



# FORUM 2018

## GÉOENVIRONNEMENT

Tendances · Problématiques · Solutions



ASSOCIATION  
DES FIRMES DE  
GÉNIE-CONSEIL  
**QUÉBEC**

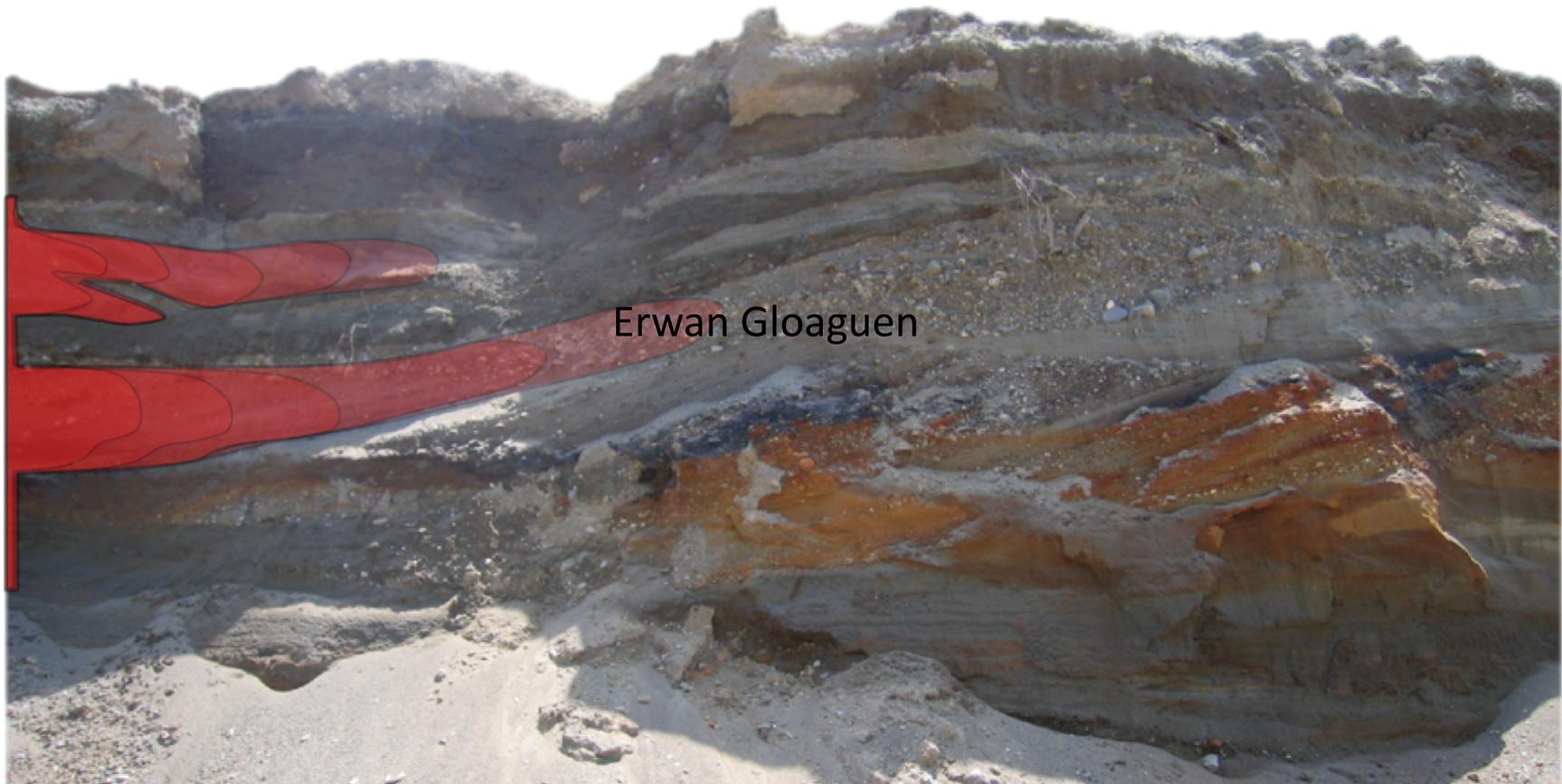
FORUM **2018**  
GÉOENVIRONNEMENT

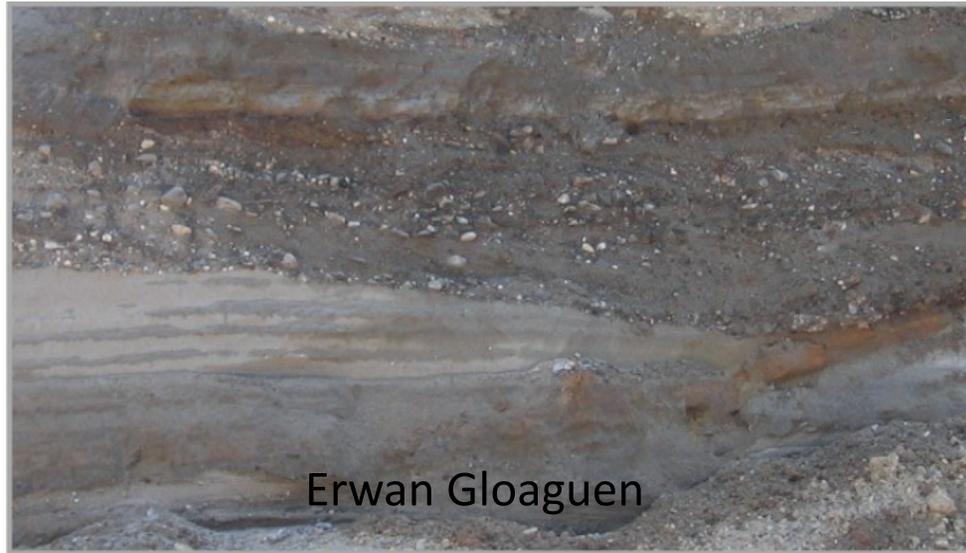


## Atelier incertitude

Erwan Gloaguen

# Pourquoi s'en préoccuper?

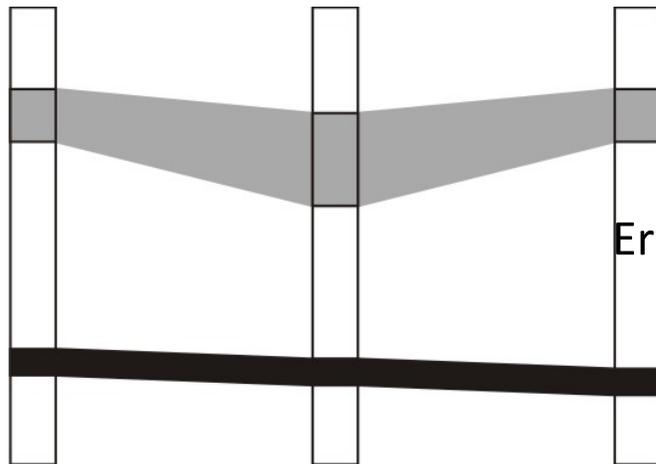




La réponse à cette problématique repose sur notre **capacité à reproduire l'hétérogénéité à plusieurs échelles** en établissant des méthodologies permettant **d'intégrer l'ensemble de nos connaissances** en un ou plusieurs modèles numériques unifiés du sol

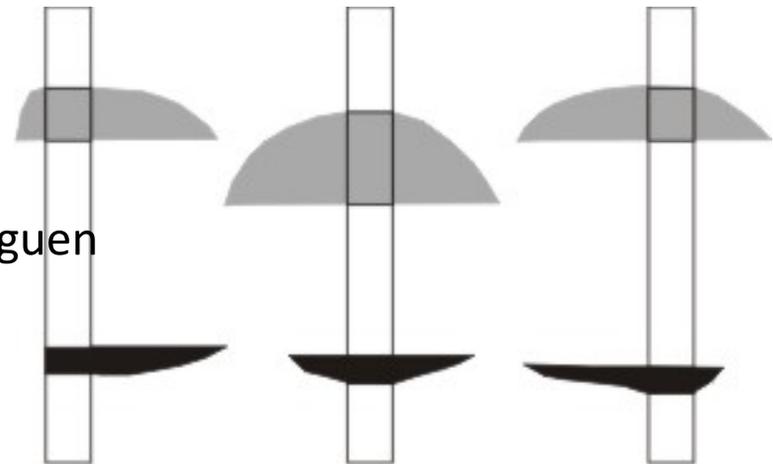
# Modèle conceptuel

## Couches



Erwan Gloaguen

## Chenaux



**Incertitude stratigraphique  
Êtes-vous vraiment data driven?**

# Approche forages



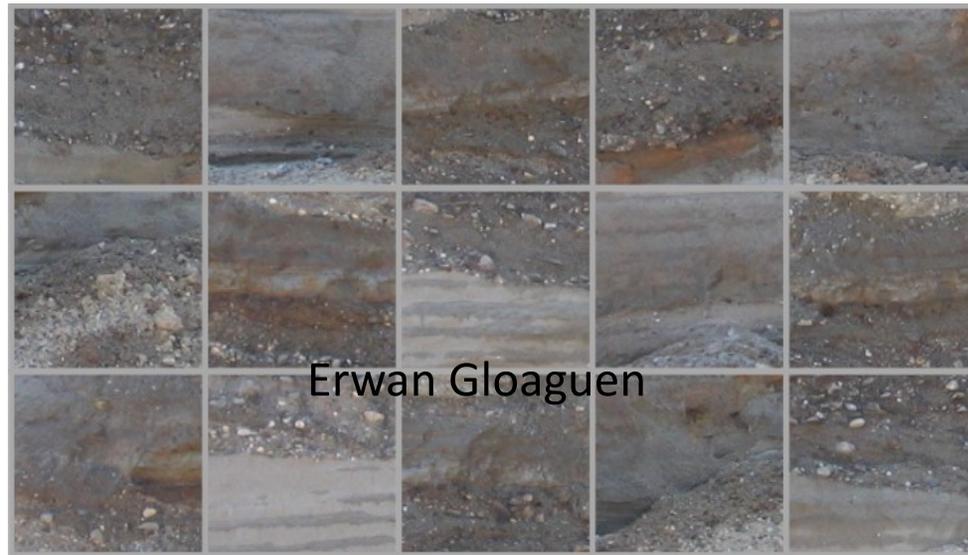
## Mesures directes

Coûts élevés  
Couverture spatiale  
faible



Requiert un nombre élevé  
de puits  
Coûteux en temps

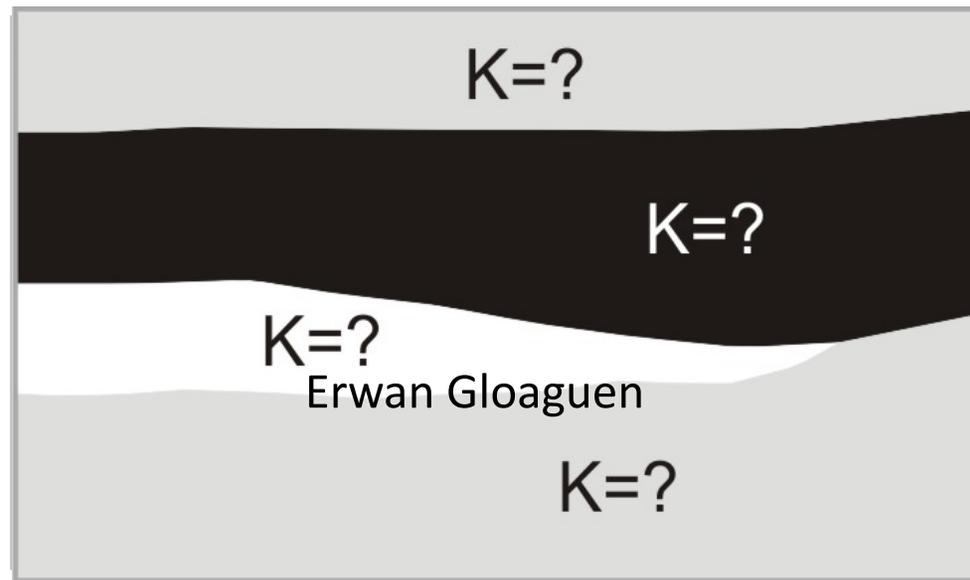
# Approche géostatistique



Reproduit l'hétérogénéité réelle avec une grande fiabilité

**Mais nécessite un grand nombre de contraintes pour être localement précise**

# Approche géophysique



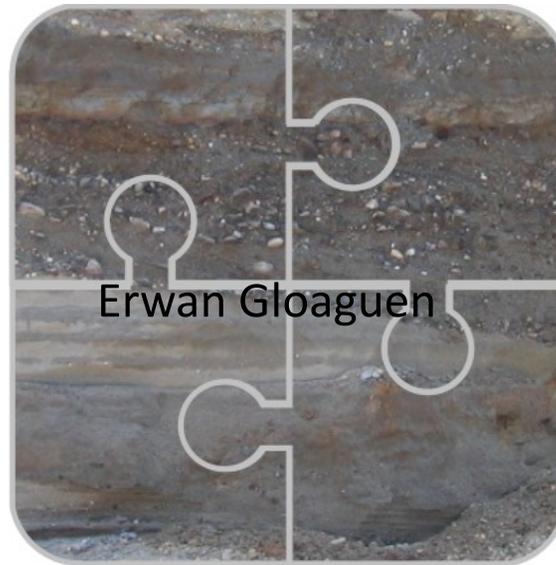
Permet d'obtenir une image de la variation latérale  
Ne permet pas de quantifier directement la variable à l'étude



