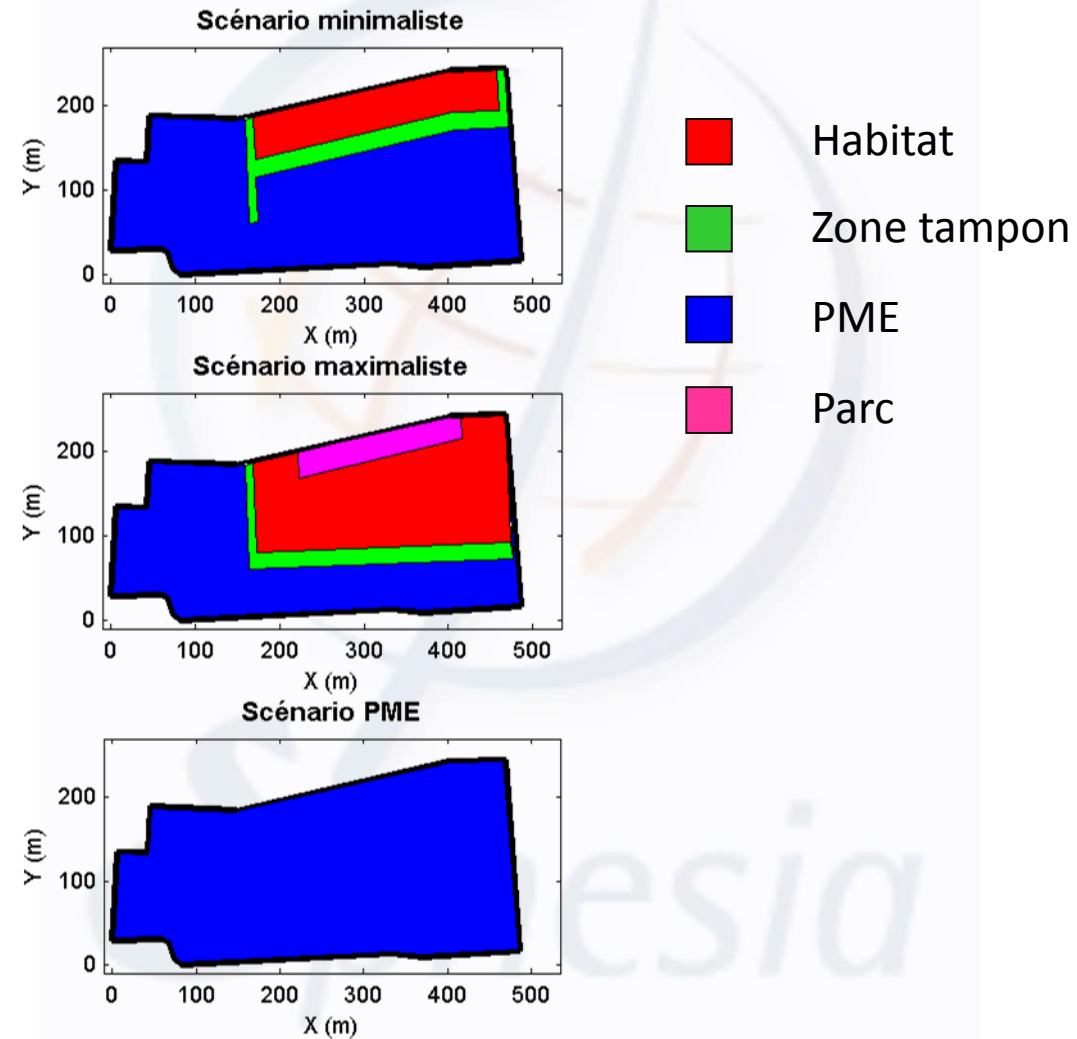
- Concentrations mesurées en laboratoire



Géophysique



Comparaison de différents scénarios de réhabilitation



	Usage résidentiel avec jardin potager			Usage récréatif ou commercial			Usage industriel		
	min(VS _{H-surface} , VS _N , VS _C)	min(VS _{H-surface} , VS _N)	min(VS _{H-profondeur} , VS _N)	min(VS _{H-surface} , VS _N , VS _C)	min(VS _{H-surface} , VS _N)	min(VS _{H-profondeur} , VS _N)	min(VS _{H-surface} , VS _N , VS _C)	min(VS _{H-surface} , VS _N)	min(VS _{H-profondeur} , VS _N)
Profondeur pour respect du critère	0-0.5 m	0.5-1.0 m	> 1 m	0-0.5 m	0.5-1.0 m	> 1 m	0-0.5 m	0.5-1.0 m	> 1 m
	(mg/kg _{max})			(mg/kg _{max})			(mg/kg _{max})		
Métaux lourds et métalloïdes									
Arsenic	41	57	NL	41	166	NL	316	316	NL
Cadmium	3.1	3	NL	9.8	87	NL	209	209	NL
Chrome total	125	290	NL	125	571	NL	4892	4892	NL
Cuivre	110	823	NL	110	13134	NL	38329	38329	NL
Mercure	9	9	NL	13	68	NL	582	582	NL
Nickel	153	275	NL	153	1020	NL	1245	1245	NL
Plomb	195	195	NL	279	406	NL	3115	3115	NL
Zinc	232	3464	3464	232	3464	3464	2953	2953	2953
Hydrocarbures aromatiques monocycliques non halogénés									
Benzène ⁴	0.2	0.2	0.2	1.8	1.8	1.8	0.7	0.7	0.7
Ethylbenzène	8.8	8.8	23.2	11.6	155.8	158.1	111.3	111.3	111.4
Toluène	3.3	3.3	3.9	8.5	84.3	84.6	22.0	22.0	22.0
Xylènes	2.0	11.6	27.4	2.0	251.5	255.0	141.6	141.6	139.9
Hydrocarbures aromatiques polycycliques non halogénés									
Benzo(a)anthracène	1.0	1.2	NL	1.0	24.7	NL	173.4	173.4	NL
Benzo(b)fluoranthène	0.3	0.3	NL	0.9	24.8	NL	174.1	174.1	NL
Benzo(k)fluoranthène	1.3	1.3	NL	3.9	24.9	NL	174.3	174.3	NL
Benzo(ghi)peryène	3.1	2053.9	NL	3.1	3247.9	NL	22736.4	22736.4	NL
Benzo(a)pyrène	0.5	0.5	NL	0.9	2.5	NL	17.2	17.2	NL
Chrysène	4.9	6.8	NL	4.9	248.9	NL	1743.0	1743.0	NL
Fluoranthène	25.1	33.2	NL	25.1	1334.5	NL	9443.9	9443.9	NL
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0.2	0.2	NL	1.2	24.9	NL	174.3	174.3	NL
Naphtalène	1.7	6.0	128.3	1.7	1216.0	NL	13127.6	13127.6	NL
Phénanthrène	5.5	38.3	NL	5.5	4256.3	NL	30199.0	30199.0	NL
Paramètres Intégrateurs									
Huiles minérales (C10-C40)	750	750	750	750	750	750	1000	1000	1000
Cyanures									
Cyanures libres ⁵	4	4	4	48	48	48	88	88	88
Cyanures totaux ⁶	9.6	9.6	9.6	240	240	240	440	440	440

Objectif : Création d'un modèle 3D avec quantification des incertitudes

- Estimer et cartographier les volumes pour 8 classes de sols pollués :
 - *Métaux (sauf arsenic)*
 - *Arsenic*
 - *Métaux et arsenic*
 - *Cyanures*
 - *Composants organiques (HAP, benzène et huiles minérales)*
 - *Organiques et métaux*
 - *Pollutions complexes : organiques + métaux + cyanures*
 - *Non pollué*
 - Calculer les incertitudes associées (risques d'erreur de classification)
 - Classer les sols en filières de traitement :
 - **Traitement** si les sols sont très certainement pollués
 - **Valorisation** si les sols sont très certainement non pollués
 - **Tri sélectif** si les sols ne peuvent être classés avec une confiance suffisante
- + Capacité de gérer des seuils variables en 3D selon l'affectation future et la profondeur

Comment produire un
modèle réaliste de la
distribution spatiale de la
pollution sur de tels sites ?

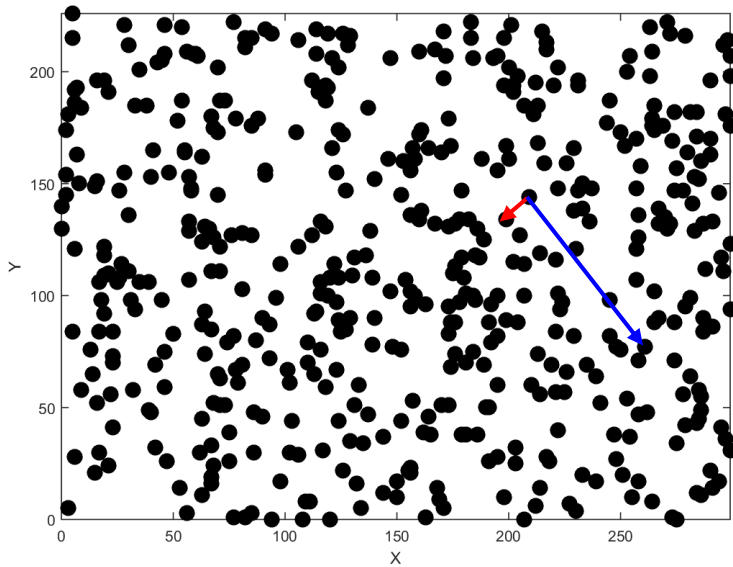


Le problème fondamental :

Comment estimer une variable
à un endroit où elle n'a pas été mesurée ?

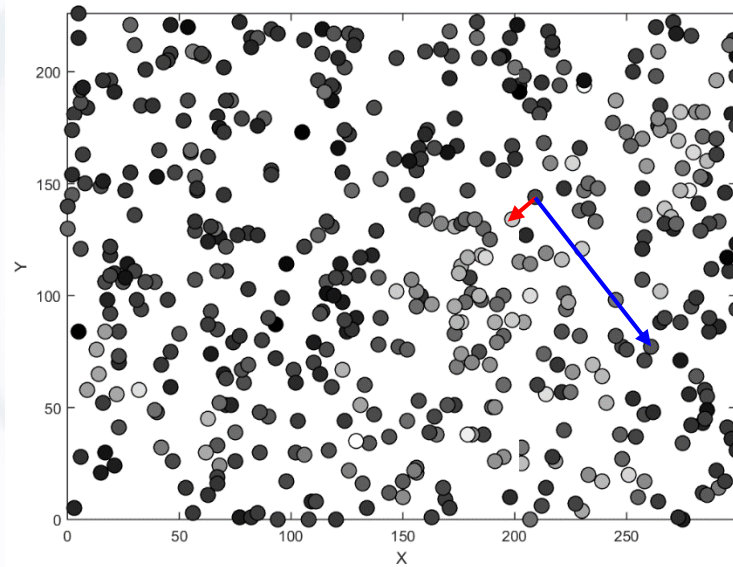
Considérons un site pollué hypothétique

Situation 1



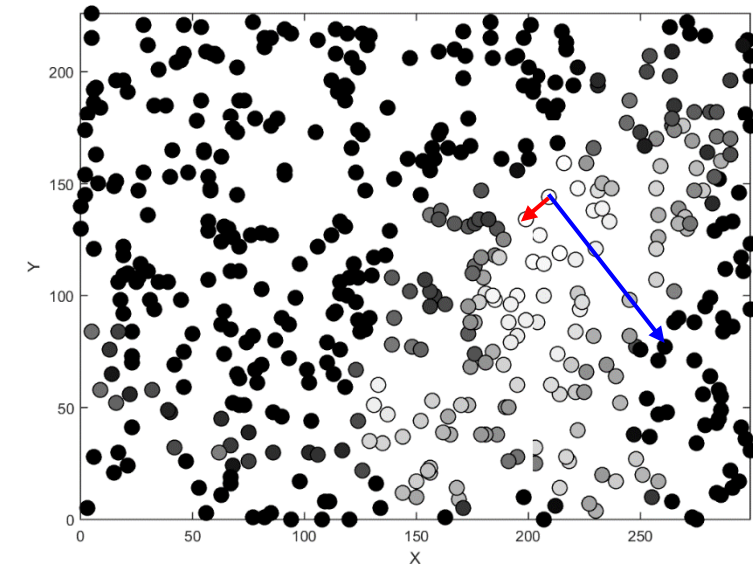
Constante

Situation 2



Peu structurée (dépôt atmosphérique)

