

Evaluation du terme source pour  
l'étude des risques :  
pourquoi améliorer la reconnaissance  
des sites?

Evaluating the pollution stock for risks  
study : why improve the sites survey ?

Chantal de Fouquet  
Ecole des mines de Paris  
géosciences - géostatistique  
chantal.de\_fouquet @ensmp.fr

# Introduction

## 1. Incertitudes sur les teneurs

Incertitudes on the grades

## 2. Incertitudes sur les volumes pollués

Incertitudes on the polluted volumes

## 3. Incertitudes sur les paramètres de l'écoulement

Incertitudes on the flow parameters

# Conclusion

# Introduction

Histoire du site, remaniements,  
contexte hydrogéologique

- ▶ chaque site est particulier
- ▶ variabilité spatiale, hétérogénéités
- ▶ incertitudes

teneurs

volumes : extension à 3 Dimensions  
paramètres de l'écoulement

# Introduction

Prévisions : transfert à la nappe  
traitement du site

- ▶ quantification du terme source
- ▶ reconnaissance du milieu
- ▶ estimation des teneurs en place
  - krigeage, incertitude associée
  - probabilité de dépassement de seuil
- ▶ simulations pour l'étude de risque
  - adapter le modèle à la réalité
  - études de sensibilité aux paramètres mal connus

# 1. Incertitudes sur les teneurs

Incertitudes on the grades

Exemple : ancien site pétrochimique

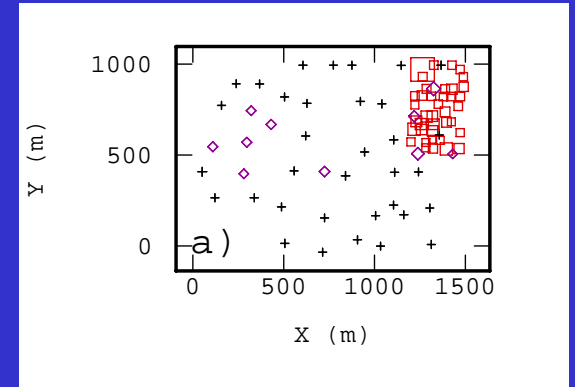
hydrocarbures totaux

échantillonnés sur deux niveaux

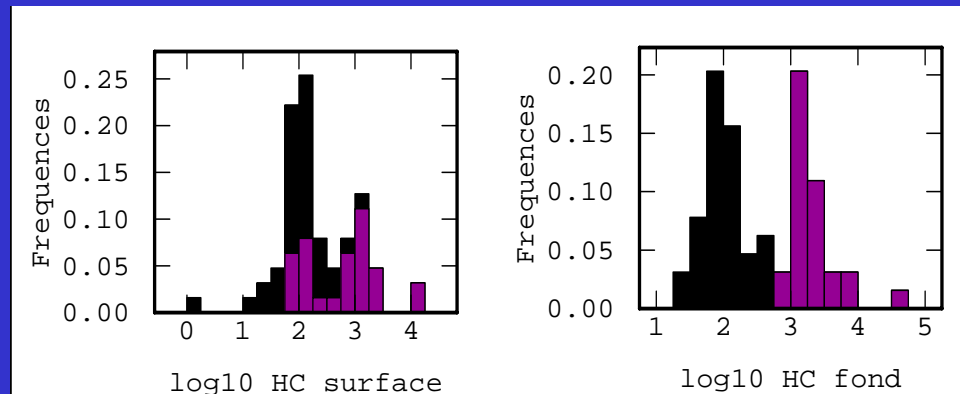
resserrement local de l'échantillonnage

# Teneurs dans les sols d'un ancien site pétrochimique

## Implantation des mesures

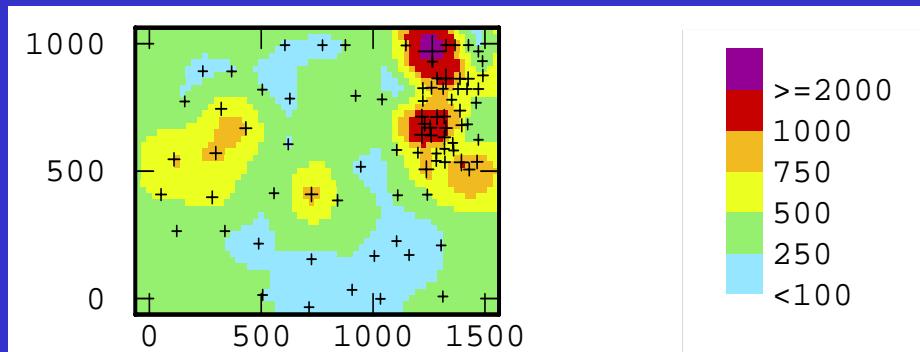


## Relation entre teneur et profondeur



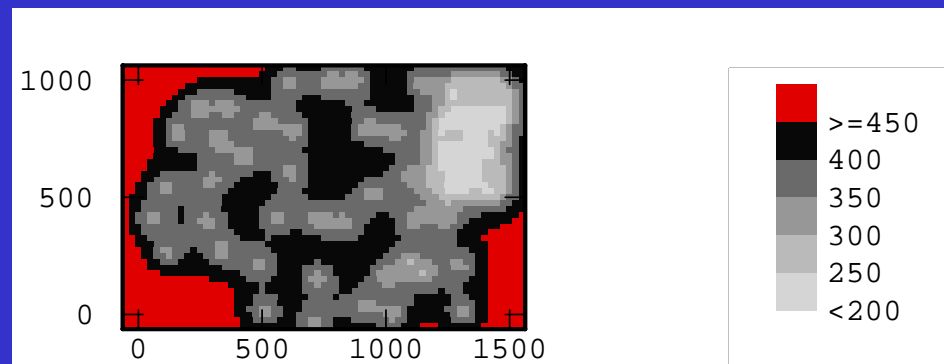
# Estimation des teneurs pour des blocs de 25m x 25m