# Éléments d'une approche intégrée

Modèle conceptuel

géophysique



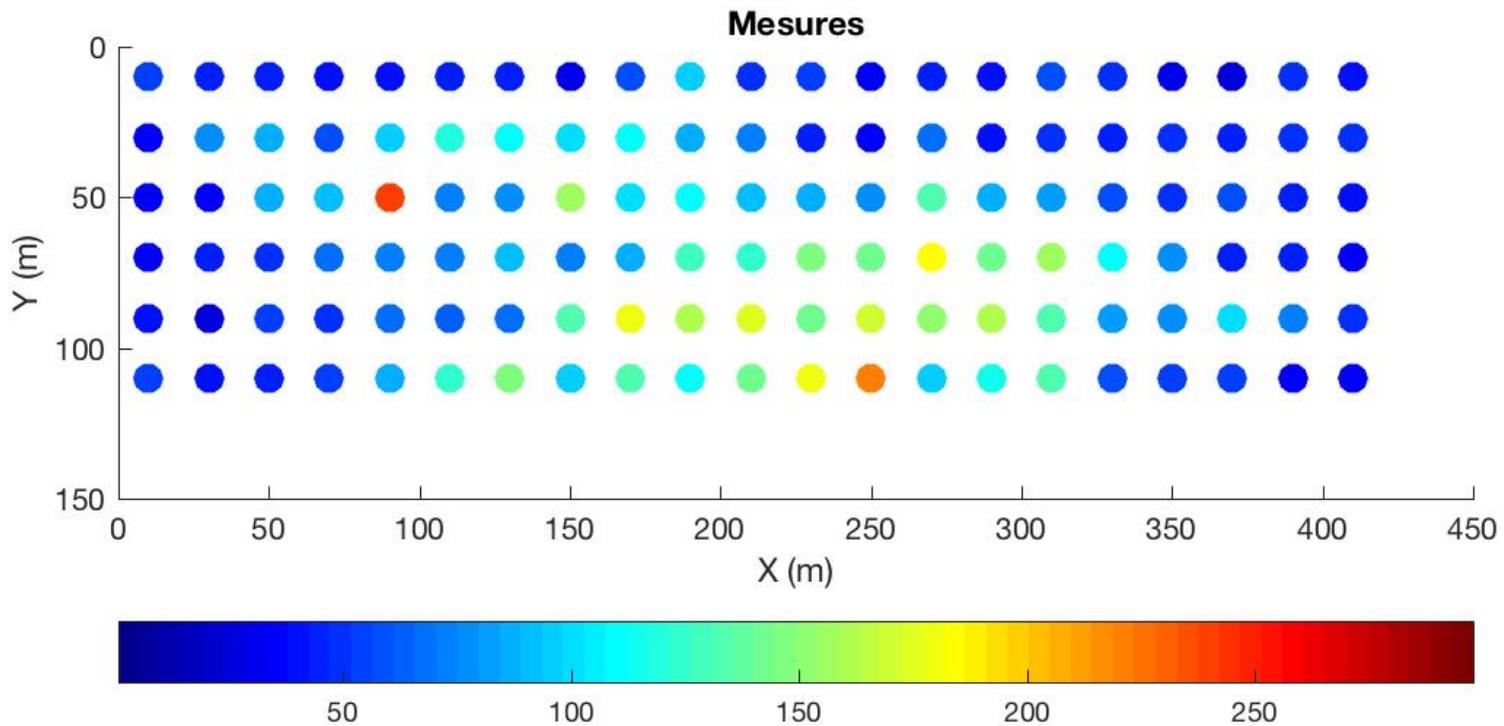
Erwan Gloaguen

validation

géostatistique

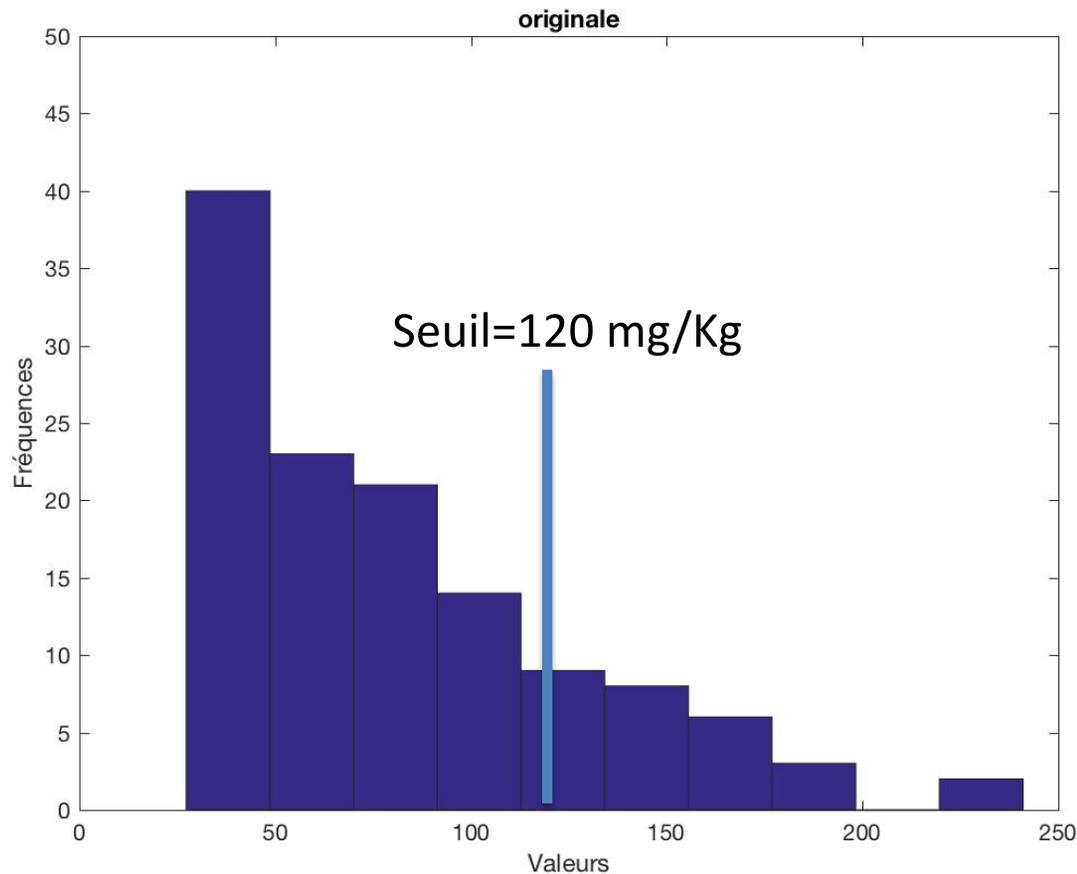
Un exemple vaut mille maux :o)

# Échantillonnage régulier



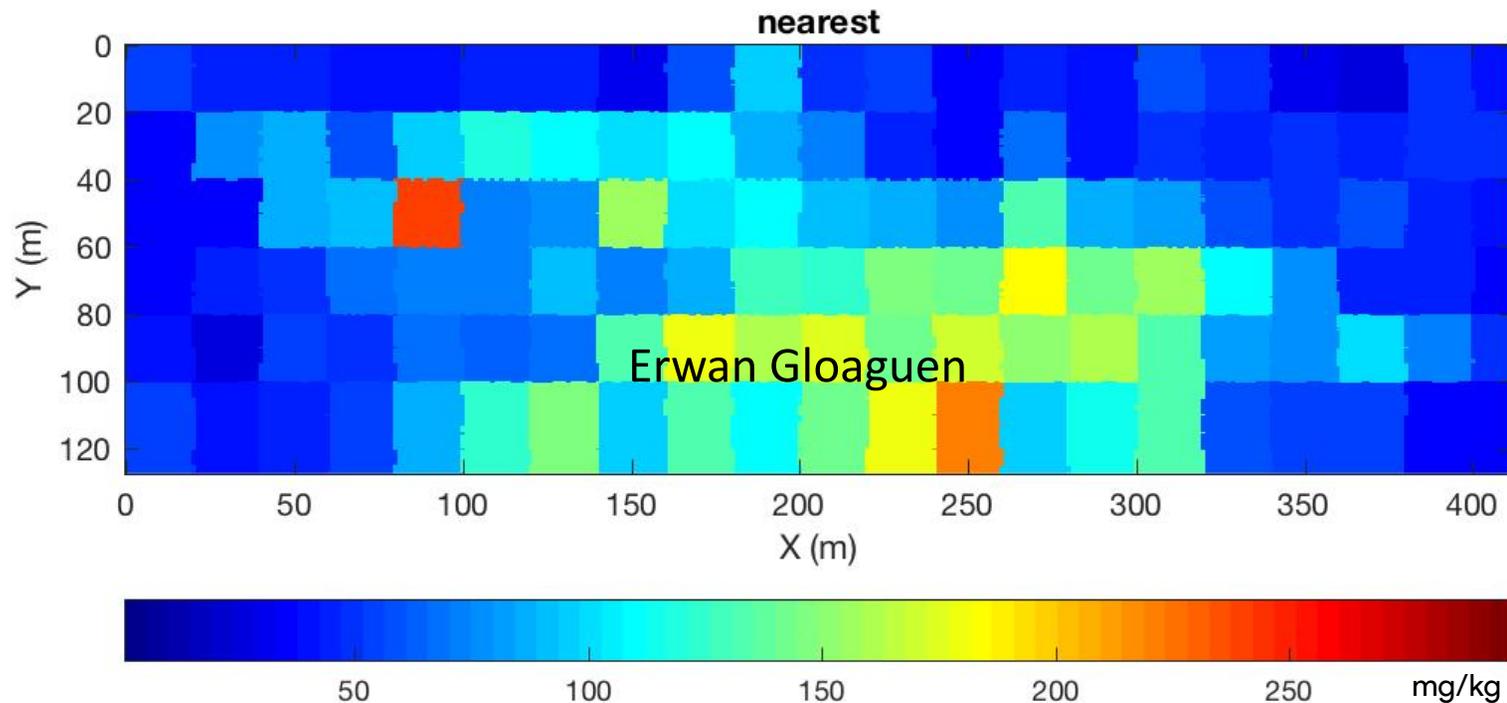
Échantillonnage régulier sur une grille 20m x 20m x 1m

# Statistiques de l'échantillonnage



Moyenne: 82 mg/kg  
Écart type: 45 mg/kg  
Asymétrie: 1,2  
(rappel: l'asymétrie est nulle pour une distribution symétrique)

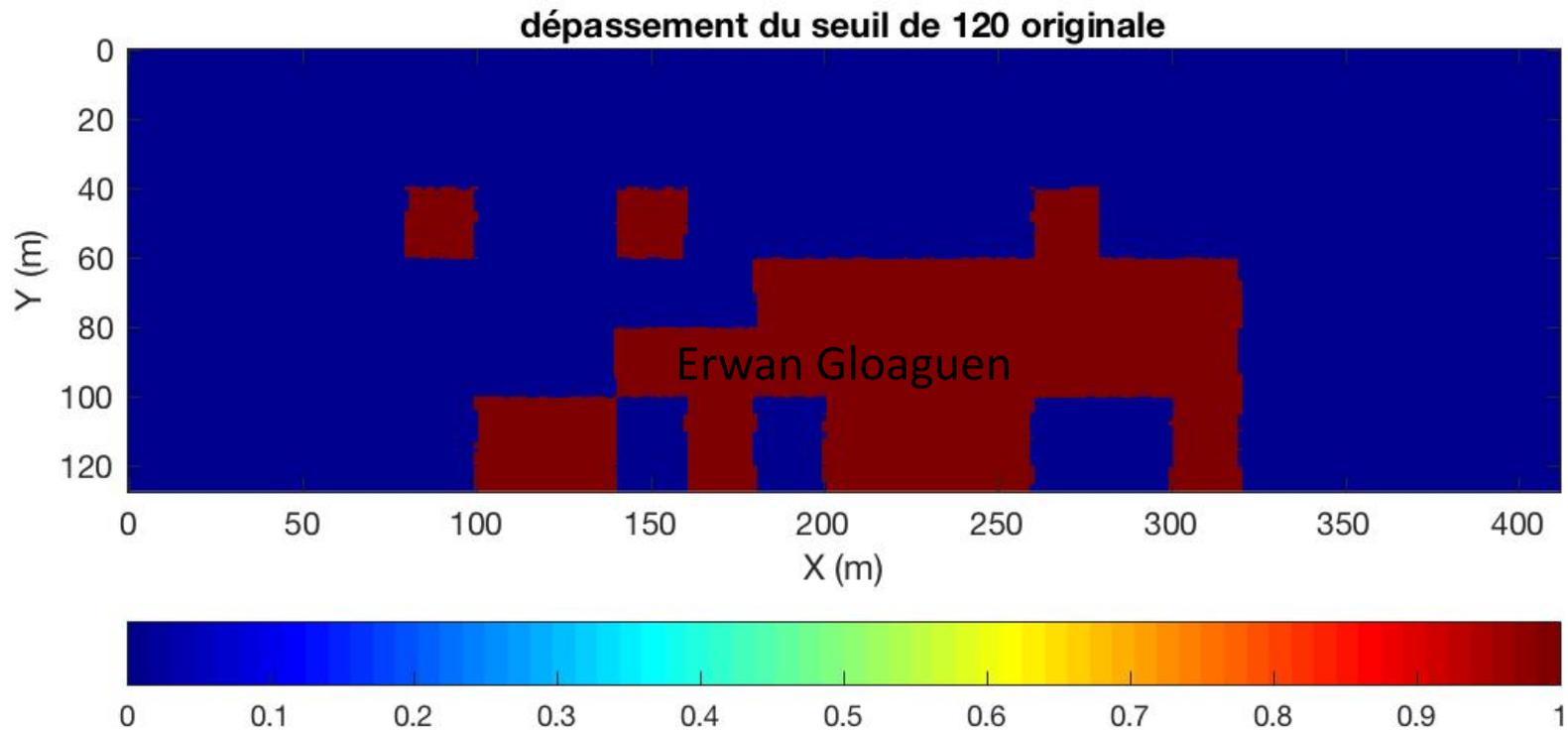
# Méthode des polygones



Ceci représente un non choix => croire que l'échantillon est:

- représentatif d'un polygone de  $20 \times 20 \times 1 \text{ m}^3$  est illusoire: la masse d'une maille =  $2,4 \times 10^8$  de fois la masse de l'échantillon (1/2 la distance entre la Terre et Pluton)
- indépendant des voisins est naïf.

# Méthode des polygones

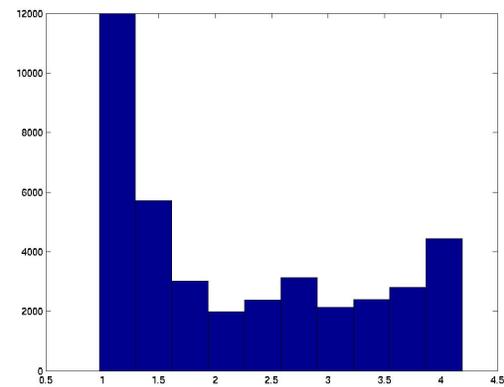
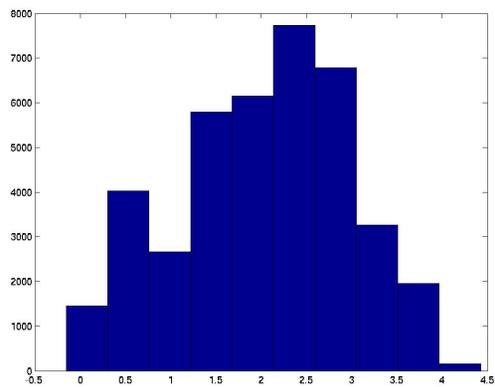
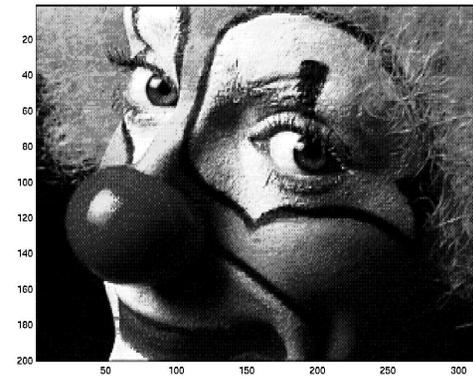


On applique le seuil de 120 mg/kg: 11302 m<sup>3</sup> dépassent le seuil

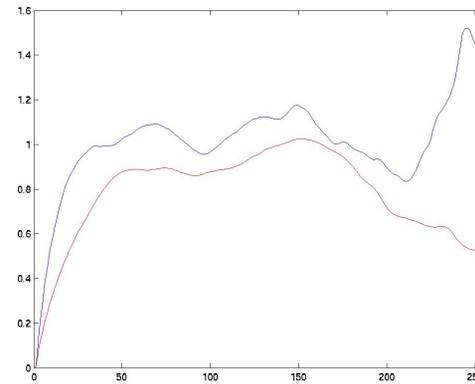
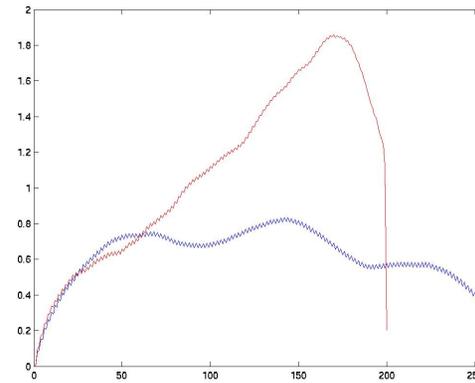
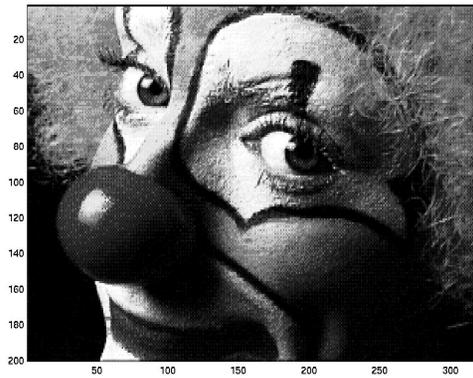
Existe-t-il des outils pour faire mieux?

# Existe-t-il des outils pour faire mieux? La géostatistique?

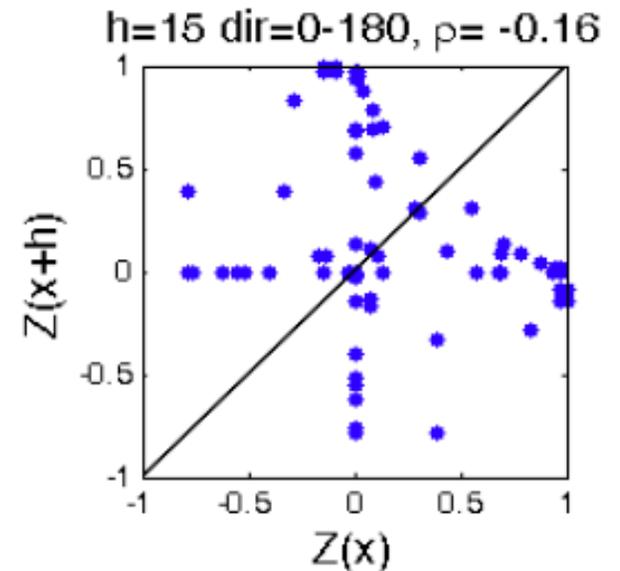
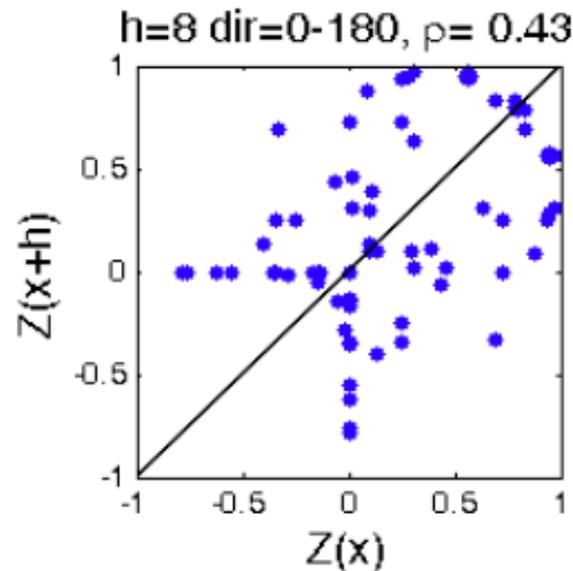
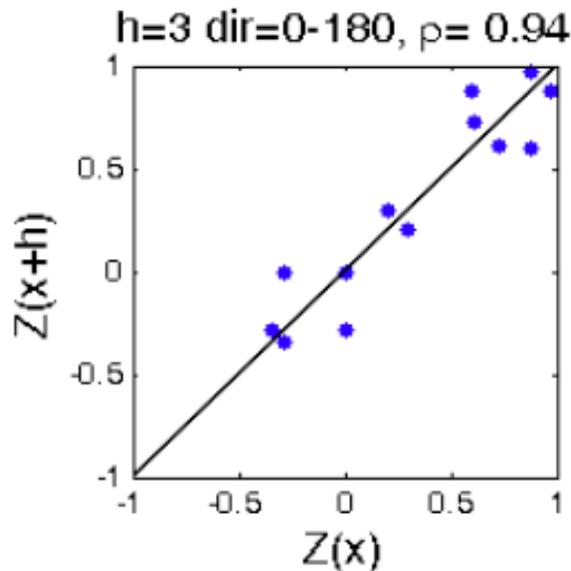
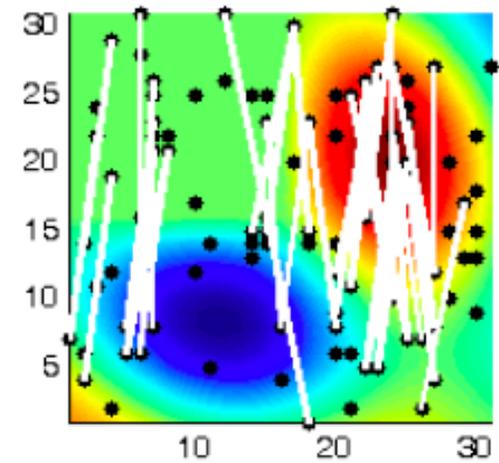
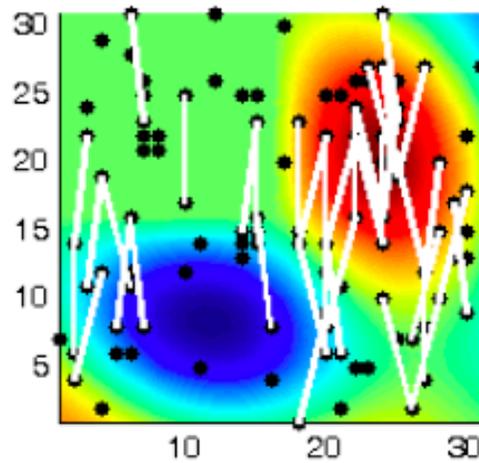
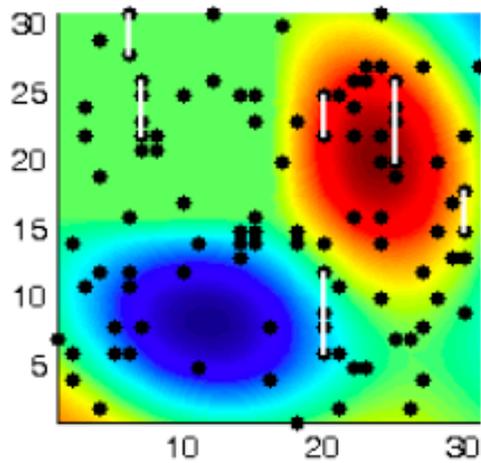
# Histogramme