Situation 3



Bien structurée (source ponctuelle)

L'information disponible est toujours limitée

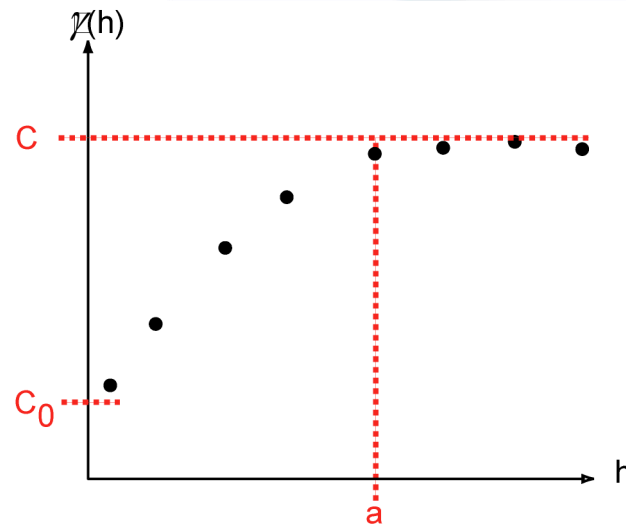
Stratégie 1 : densifier l'échantillonnage

Notion de corrélation spatiale

ux

Stratégie 2 : Utiliser des outils mathématiques et statistiques = modèle probabiliste

Outil de mesure de la corrélation spatiale : le variogramme

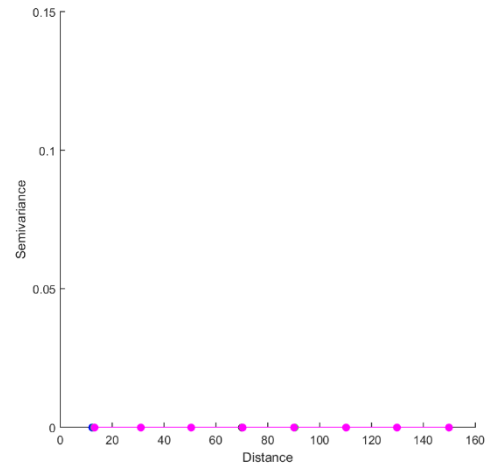
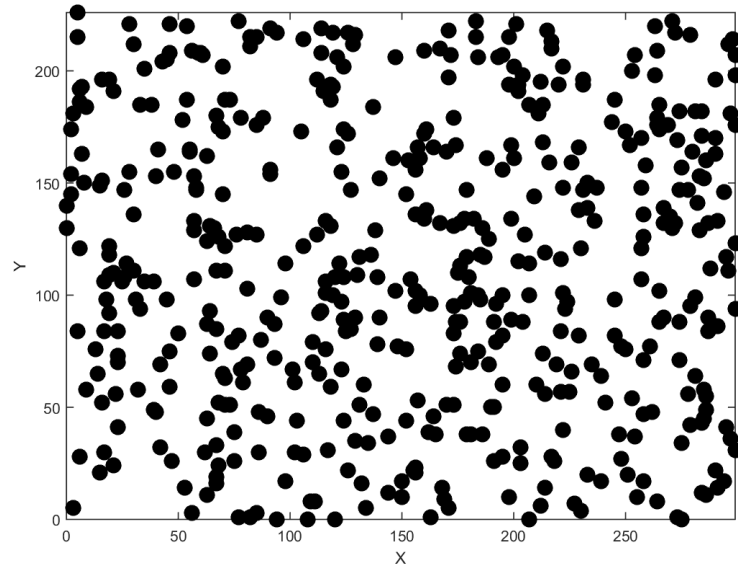


$$2\gamma(h) = E[(Z(x_i + h) - Z(x_i))^2]$$

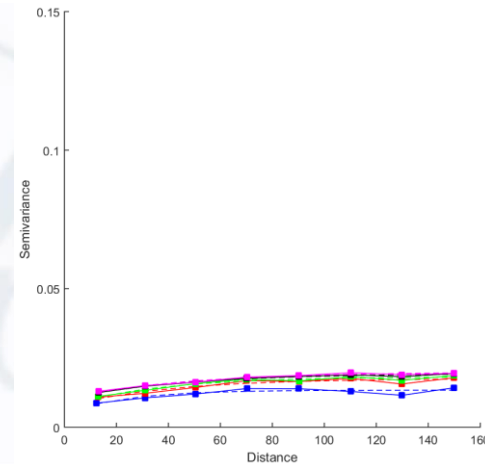
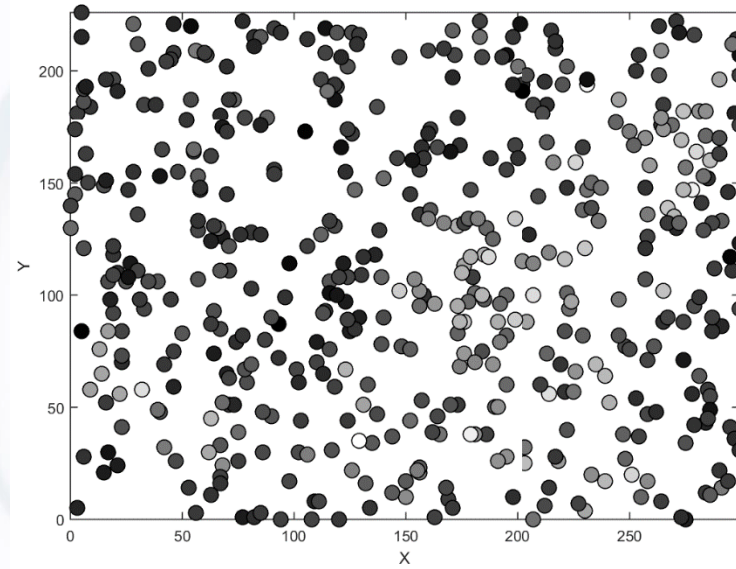
$$\gamma_{\text{exp}}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_1^n [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

- h*** **Lag** = *distance de séparation*
- C*** **Seuil** = *plateau atteint par la variance*
 ≈ *variance générale des données*
- a*** **Portée** = *distance à laquelle le variogramme atteint le plateau*
 = *"distance de corrélation "*
- C₀*** **Effet de pépite** = *variabilité à courte distance et erreur de mesure*

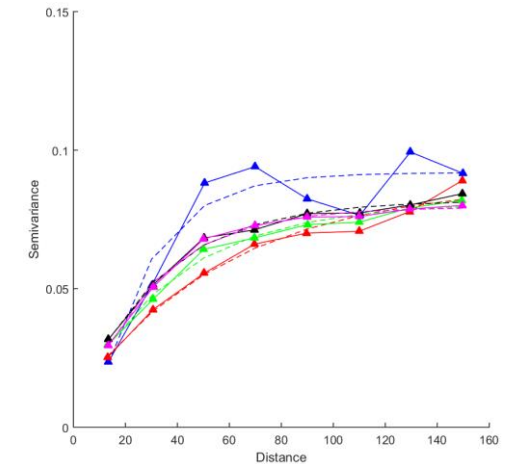
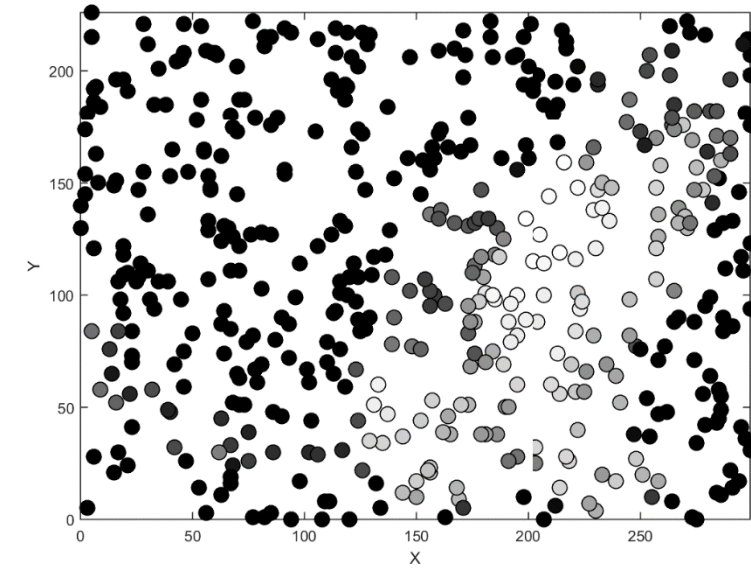
Situation 1



Situation 2



Situation 3



Cartographie et estimation

Plus proche voisin

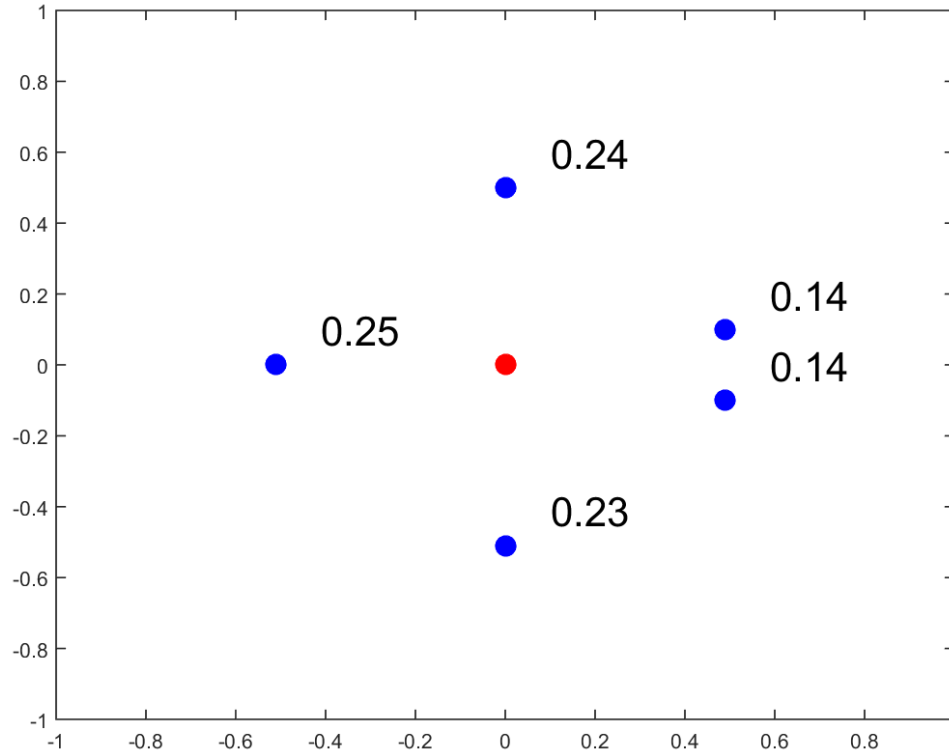
- Le point le plus proche reçoit un poids de 1

