

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 3Dimensions
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

Uncertainties on the grades

Example : ancien site pétrochimique

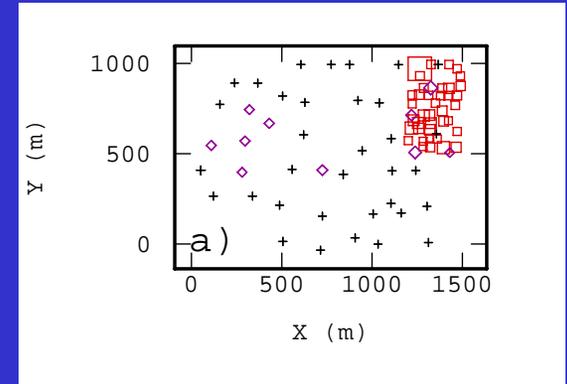
hydrocarbures totaux

échantillonnés sur deux niveaux

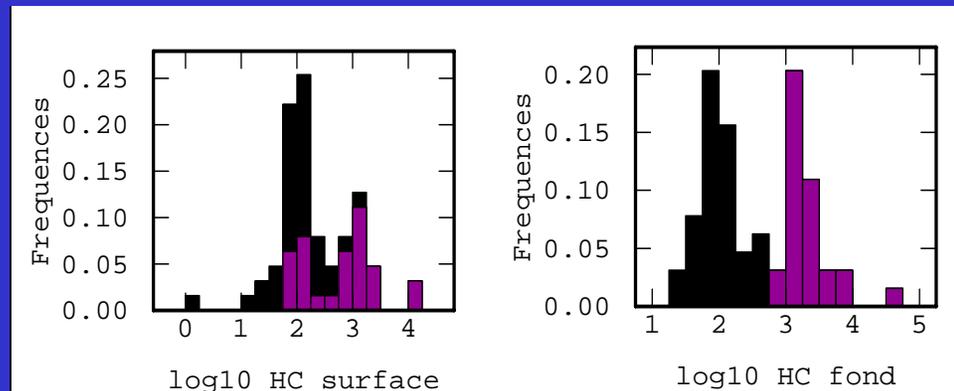
resserrement local de l'échantillonnage

Teneurs dans les sols d'un ancien site pétrochimique

Implantation des mesures

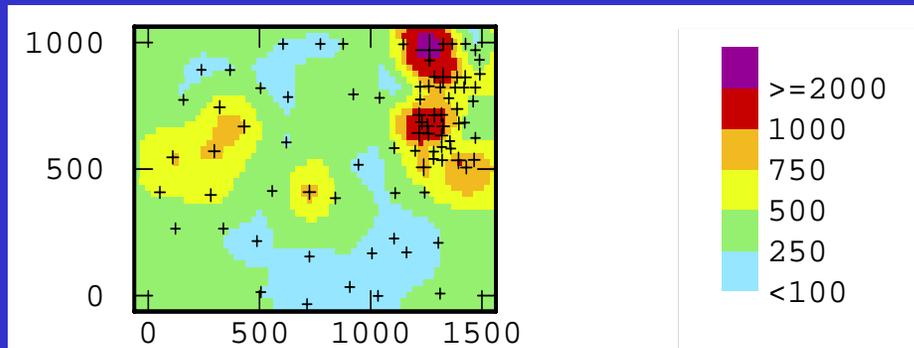


Relation entre teneur et profondeur



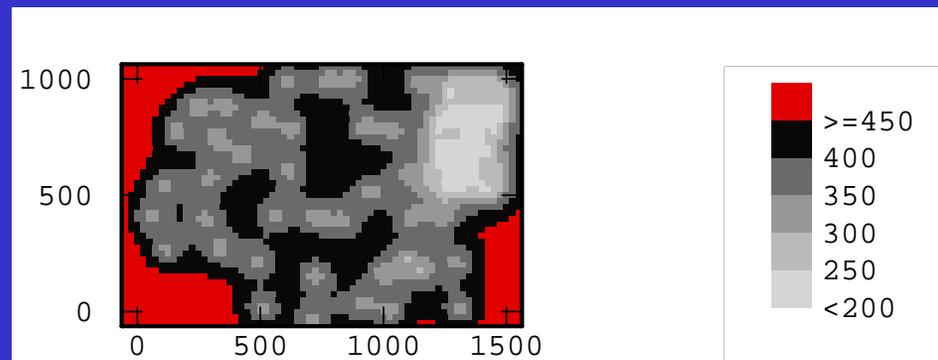
Estimation des teneurs pour des blocs de 25m x 25m