Krigeage



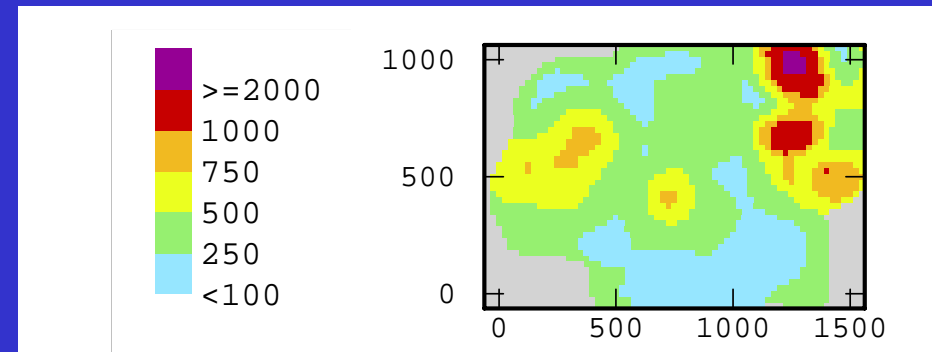
Ecart-type de krigeage

unité : ppm



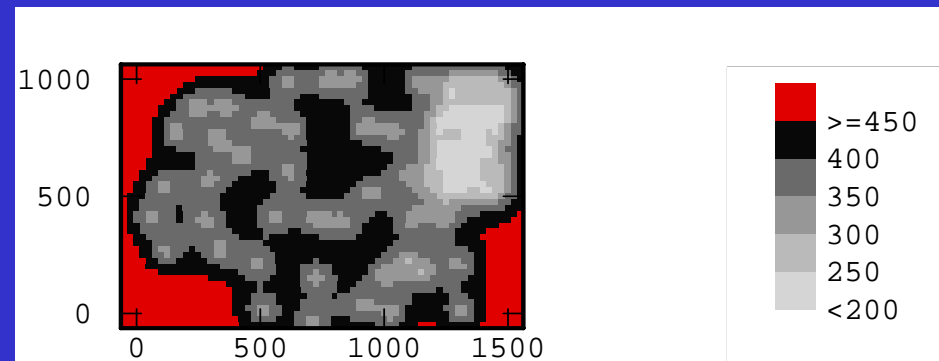
# Estimation des teneurs pour des blocs de 25m x 25m

Krigeage



Ecart-type de krigeage

unité : ppm





## 2. Incertitudes sur les volumes

Incertitudes on the volumes

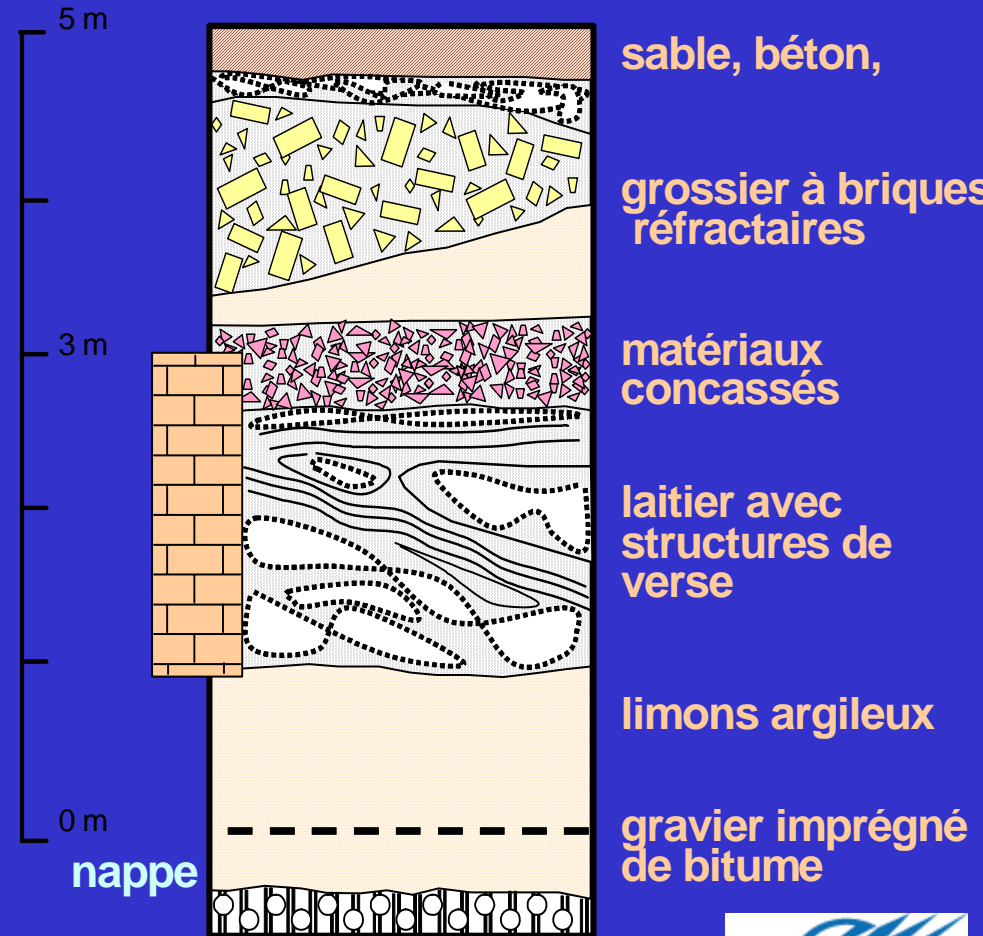
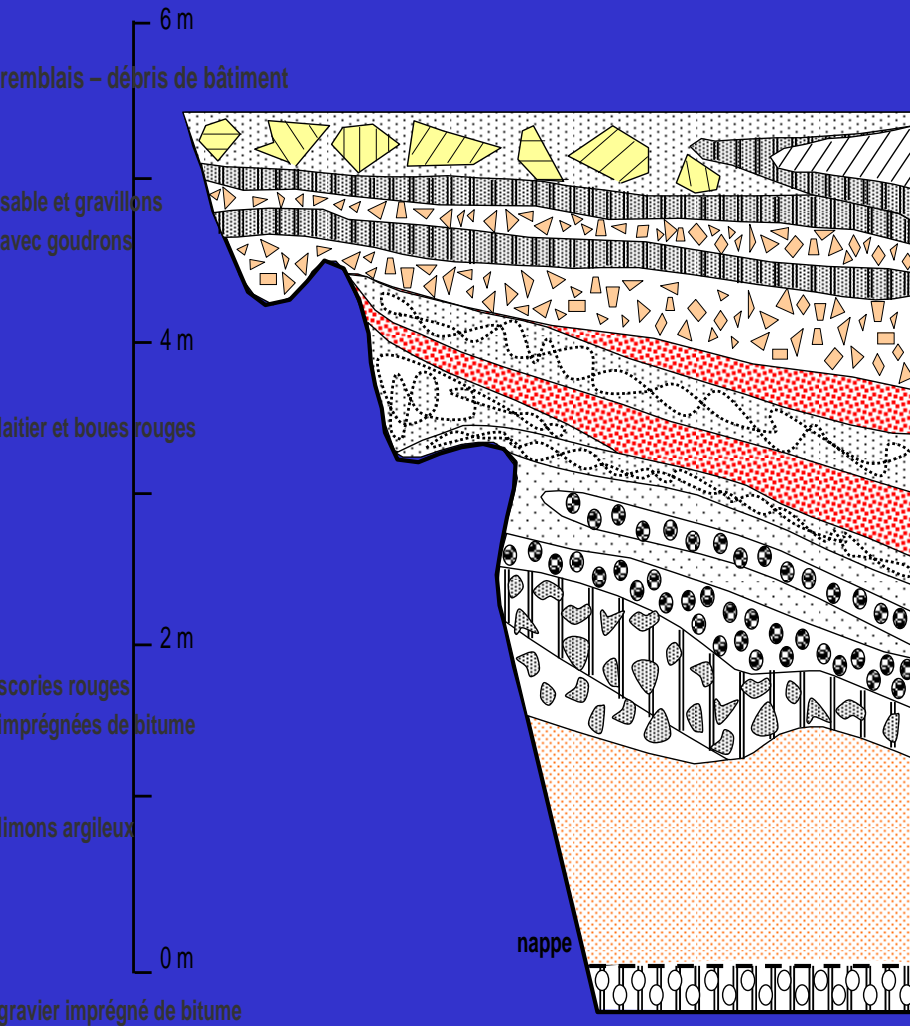
Friche de cokerie, reconnue par plusieurs campagnes successives