Distance inverse

- Le poids est proportionnel à l'inverse de la distance élevée à une puissance donnée

Krigage

- Estimateur linéaire prenant en compte la **corrélacion spatiale**
- Estimateur **sans biais** : l'erreur est nulle, en moyenne
- **Meilleure précision** : minimise la variance de l'erreur d'estimation
- **Associé à une variance de krigage** ⇒ information sur l'incertitude locale

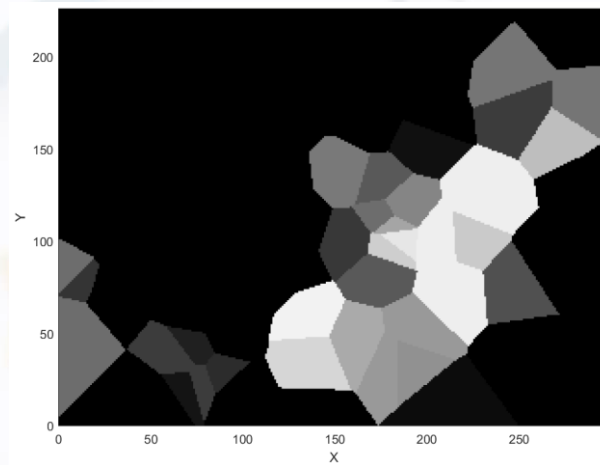
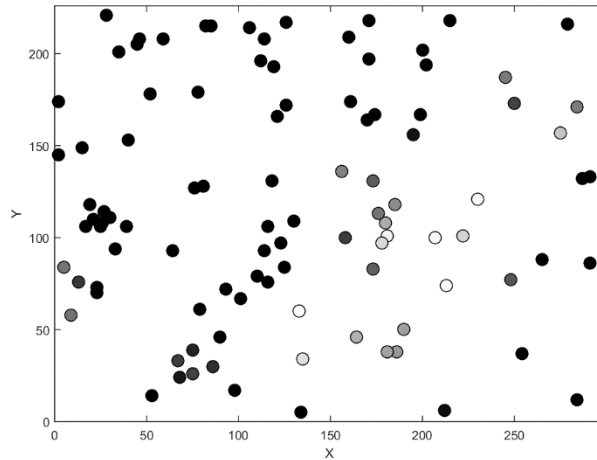


$$z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i$$

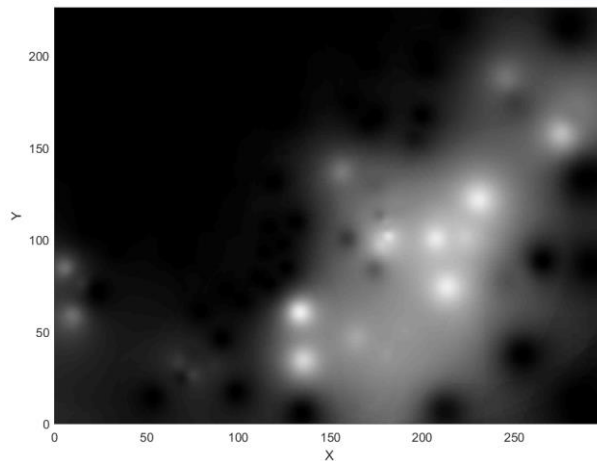
Cartographie et estimation

Plus proche voisin

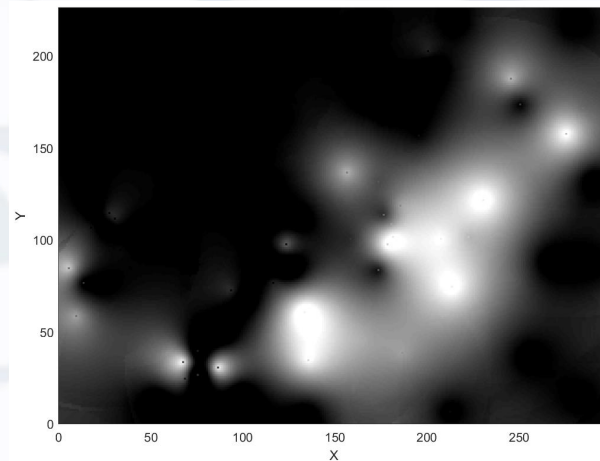
Situation 3



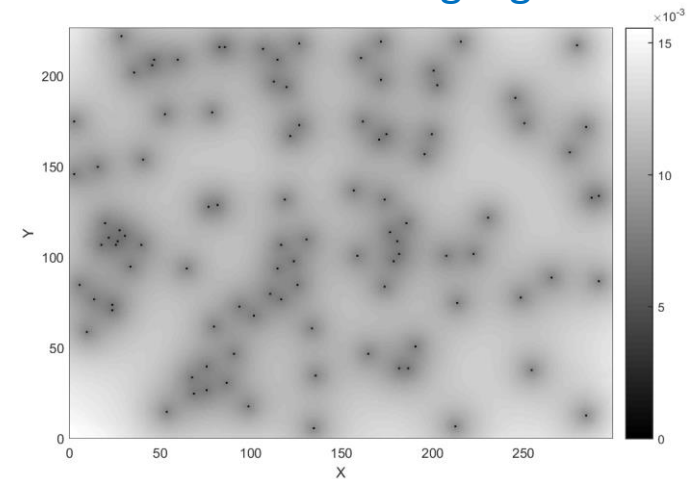
Distance inverse



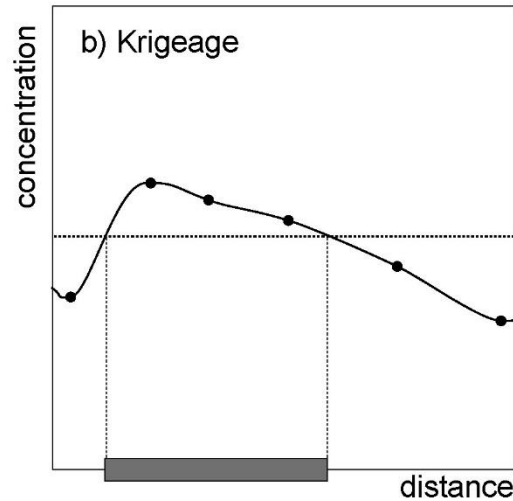
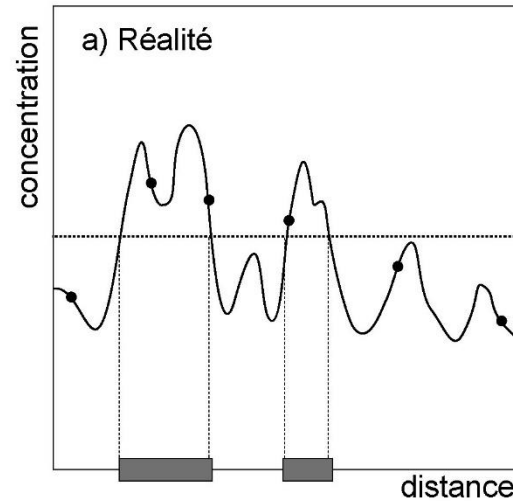
Krigeage



Variance de krigeage

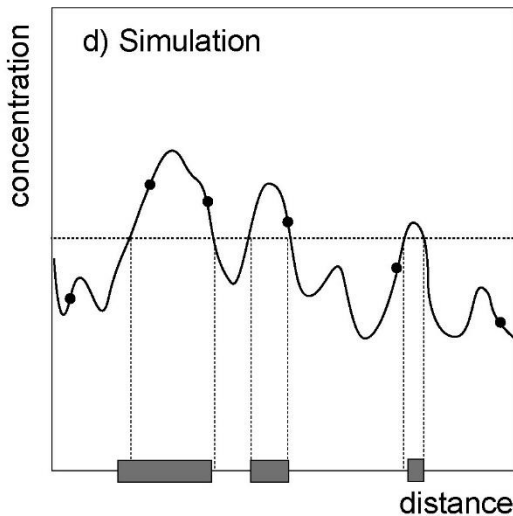
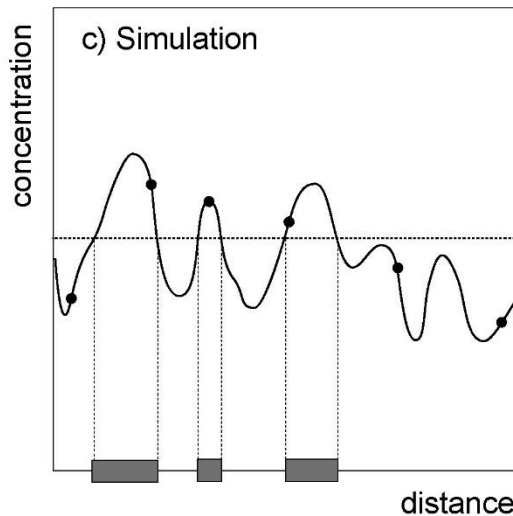


