



# FORUM 2018

## GÉOENVIRONNEMENT

Tendances · Problématiques · Solutions

Gestion de l'incertitude dans les caractérisations environnementales



ASSOCIATION  
DES FIRMES DE  
GÉNIE-CONSEIL  
QUÉBEC

## Membres du sous-comité

- Eric Chartier, géo., M.Sc.Env.,  
Ville de Montréal
- Erwan Gloaguen, Pr. titulaire,  
INRS-ETE
- Anne Loiseau, ing. chimiste,  
Hydro-Québec
- François Morin, géo.,  
Terrapex Environnement Itée
- Robert Morin, géo., M.Sc.A.  
SNC-Lavalin, représentant  
du comité
- Julien Rachou, chimiste,  
M.Sc., Maxxam Analytique
- Serge Rainville, ing., M.Ing.,  
MDDELCC

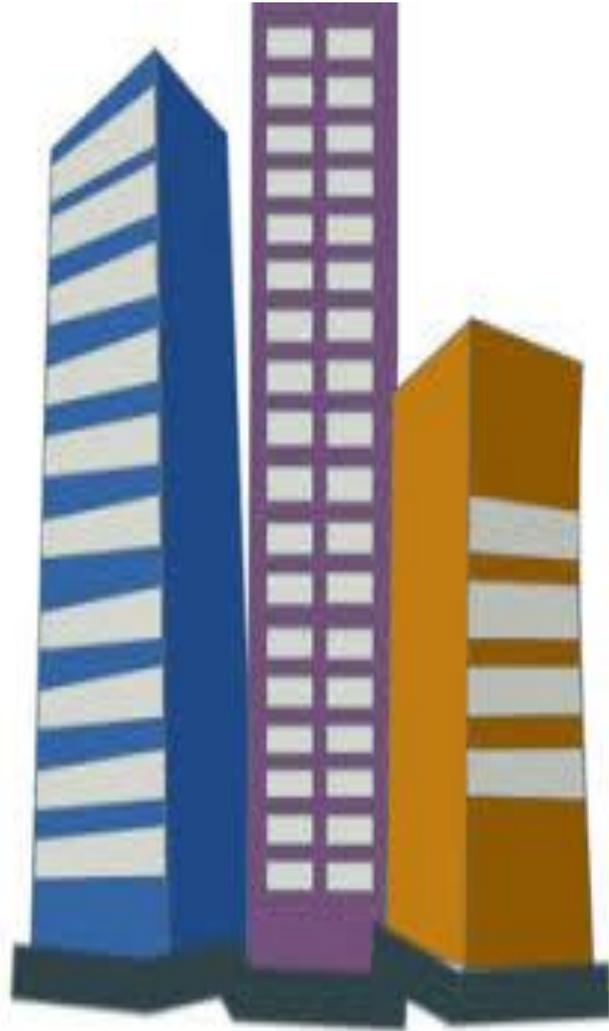
# Incertitude



## EXEMPLE 1 : Un terrain industriel



## Un projet



## Caractérisation et réhabilitation



# Vente du terrain

LC

\$\$\$

\$



A VENDRE  
www.casarese.com  
TERRAIN  
A BÂTIR



# Pendant la construction

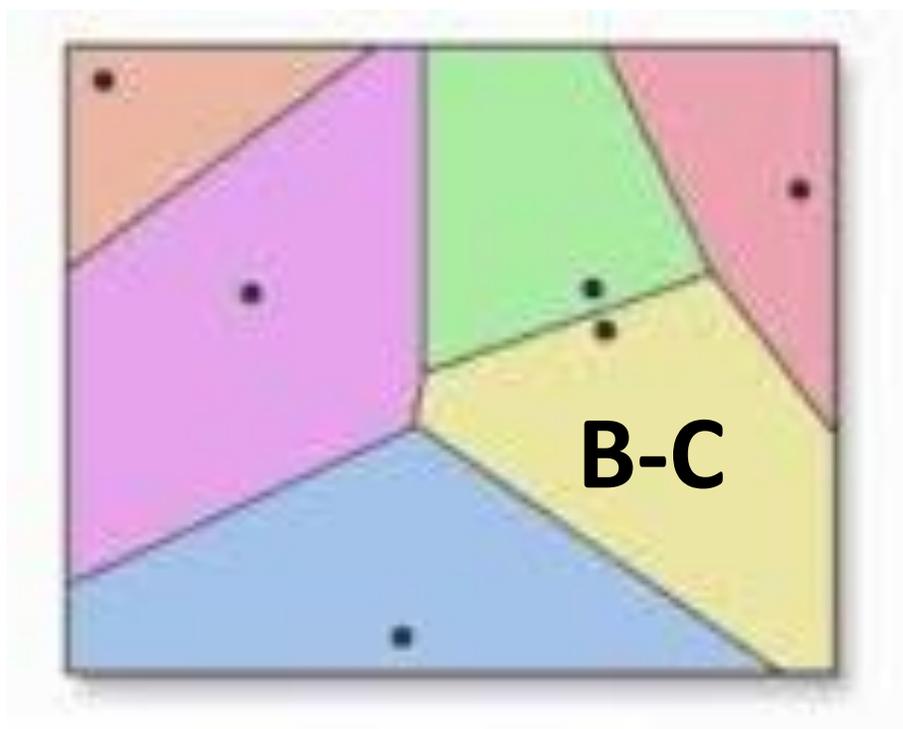


Oh ! Quelle surprise !

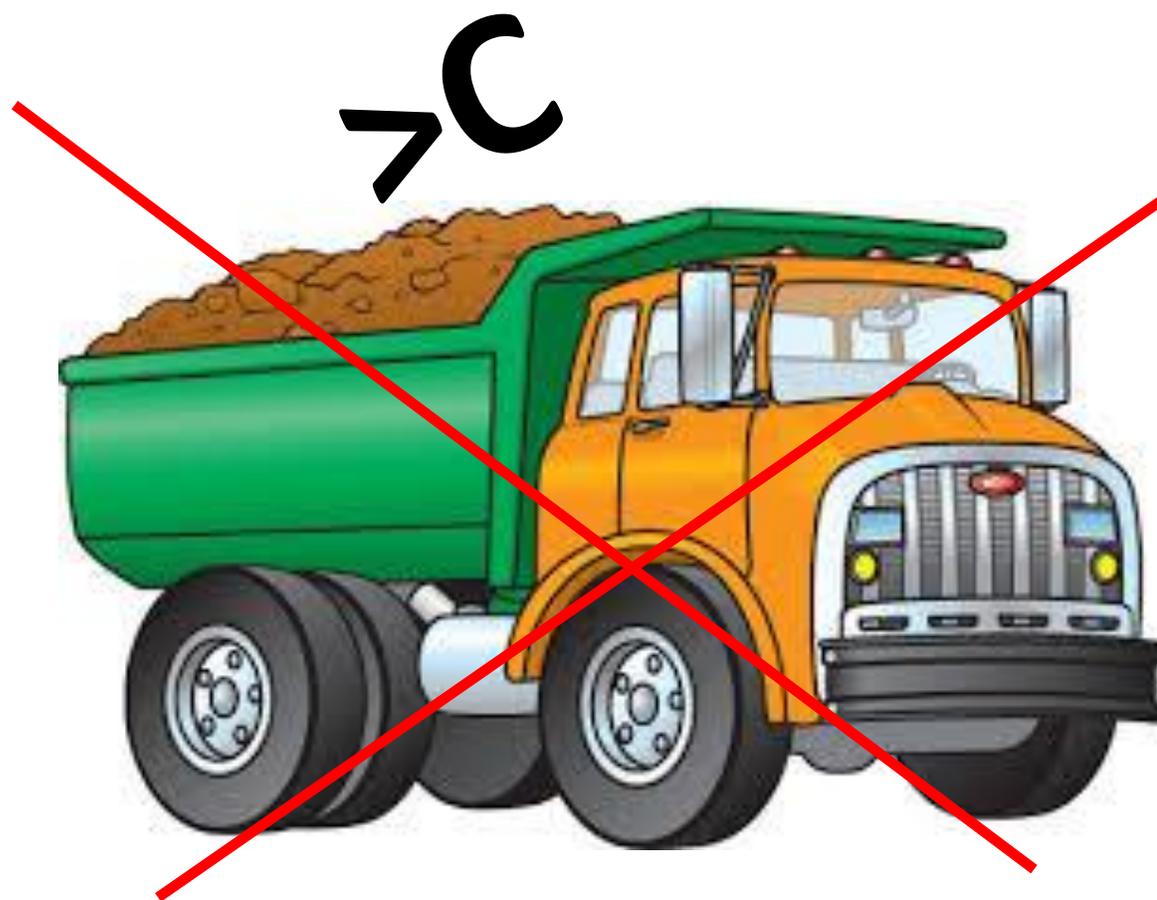
7C



## EXEMPLE 2 : Réhabilitation d'un terrain contaminé



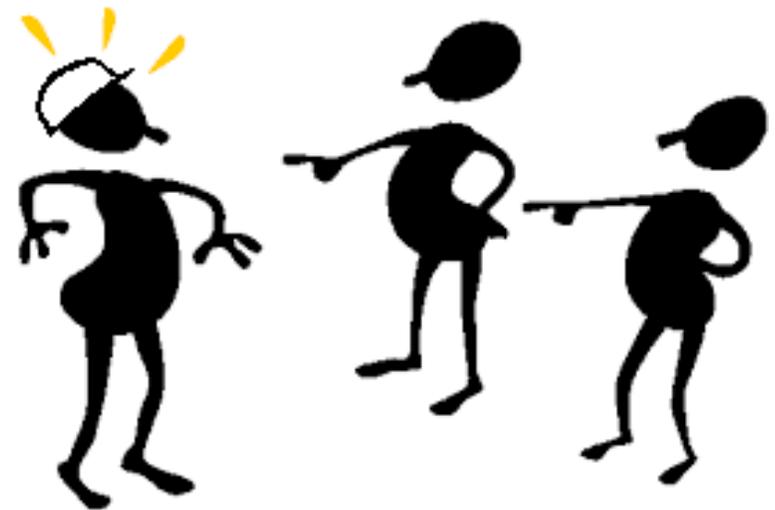
## Caractérisation par le site récepteur