profondeur : 2m puis 4m

Puis prospection du site à la pelle mécanique (programme de recherche du ministère de l'environnement)

profondeur investiguée : jusqu'à 6m

# Deux coupes verticales



Thiry et al., 2000

# Observations lors de la prospection

Dans quelques fosses, les travaux à la pelle mécanique ont atteint les alluvions.

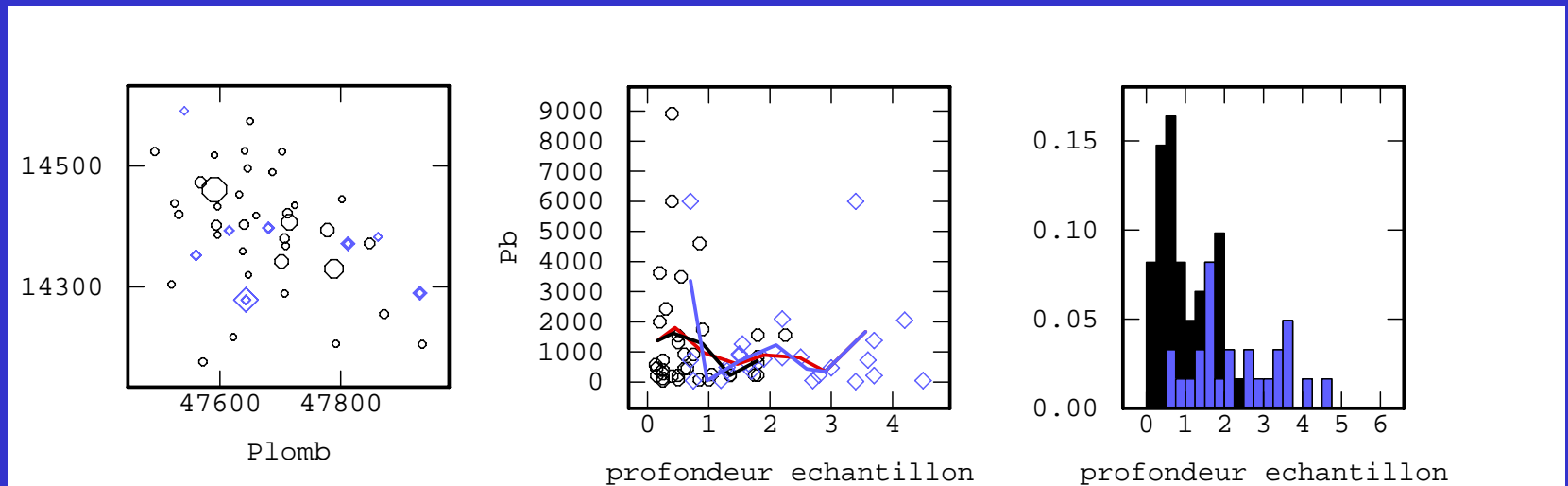
Baignant dans la nappe, elles sont imprégnées par des goudrons sur environ 1 m d'épaisseur.

La moitié Est de la friche est remblayée sur 2 à 4 m par des laitiers qui n'ont pu être traversés.