Krigeage



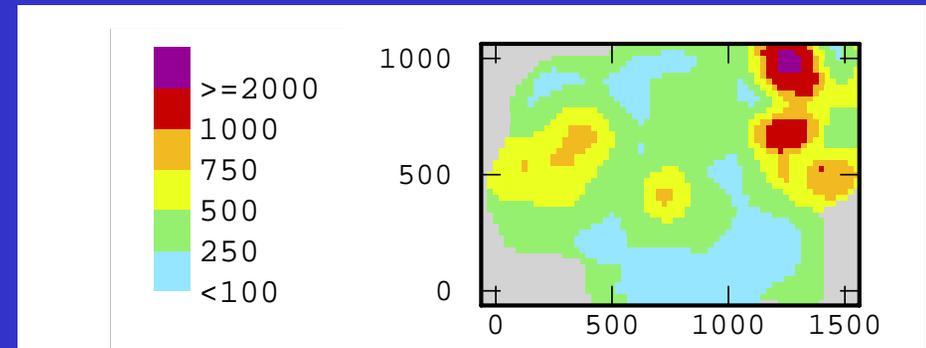
Ecart-type de krigeage

unité : ppm



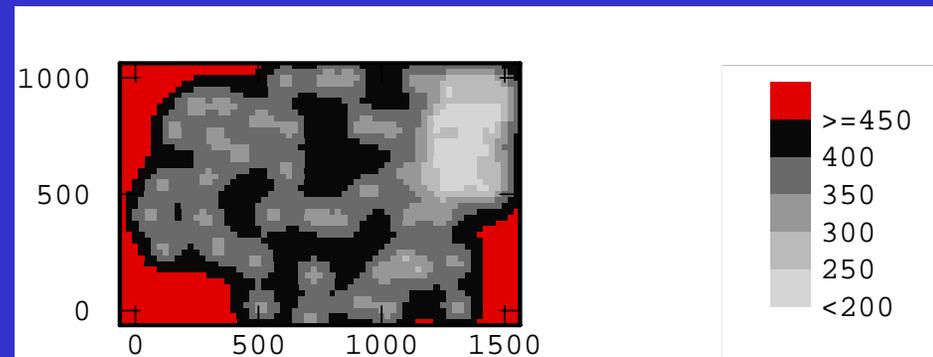
Estimation des teneurs pour des blocs de 25m x 25m

Krigeage



Ecart-type de krigeage

unité : ppm



2. Incertitudes sur les volumes

Incertitudes on the volumes

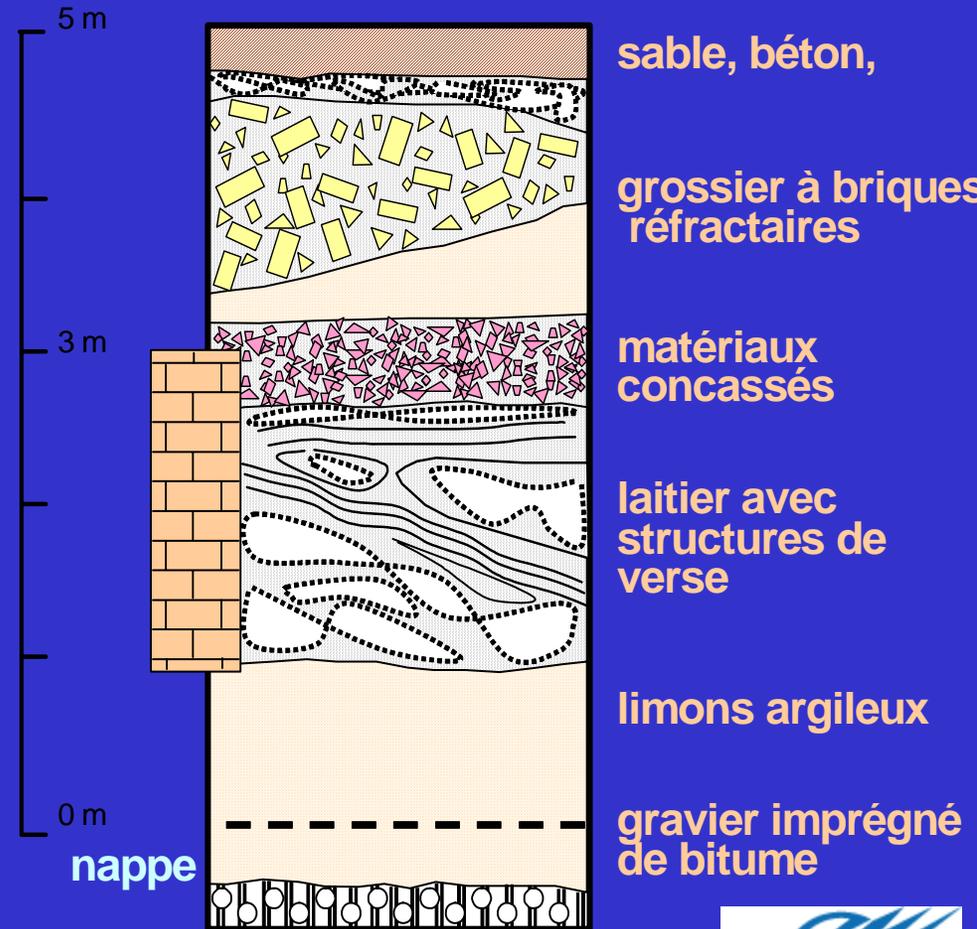
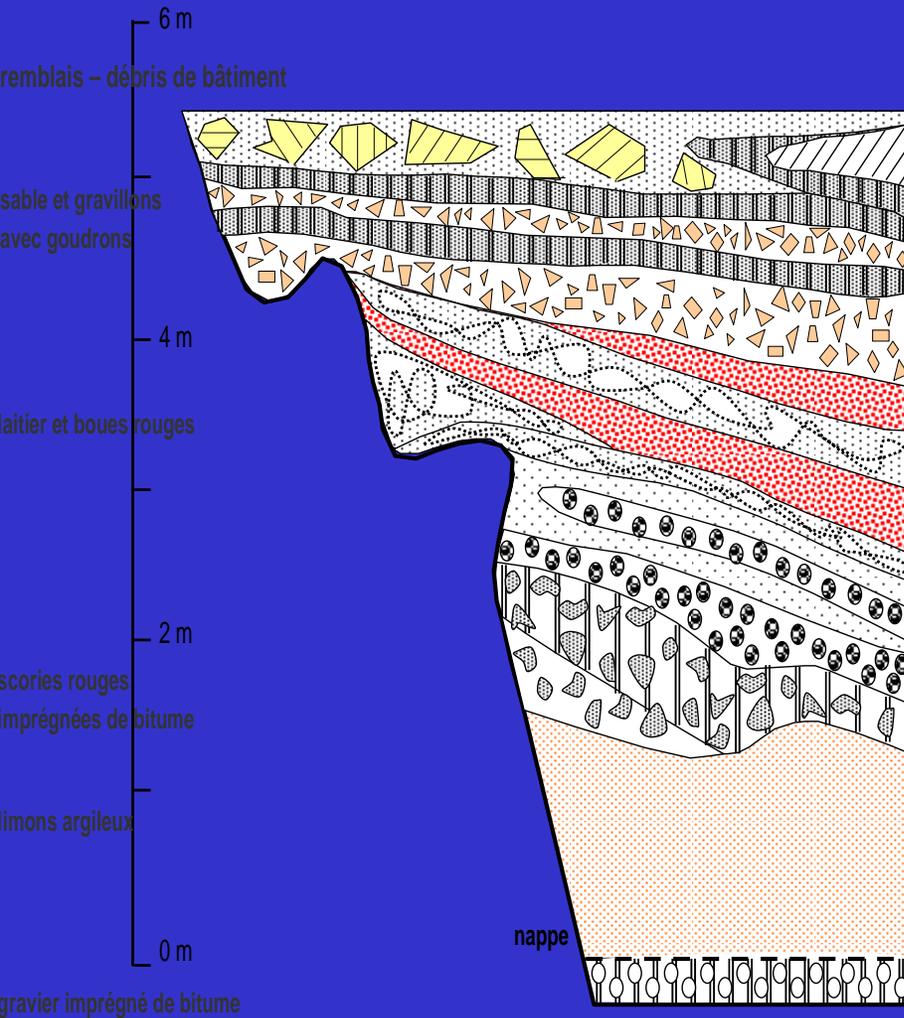
Friche de cokerie, reconnue par plusieurs campagnes successives