## Autre exemple de décision erronée liée à une incertitude sur les résultats

- Excaver et éliminer des sols qui pourraient normalement rester en place

## Des impacts importants



## Plan de la présentation

- Les causes de l'incertitude
- Gestion de l'incertitude - Pistes de solutions
  - Modèle conceptuel
  - Caractérisation avec méthodes de dépistage
  - Géostatistique
  - Échantillonnage incrémentiel
- Conclusions

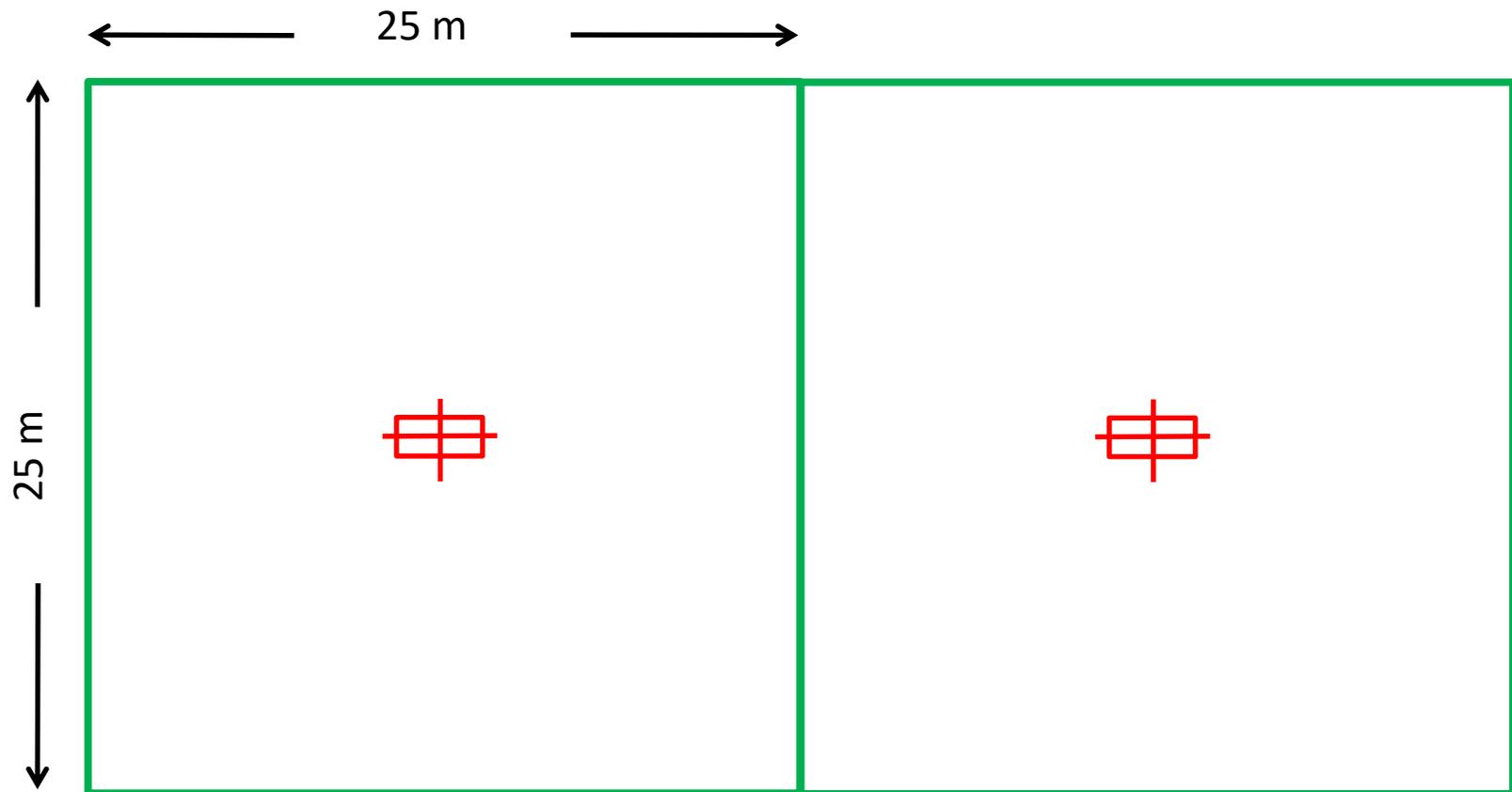
## Plan de la présentation

- **Les causes de l'incertitude**
- Gestion de l'incertitude - Pistes de solutions
  - Modèle conceptuel
  - Caractérisation avec méthodes de dépistage
  - Géostatistique
  - Échantillonnage incrémentiel
- Conclusions

## Les causes de l'incertitude

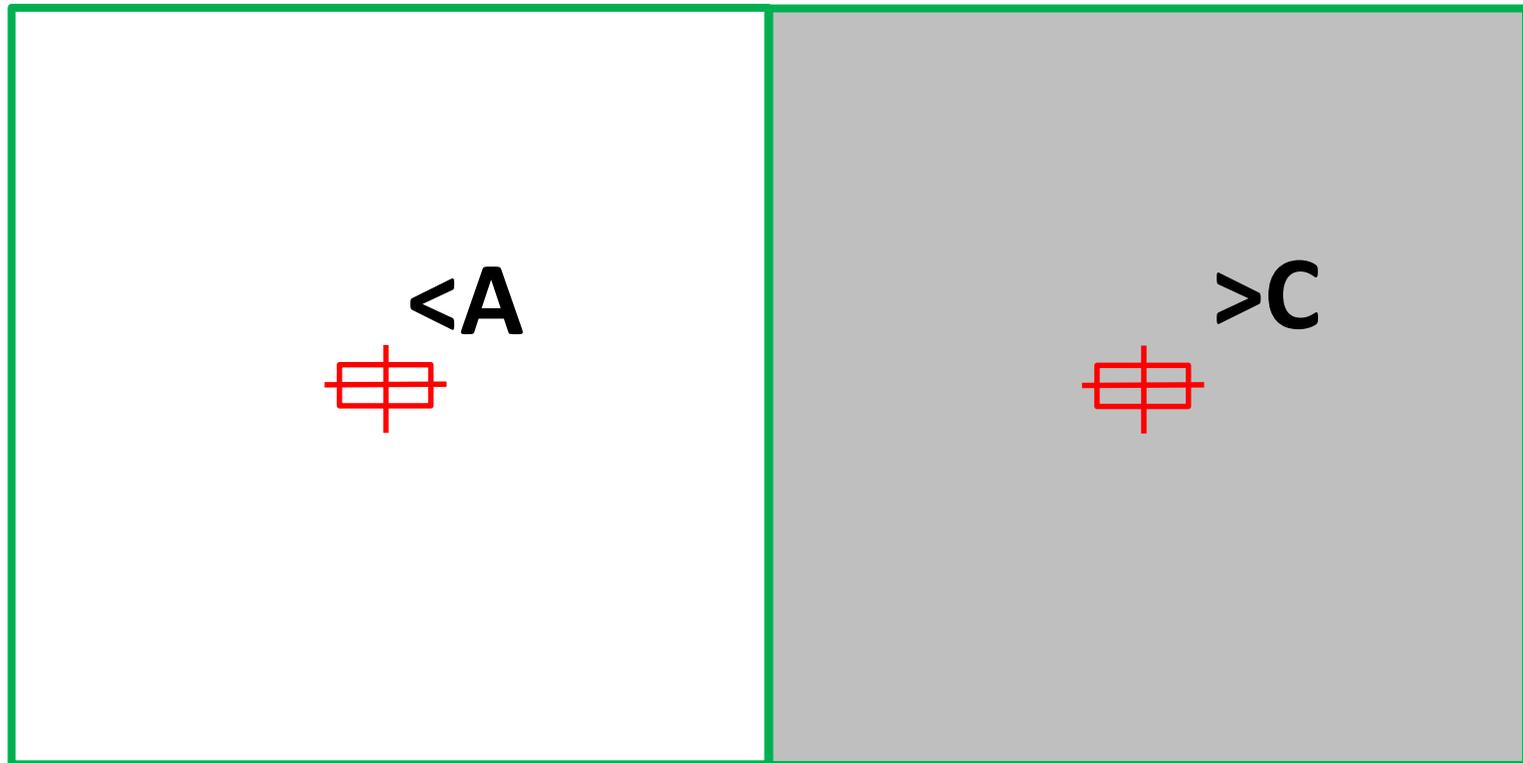
- Hétérogénéité :
  - de la nature et des propriétés des sols
  - de la distribution des contaminants
- Plan des sondages
- Méthodes d'échantillonnage
- Méthodes d'analyses

