

Laboratoire Hydrogéochimie et Etudes de Sites

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



Hydrogéochimie des milieux souterrains pour la maîtrise de l'impact environnemental sur les aquifères

Du terrain à la modélisation

CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France

Journées SFRP | Lionel Schaper

6 ET 7 FÉVRIER 2019

www.cea.fr

Migration d'une pollution dans le milieu souterrain: schéma conceptuel

Identifier et caractériser la source

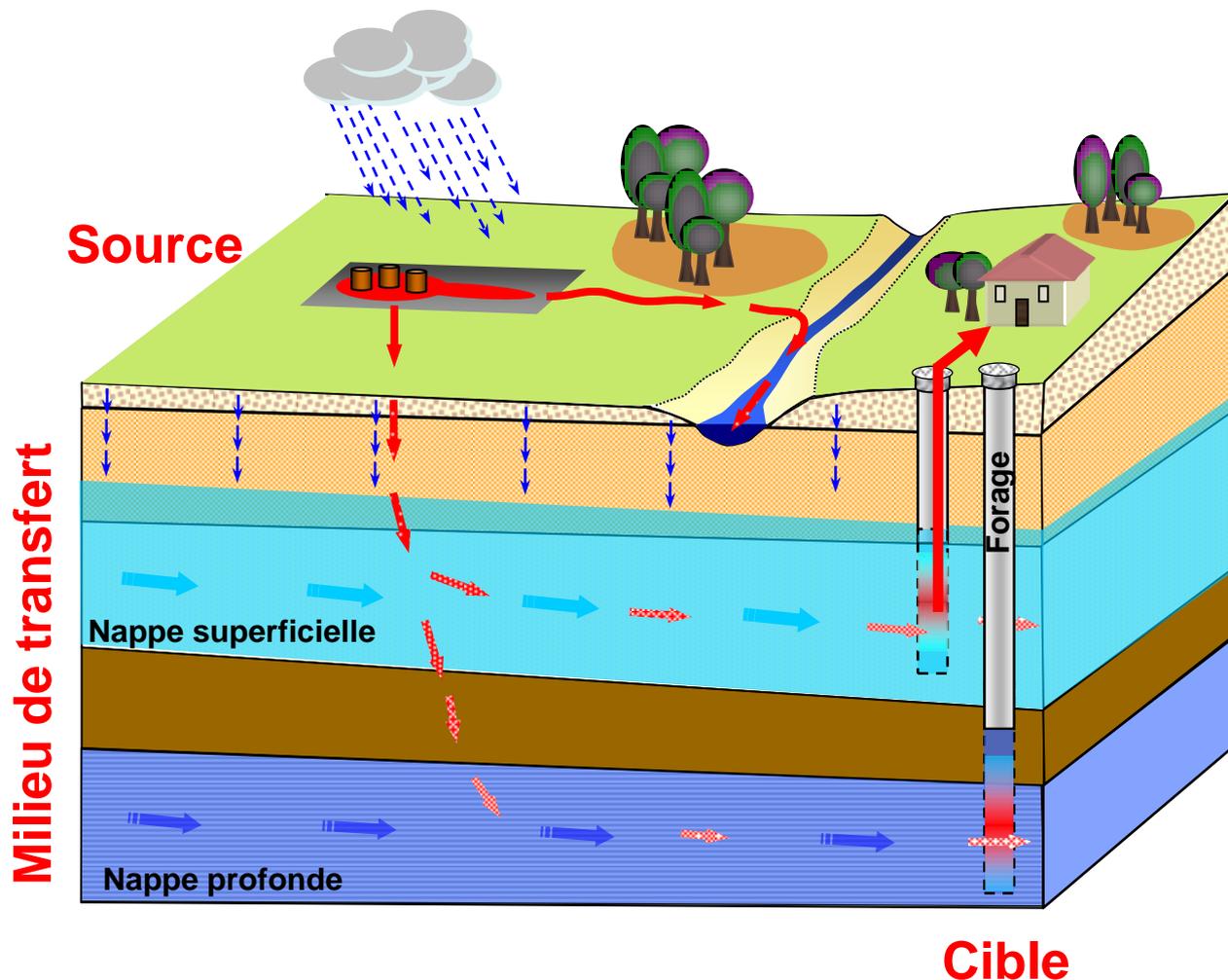
1. Mesurer in-situ
2. Cartographier
3. Prélever
4. Analyser en labo.
5. Quantifier