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.

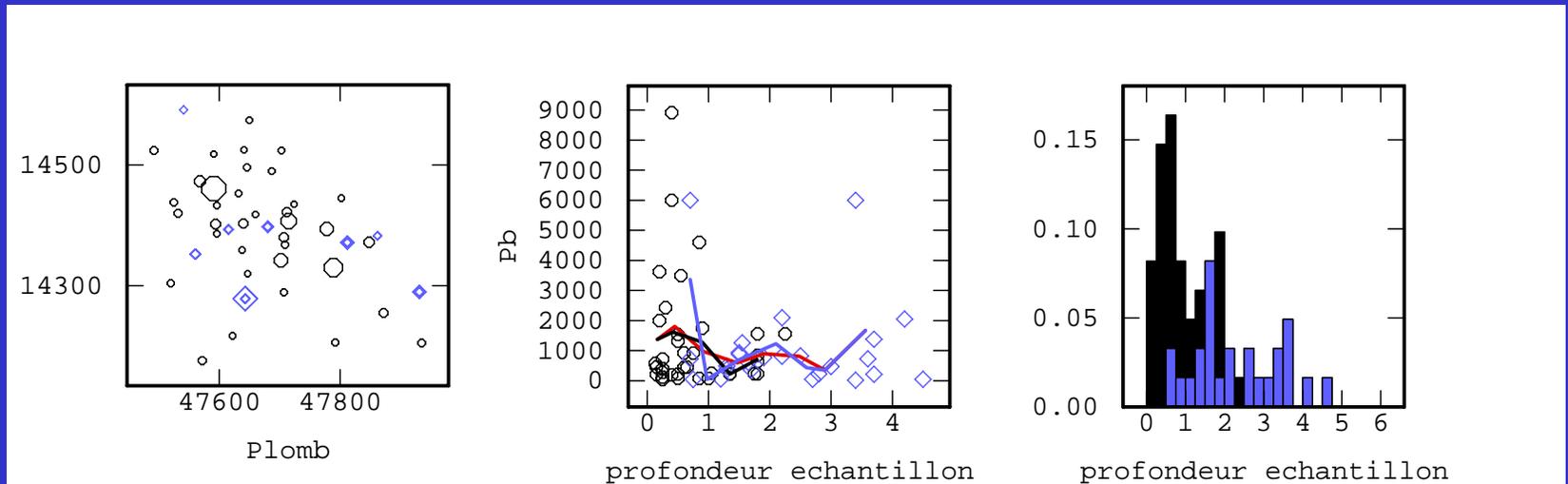
Baignant dans la nappe, elles sont imprégnées par des goudrons sur environ 1 m d'épaisseur.