# Comment différencier des textures?

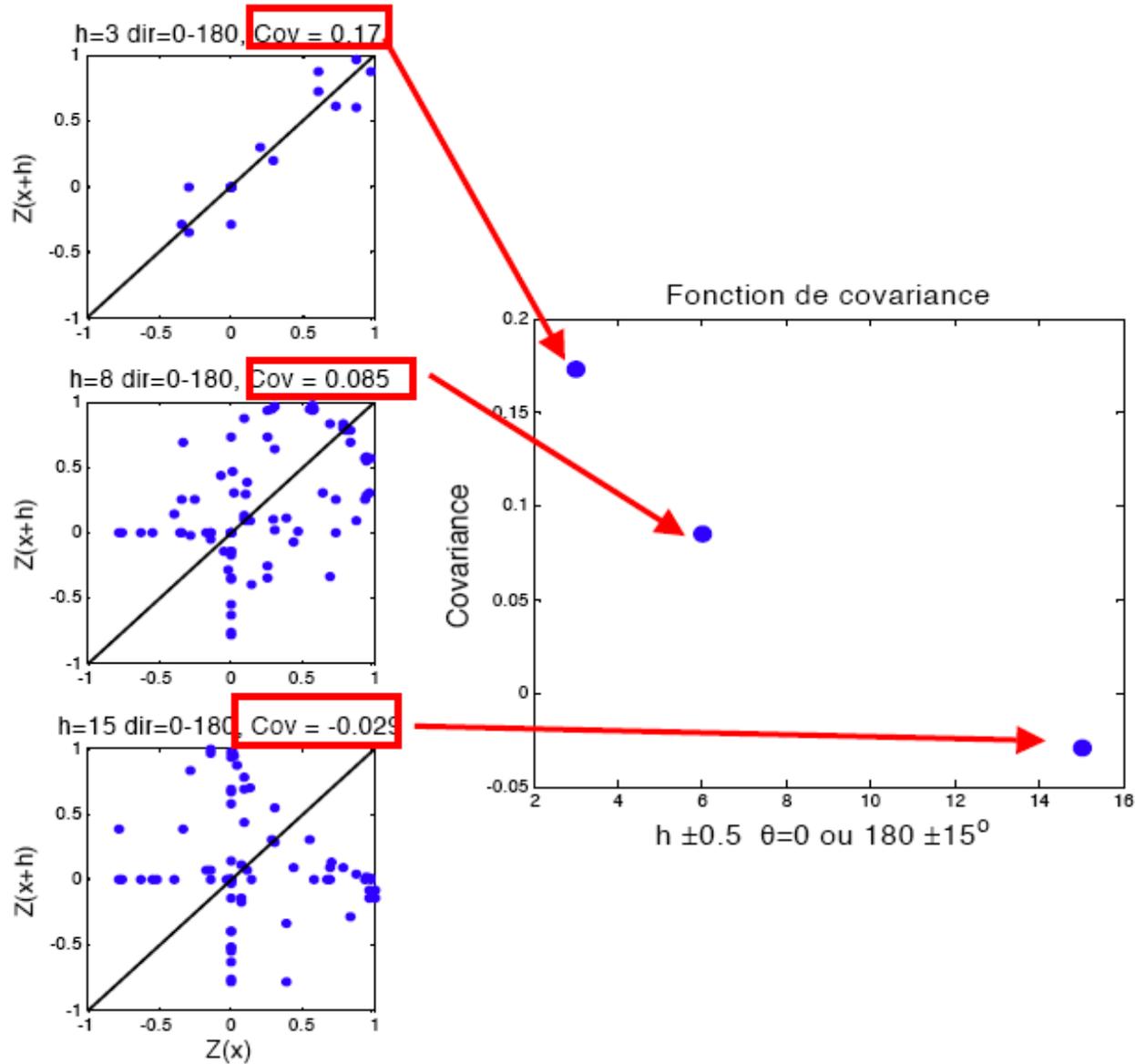


# Tolérance of $0.5 |h|$ et 15 degrés



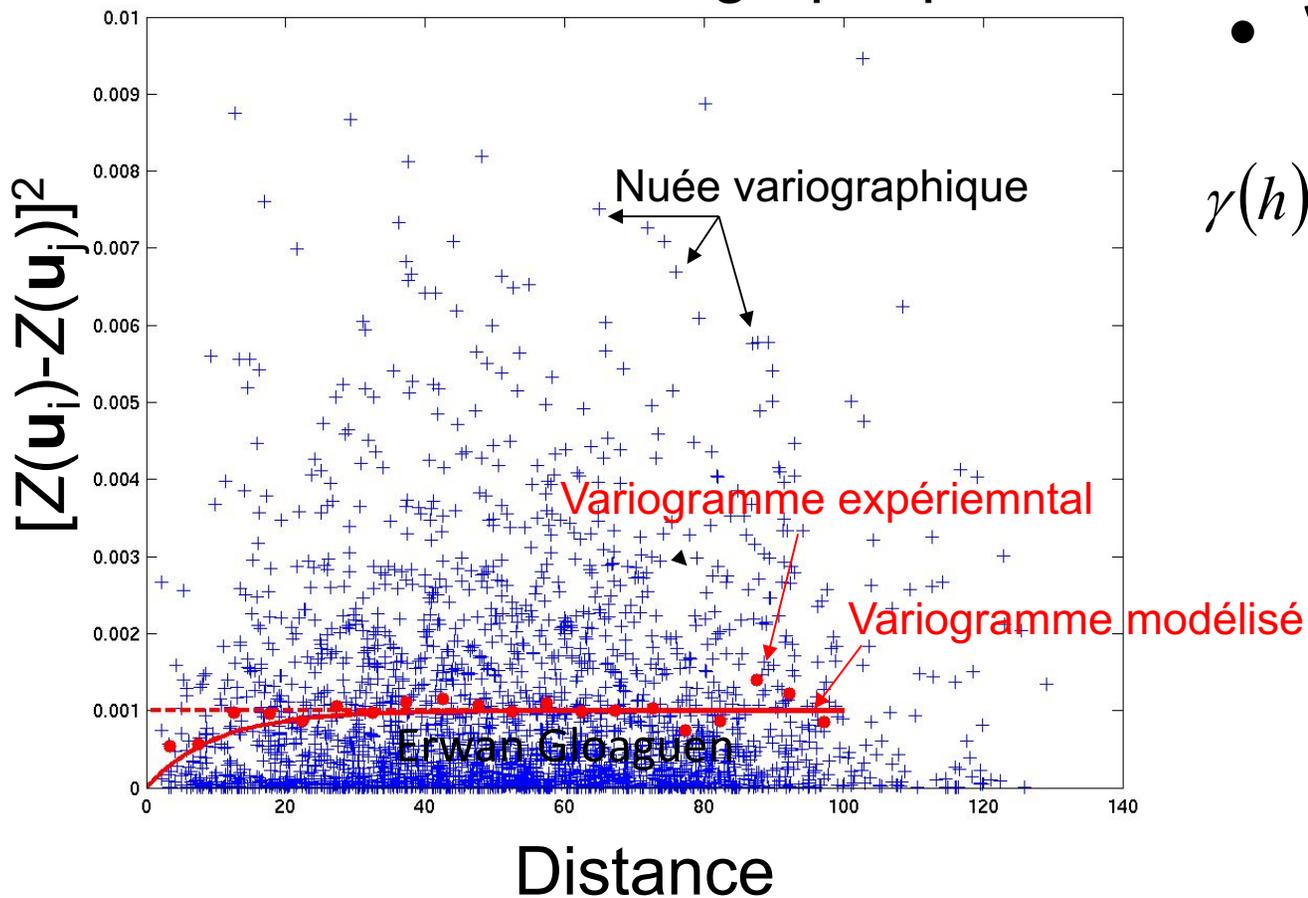
Tiré des cours de Denis Marcotte

# Covariance



# Variographie

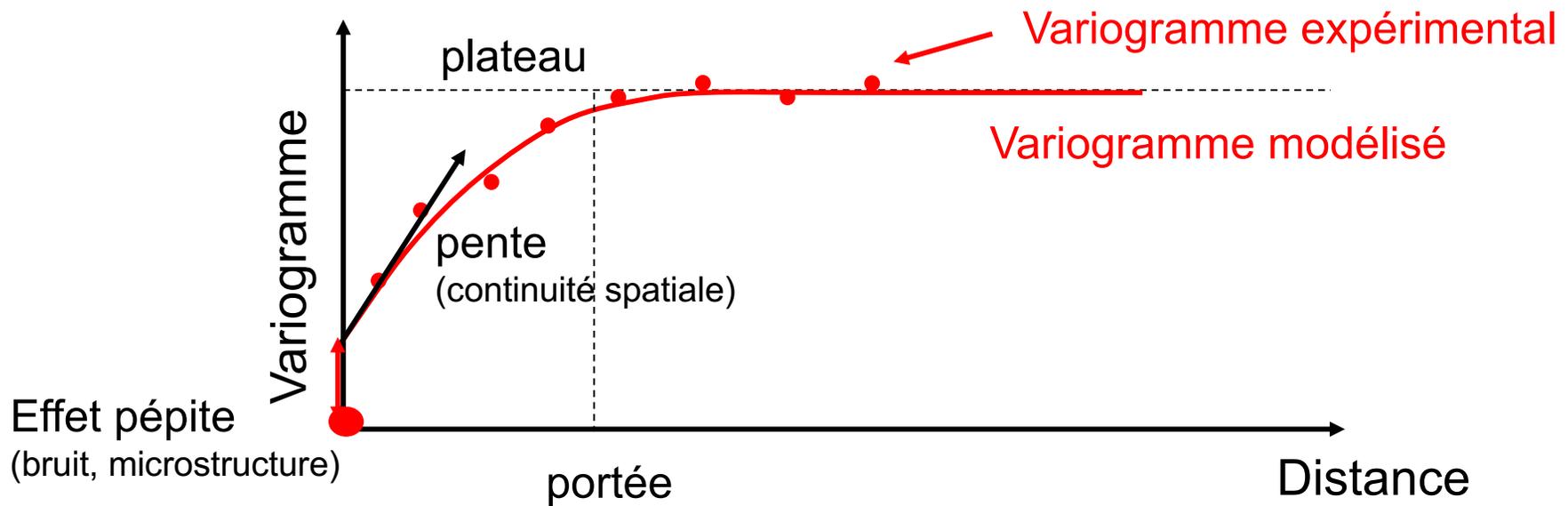
## Nuée variographique



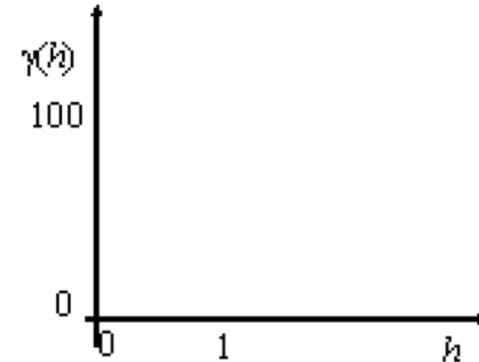
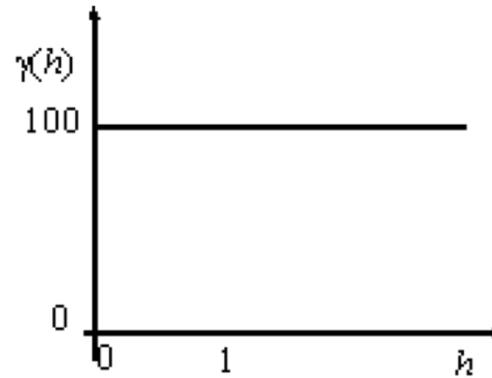
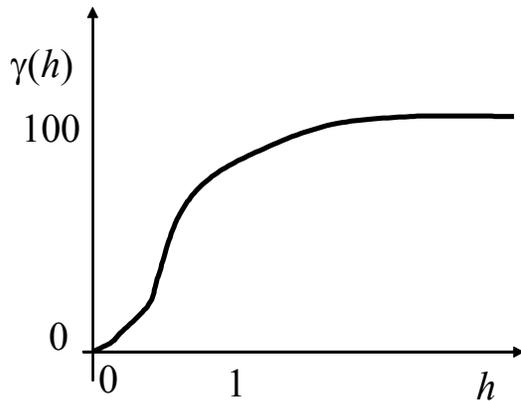
- Variogramme

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(u) - Z(u+h)]$$

# Variographie



# Exercice

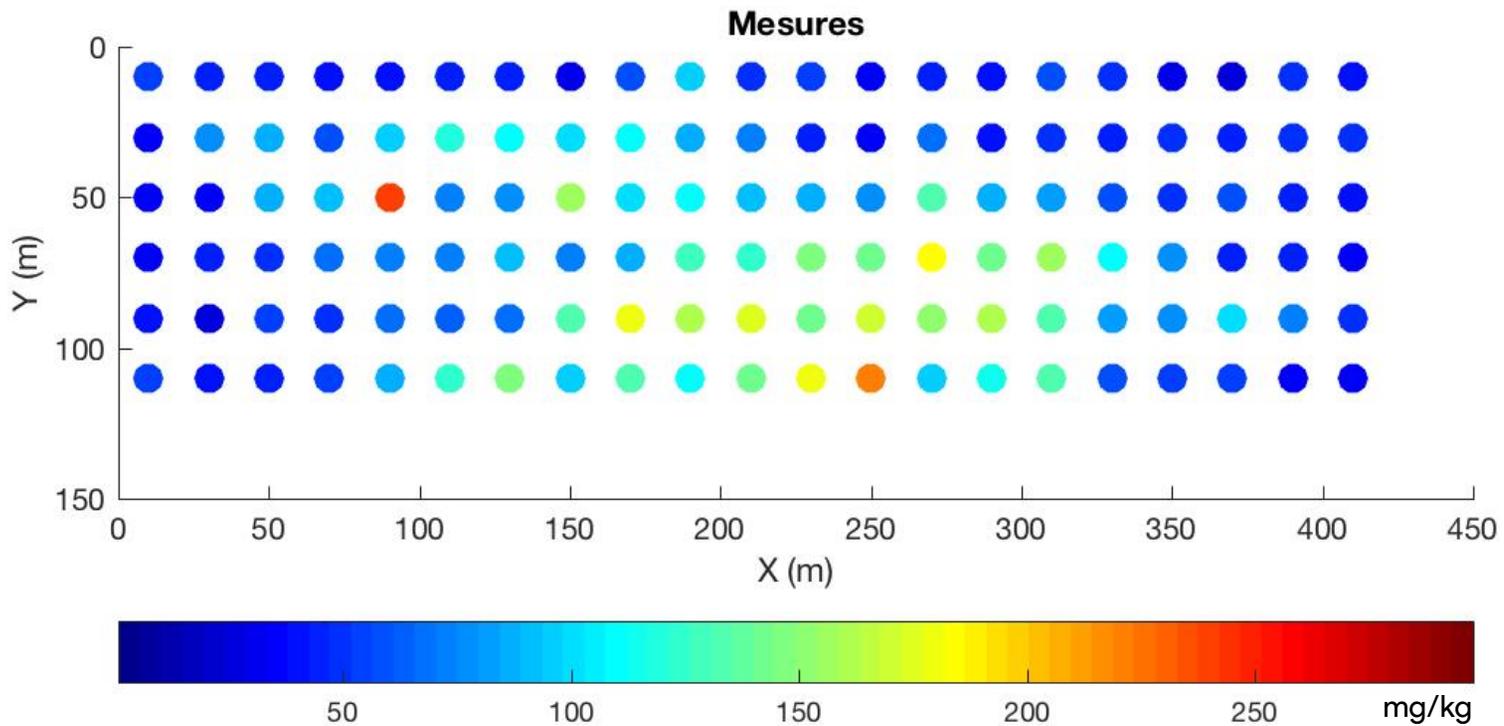


Voici trois variogrammes calculés en fonction de la position des élèves et la notes qu'ils ont obtenues.