Simulations conditionnelles



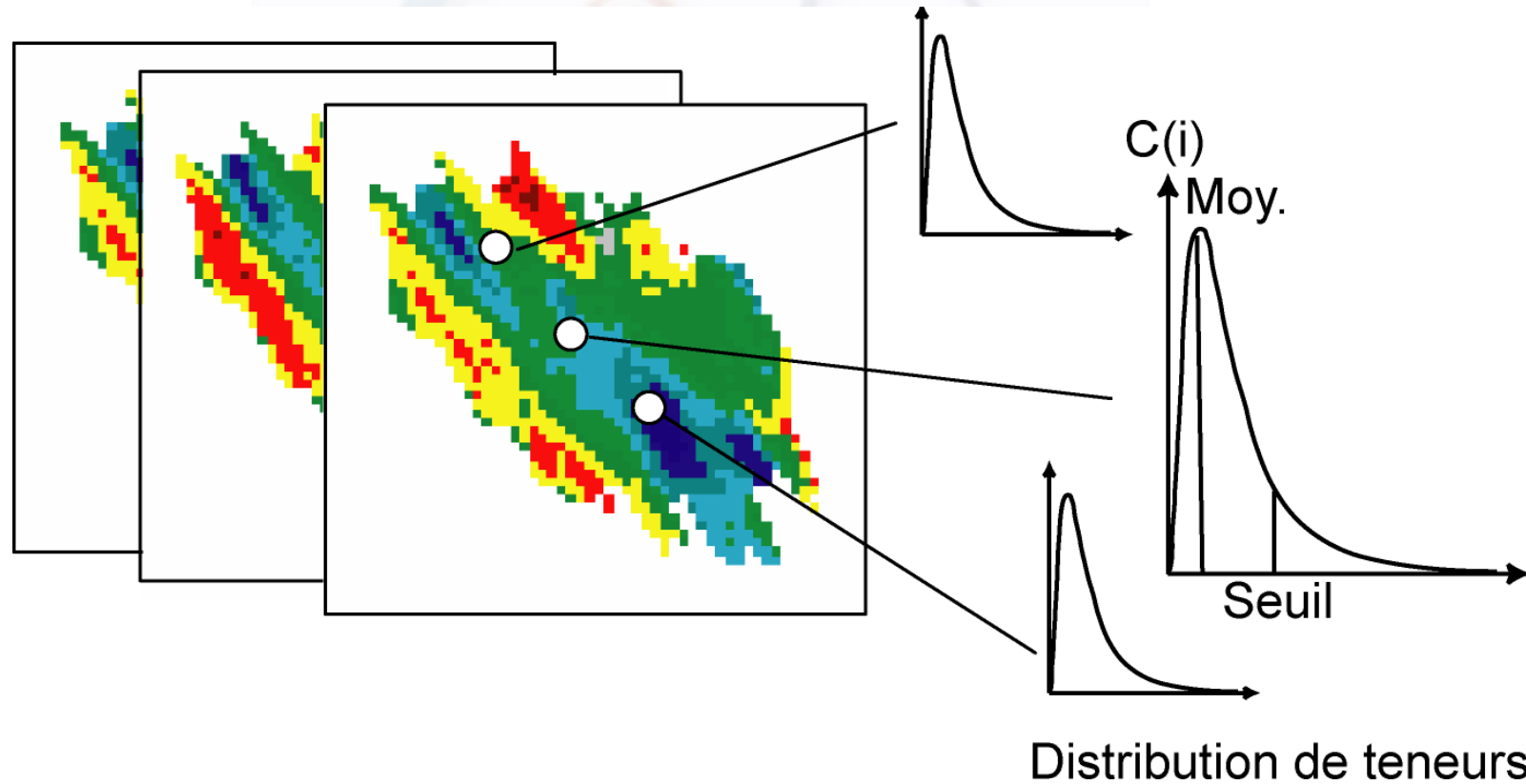
légende:

- échantillon
- seuil de concentration
- zone à dépolluer

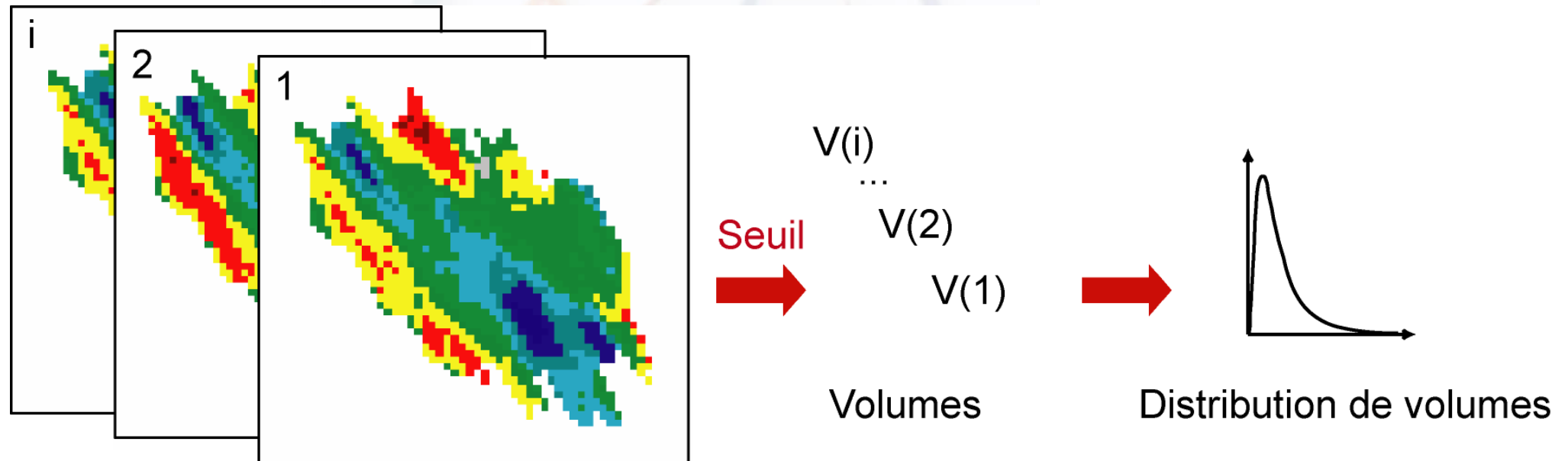


Krigeage inadapté au problème de dépassement de seuil

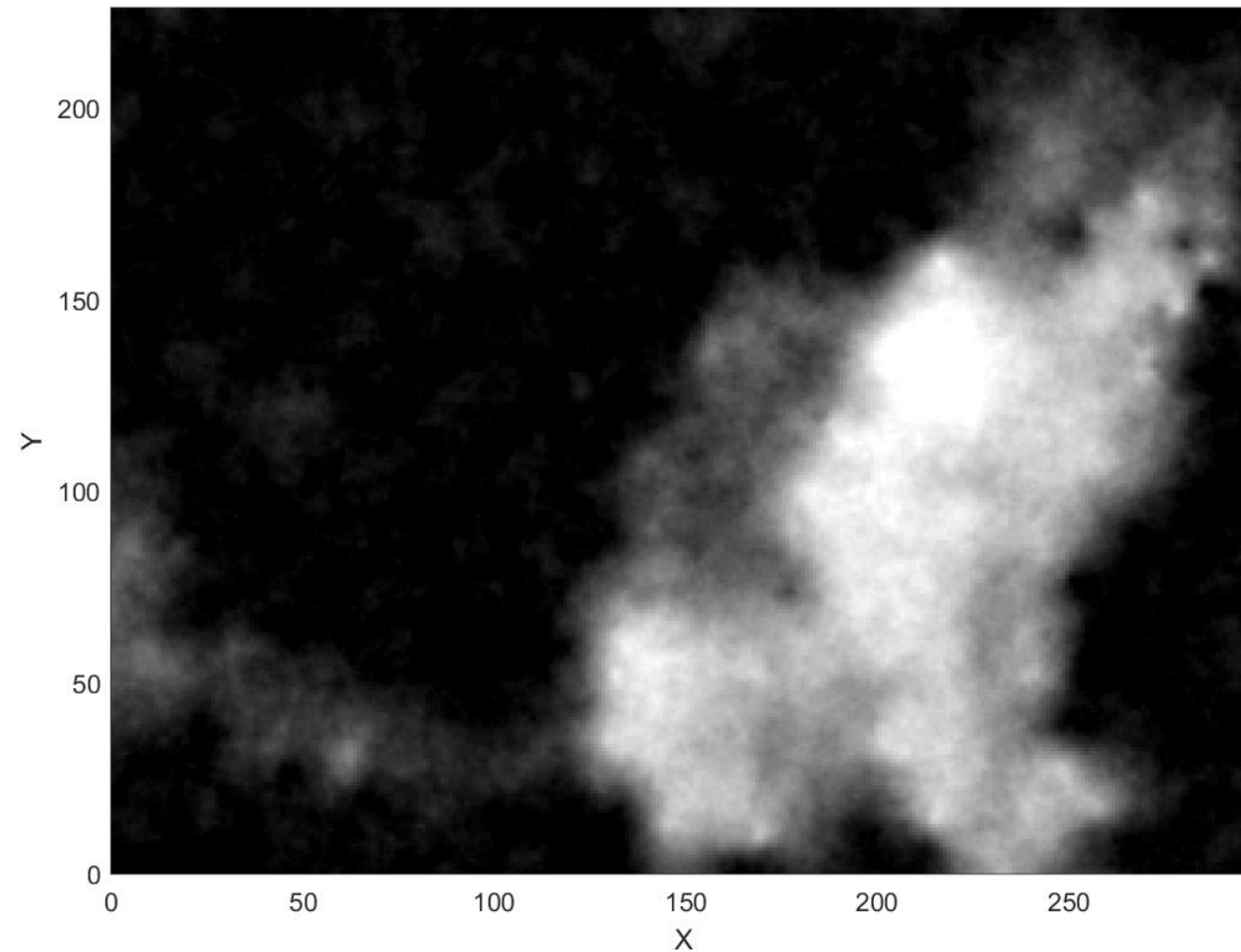
Analyse par maille et incertitude sur les teneurs
(locale)



Analyse par réalisation et incertitude sur les volumes
(globale)



Simulation séquentielle Gaussienne



alisation 1

alisation 2

alisation 3

alisation 4

alisation 5

alisation 6

alisation 7

alisation 8

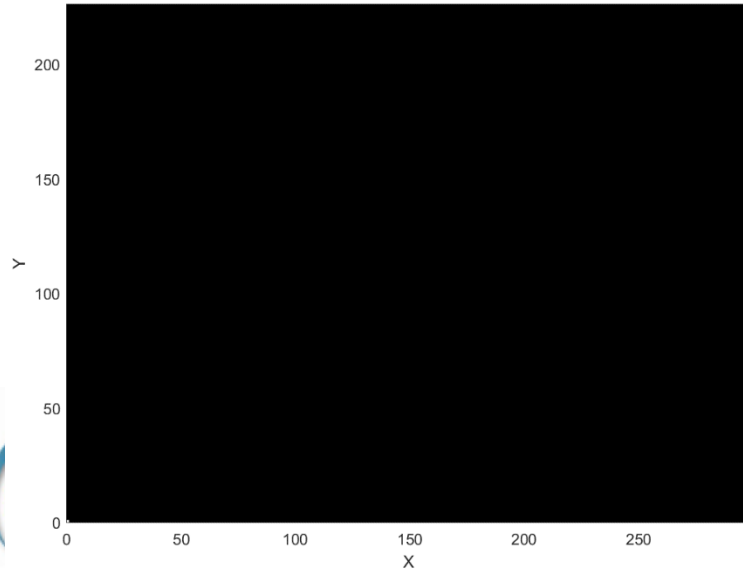
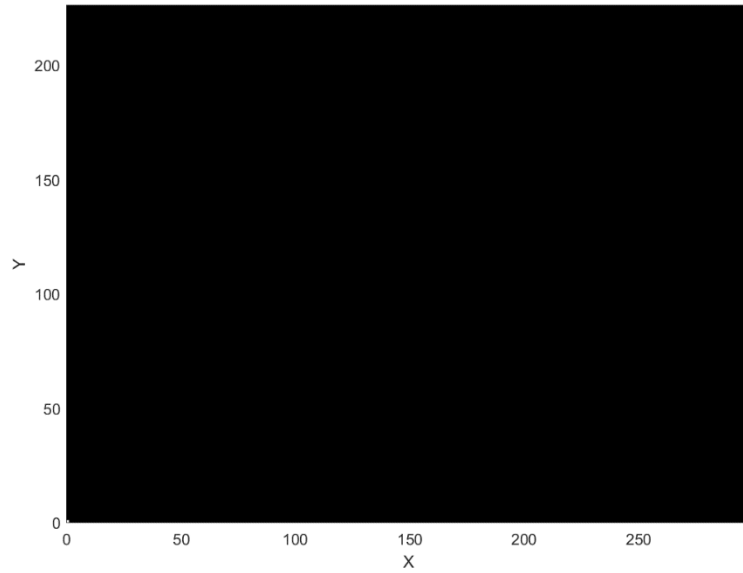
alisation 9