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.

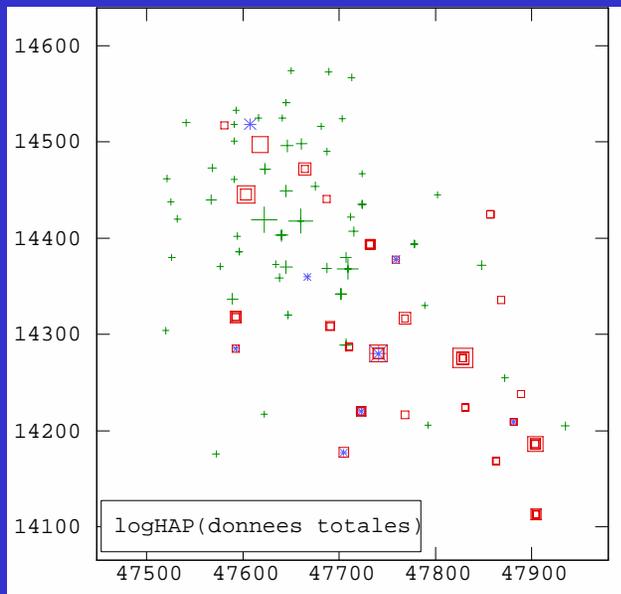
Relation entre la teneur en plomb et la profondeur



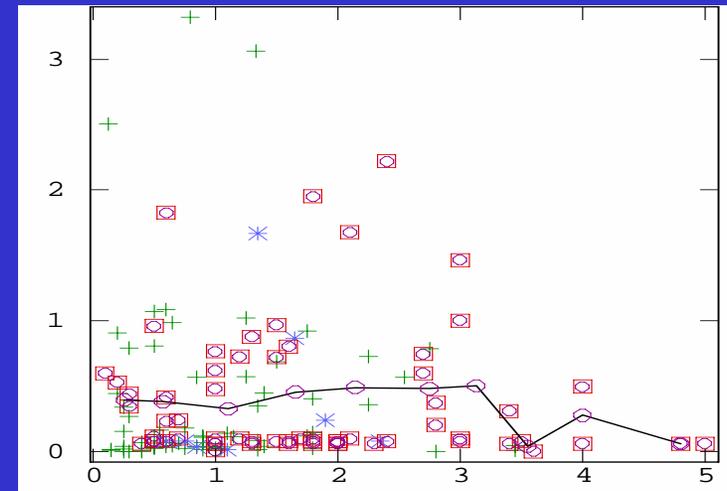
○ 1ère campagne

□ 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...

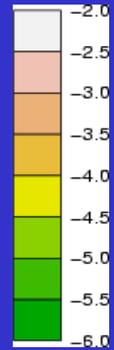
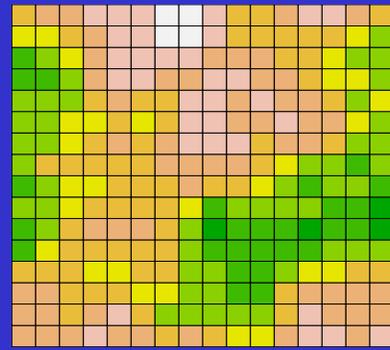
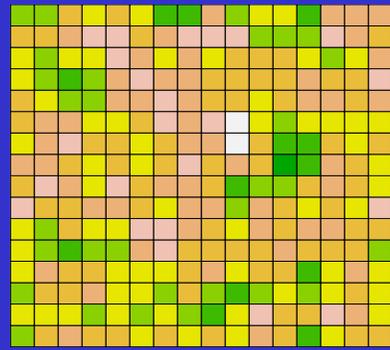
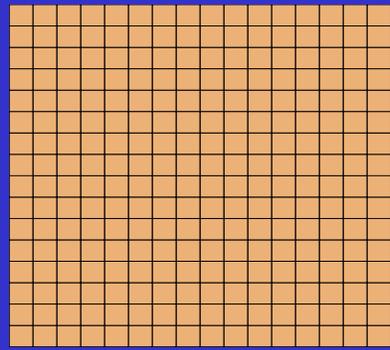
Les simulations géostatistiques pour reproduire la variabilité spatiale du milieu