Expliquez ces variogrammes.

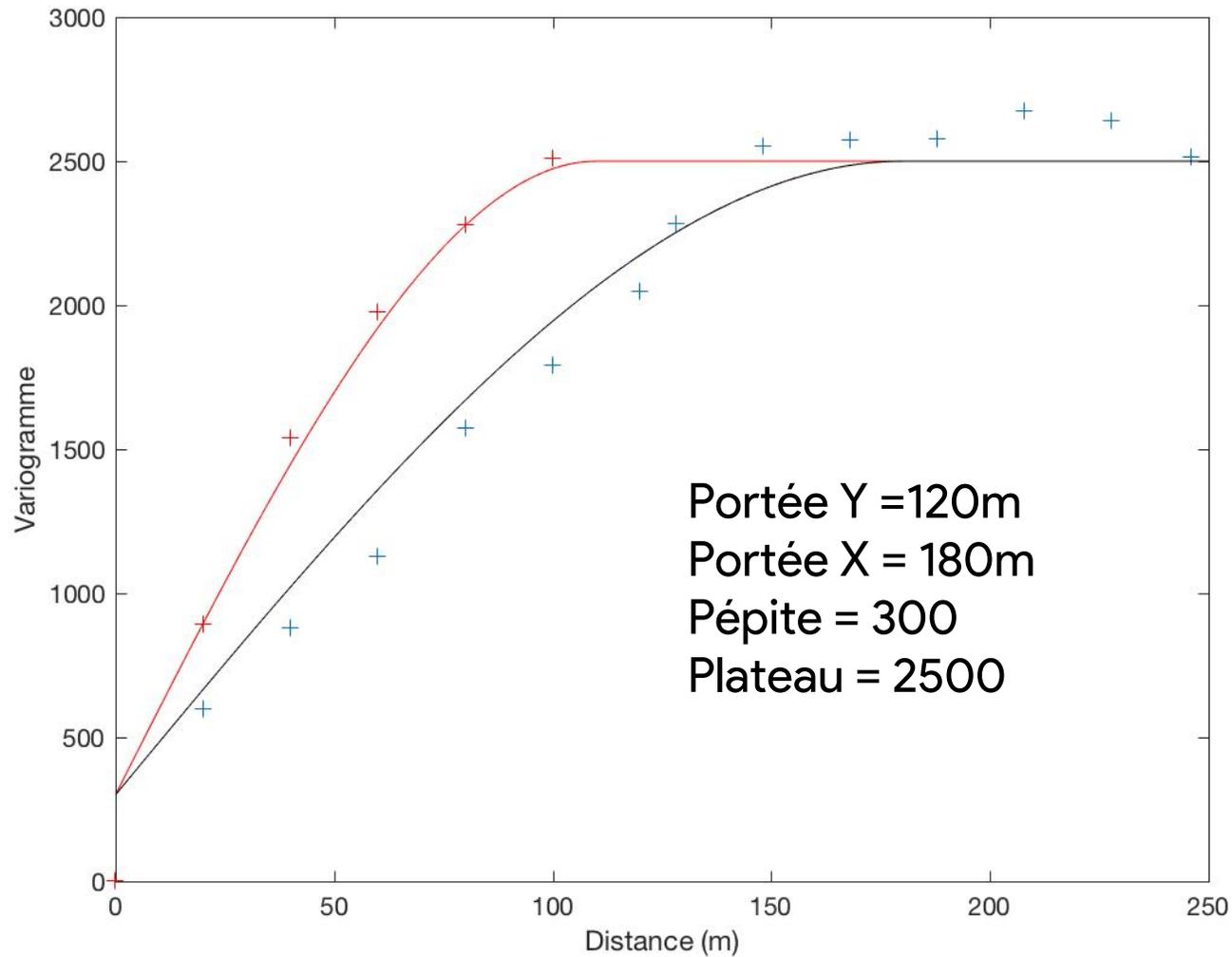
# Retour à notre exemple

# Échantillonnage régulier

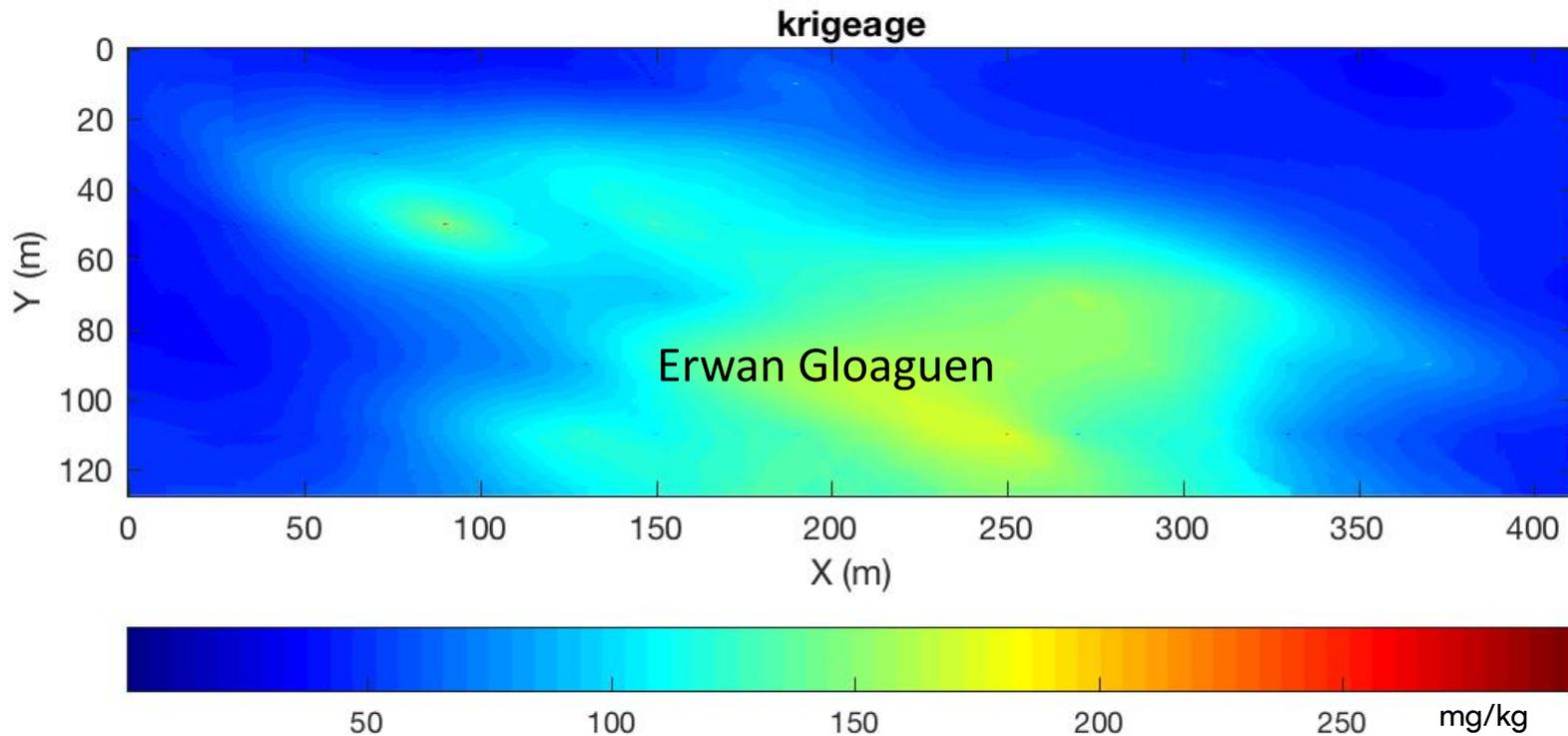


Échantillonnage régulier sur une grille 20m x 20 x 1 m<sup>3</sup>

# Variographie

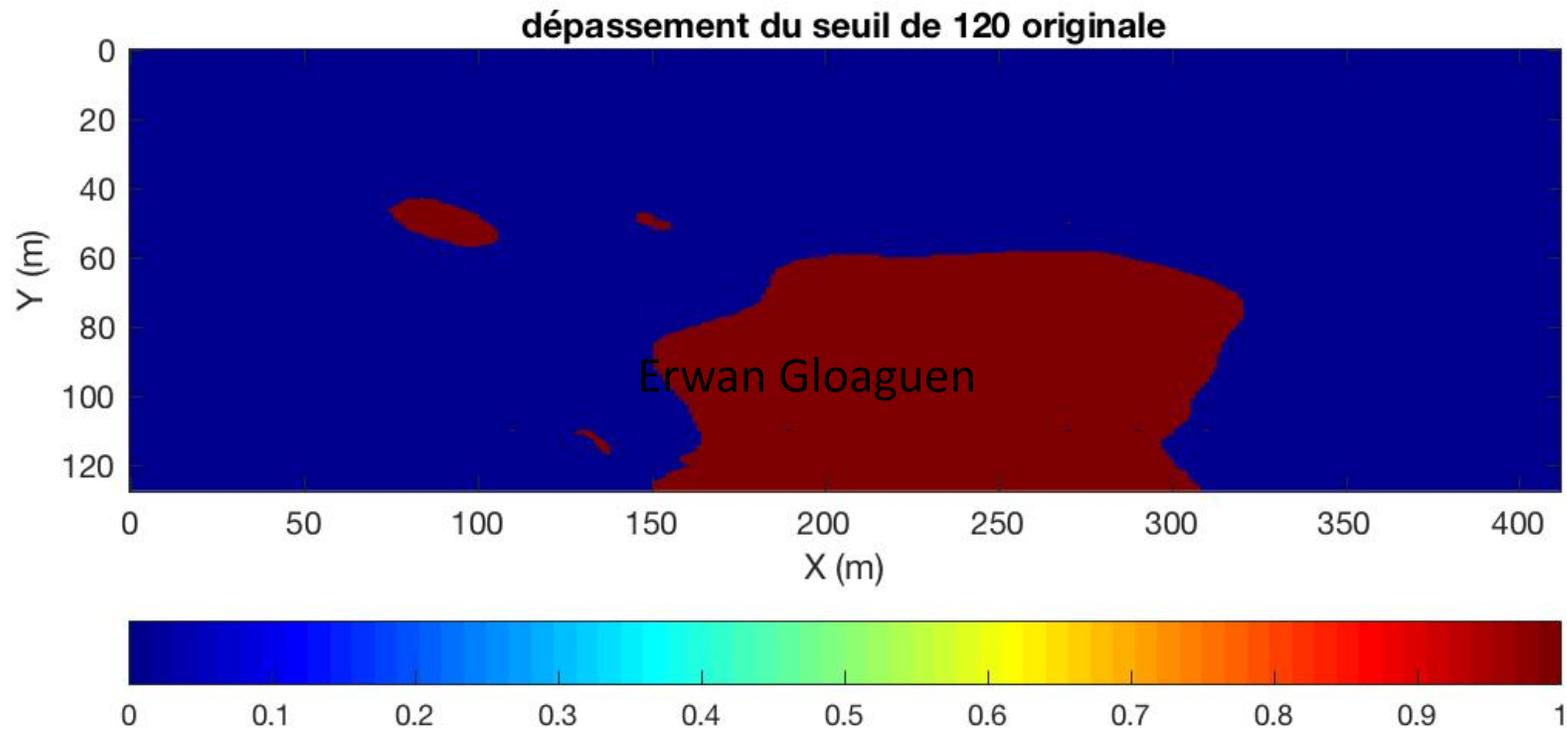


# Krigeage



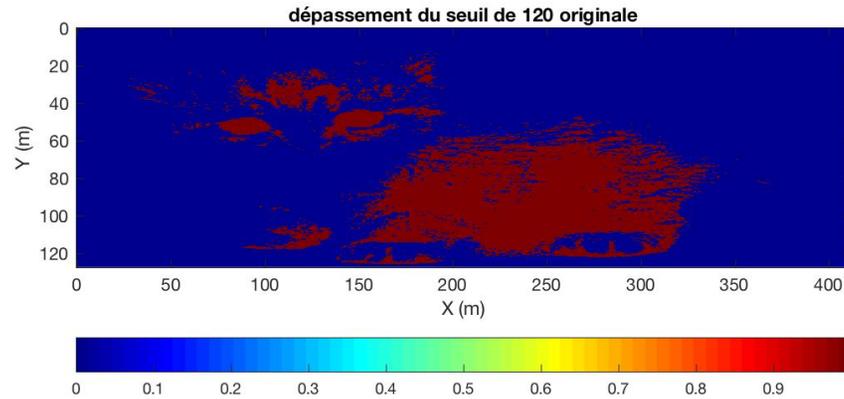
Tiens compte du lien spatial entre les données  
Mais déterministe (meilleur estimateur non biaisé de la moyenne)

# Krigeage

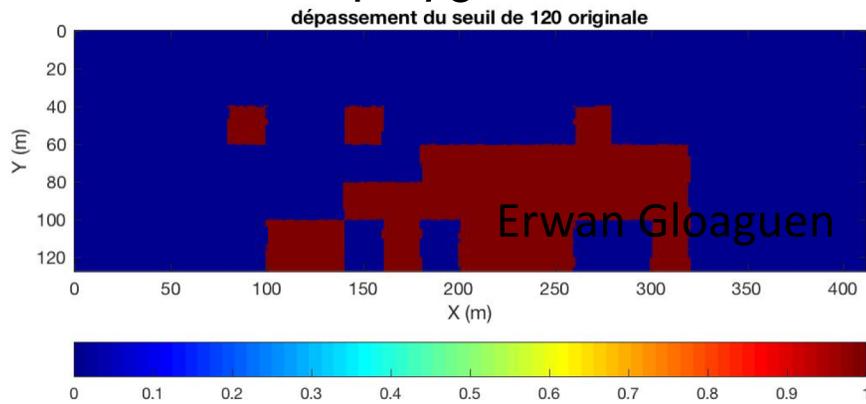


On applique le seuil de 120 mg/kg: volume 10560 m<sup>3</sup>

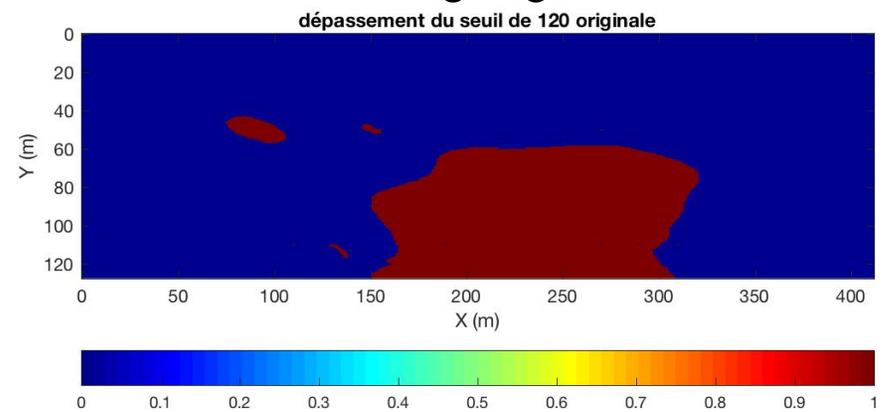
# Vérité



## polygones



## krigeage



vraie: 9700 m<sup>3</sup>  
polygones: 11300 m<sup>3</sup>  
krigeage: 10560 m<sup>3</sup>

# Pourquoi le krigeage n'est pas meilleur?

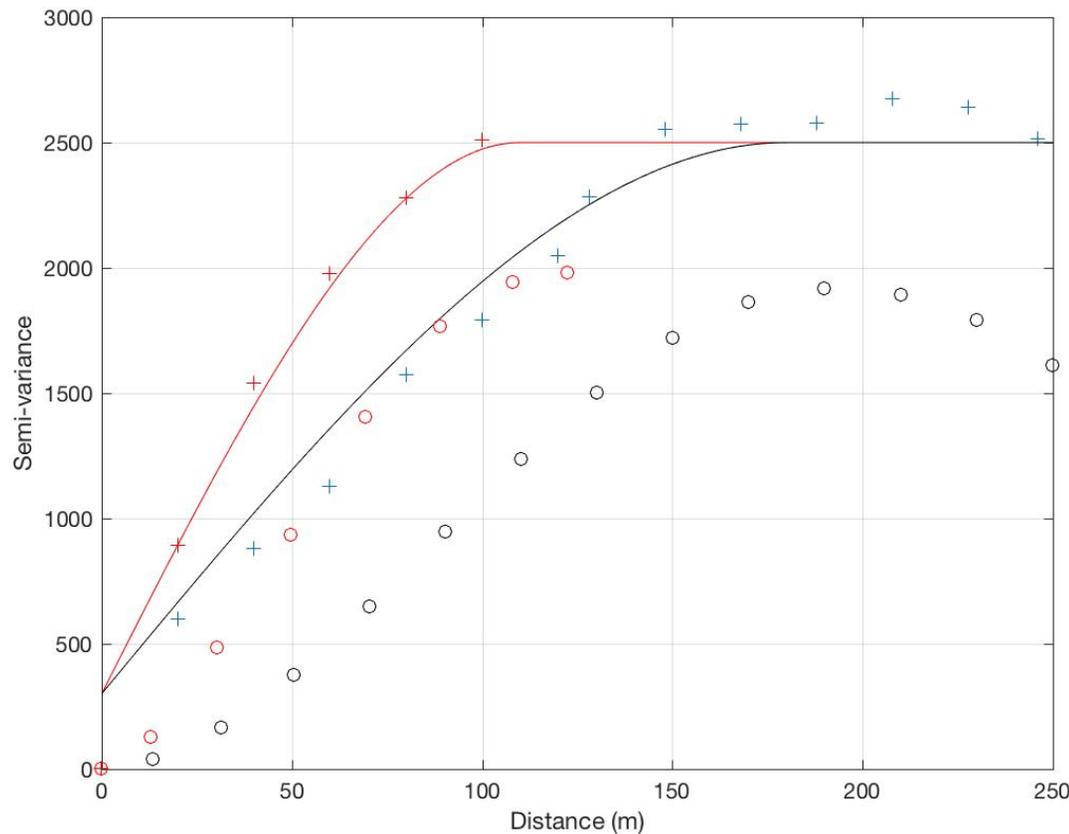
Le krigeage est un bon estimateur de la moyenne. Donc, en moyenne, on estime mieux les volumes globaux.