Des sondages seraient nécessaires pour mesurer l'épaisseur de ces remblais.

Thiry et al, 2000.

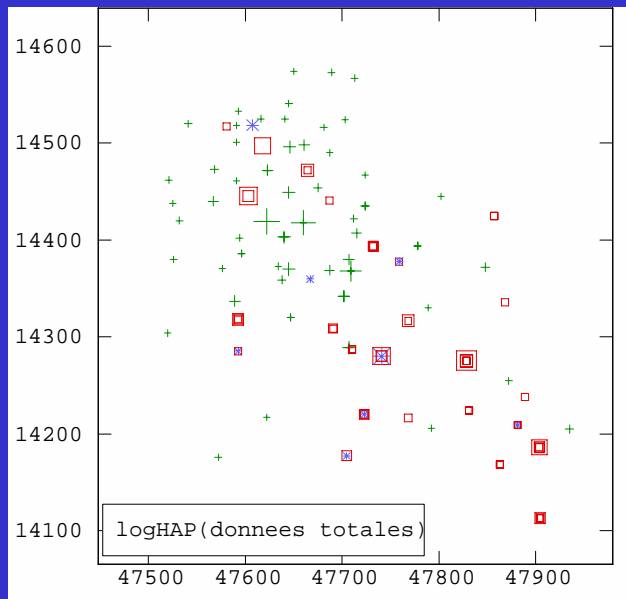
# Relation entre la teneur en plomb et la profondeur



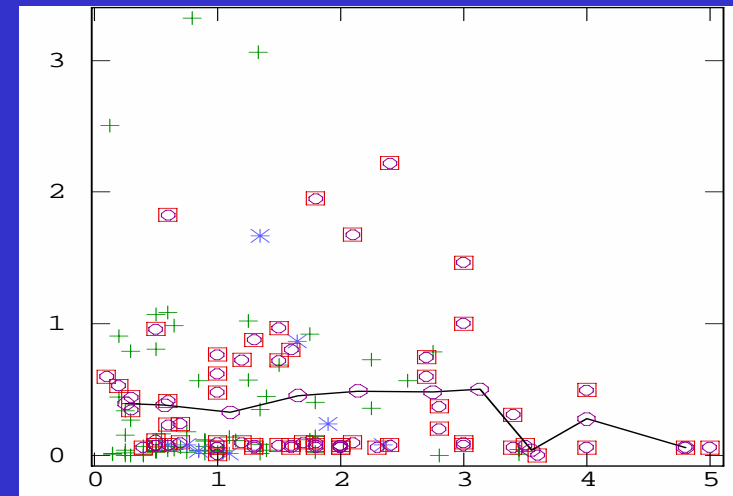
○ 1ère campagne

□ 2ème campagne

# Relation entre la teneur en HAP et la profondeur



log HAP



profondeur

fosses 91-93

fosses 95

autres

# Extension verticale de la pollution

- quel critère d'arrêt de la reconnaissance en profondeur lors de l'échantillonnage ?
- le volume des sols pollués et le tonnage de la pollution en place restent inaccessibles lorsque l'extension verticale de la pollution n'est pas reconnue
  - dimensionnement de la dépollution ?
  - quantification du terme source pour l'étude du transfert à la nappe

# 3. Incertitudes sur les paramètres de l'écoulement

Uncertainties on the flow parameters

Prévoir

- l'extension d'un panache de pollution
- le temps d'arrivée de la pollution à la nappe, à un captage, à un cours d'eau

➤ Modélisation numérique de l'écoulement

Paramétrage : perméabilité, porosité, teneur en eau à saturation...

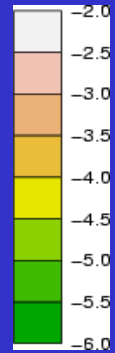
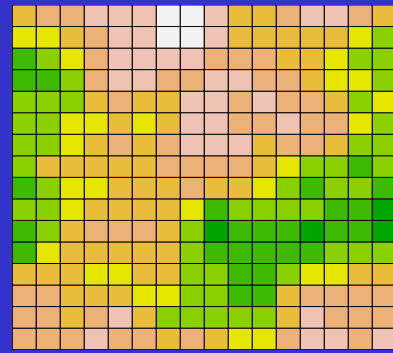
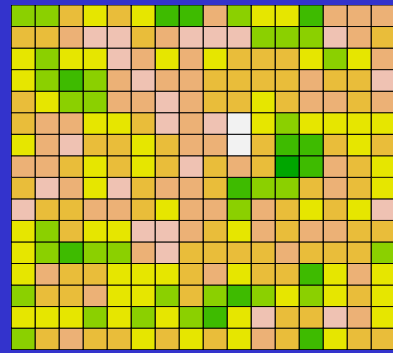
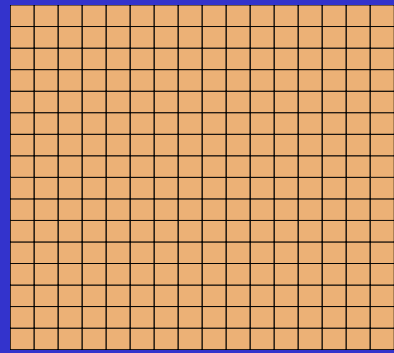
# Les simulations géostatistiques pour reproduire la variabilité spatiale du milieu