uniforme

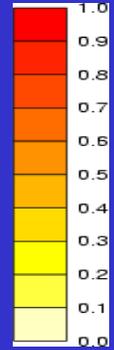
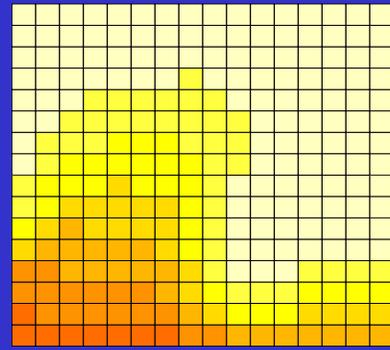
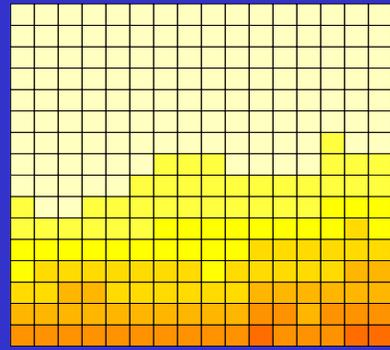
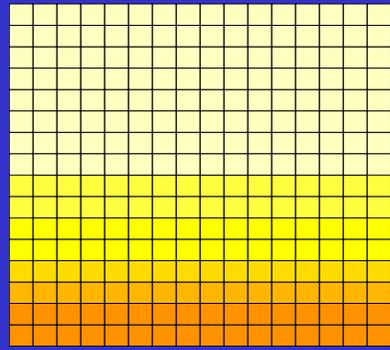
sim 1

sim 2

$\log_{10}(K)$



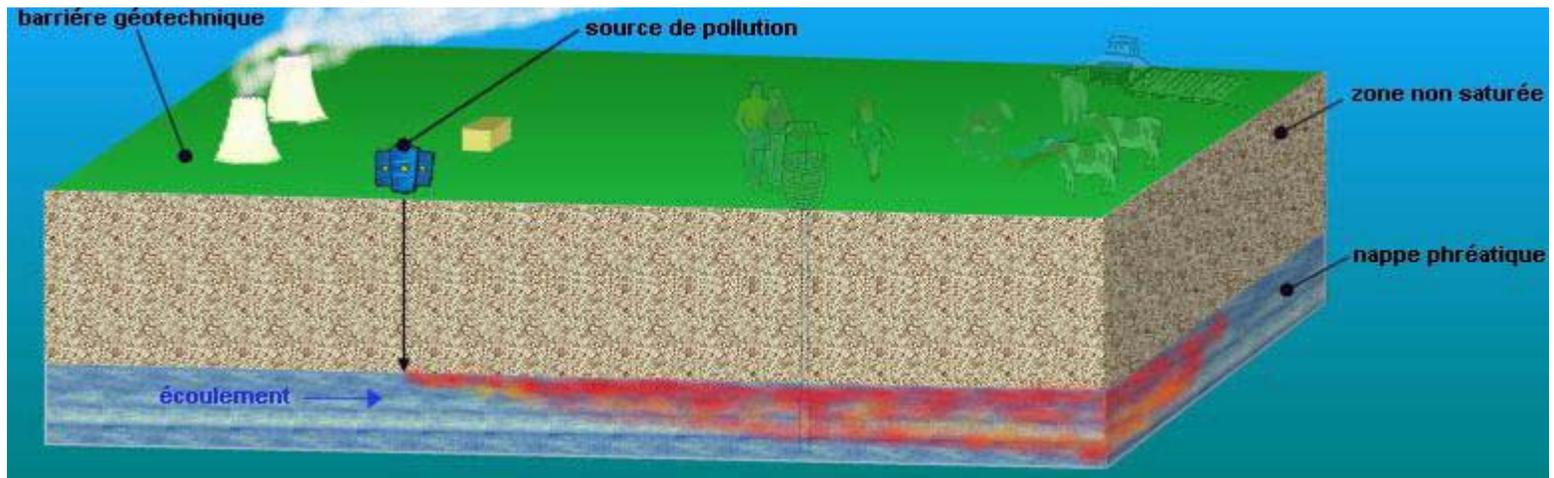
concentration
traceur
(molal)



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:**

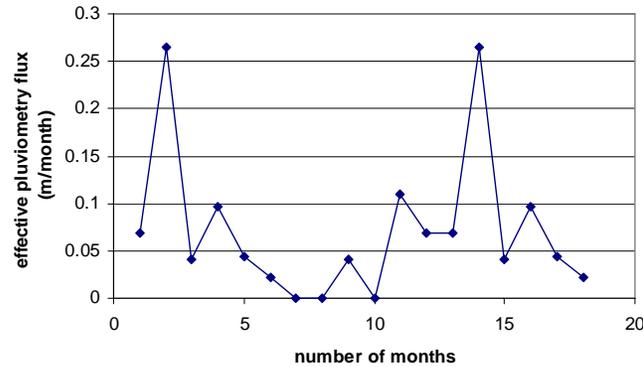
- pedological pit for the porosity
- infiltrometry for K_s , VG parameters α and n
- effective pluviometry

Uncertainties amplitude
(velocities, flux)