## Les causes de l'incertitude Hétérogénéité – Plan des sondages



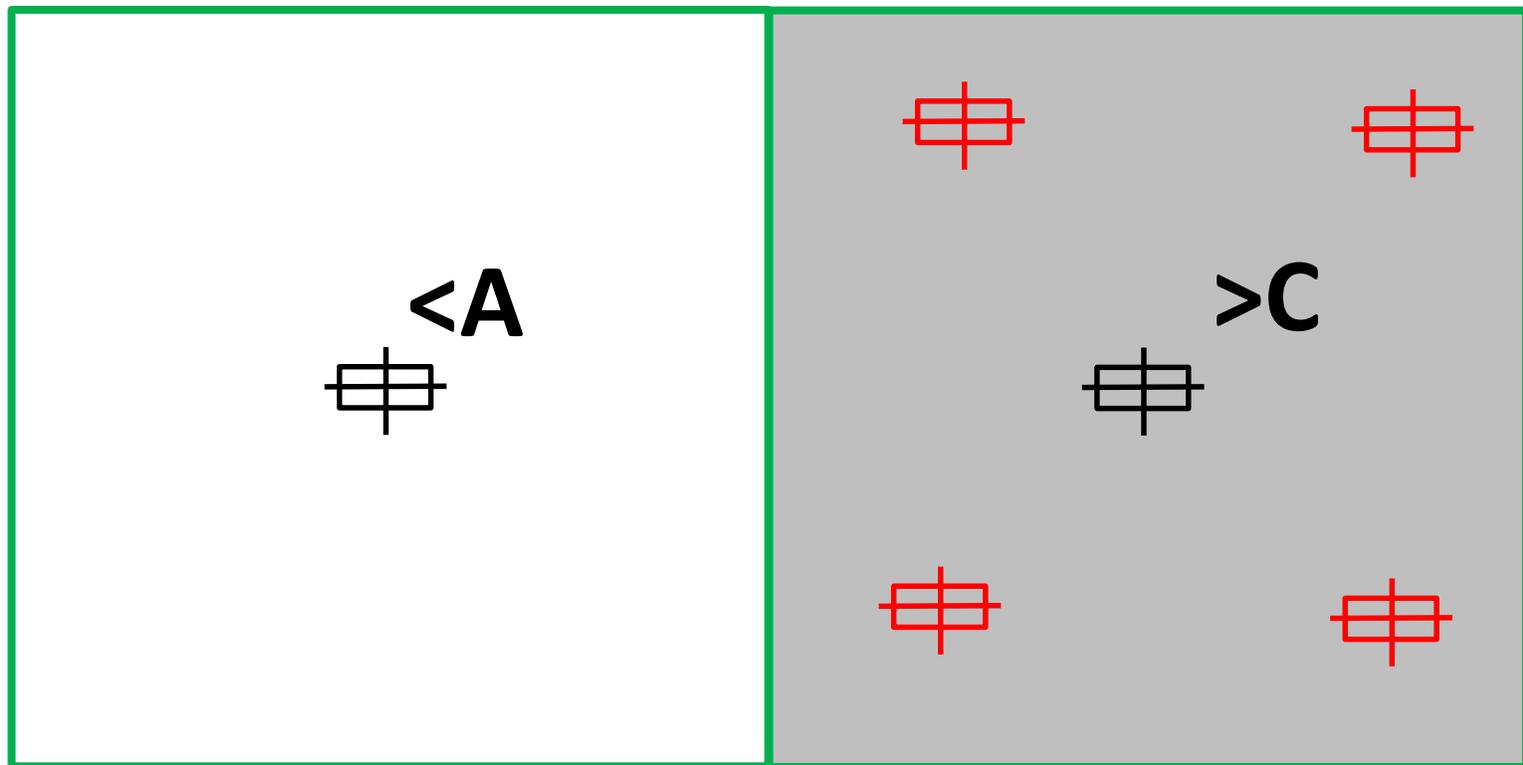
# Les causes de l'incertitude

## Hétérogénéité – Plan des sondages

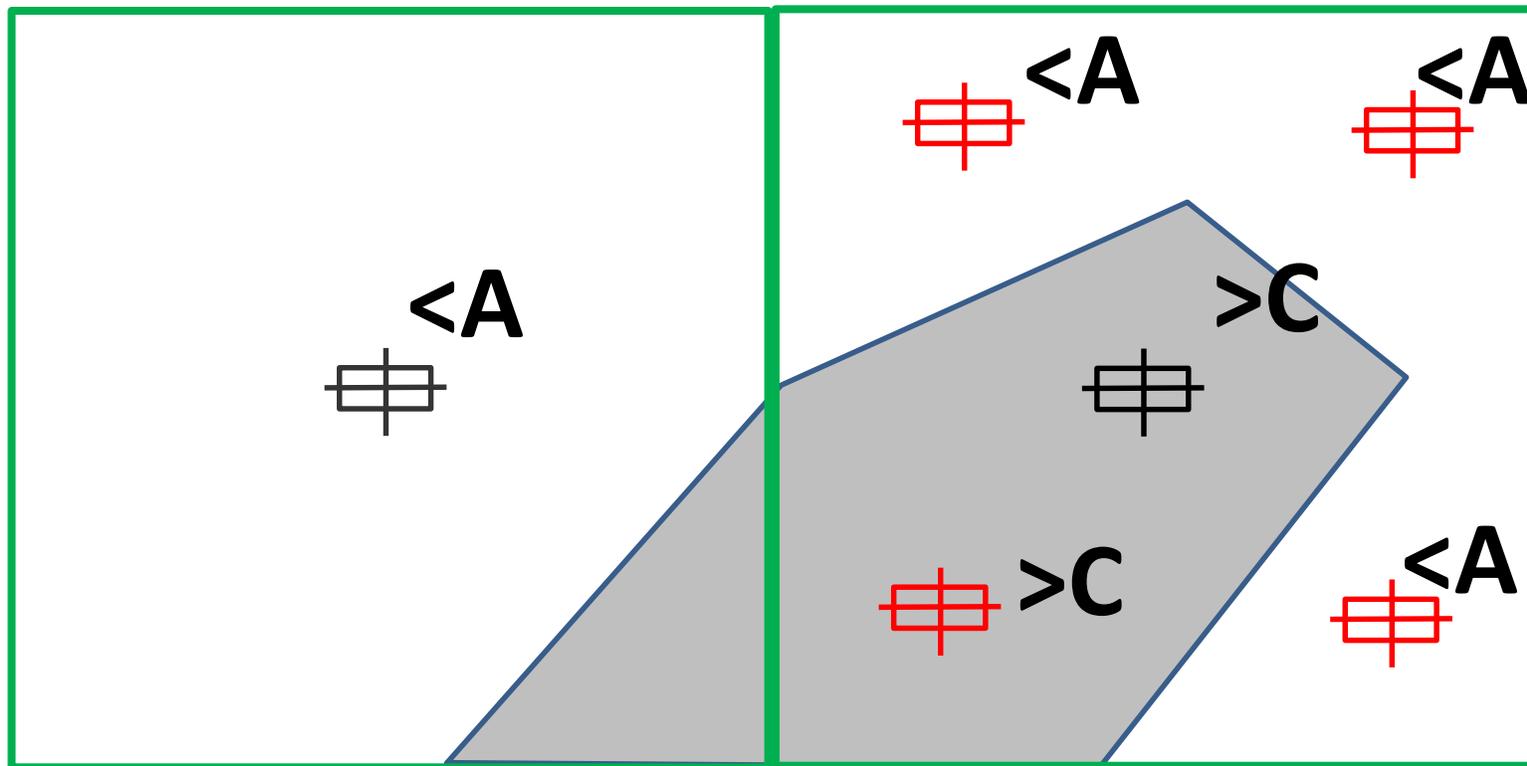


# Les causes de l'incertitude

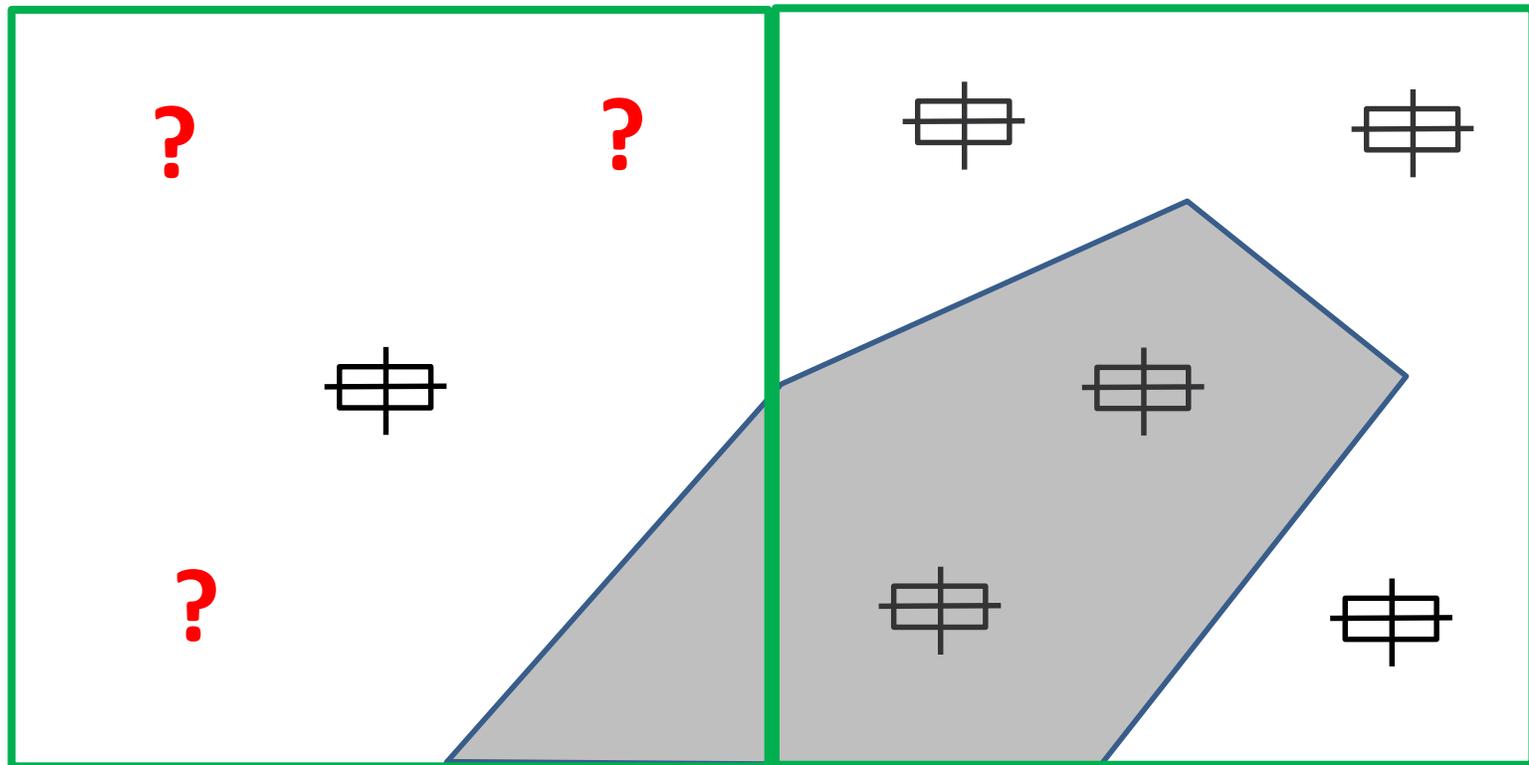
## Hétérogénéité – Plan des sondages



## Les causes de l'incertitude Hétérogénéité – Plan des sondages

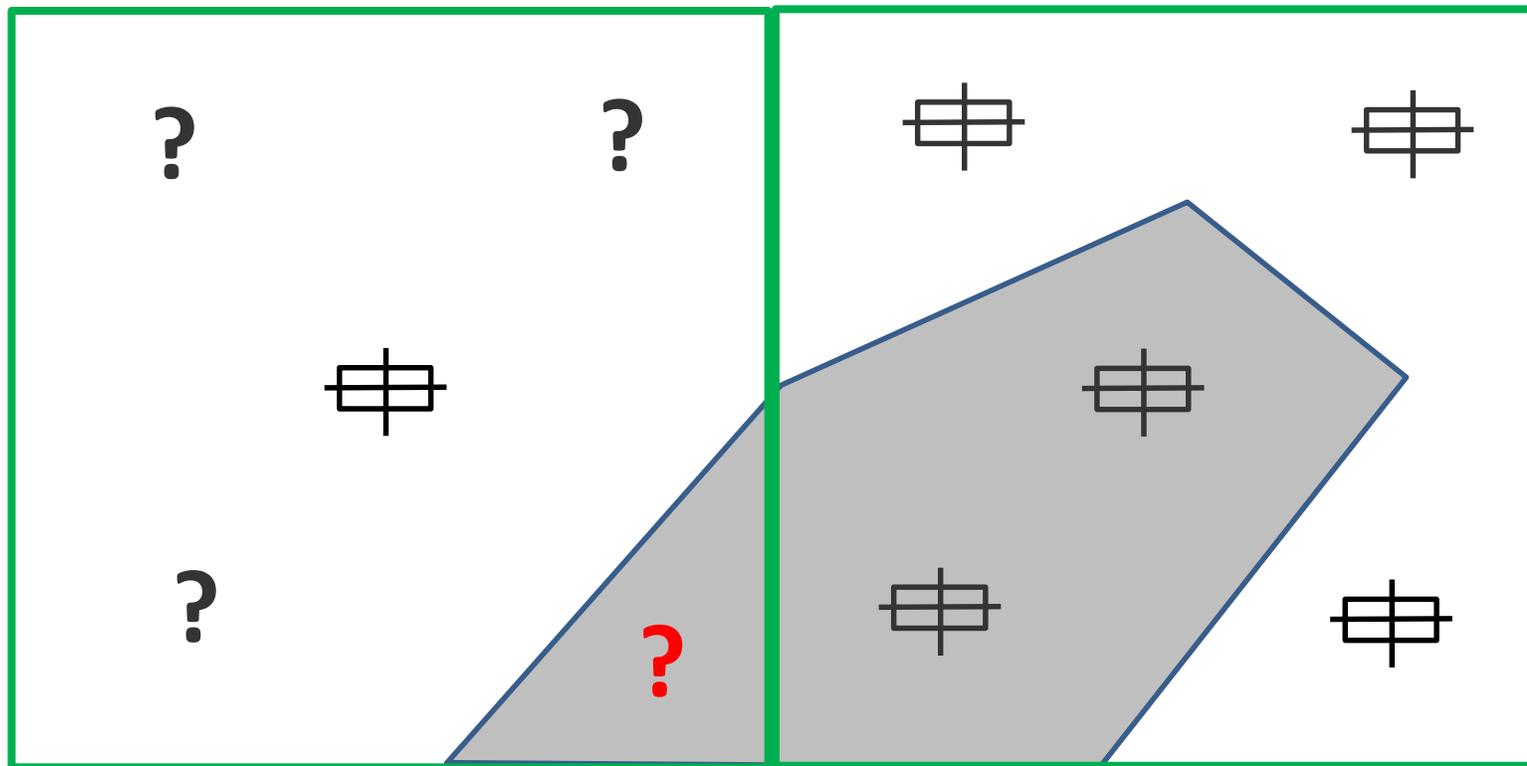