uniforme

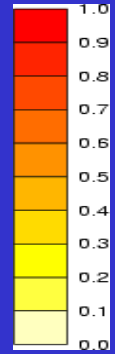
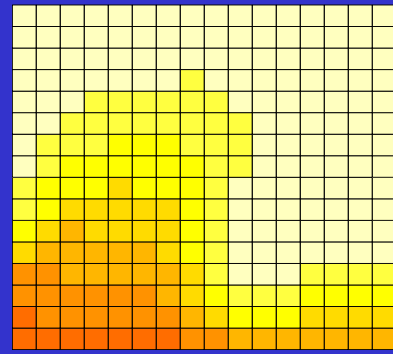
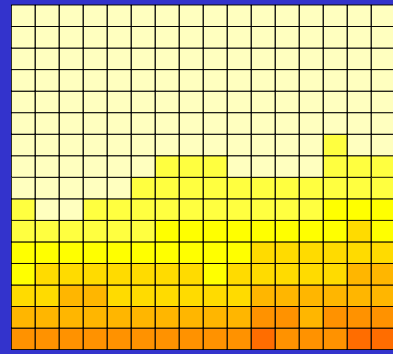
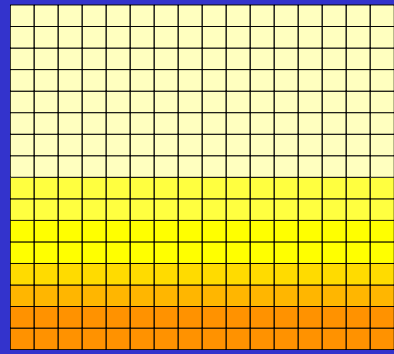
sim 1

sim 2

$\log_{10}(K)$



concentration  
traceur  
(molal)

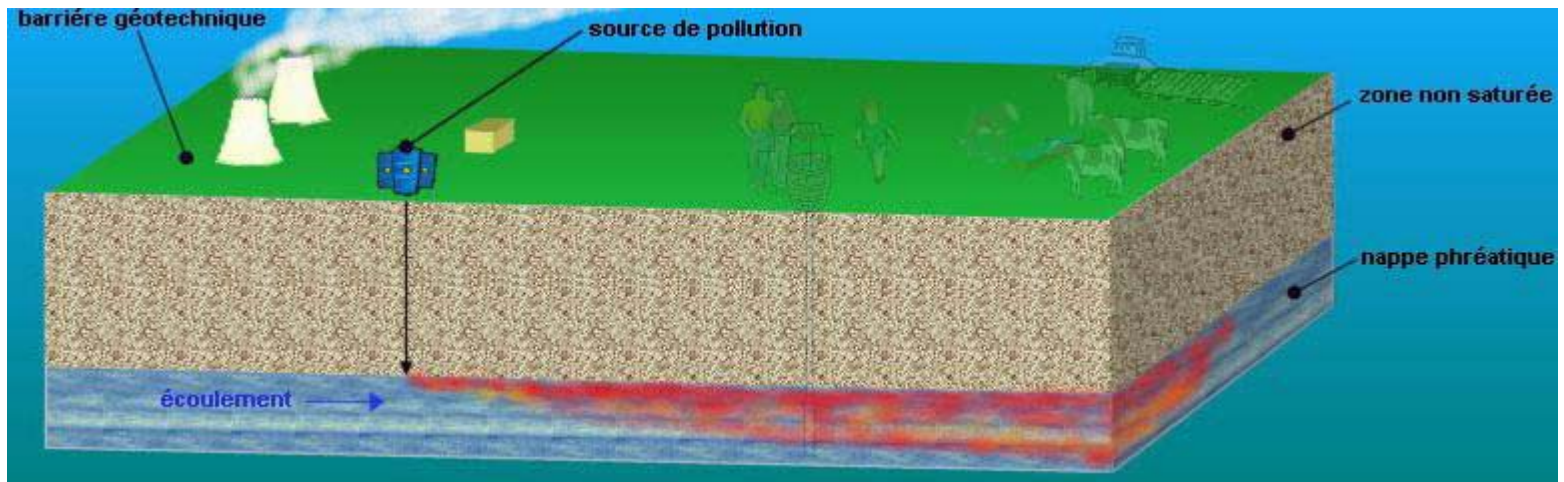


injection du traceur



# Example : radioactive marker flow

**Context** : transport in the unsaturated zone



**Purpose** : uncertainties amplitude, through a fixed model, due to the hydrodynamic parameters spatial variability.

S. Mazuel et al., 2006. EDF-EMP

## Methodology

Small domain

5m



2m

Model fitting  
geostatisticsFlow and transport simulations  
with stochastic fields**Sampling surveys from a soil of a real site:**

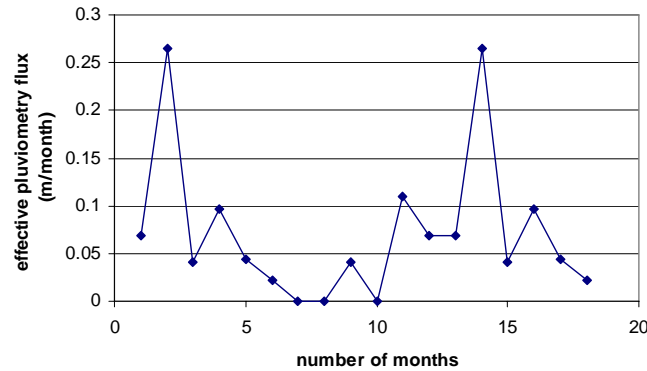
- pedological pit for the porosity
- infiltrometry for  $K_s$ , VG parameters  $\alpha$  and  $n$
- effective pluviometry

Uncertainties amplitude  
(velocities, flux)