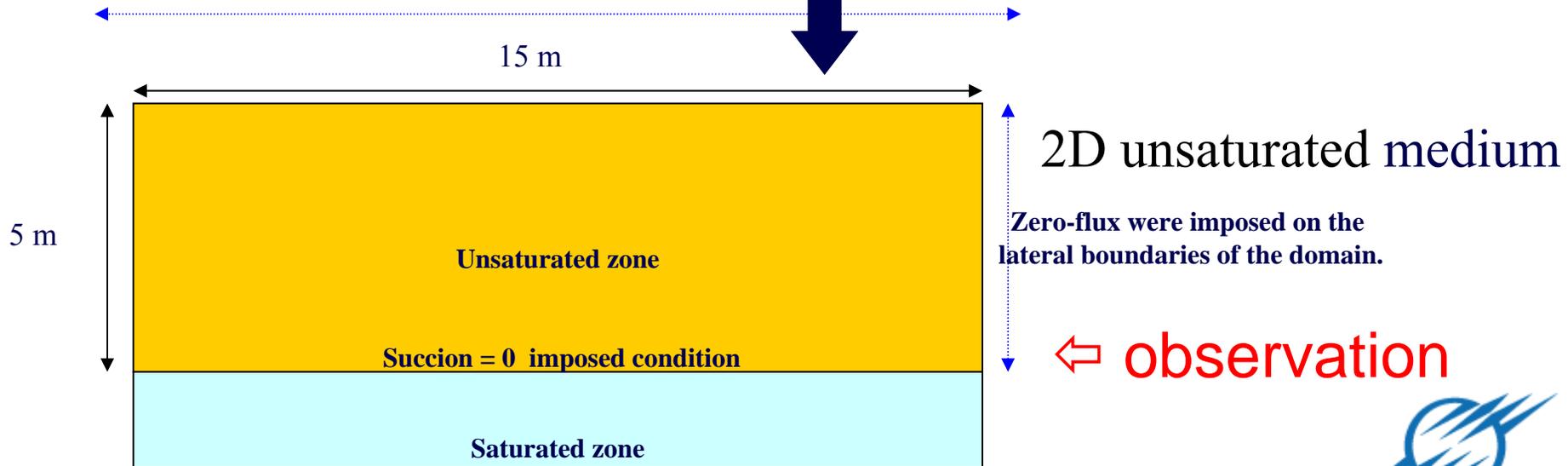
S. Mazuel et al., 2006. EDF-EMP

Model fitting: the boundary conditions

time serie of monthly
effective rainfall



Modelled zone

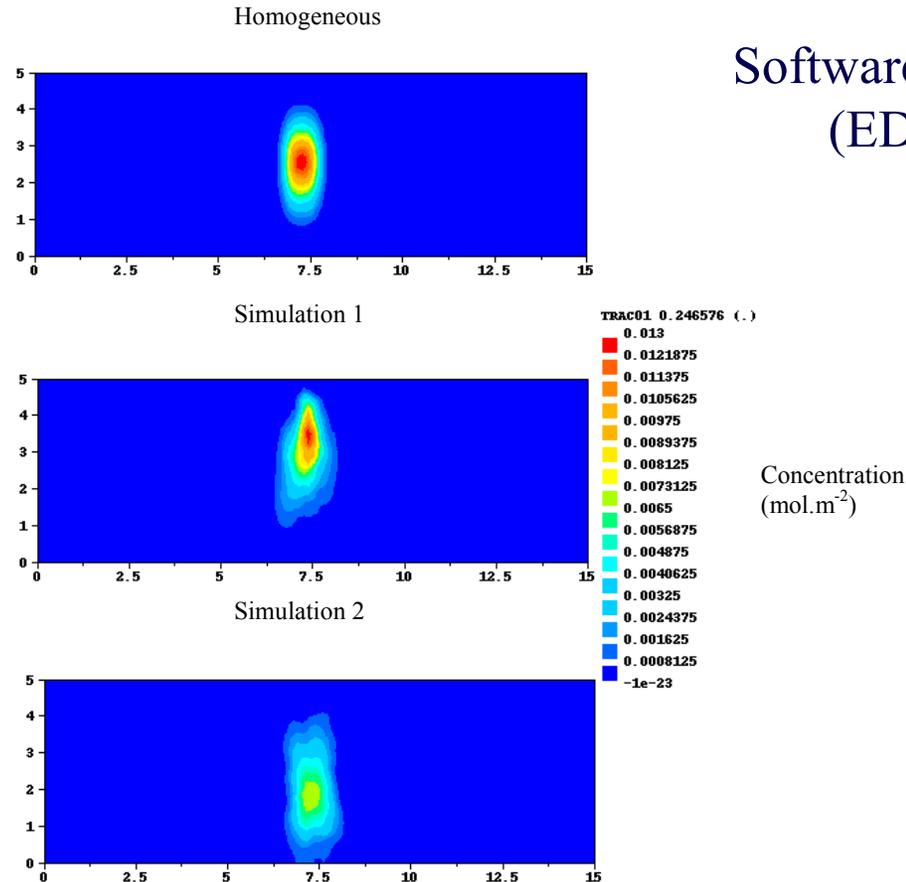


Simulations results: uncertainty on the plume

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

Software ESTEL 2D
(EDF R&D)