alisation 10

Moyenne sur 10 réalisations

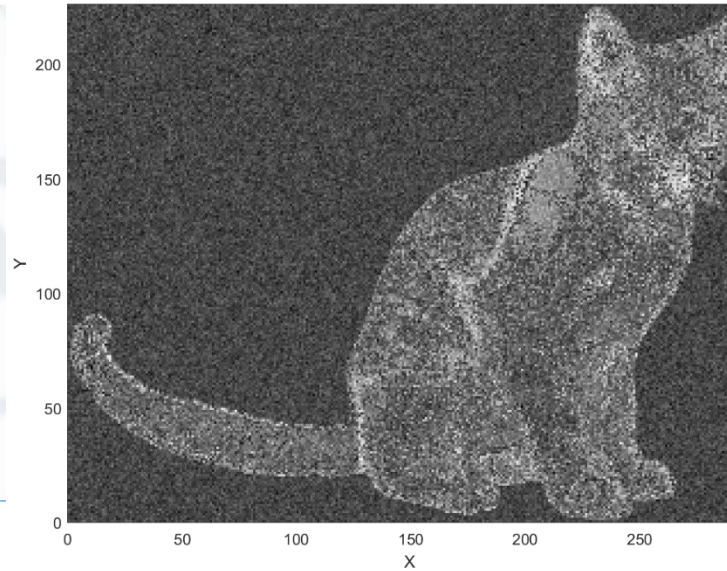
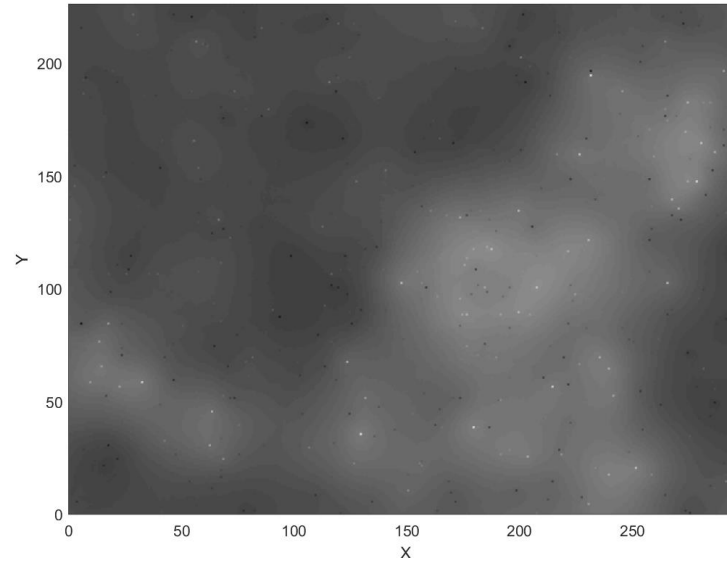
Situation 1

Constante



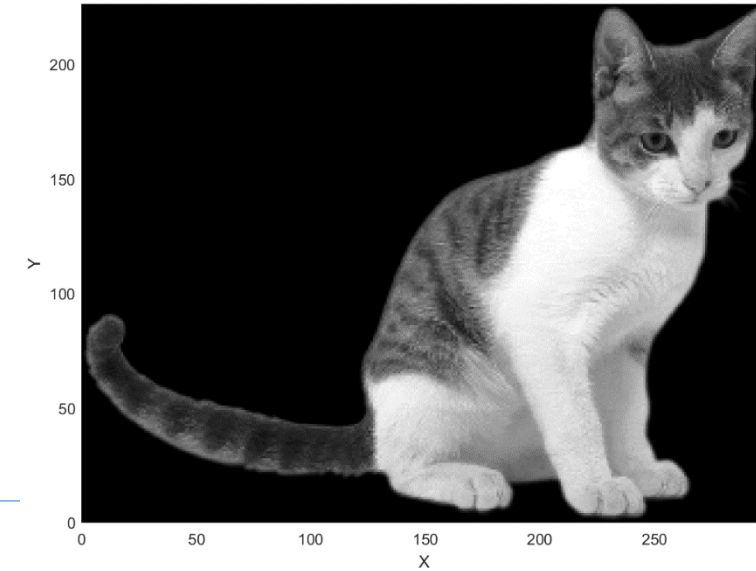
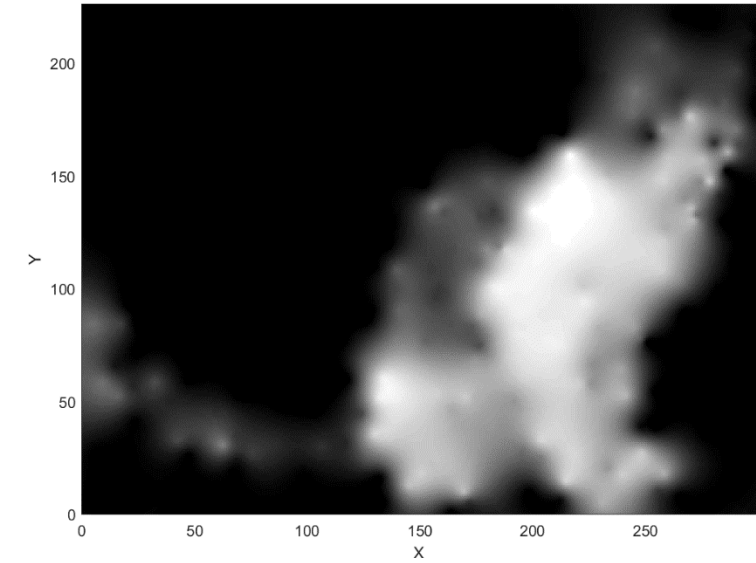
Situation 2

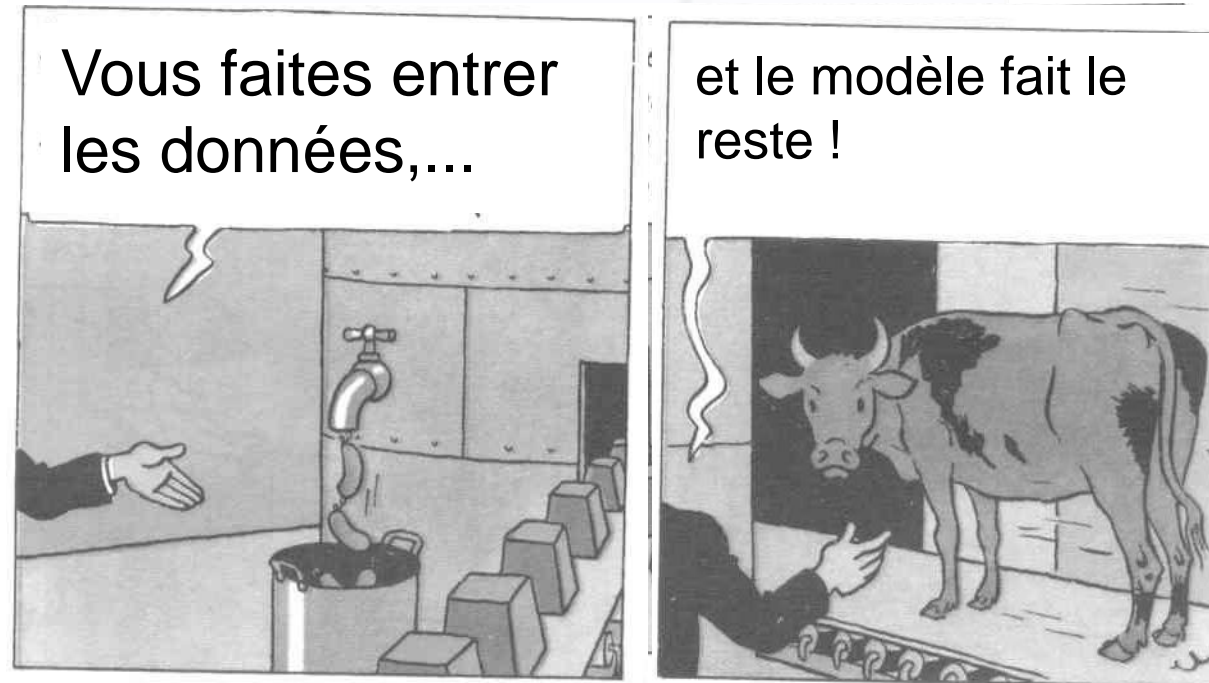
Peu structurée



Situation 3

Bien structurée



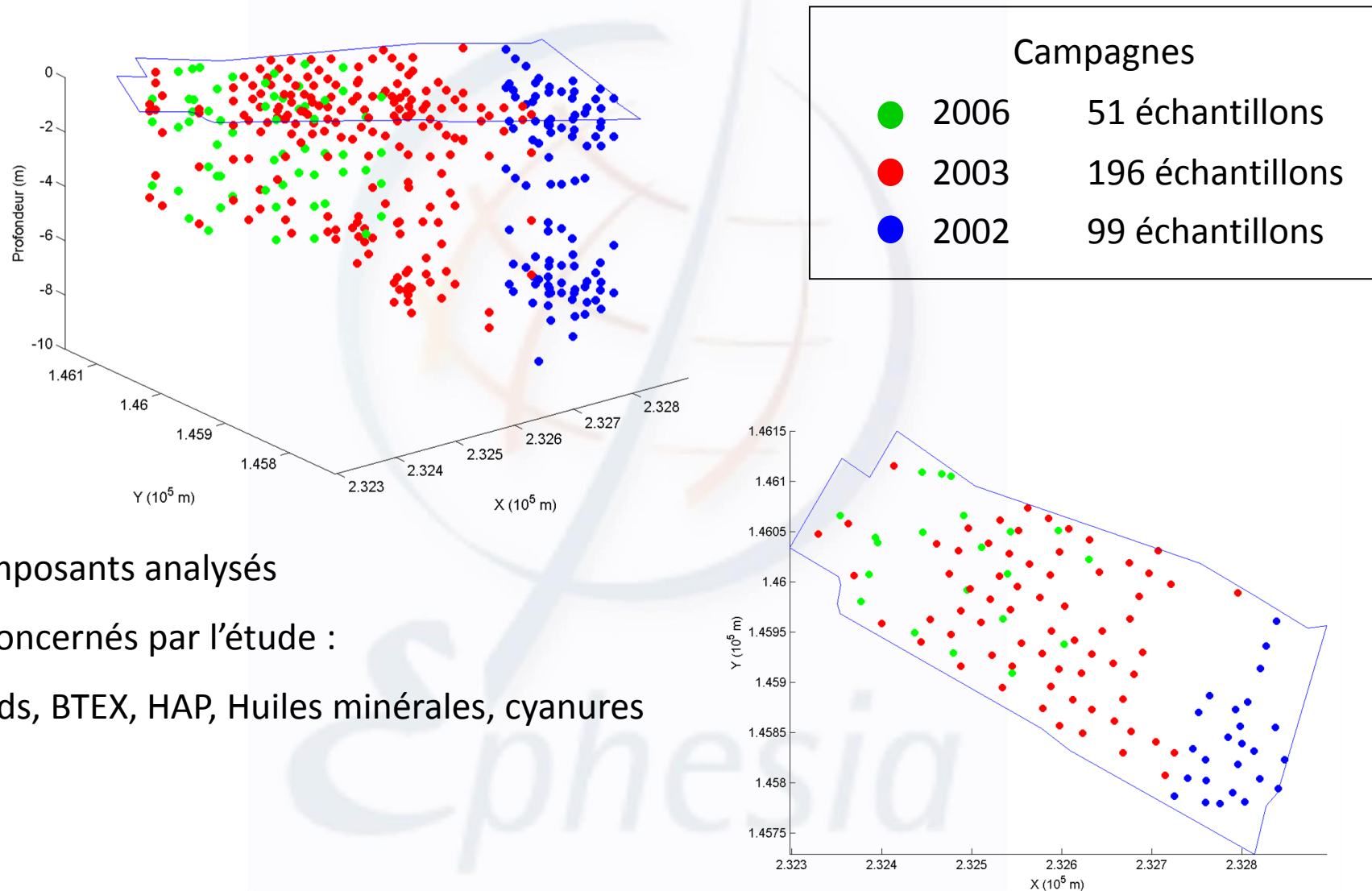


Extrait de Tintin en Amérique - Hergé

Un modèle n'est jamais la réalité...
mais il aide à objectiver la démarche et les interprétations !