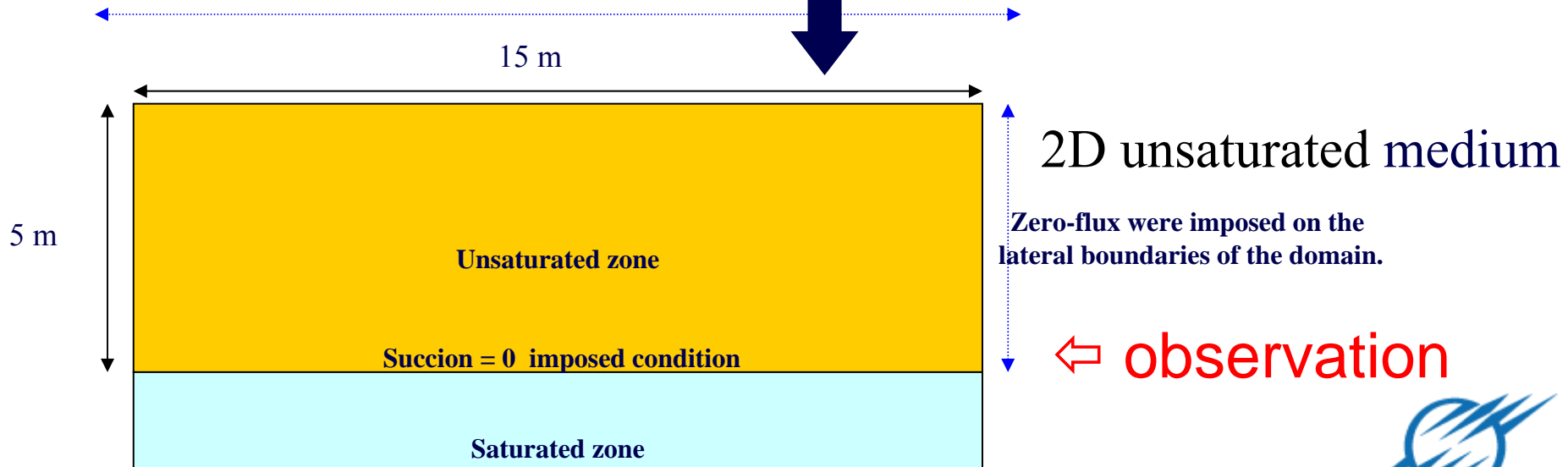
S. Mazuel et al., 2006. EDF-EMP

Model fitting: the boundary conditions

time serie of monthly  
effective rainfall



Modelled zone

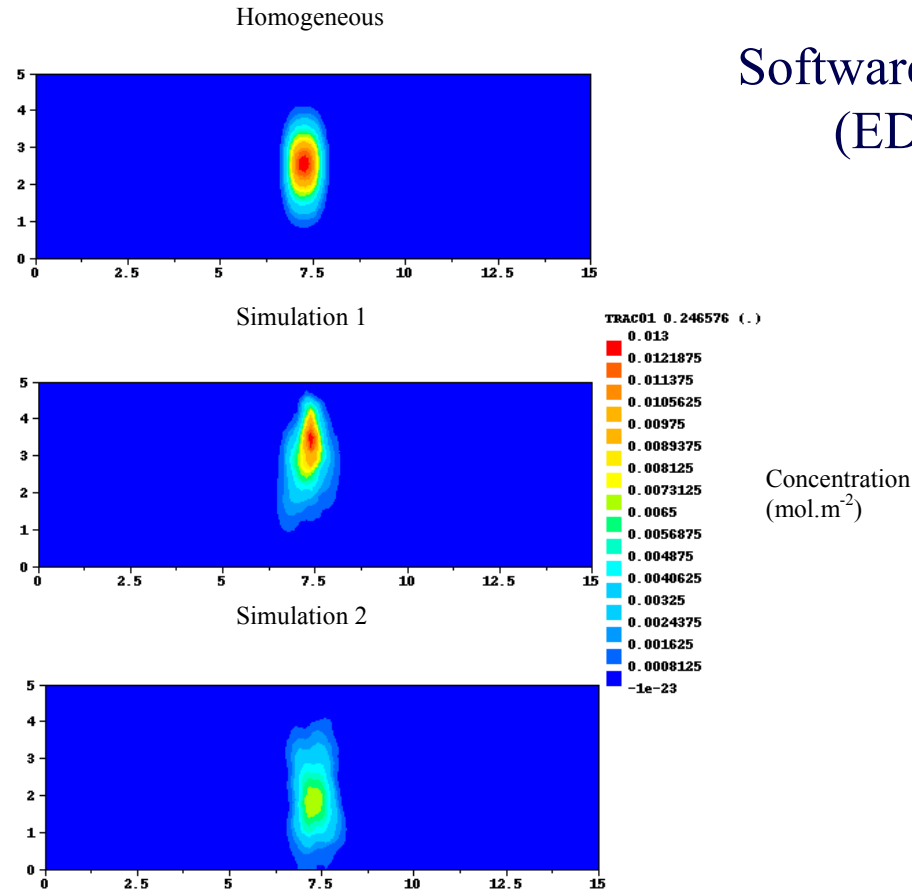


## Simulations results: uncertainty on the plume

→ A non reactive water ( $H^3$ ) tracer injected to a few cm of surface

Software ESTEL 2D  
(EDF R&D)