Cependant, est-ce que le krigeage respecte l'histogramme des données et le variogramme théorique?

# Pourquoi le krigeage n'est pas meilleur?

Le krigeage est un bon estimateur de la moyenne. Donc, en moyenne, on estime mieux les volumes globaux.

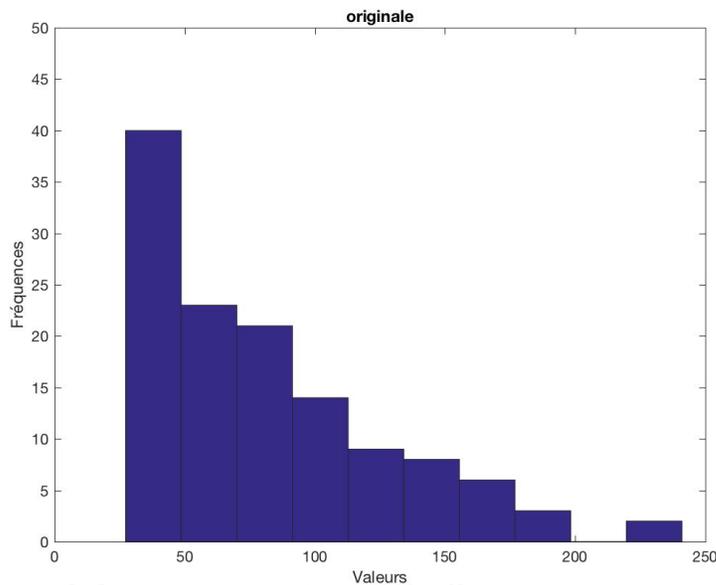
Cependant, est-ce que le krigeage respecte l'histogramme des données et le variogramme théorique?



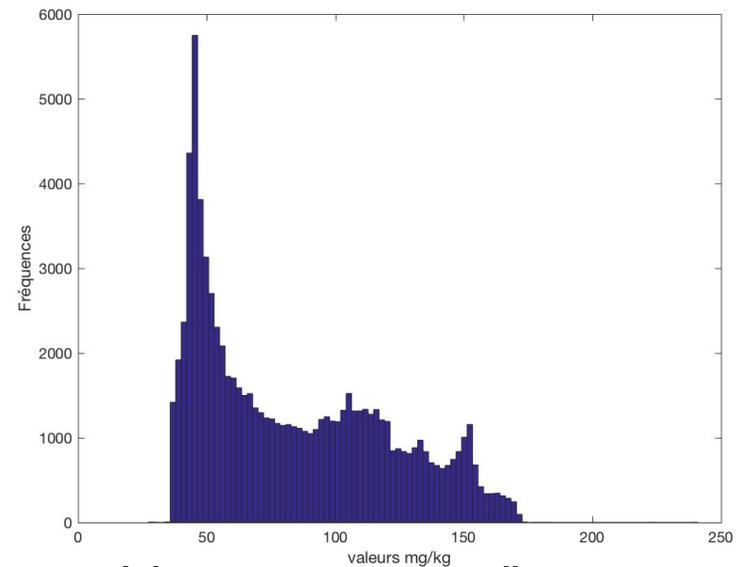
# Pourquoi le krigeage n'est pas meilleur?

Le krigeage est un bon estimateur de la moyenne. Donc, en moyenne, on estime mieux les volumes globaux.

Cependant, est-ce que le krigeage respecte l'histogramme des données et le variogramme théorique?



Moyenne: 82 mg/kg  
Écart type: 45 mg/kg  
Asymétrie: 1,2



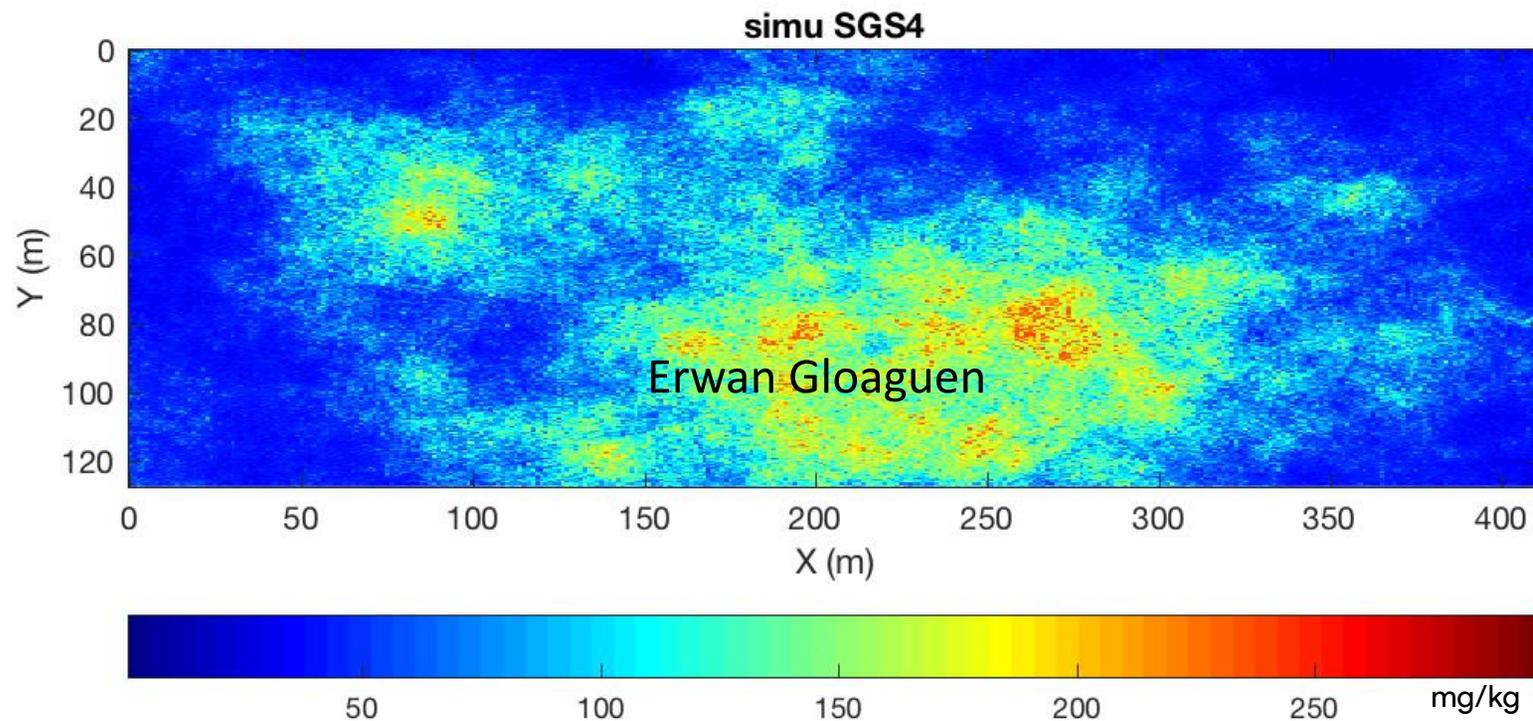
Moyenne: 83 mg/kg  
Écart type: 36 mg/kg  
Asymétrie: 0,5

# Solution: les simulations

« Elles sont un mensonge qui dit toujours la vérité »

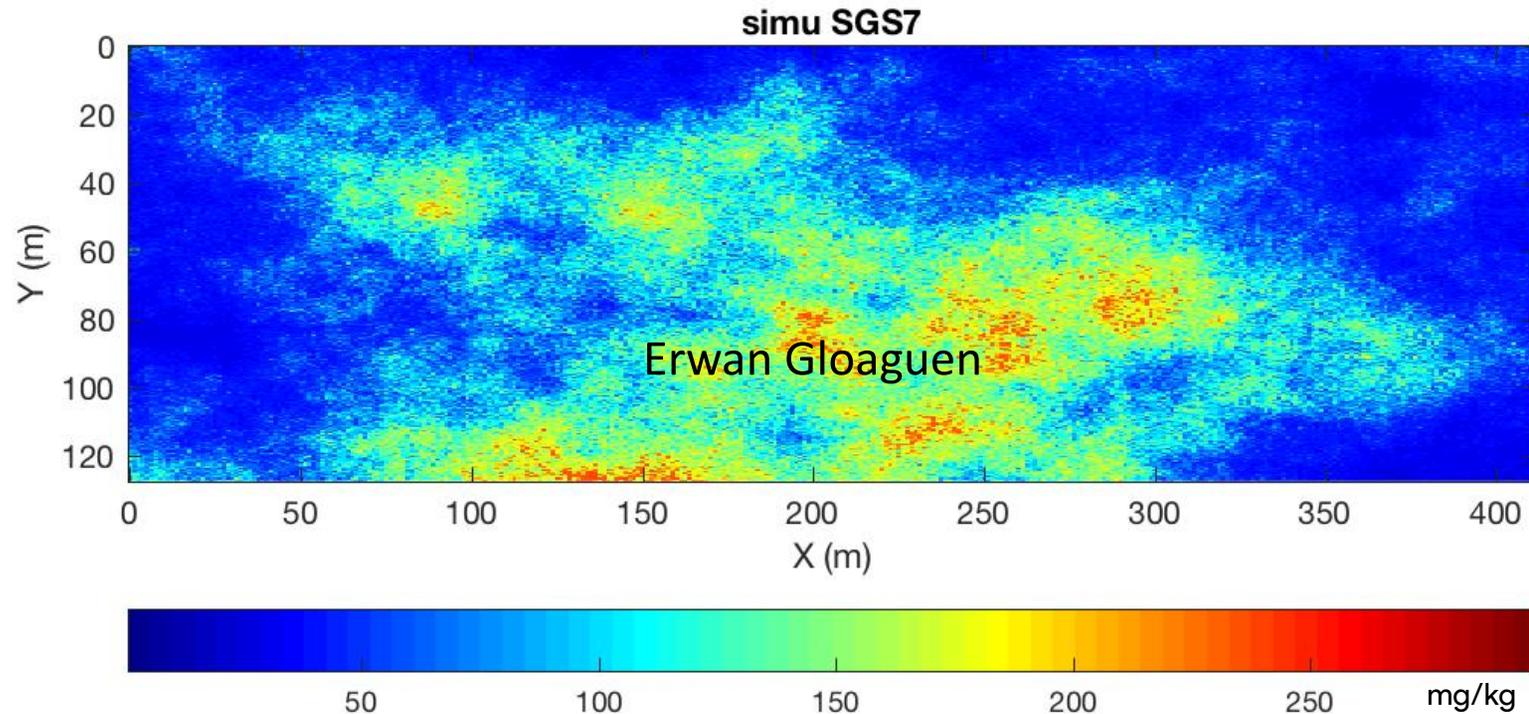
Jean Cocteau

# Simulations



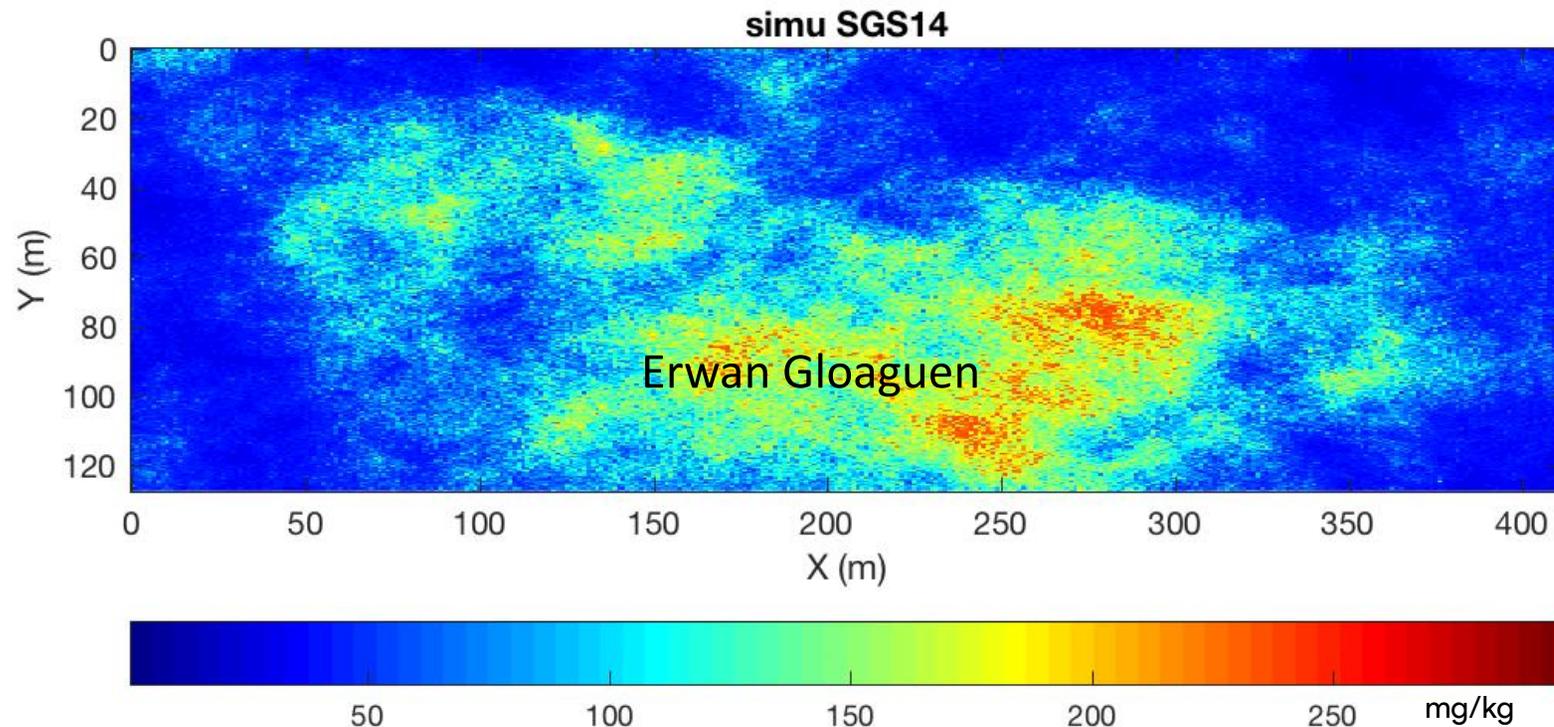
Tiens compte du lien spatial entre les données  
Reproduit l'**histogramme** et le **variogramme** des données  
Explore l'espace des possibilités