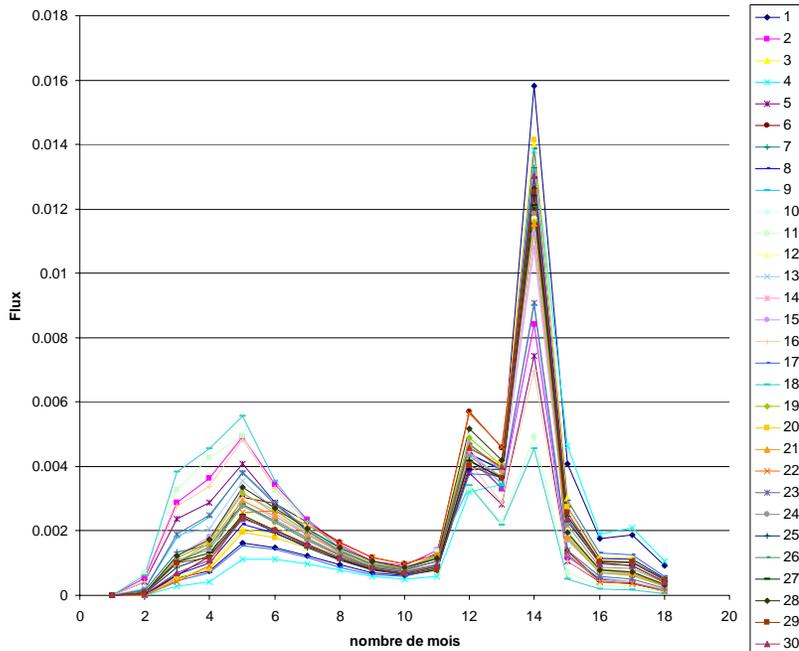
After 3 months



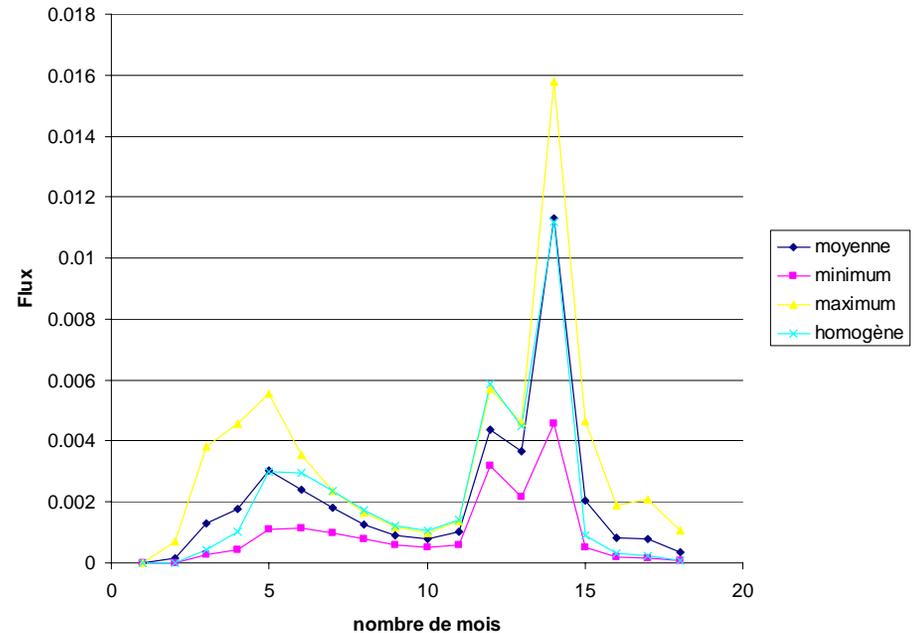
➔ Preferential pathways on the simulations

Résultats de simulations – Modèle fixé

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



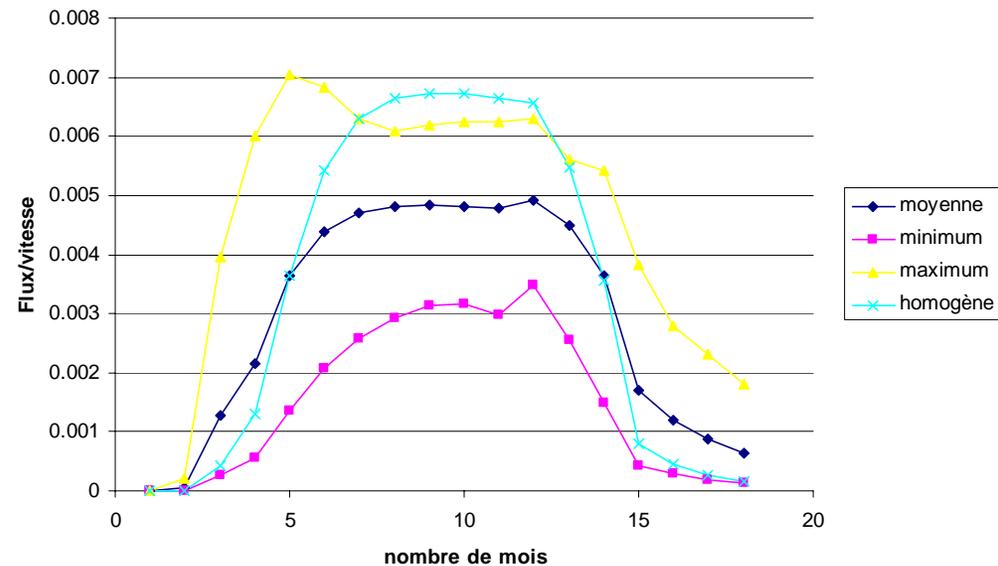
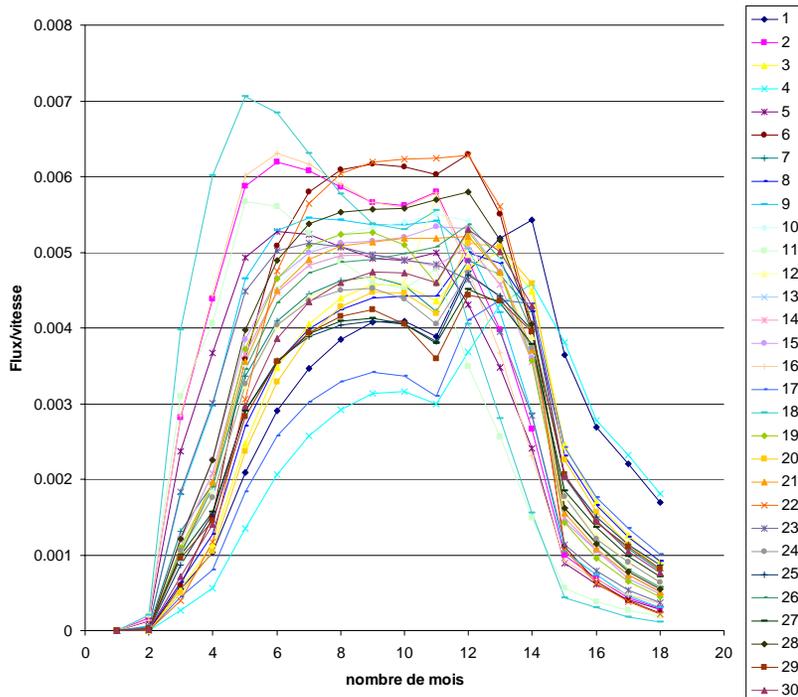
30 simulations