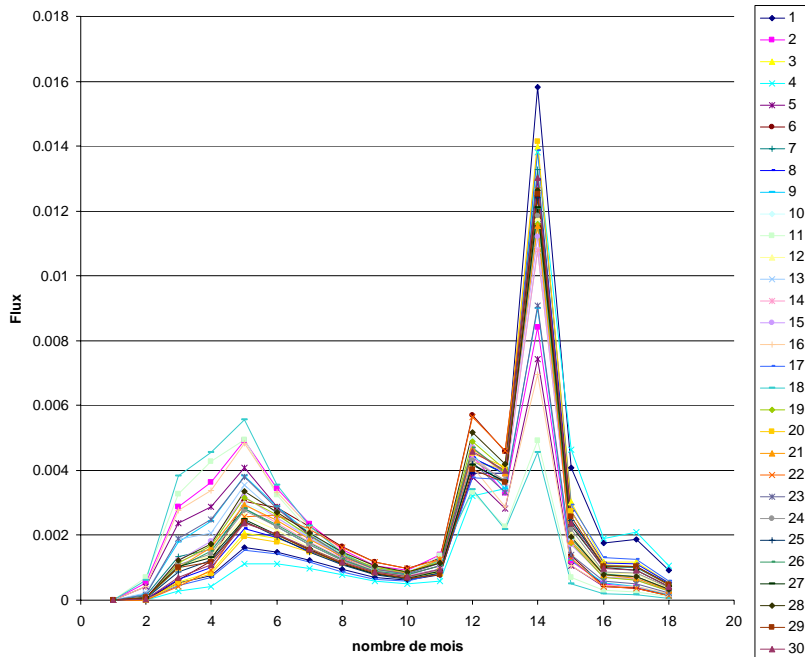
After 3 months



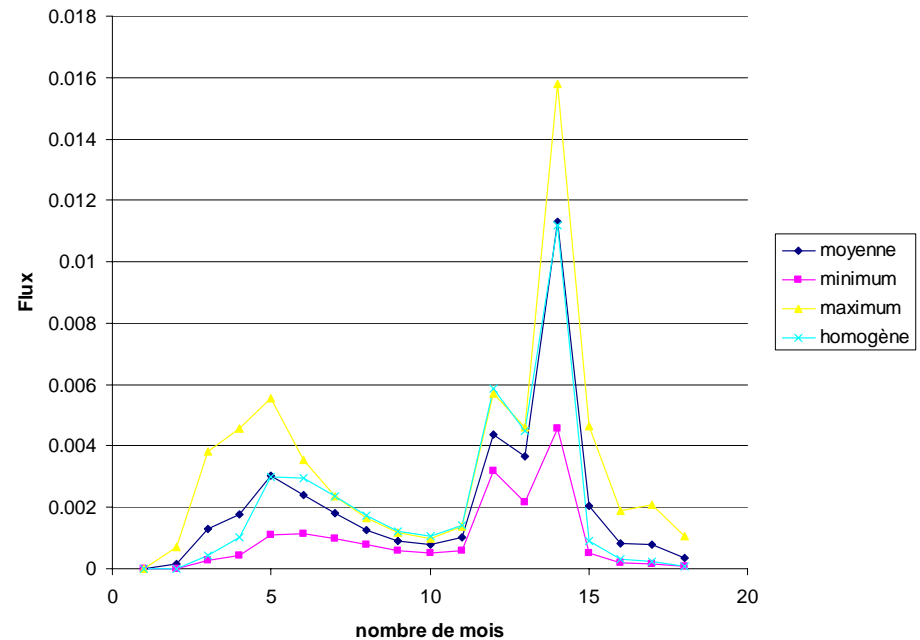
➔ Preferential pathways on the simulations

Résultats de simulations – Modèle fixé

Flux de  $^3\text{H}$  traversant la section située à  $z = 0.5 \text{ m}$  (soit 50 cm au-dessus de la nappe)



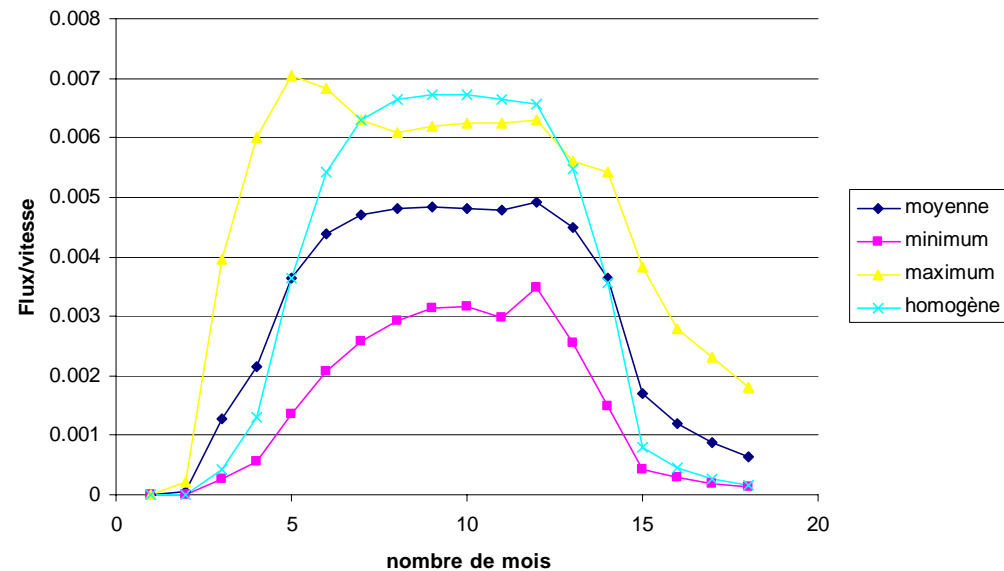
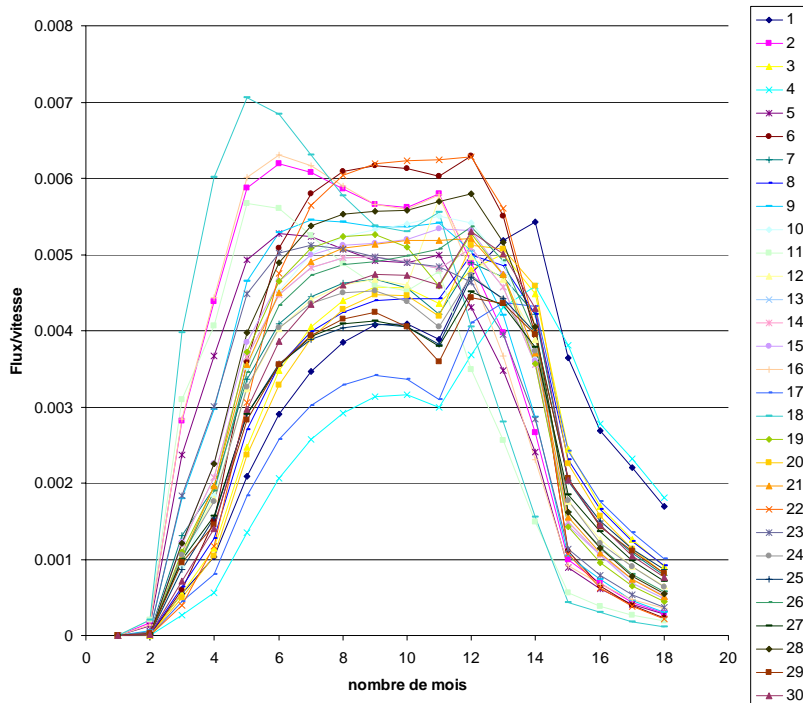
30 simulations