Comprendre la dynamique du milieu de transfert

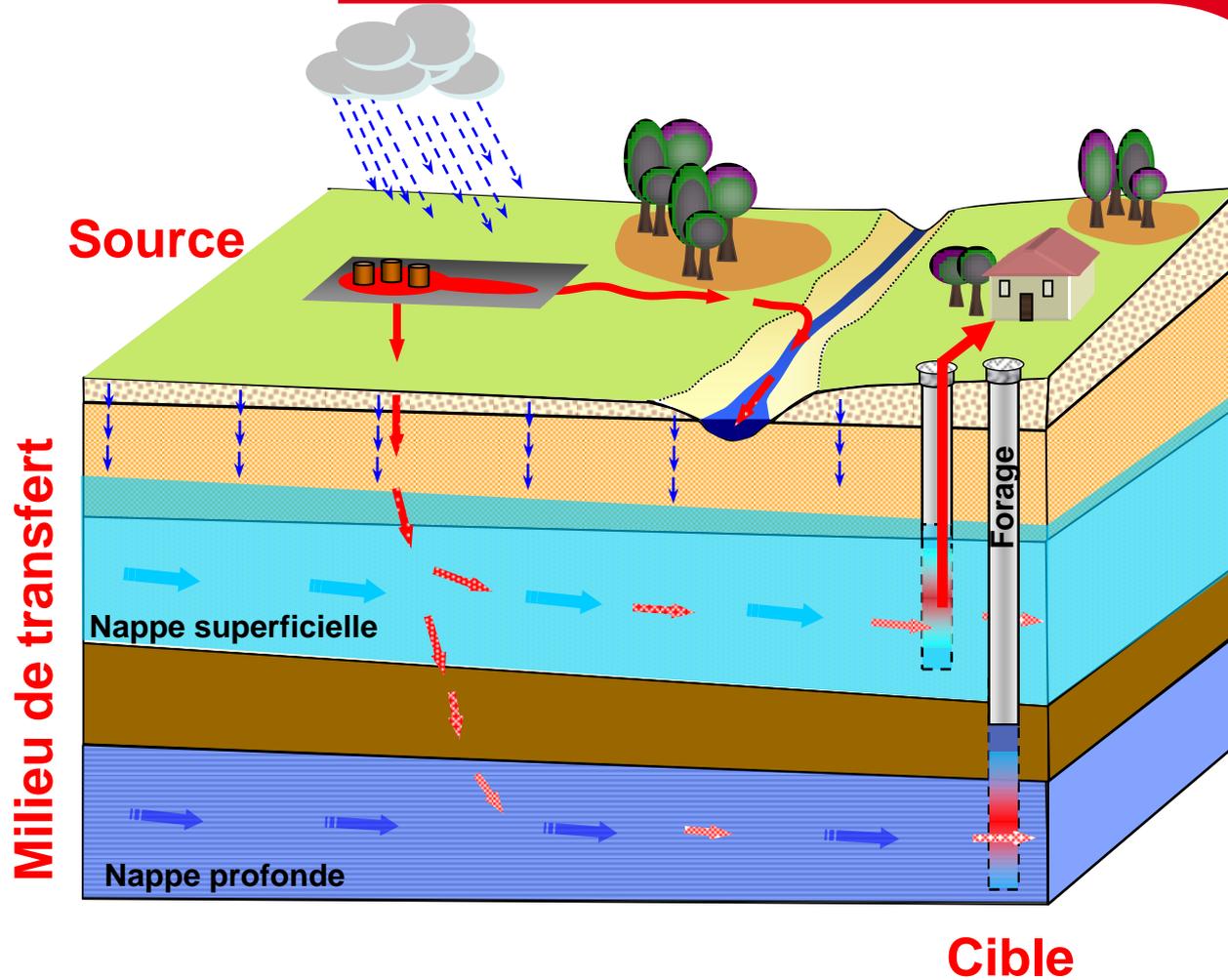
1. Caractériser les écoulements d'eau souterraine
2. Caractériser les mécanismes de migration de l'élément étudié dans le milieu

Evaluer l'impact sur la cible

1. Identifier/localiser
2. Modéliser la migration de la pollution



IDENTIFIER LA SOURCE DE POLLUTION



Détection in-situ:

- Emetteurs gamma: **sondes gamma** (NaI) (piéton, auto ou hélicopté)
- **Caractérisation géophysique**
- Réalisation de **forages**
- Eléments traces métalliques: **NITON** (Fluorescence X)
- Organiques: **Kits colorimétriques**

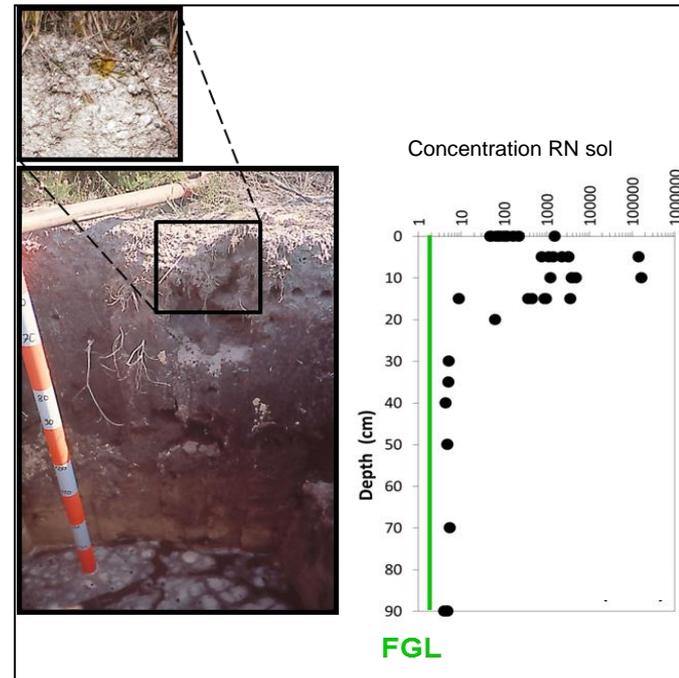
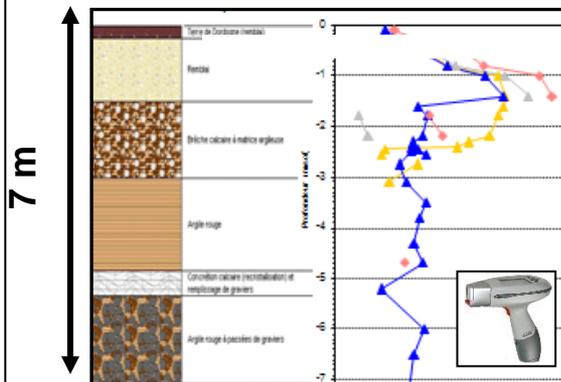
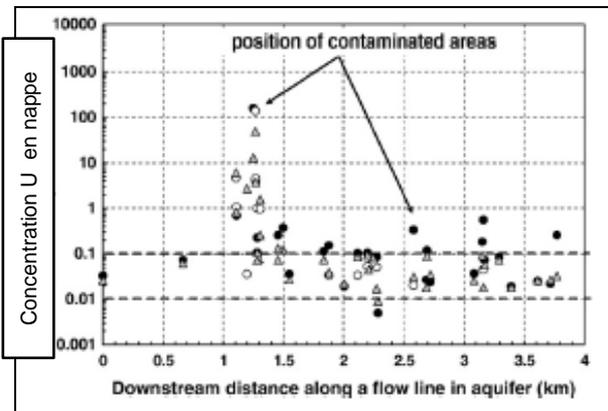


**Prélèvements
pour analyses en
laboratoire**

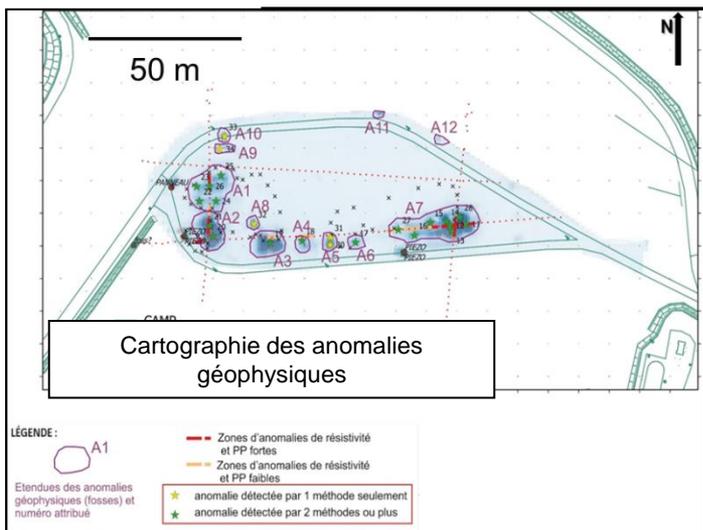


Cartographies / profils verticaux:

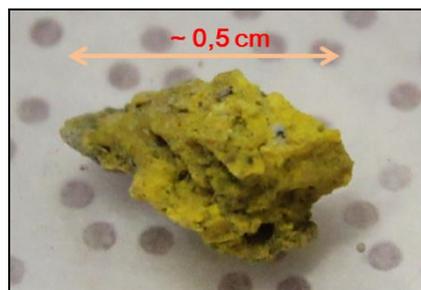
Création de profils verticaux ou longitudinaux :



Cartographies :

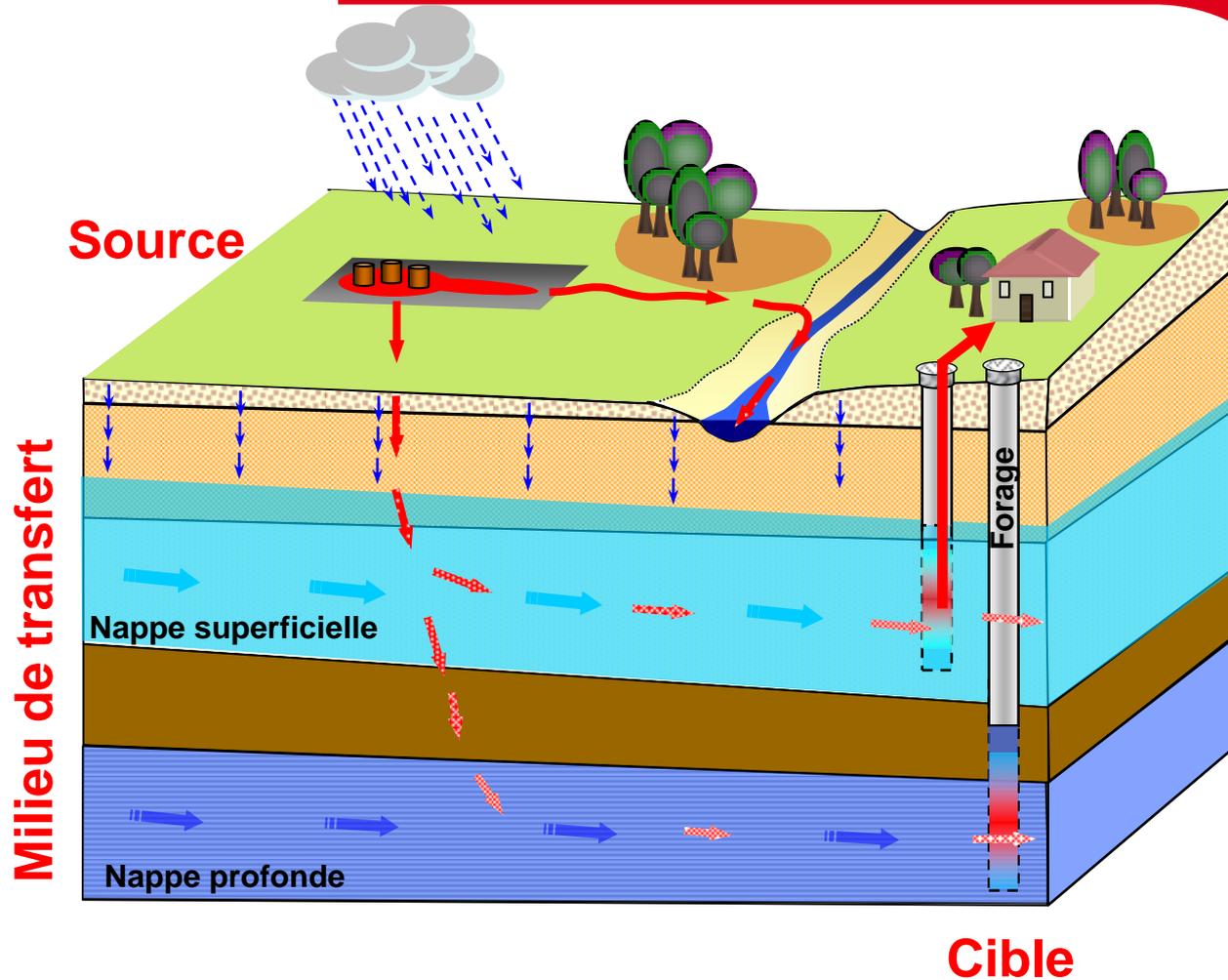


Caractérisation en laboratoire



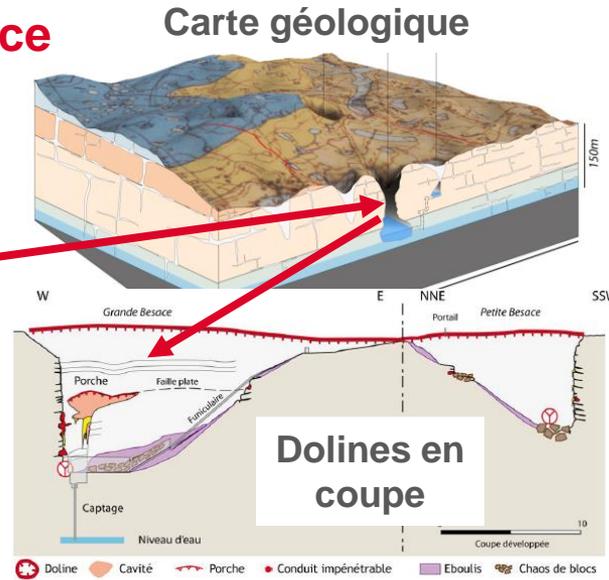
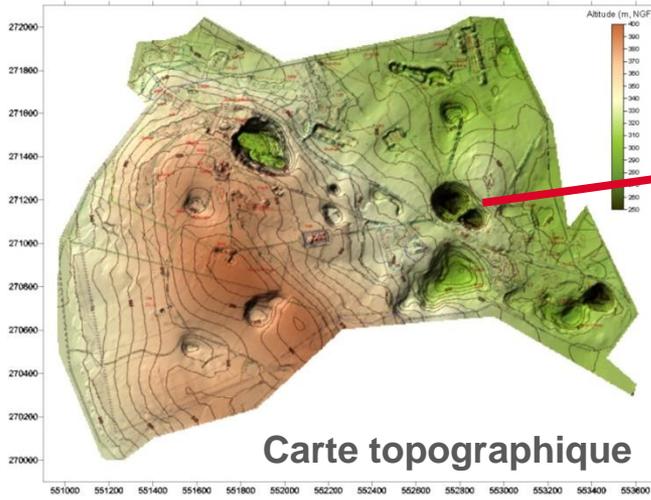
Caractériser au mieux le terme source