Intervalle d'incertitude

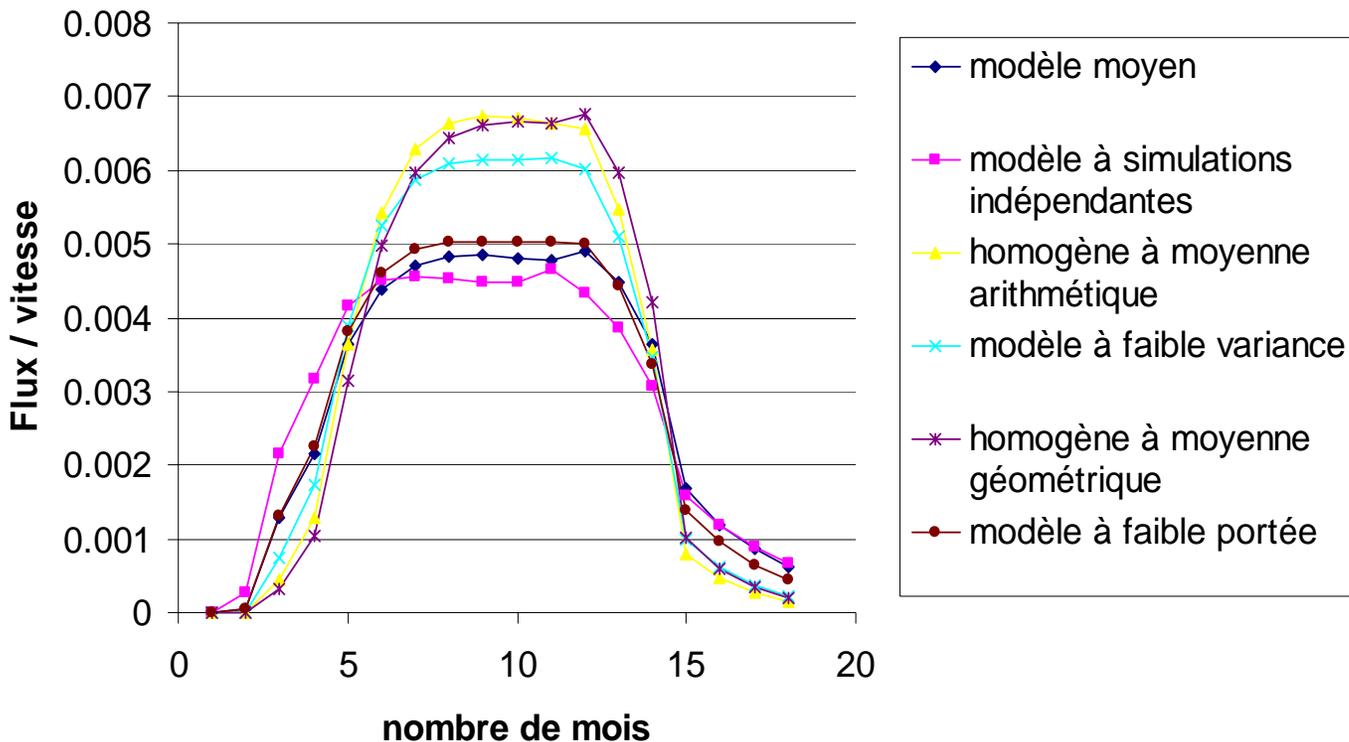
Pluies variables dans le temps
 ⇒ flux/vitesse, équivalent à une concentration

Résultats de simulations – Modèle fixé

Flux/vitesse de ^3H 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^{ème} ou 3^{ème} 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