## Les causes de l'incertitude Hétérogénéité – Plan des sondages



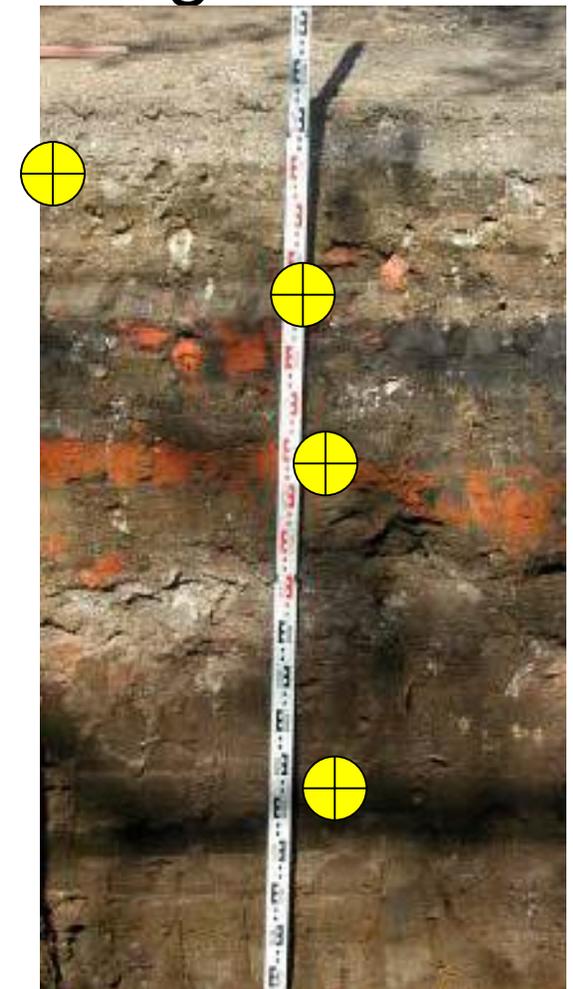
## Les causes de l'incertitude

### Hétérogénéité – Plan des sondages



# Les causes de l'incertitude

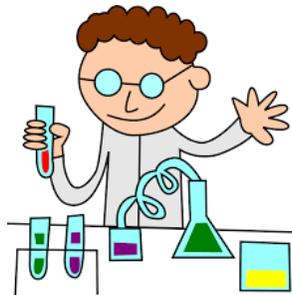
## Hétérogénéité – Méthodes d'échantillonnage



Les causes de l'incertitude  
Hétérogénéité – Essais en laboratoire

**ÉCONO-LABO**

Pour des  
résultats  
supérieurs !