# Simulations



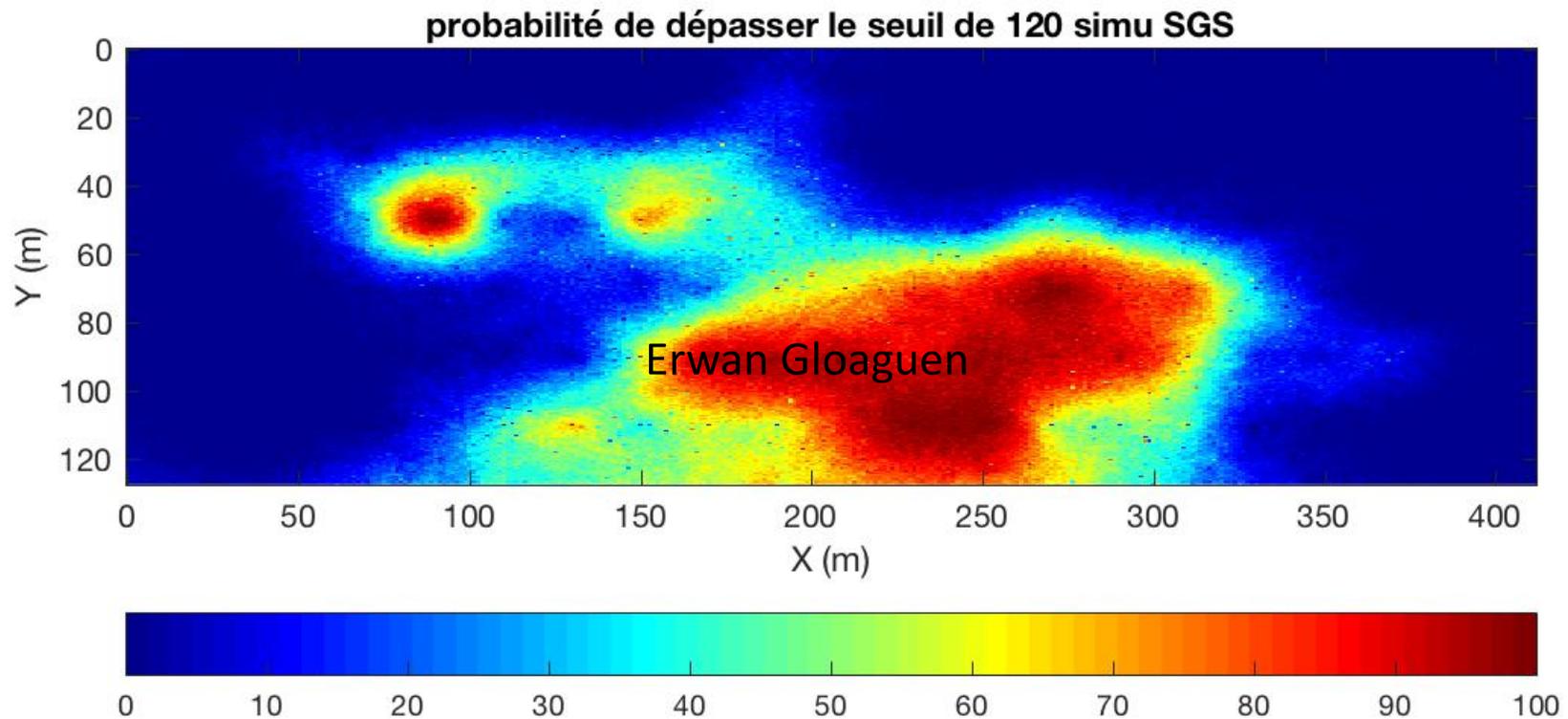
Tiens compte du lien spatial entre les données  
Reproduit l'**histogramme et le variogramme** des données  
Explore l'espace des possibilités

# Simulations



Tiens compte du lien spatial entre les données  
Reproduit l'**histogramme et le variogramme** des données  
Explore l'espace des possibilités

# Probabilité de dépassement de seuil

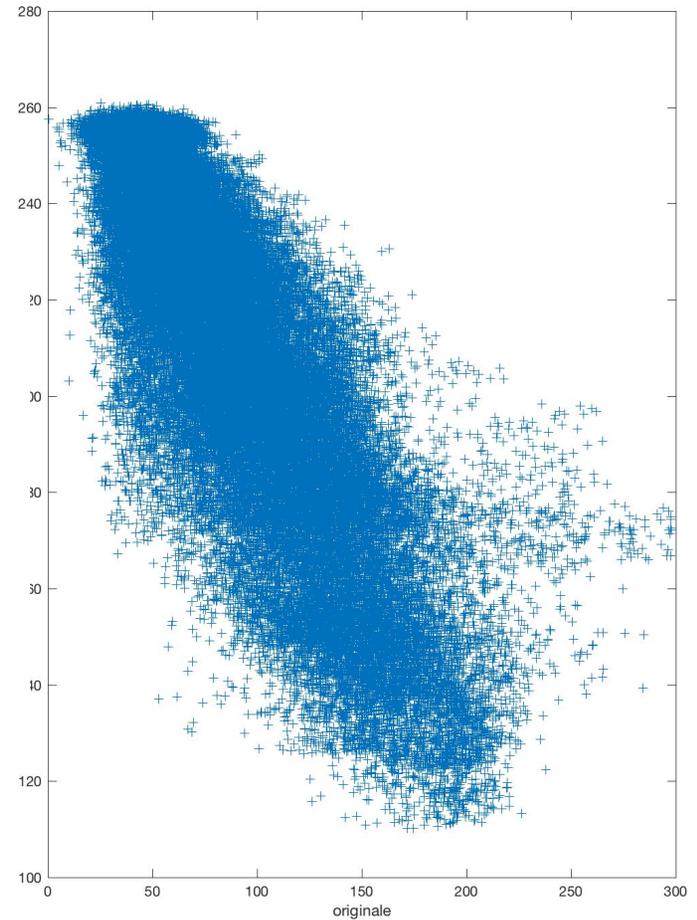
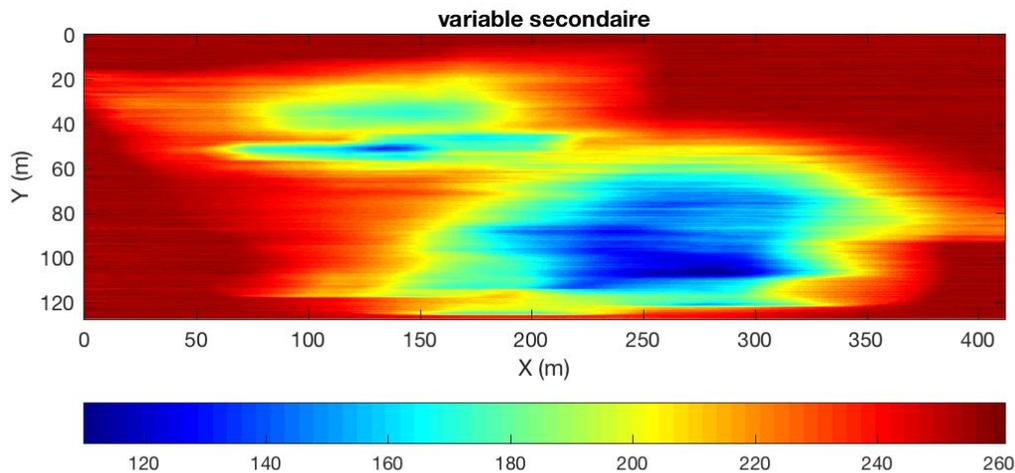


Aide à la prise de décision

Existe-t-il des outils pour faire mieux?

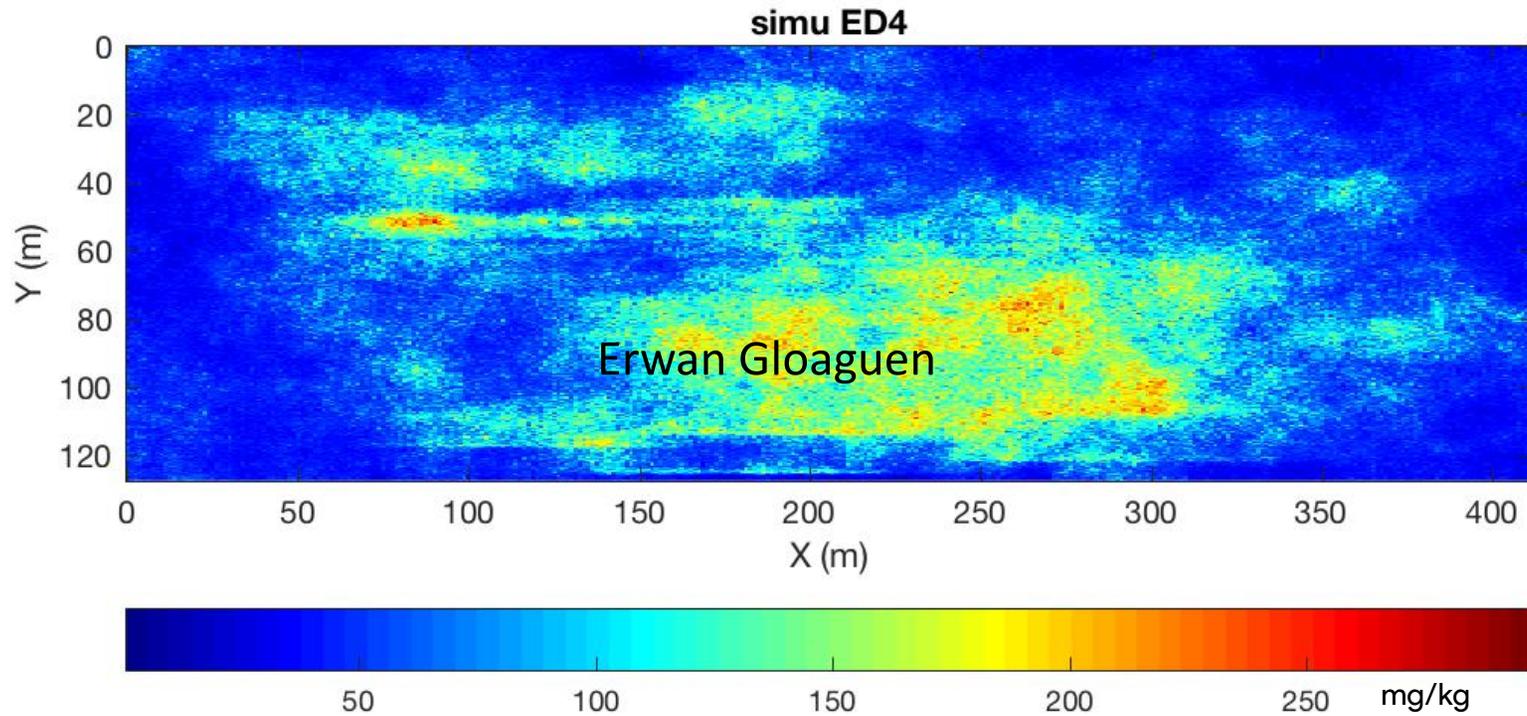
**Existe-t-il des outils pour faire mieux?  
Les mesures indirectes?**

# Méthode de dépistage

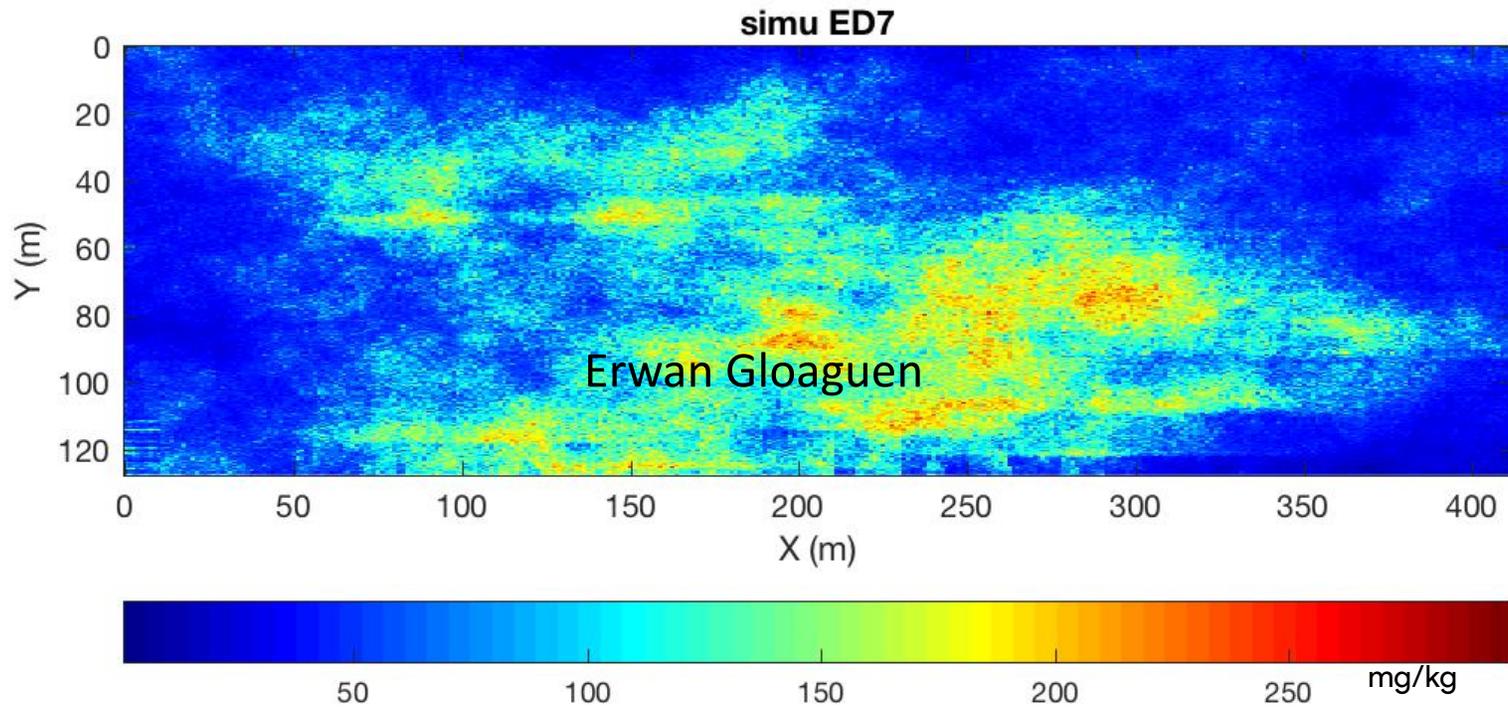


Données imprécise mais denses reliées (corr = -0.8) à la variable principale: ici géophysiques