5 clés pour la réussite de l'utilisation de la géostatistique

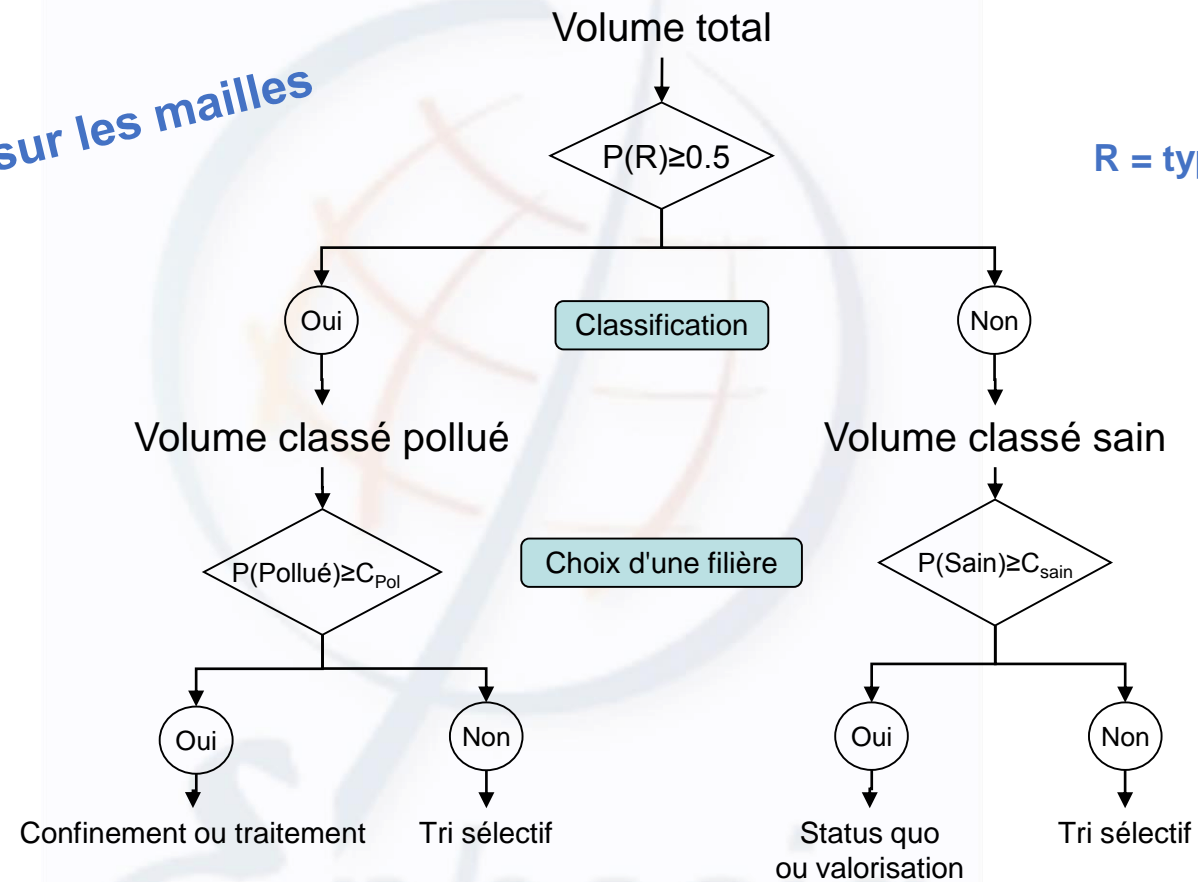
- 1 La **prévoir** dès le début des investigations
- 2 Bien **définir les objectifs** des étapes où la géostatistique sera utilisée
- 3 Prendre le temps de faire une **bonne analyse statistique exploratoire**
- 4 **Prendre conseil** – Attention aux solutions toutes faites
- 5 **Garder son esprit critique** : le modèle n'est pas la réalité



- Plus de 50 composants analysés
- 25 polluants concernés par l'étude :
Métaux lourds, BTEX, HAP, Huiles minérales, cyanures
- Problème 3D