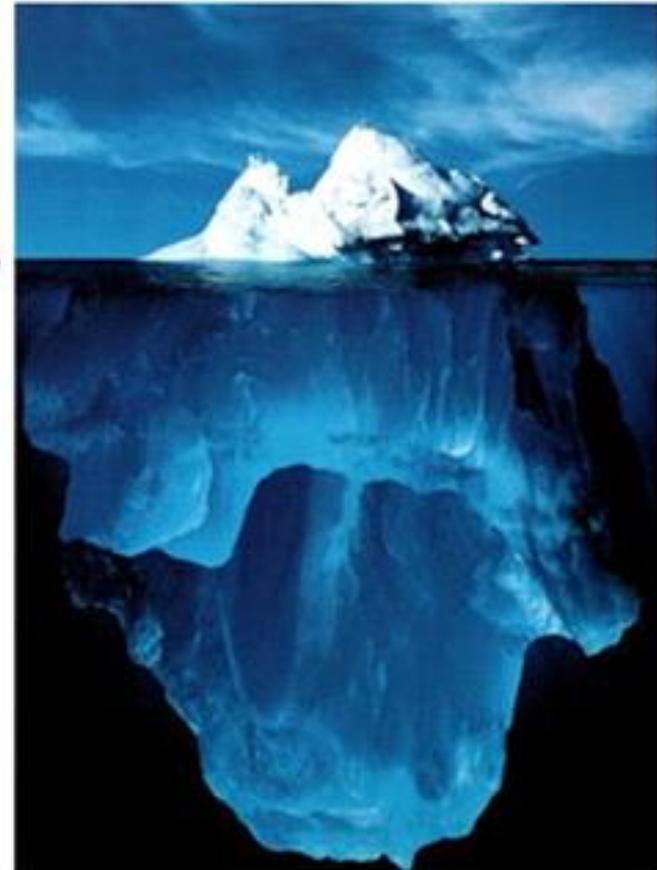
**LABO-RAPIDO**

Pour des  
résultats  
incomparables !

## Les causes de l'incertitude

### Importance relative

- Analyse
  - Préparation de l'échantillon
- 
- Échantillonnage au chantier
  - Hétérogénéité de la nature et des propriétés des sols



## Plan de la présentation

- Les causes de l'incertitude
- **Gestion de l'incertitude - Pistes de solutions**
  - **Modèle conceptuel**
  - Caractérisation avec méthodes de dépistage
  - Géostatistique
  - Échantillonnage incrémentiel
- Conclusions

## Modèle conceptuel

Définition :

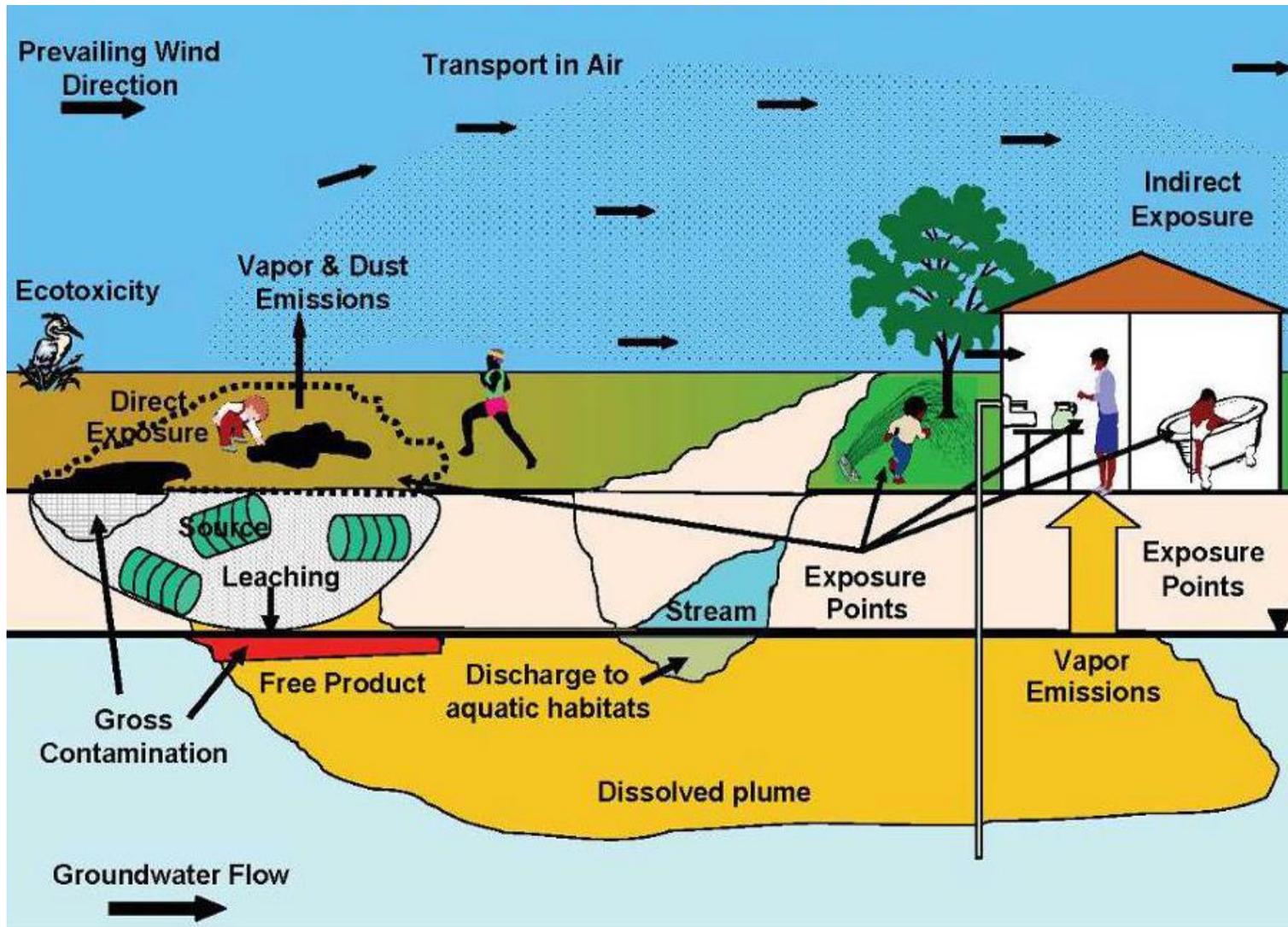
« *Le modèle conceptuel de site (MCS) est une **représentation visuelle** et une **description écrite** des liens entre les processus physiques, chimiques et biologiques du site et les récepteurs humains et environnementaux* ».

## Modèle conceptuel

Aide à réduire l'incertitude puisqu'il requiert la connaissance :

- des matrices (ex. : sol, eau souterraine, atmosphère, organismes vivants)
- des contaminants (ex. : résidus de plomb, produits pétroliers, biogaz, etc.)
- des sources de ces contaminants
- de leur localisation
- du temps ou de la chronologie
- des voies de transport des substances

# Modèle conceptuel simple



## Modèle conceptuel

- Le modèle évolue (se raffine) à mesure que les données sont acquises tout le long des étapes (phases I, II et III).
- Le modèle sert à prévoir (hypotheses au début), et à expliquer (interprétation par la suite) l'état du lieu.