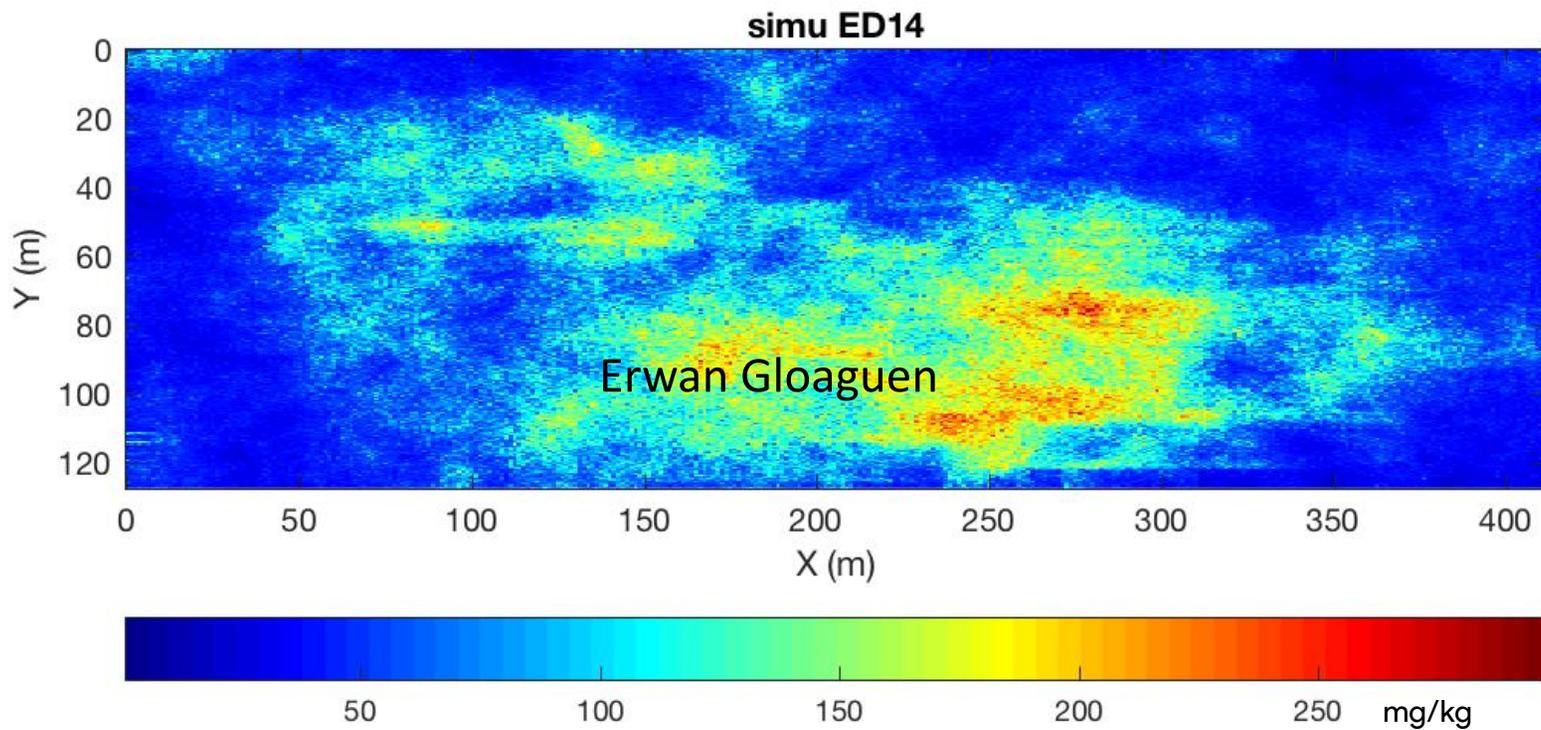
# Simulation avec dérive externe



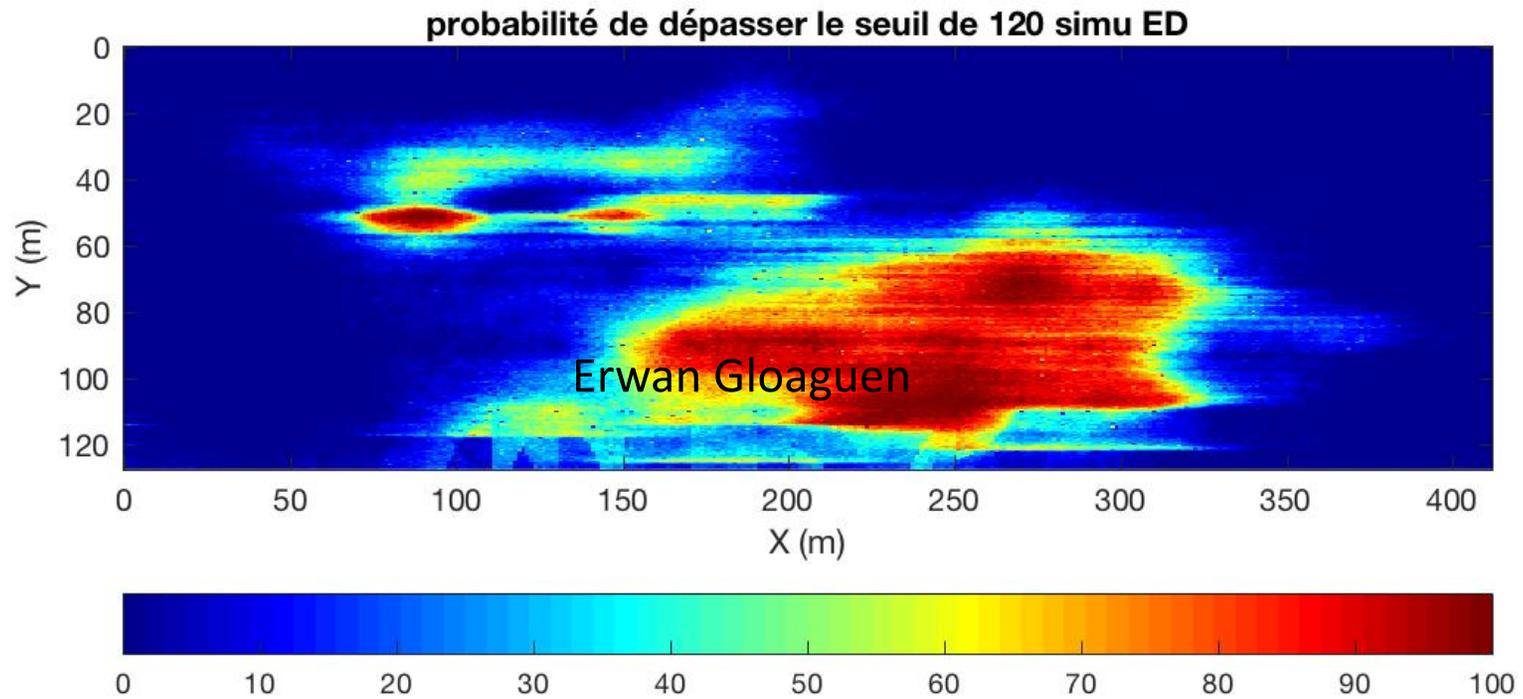
# Simulation avec dérive externe



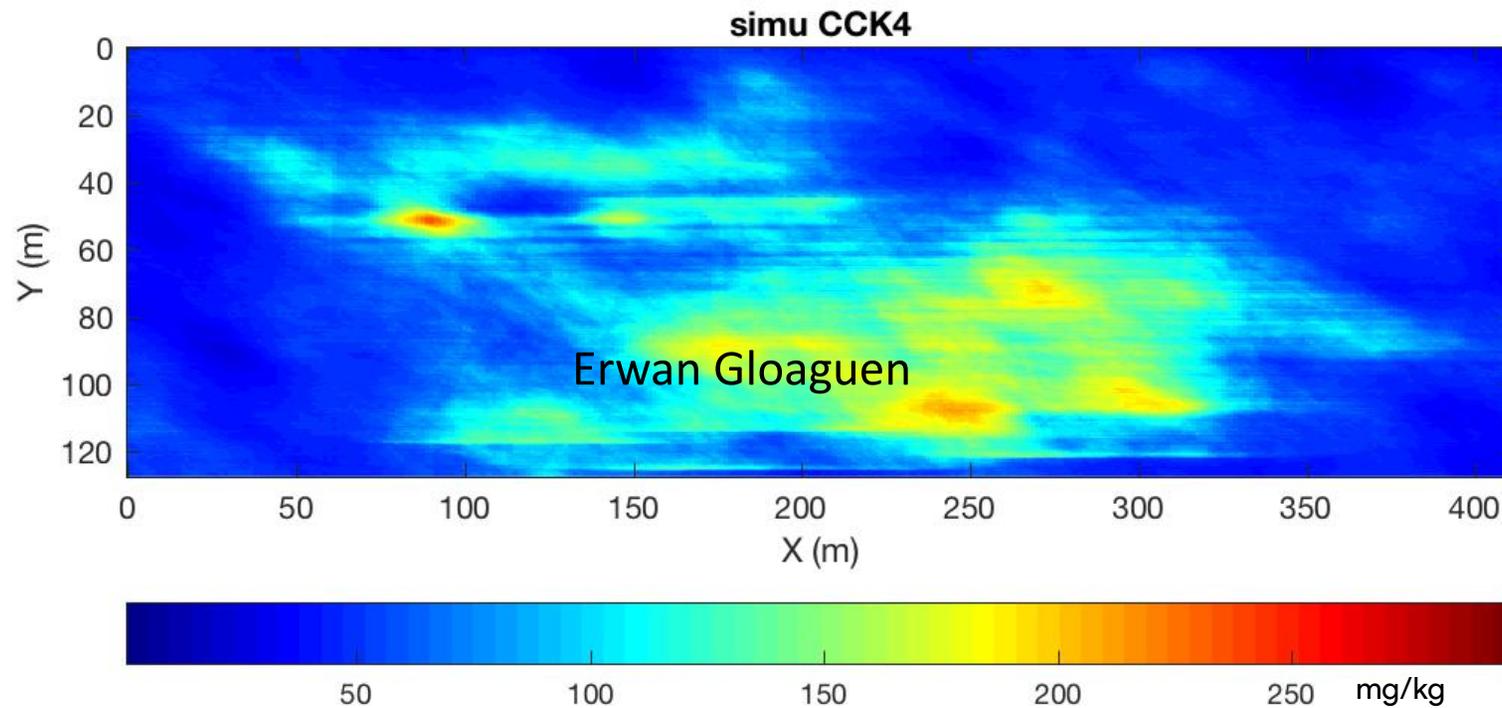
# Simulation avec dérive externe



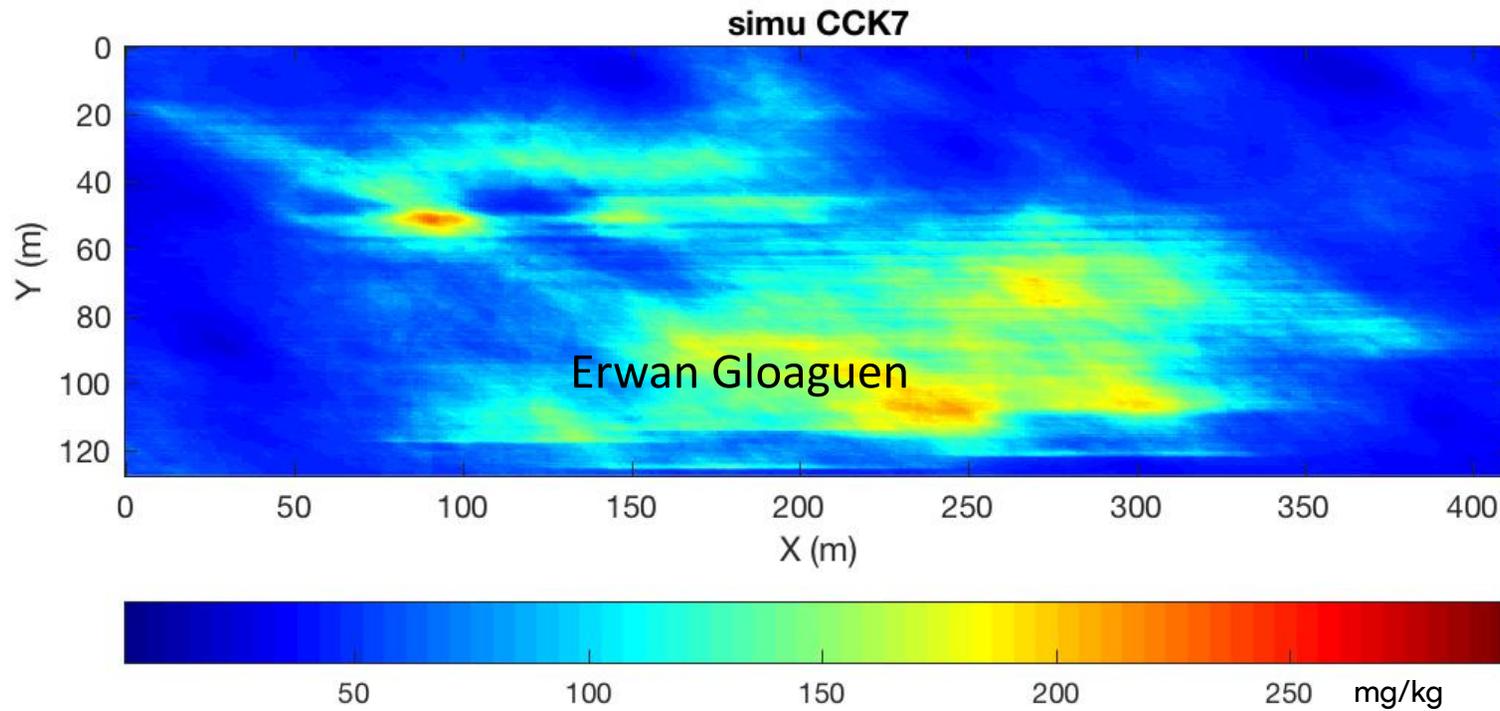
# Simulation avec dérive externe



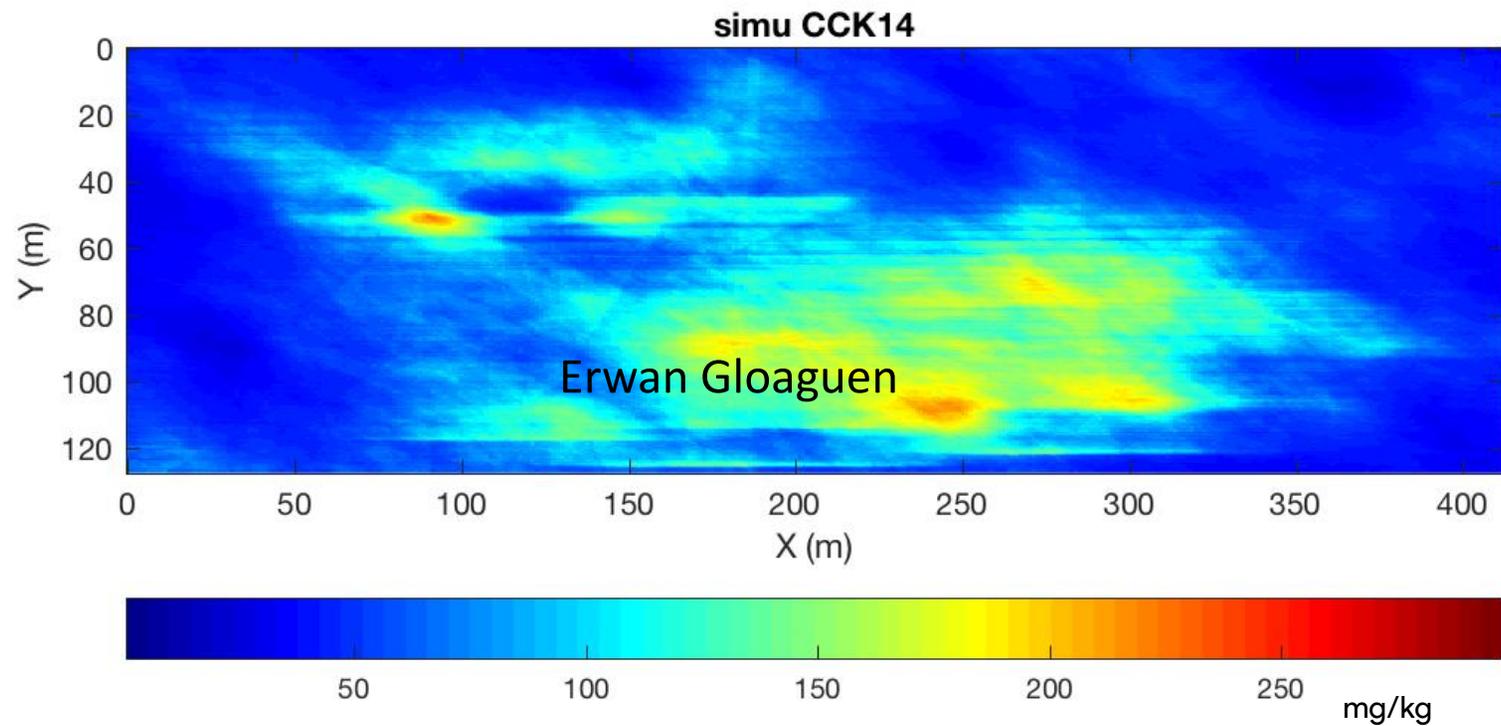
# Simulation collocalisée



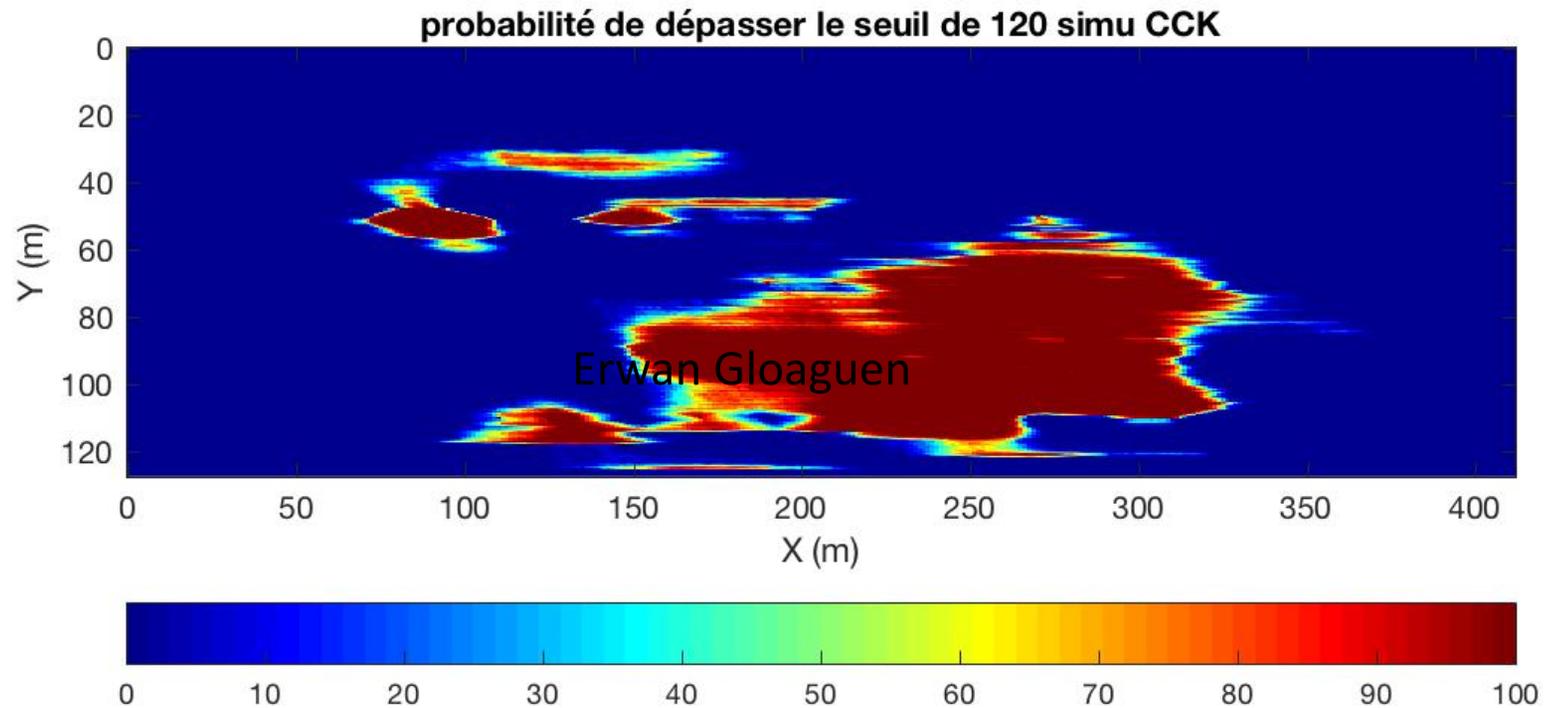
# Simulation collocalisée



# Simulation collocalisée

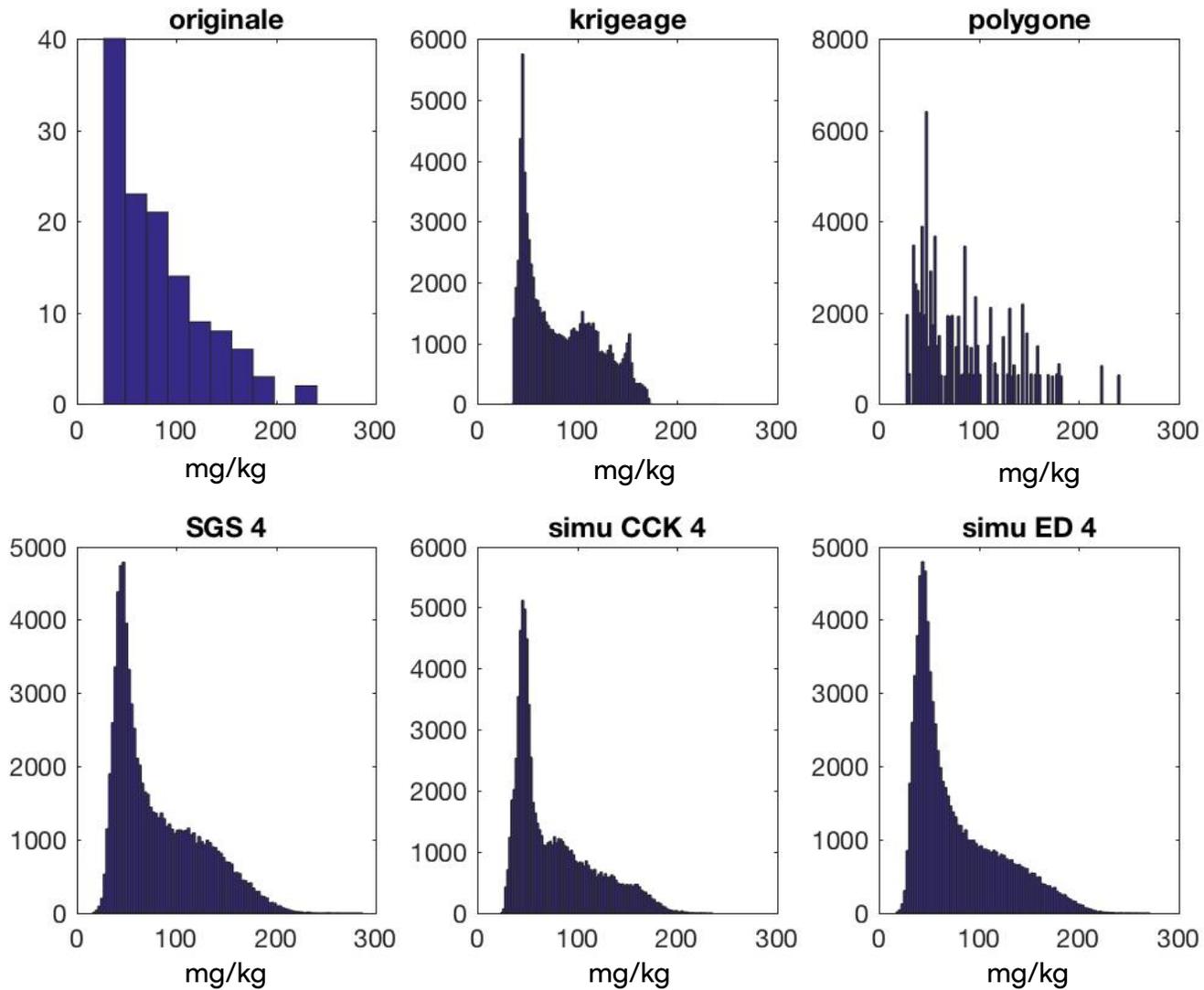


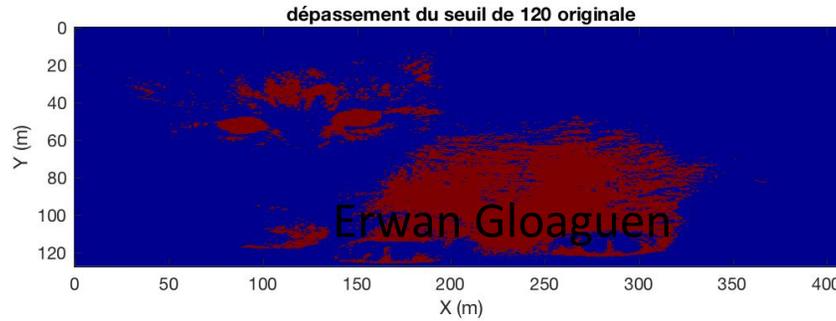
# Simulation collocalisée



# Analyse des résultats

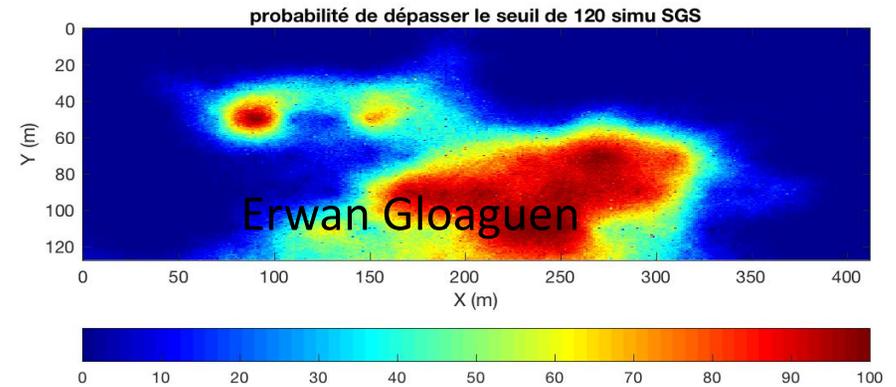
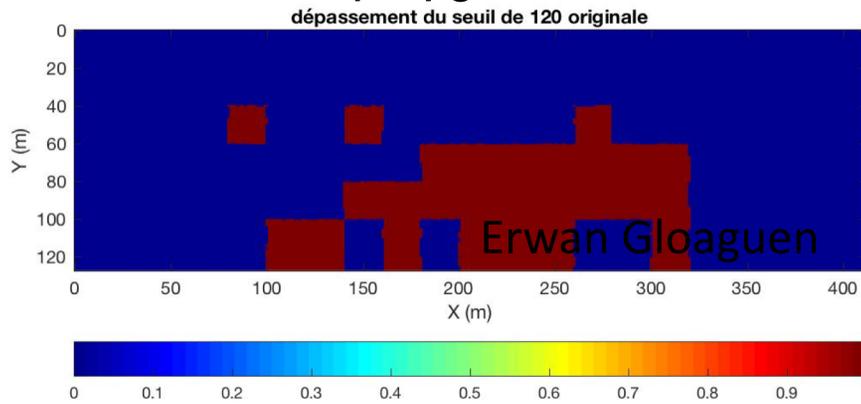
# Histogrammes





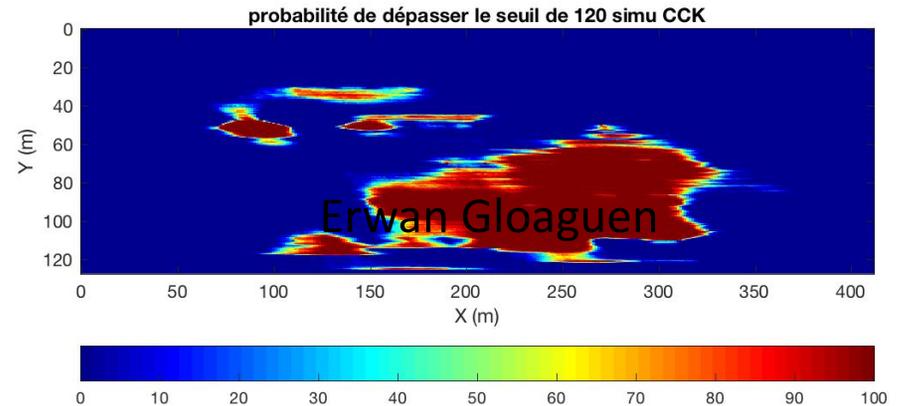
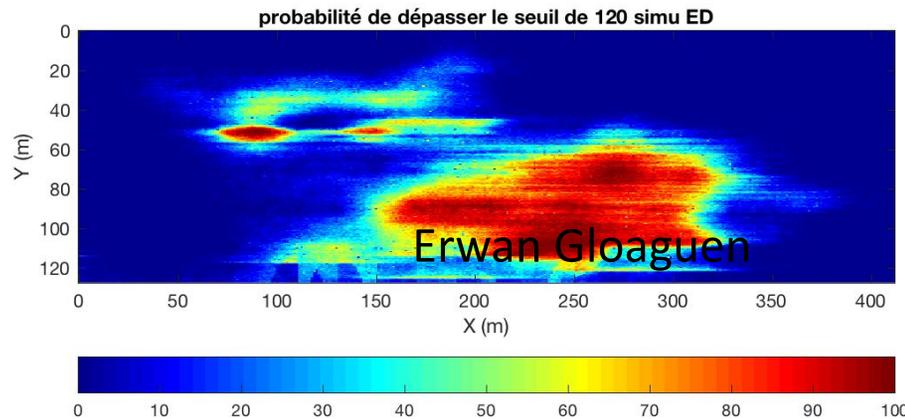
polygones

SGS



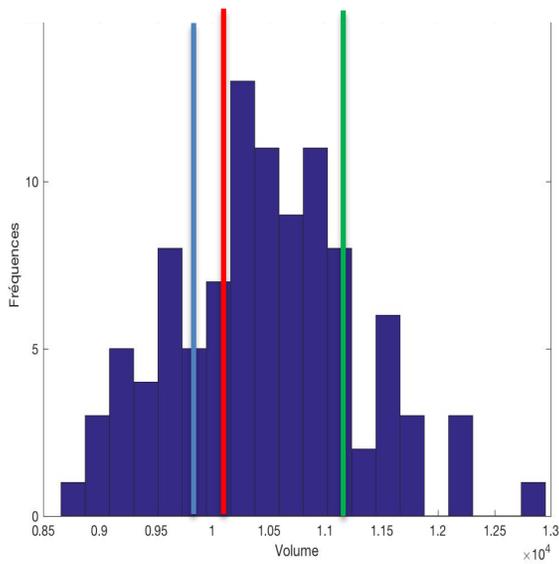
ED

CCK

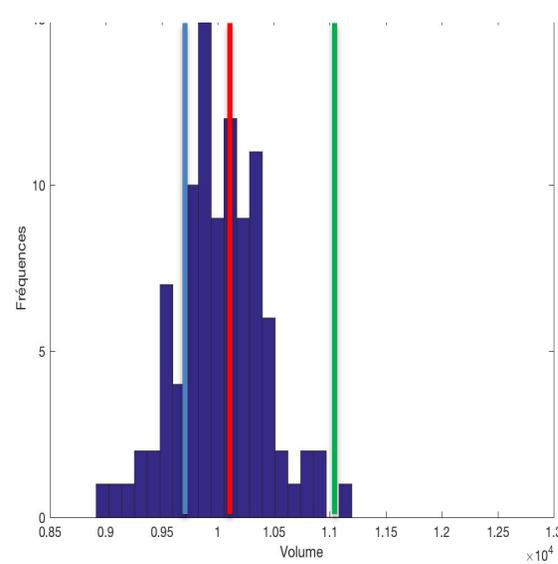