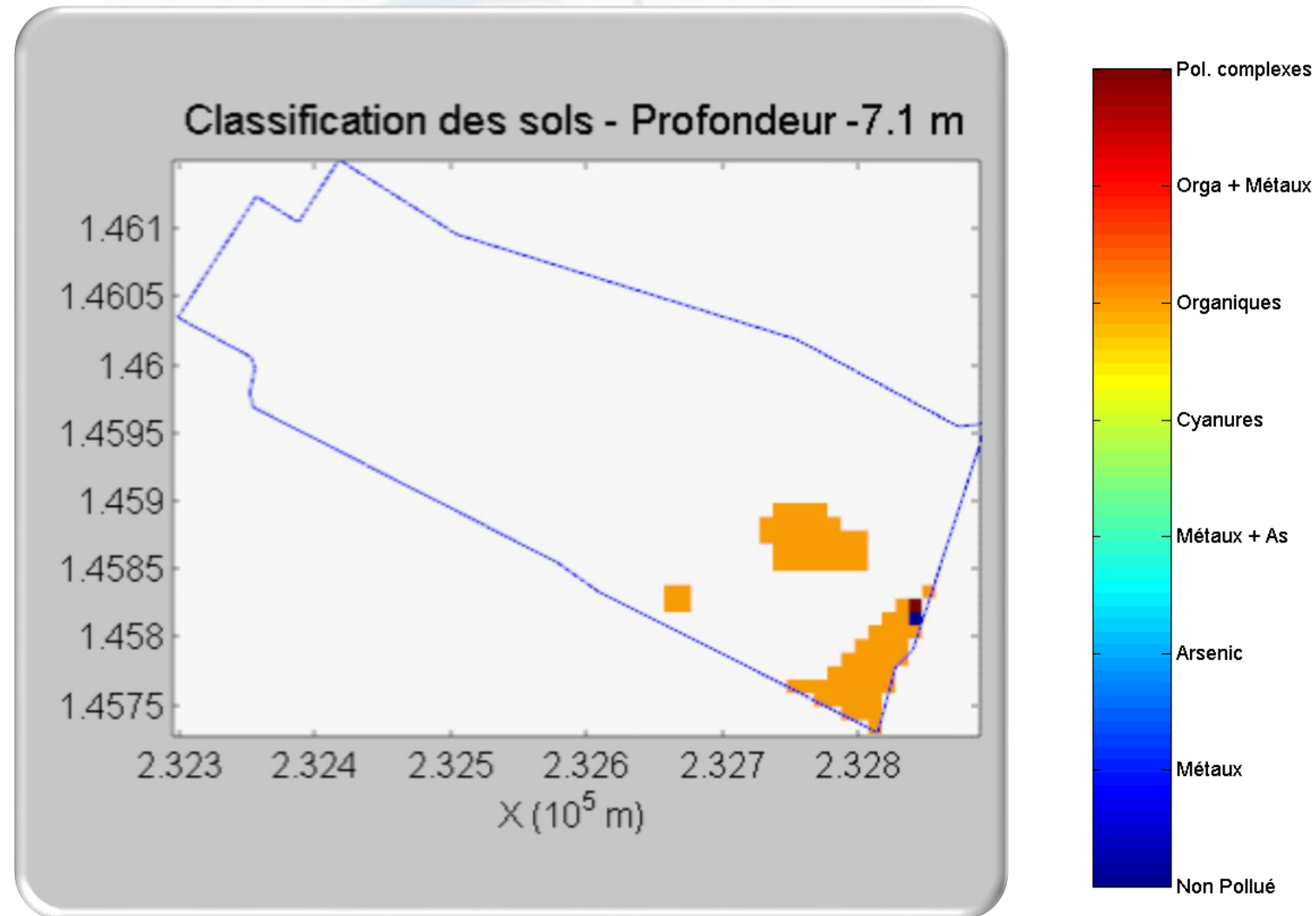
boucle sur les mailles

R = type de pollution

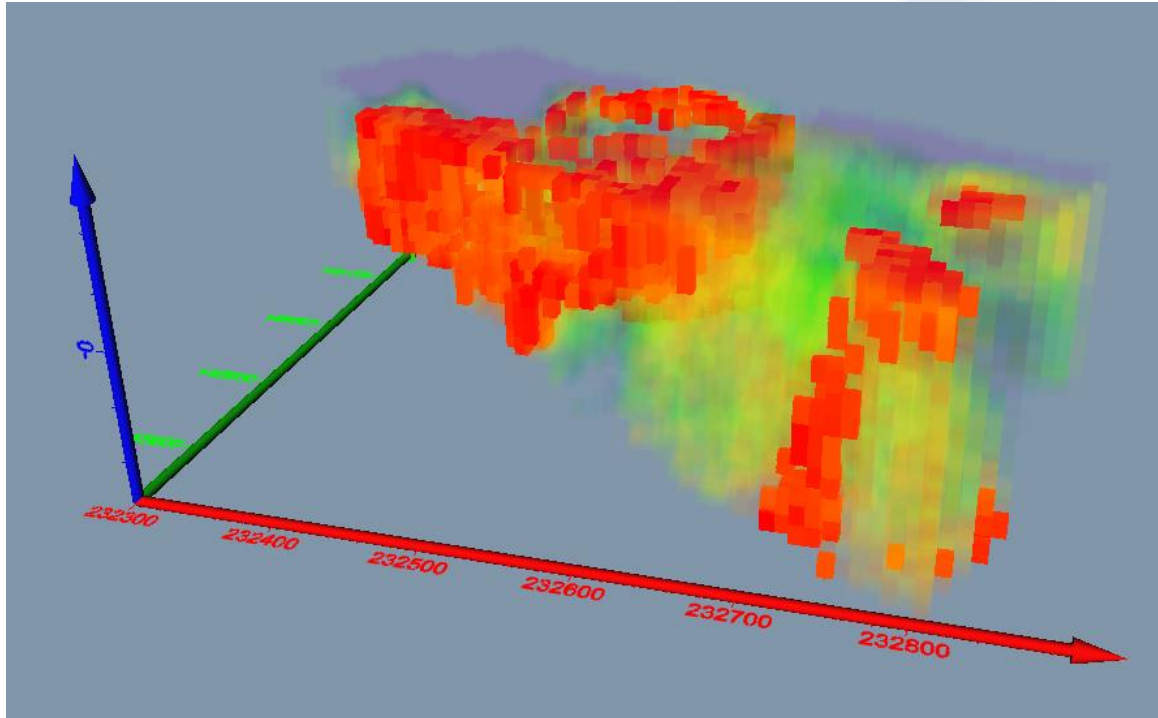


→ Cartes de filières, volumes de sols affectés à chaque filière

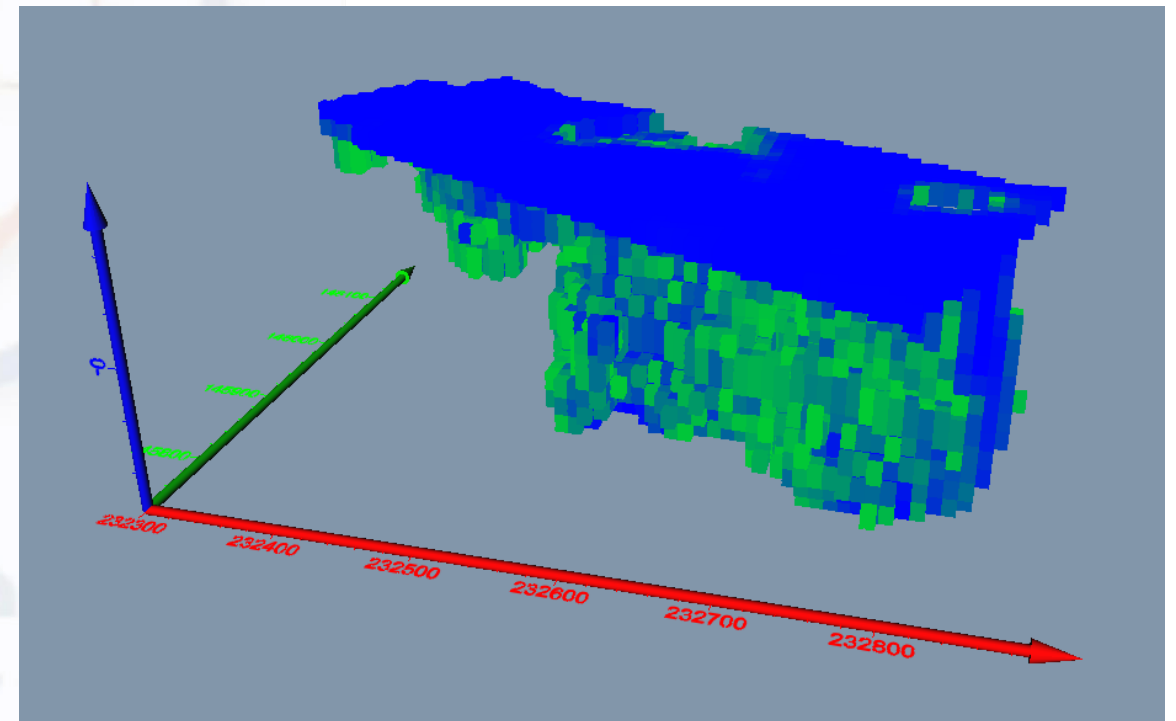
- Classification des sols en 8 classes par rapport aux objectifs d'assainissement



Zones où le risque d'erreur est supérieur à 40%



Zones où le risque d'erreur est inférieur à 10%



- Volumes et tonnages estimés par rapport aux objectifs d'assainissement (OA)

Volumes

Statistique	Non pollué	Pollué	Métaux	Arsenic	Métaux + As	Cyanures	Organiques	Organiques + Métaux	Pollutions complexes
Q0.025	139128	399947	7276	3008	24878	9839	262266	26506	15485
MU	172321	440733	12628	5506	38193	19968	306139	34730	23569
Q0.975	213107	473927	20726	8470	51599	37640	341405	48640	36153

Tonnages

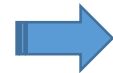
Statistique	Non pollué	Pollué	Métaux	Arsenic	Métaux + As	Cyanures	Organiques	Organiques + Métaux	Pollutions complexes
Q0.025	215648	619917	11279	4663	38560	15250	406512	41085	24002
MU	267098	683136	19573	8535	59198	30950	474516	53832	36531
Q0.975	330316	734586	32125	13128	79978	58342	529178	75392	56037



683 136 t de sols seraient pollués

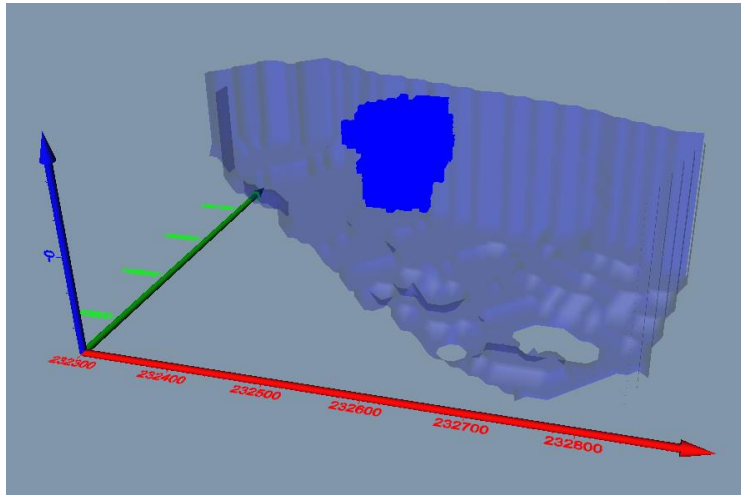


474 516 t de sols sont pollués aux organiques seuls et pourraient donc être remblayés en profondeur après traitement thermique

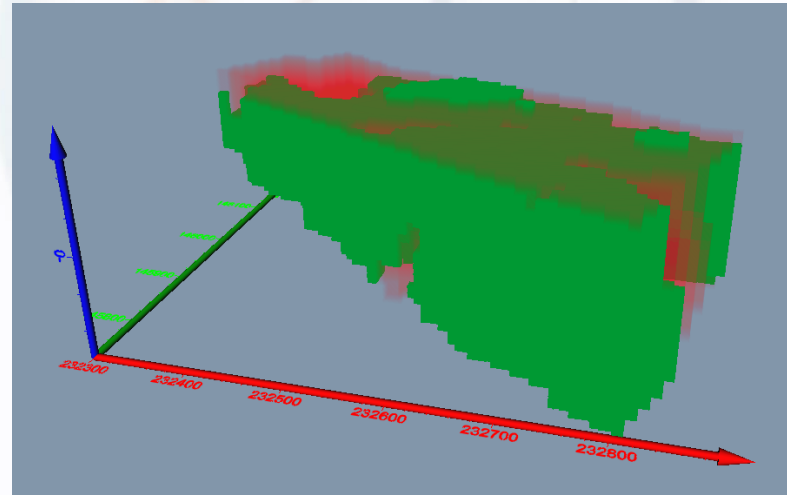


53 832 + 36 531 t resteront polluées aux métaux après traitement thermique

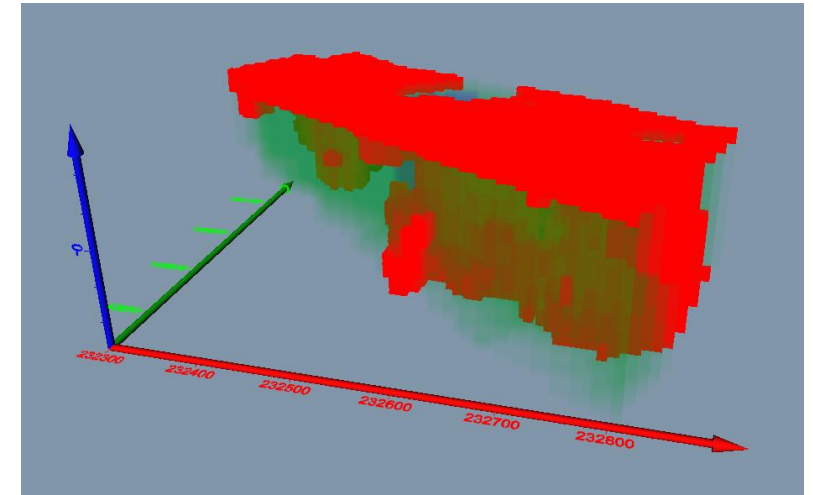
Zone très probablement non polluée



Zone incertaine

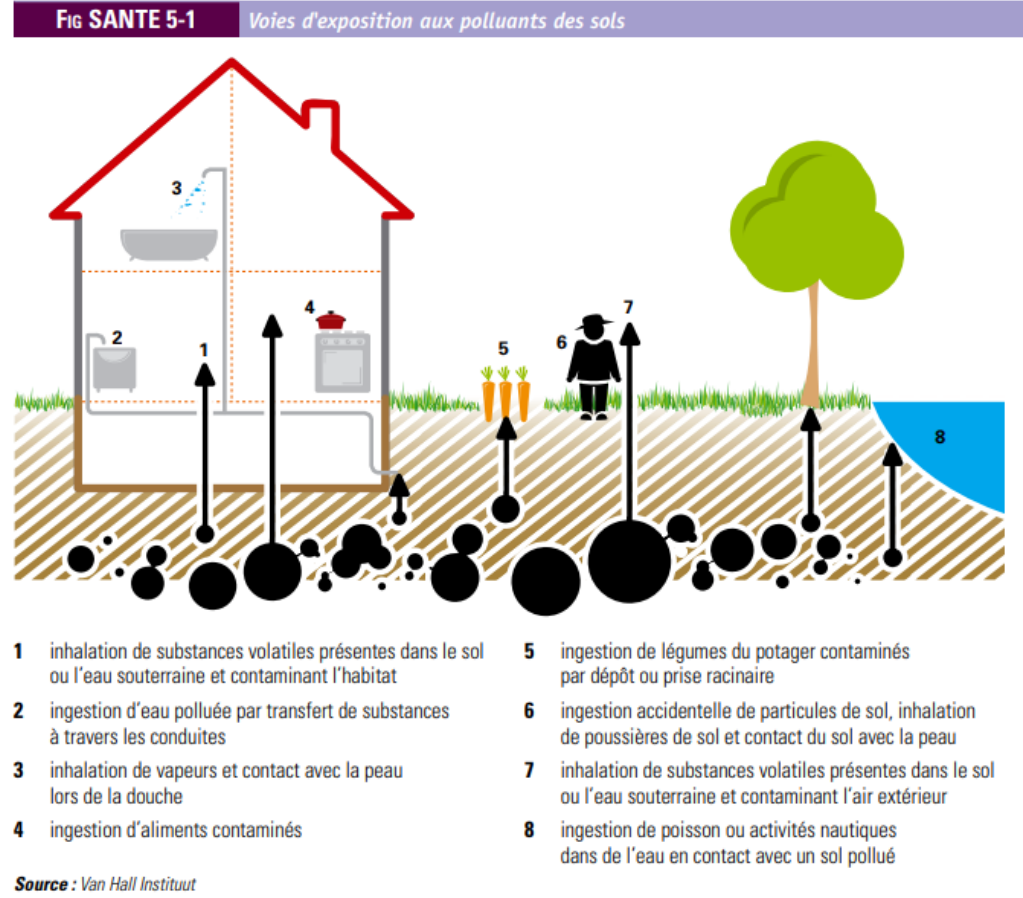


Zone très probablement polluée



L'avenir ? Spatialiser les études de risques

Situation actuelle



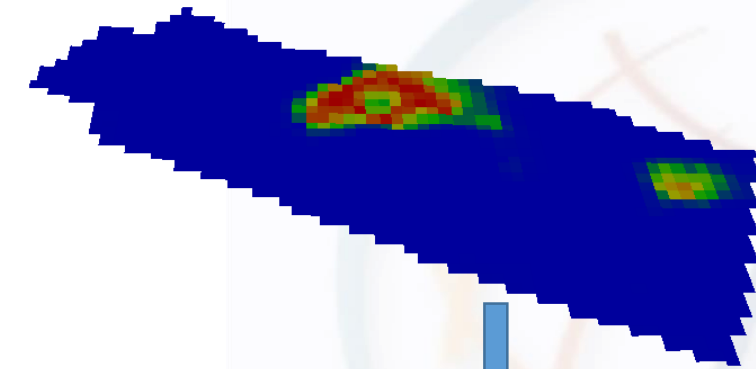
MAES, E. 2006. *Liens environnement-santé*. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. CEEW. Namur. 110p.