**Plus de données cohérentes avec le modèle**



**Réduction de l'incertitude**

## Plan de la présentation

- Les causes de l'incertitude
- **Gestion de l'incertitude - Pistes de solutions**
  - Modèle conceptuel
  - **Caractérisation avec méthodes de dépistage**
  - Géostatistique
  - Échantillonnage incrémentiel
- Conclusions

## Caractérisation avec méthodes de dépistage

- Techniques souvent semi-quantitatives qui permettent de recueillir des données réparties spatialement sur l'ensemble de l'aire ou du volume à caractériser
- L'utilisation de telles techniques peut, dans certains cas, permettre la prise de décisions et le raffinement du modèle conceptuel pendant que l'équipe est présente sur le terrain

# Caractérisation avec méthodes de dépistage

**PID**



# Caractérisation avec méthodes de dépistage

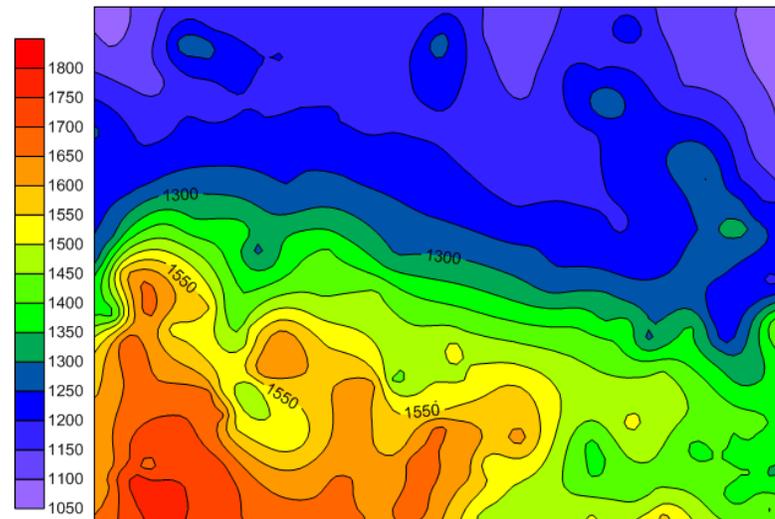


**XRF**

# Caractérisation avec méthodes de dépistage

## Outils complémentaires :

Logiciels



délais d'analyses rapides

## Caractérisation avec méthodes de dépistage

- Permet d'obtenir rapidement un grand nombre de données sur réparties sur l'ensemble du site à un coût raisonnable
- Permet de mieux évaluer la variabilité des concentrations (secteurs plus contaminés que d'autres)

**La combinaison des résultats obtenus avec ceux obtenus des méthodes conventionnelles**

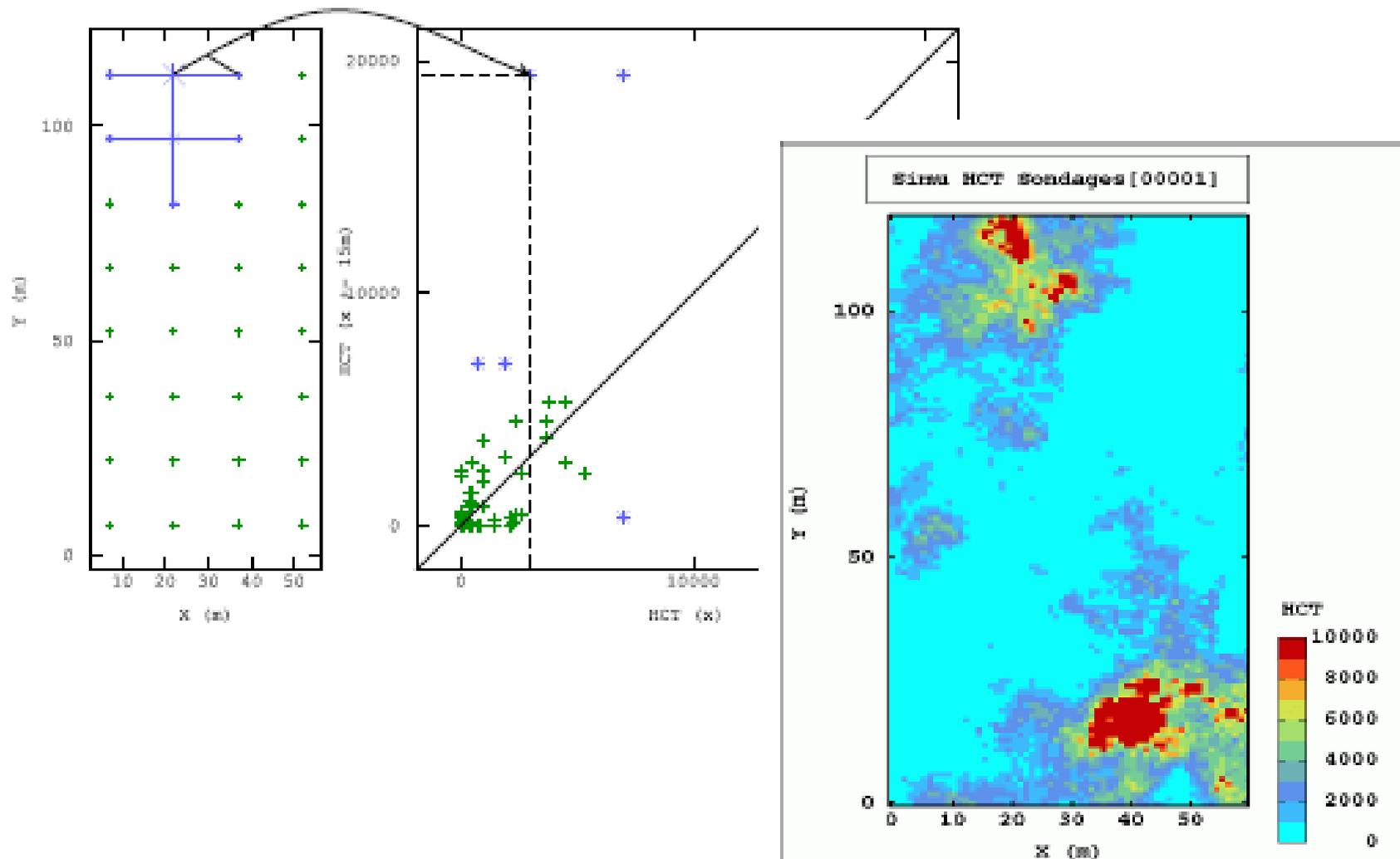


**Réduction de l'incertitude**

## Plan de la présentation

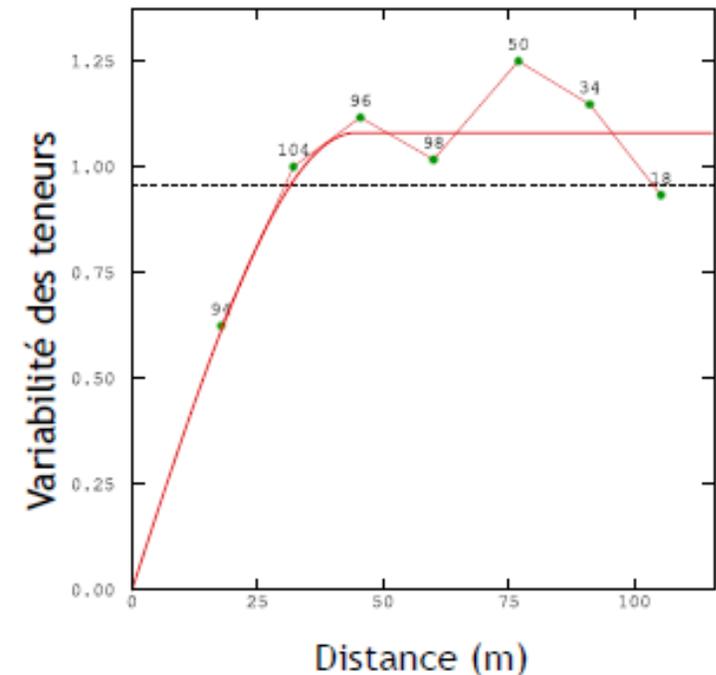
- Les causes de l'incertitude
- **Gestion de l'incertitude - Pistes de solutions**
  - Modèle conceptuel
  - Caractérisation avec méthodes de dépistage
  - **Géostatistique**
  - Échantillonnage incrémentiel
- Conclusions