# Estimation des volumes dépassant le seuil

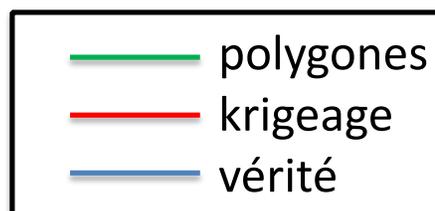
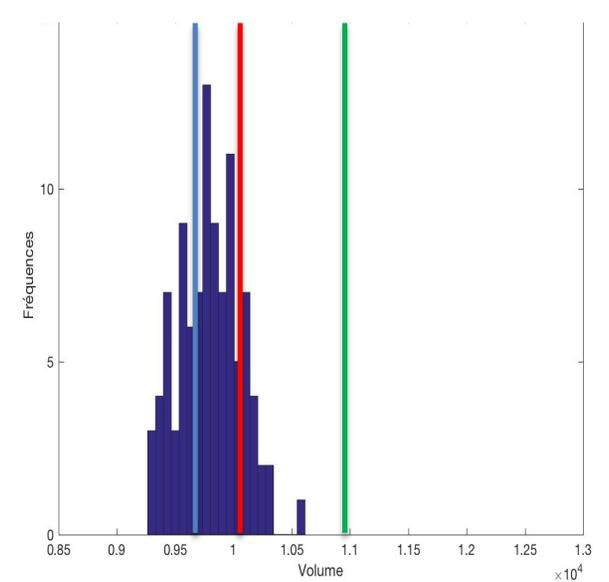
SGS



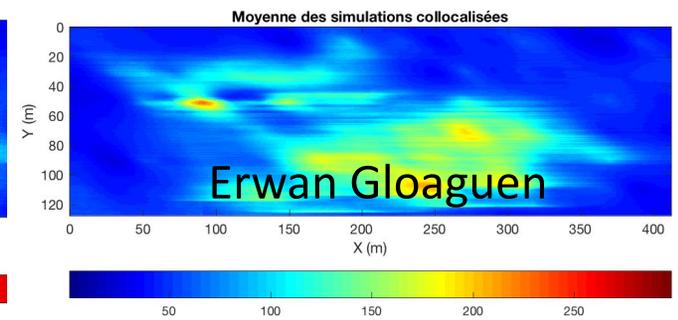
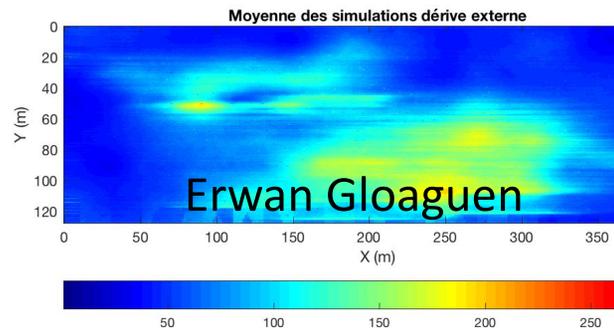
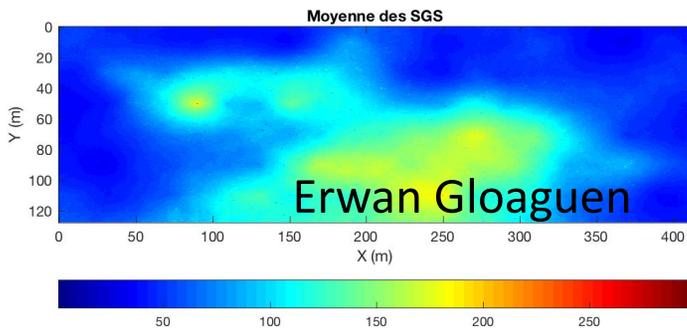
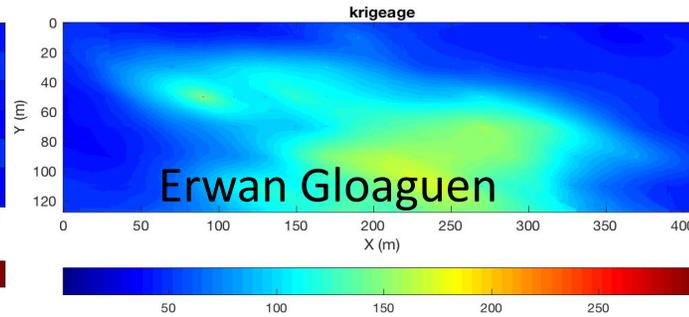
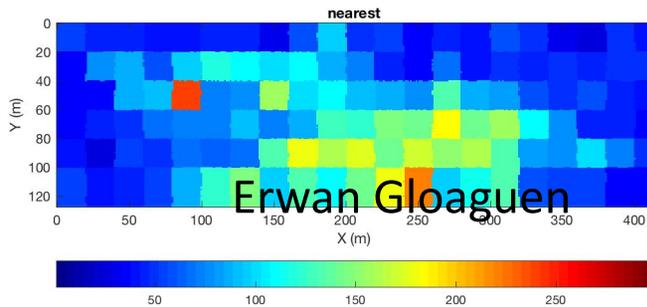
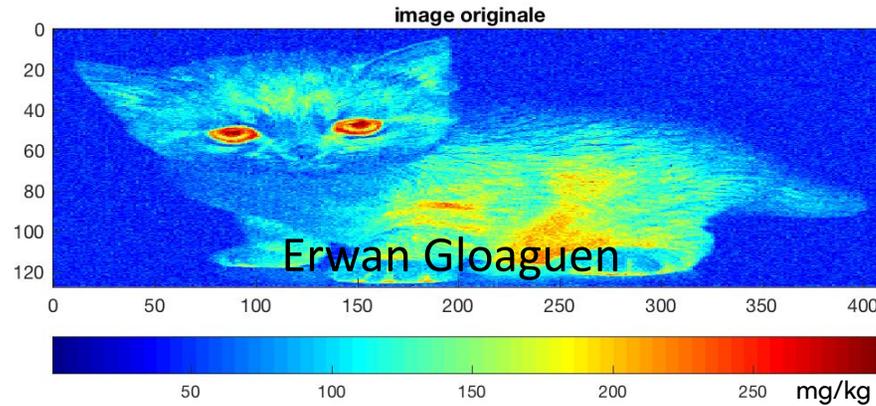
ED



CCK



# La vraie image



# Existe-t-il des outils géostatistiques pour faire mieux?

Oui, si on utilise les bons outils:

- Simulations,
- Dépistage (mesures continues indirectes),
- modèle conceptuel,
- penser la données en fonction de ses utilisations présentes et futures.



ASSOCIATION  
DES FIRMES DE  
GÉNIE-CONSEIL  
**QUÉBEC**

1440, RUE SAINTE-CATHERINE OUEST, BUREAU 930  
MONTRÉAL (QUÉBEC) H3G 1R8

TÉL. : 514 871.2229 | [info@afg.quebec](mailto:info@afg.quebec)

[afg.quebec](http://afg.quebec)