Intervalle d'incertitude

Pluies variables dans le temps  
 ⇒ flux/vitesse, équivalent à une concentration

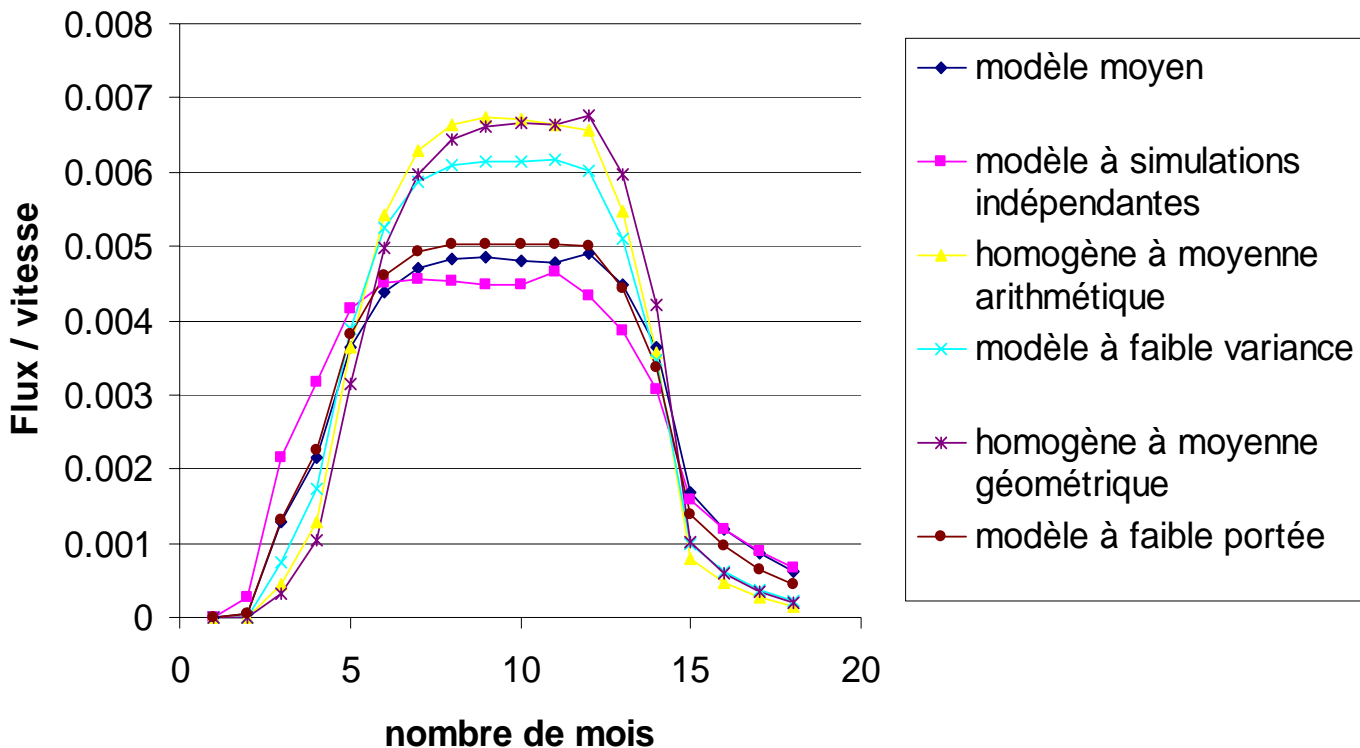
## Résultats de simulations – Modèle fixé

Flux/vitesse de  $^3\text{H}$  traversant la section située à  $z = 0.5$  m (soit 50 cm au-dessus de la nappe)

- Biais entre le milieu homogène et la moyenne des simulation
- Incertitude sur la date d'arrivée du panache dans la nappe (2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> mois).



## Incertitudes sur le modèle : étude de sensibilité



à « tirage » fixé, influence du modèle sur

- la date d'arrivée et la durée de passage du panache
- sa concentration

# Conclusion

## Reconnaissance des sites

et étude exploratoire des données sont nécessaires

- échantillonnage systématique
- extension verticale des pollutions
  - mesures géophysiques, mesures rapides sur site
- cartographie & précision de l'estimation
- précision est-elle suffisante
  - pour une dépollution sélective
  - ou pour le suivi du traitement sur site



# Risque de transfert à la nappe

## Incertitudes sur

- le terme source : teneurs, volume
- l'écoulement et sa modélisation
  - conditions aux limites
  - lois reliant certains paramètres : porosité, perméabilité
- améliorer la connaissance de certains mécanismes
  - variabilité spatiale de ces paramètres

# Bibliographie

- de Fouquet C., Prechtel A., Setier J. C. 2004. Estimation de la teneur en hydrocarbures totaux du sol d'un ancien site pétrochimiques : étude méthodologique. *Oil&Gas Science and Technology- Rev. IFP*, 59(3) 275-295
- Mazuel S., de Fouquet C., Chilès J.-P., Goblet P., Krimissa M. 2006. geostatistical modelling for the quantification of uncertainties on the unsaturated zone and the groundwater transfer. *Groundwater hydraulics in complex environments*. IAHR, Toulouse.
- de Fouquet C. 2006. La modélisation géostatistique des milieux anthropisés. Habilitation à diriger des recherches. Mémoire des Sciences de la Terre n° 2006-13. Université Pierre-et-Marie Curie, Académie de Paris