# Géostatistique



## Géostatistique

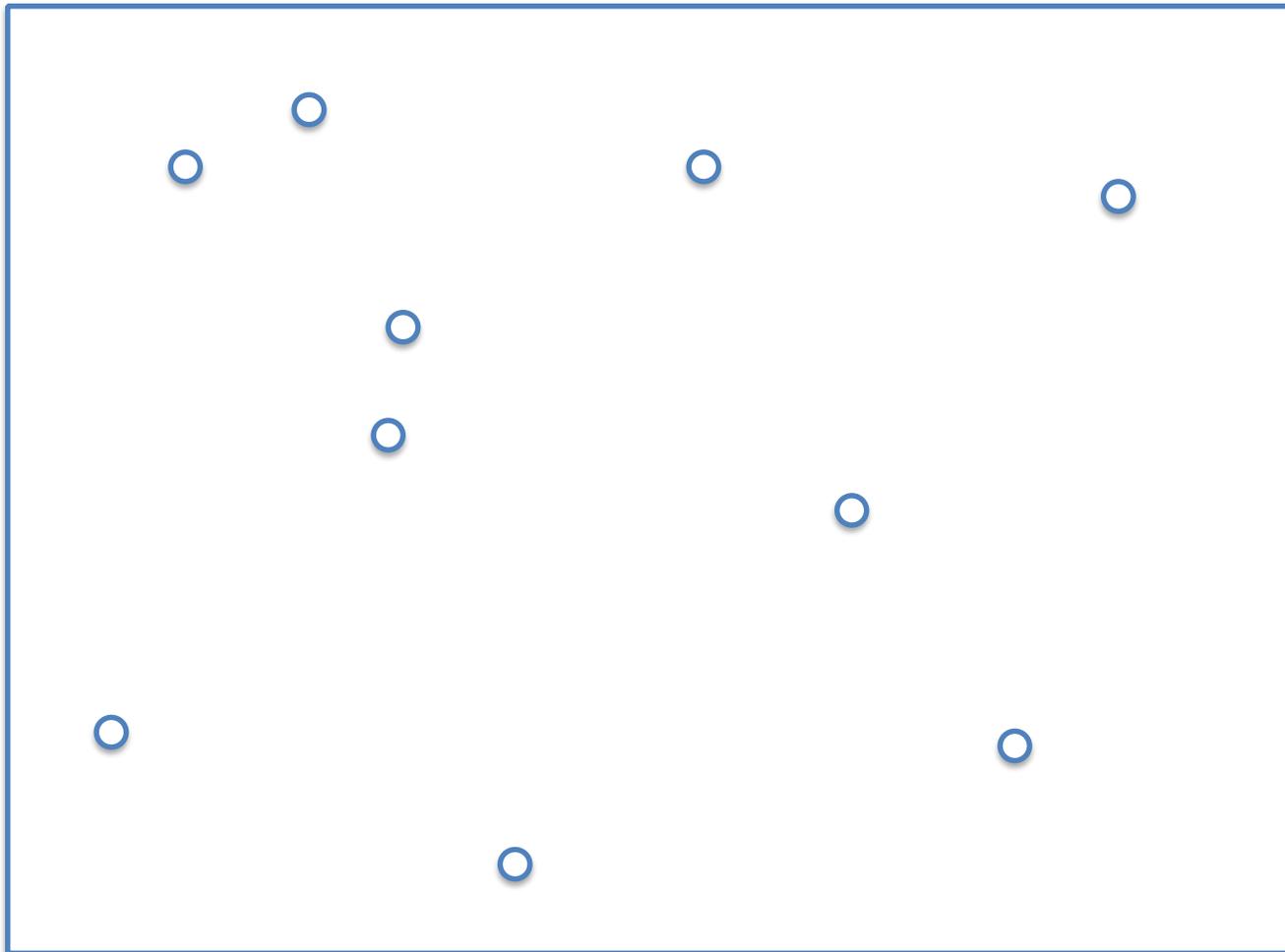
- Évaluer la cohérence spatiale entre les données
- Autrement dit, mesurer le degré d'homogénéité (ou le degré d'hétérogénéité) dans la distribution spatiale des contaminants