Situation actuelle



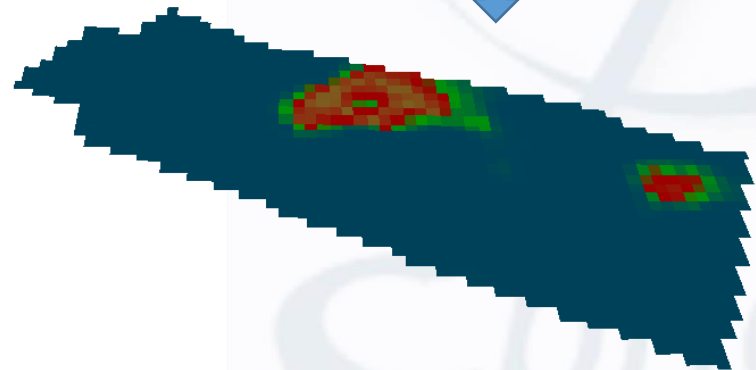
Aucune spatialisation des risques ni quantification des incertitudes

Solution imaginable : **Spatialisation des risques**



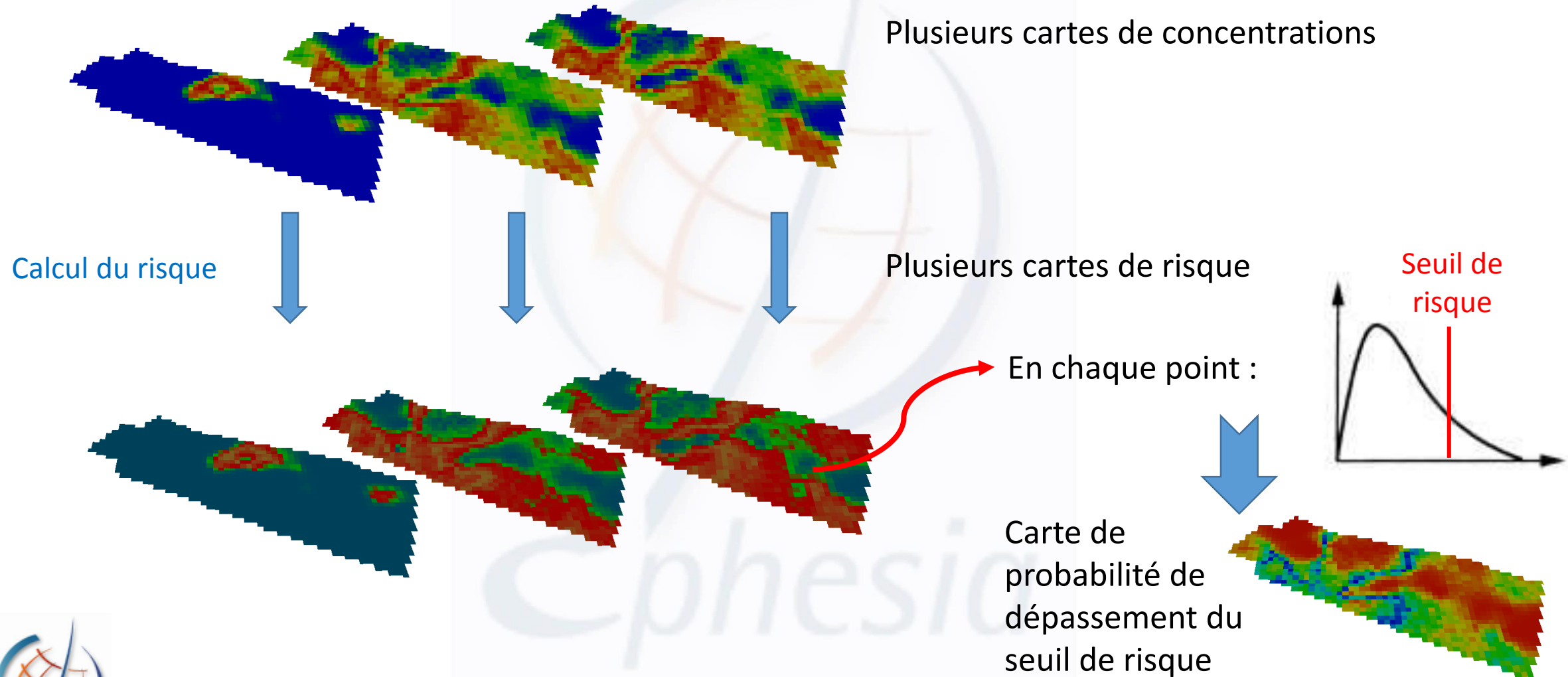
1 carte de concentrations

Calcul du risque

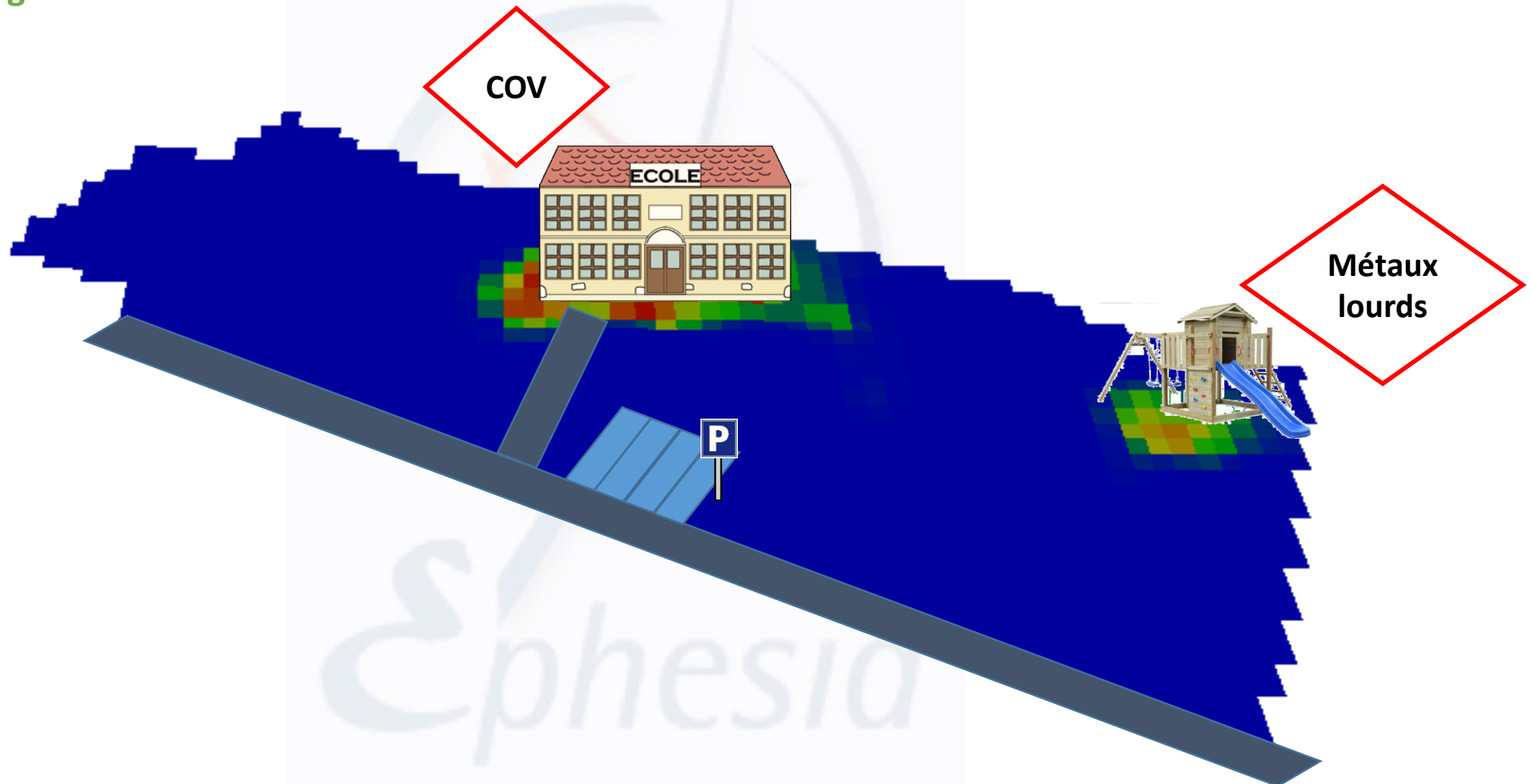


1 carte de risque

Solution imaginable : Spatialisation des risques + quantification des incertitudes !



Solution imaginable



Conclusions

Investir (un peu) dans la géostatistique durant les phases de caractérisation permet de :

- 1 Valoriser toutes les données disponibles
- 2 Visualiser les zones critiques et les zones incertaines
- 3 Optimiser l'échantillonnage
- 4 Mettre à jour le modèle en temps réel avec de nouvelles données
- 5 Quantifier les incertitudes
- 6 Réduire le risque de surcoûts importants en dépollution

Gestion des sols pollués

Certificat d'université en gestion des sols pollués

Prochaine session: début en novembre 2018

Contexte

Forte de son expertise dans la gestion des sols, la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech organise une formation complète reprenant de nombreux aspects relatifs à la gestion des sols, comprenant notamment la caractérisation d'un sol, la description des polluants et leur détection, les techniques d'assainissement, les aspects législatifs,...

La division du certificat en plusieurs modules permet aux participants d'approfondir leurs connaissances dans l'un ou l'autre domaine, en fonction de leurs intérêts.

A qui s'adresse la formation?

Cette formation est destinée aux personnes susceptibles d'intégrer la problématique de la gestion des sols pollués dans le cadre de leur profession (bureaux d'études, développeurs, administrations publiques, conseillers en environnement, entreprises, etc....) ou aux personnes qui souhaitent réorienter leur carrière dans le domaine de la gestion des sols pollués.

Lieu de la formation

**Université de Liège (ULg),
Gembloux Agro-Bio Tech**
Passage des Déportés 2
5030 Gembloux

Prix de la formation

700€ TTC par module ou 4000€ TTC pour la formation complète.
Les frais d'inscription comprennent les supports de formation.

Possibilité de tarif réduit (demandeur d'emploi): n'hésitez pas à nous contacter

Inscription

Veuillez nous renvoyer le formulaire d'inscription à l'adresse:
formationcontinue.gembloux@uliege.be

Date limite: 15 octobre 2018

Attention, le nombre de places est limité à 40 personnes maximum et est de 10 minimum.

Merci pour votre attention !

Pour toute information complémentaire :

dimitri.dor@ephesia-consult.com

www.ephesia-consult.com



<https://www.linkedin.com/company/ephesia-consult/>