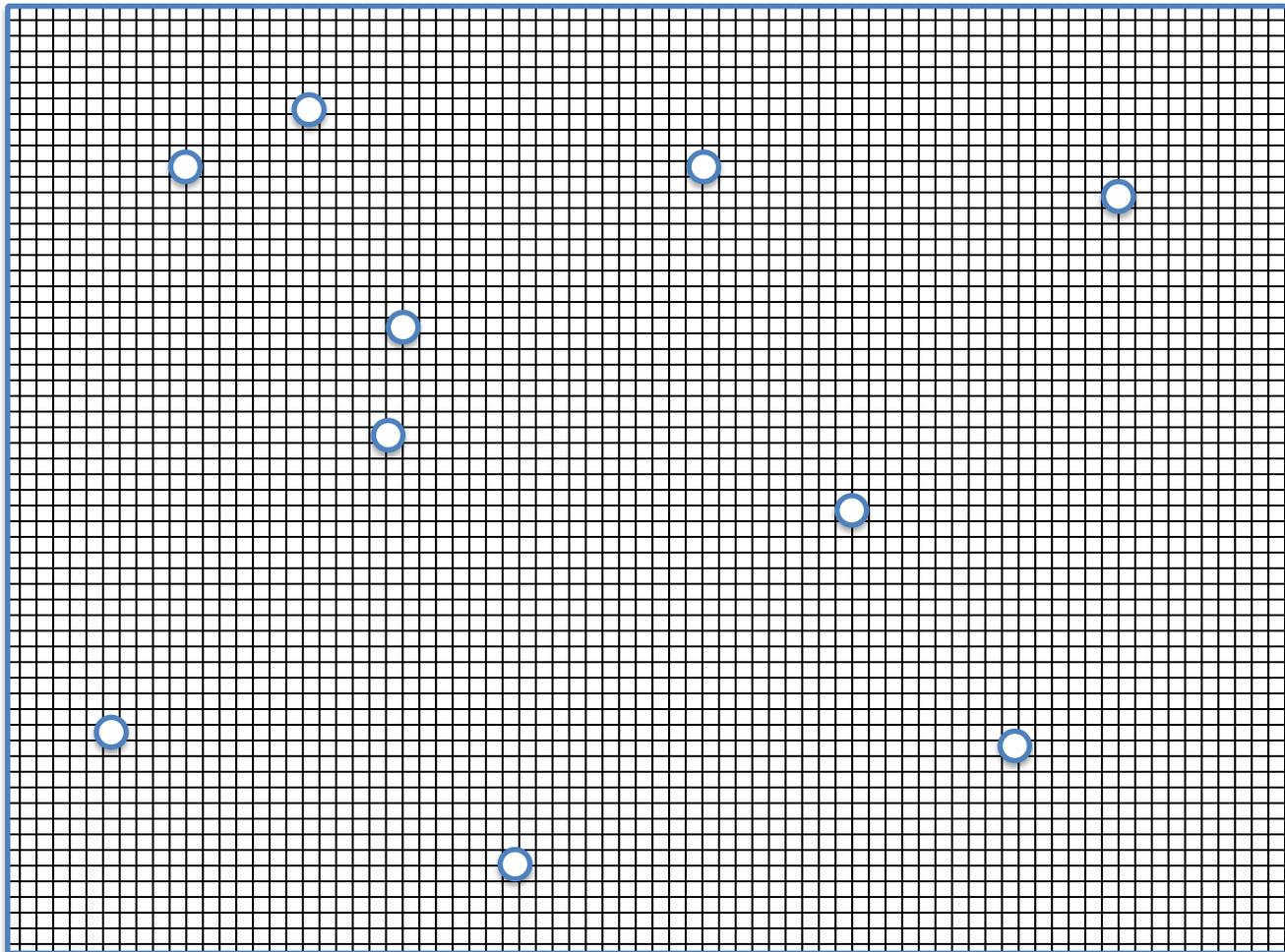
# Géostatistique

- Permet de modéliser la distribution spatiale des contaminants

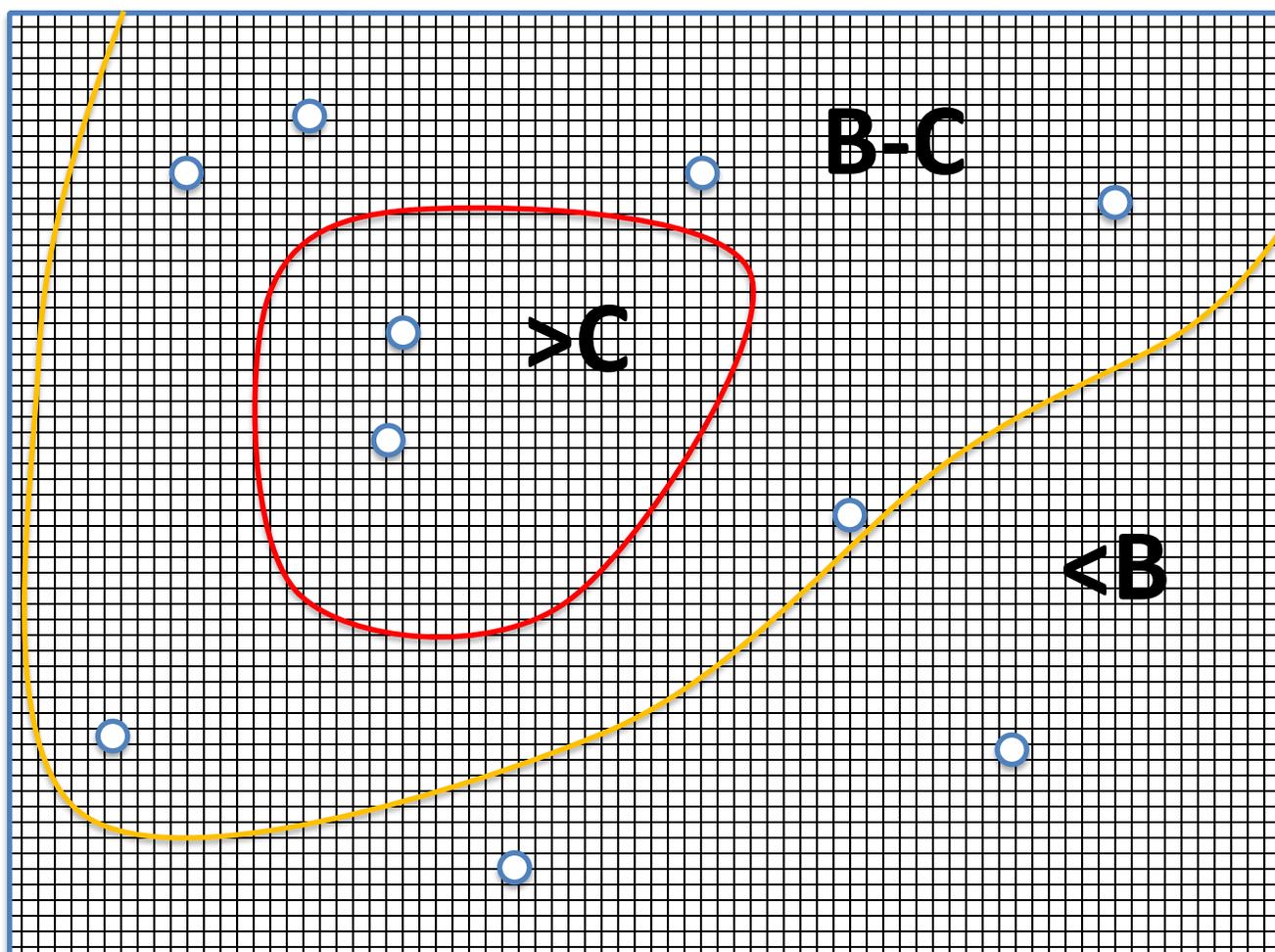
# Géostatistique



# Géostatistique



# Géostatistique

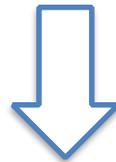


## Géostatistique

- Permet aussi de simuler la probabilité de dépassement d'un seuil aux endroits non échantillonnés
- Par conséquent, permet d'identifier les secteurs qui méritent plus de mesures

## Géostatistique

- Permet de quantifier la corrélation spatiale
- Permet de mieux estimer la distribution spatiale des contaminants
- Permet d'identifier les secteurs qui méritent plus d'investigation



**Réduction de l'incertitude**

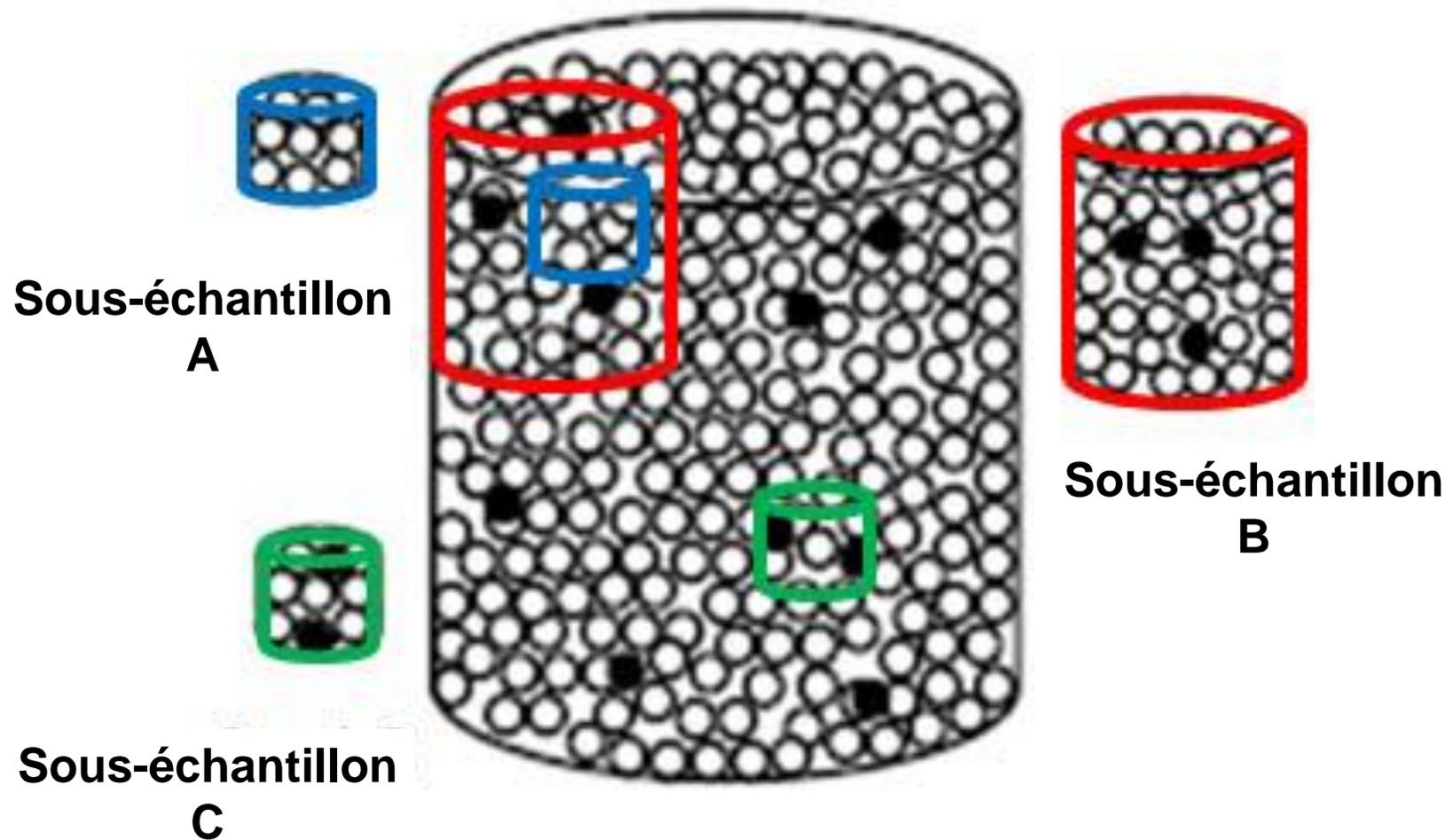
## Plan de la présentation

- Les causes de l'incertitude
- **Gestion de l'incertitude - Pistes de solutions**
  - Modèle conceptuel
  - Caractérisation avec méthodes de dépistage
  - Géostatistique
  - **Échantillonnage incrémentiel**
- Conclusions

## Échantillonnage incrémentiel

- Traduction libre de l'anglais : « Incremental Sampling Methodology (ISM) »
- Développée par ITRC (The Interstate Technology & Regulatory Council)
- Prélèvement d'échantillons composés améliorés basé sur la théorie de Gy : Erreur globale d'estimation ( $EGE = ETE + EA$ )
- Basé sur la notion que l'erreur totale d'échantillonnage (ETE) >> Erreur analytique (EA)

# Échantillonnage incrémentiel



## Échantillonnage incrémentiel

- Au lieu de créer des polygones autour d'un sondage, la méthode proposée procède à l'inverse
- On décide, sur la base de l'historique (Phase I et modèle conceptuel), quels sont les surfaces ou volumes de sols que l'on pourra traiter à l'aide d'un seul résultat représentatif et reproductible (unité de décision)

## Échantillonnage incrémentiel

- Prélever entre 30 à 50 sous-échantillons de 20 à 60 g selon une grille systématique sur l'ensemble du volume de sols à caractériser
- Combiner les sous-échantillons en un seul échantillon composé de 600 g à 3 kg
- Réduire la taille de l'échantillon au laboratoire avec une technique permettant de conserver la représentativité de l'échantillon initial

## Échantillonnage incrémentiel



Minimum $M_s$ [g]	Maximum $d$ [cm]
5	0.170
50	0.37
100	0.46
500	0.79
1000	1.0
5000	1.7

## Échantillonnage incrémentiel

Pour analyser des échantillons de sols plus grossiers sans augmenter l'incertitude, 2 solutions sont proposées :

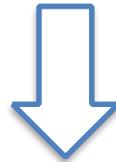
- Broyer l'échantillon
- Augmenter le volume de l'échantillon soumis à l'extraction ou à la digestion

## Échantillonnage incrémentiel

- Répéter toute la procédure une fois pour préparer un duplicata
- Si désiré, répéter une autre fois pour préparer un triplicata

## Échantillonnage incrémentiel

- Réduit grandement la variabilité des résultats
- Réduit les biais (faux positifs et faux négatifs)
- Accroît la représentativité des résultats (concentration moyenne)



**Réduction de l'incertitude**

## Plan de la présentation

- Les causes de l'incertitude
- Gestion de l'incertitude - Pistes de solutions
  - Modèle conceptuel
  - Caractérisation avec méthodes de dépistage
  - Géostatistique
  - Échantillonnage incrémentiel
- **Conclusions**

## Conclusions

- Les résultats obtenus des caractérisations environnementales sont tous affectés d'une incertitude
- Ignorer cette incertitude peut mener à des décisions erronées qui peuvent entraîner des pertes financières importantes, des poursuites judiciaires, une exposition indue à des contaminants
- Des outils existent pour quantifier et réduire (gérer) cette incertitude
- La gestion de l'incertitude amène à mieux comprendre la distribution des contaminants
- Les guides qui traitent de caractérisations environnementales devraient encourager la gestion de l'incertitude dans la prise de décision

Associés



Collaborateurs



CHEF DE FILE EN  
EXPERTISE ENVIRONNEMENTALE  
& PRODUITS SPÉCIALISÉS



Essais Environnementaux