COMPRENDRE LA DYNAMIQUE DU MILIEU DE TRANSFERT

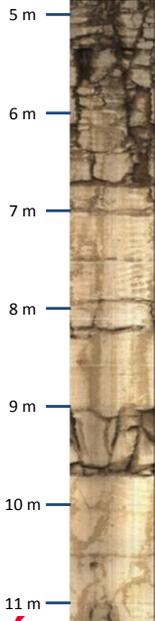


CONNAITRE LE MILIEU : DECRIRE LA GEOLOGIE LOCALE

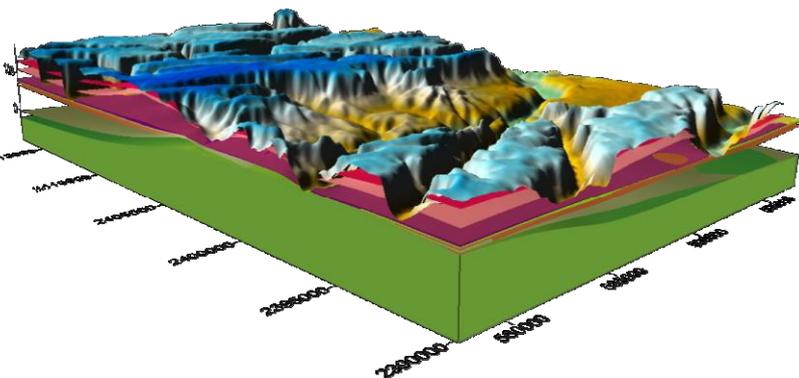
1 Reconnaissances de surface



Caméra de forage



3 Modèle géologique 3D



2 Reconnaissances par forages carottés



Description **PM-SC25bis**

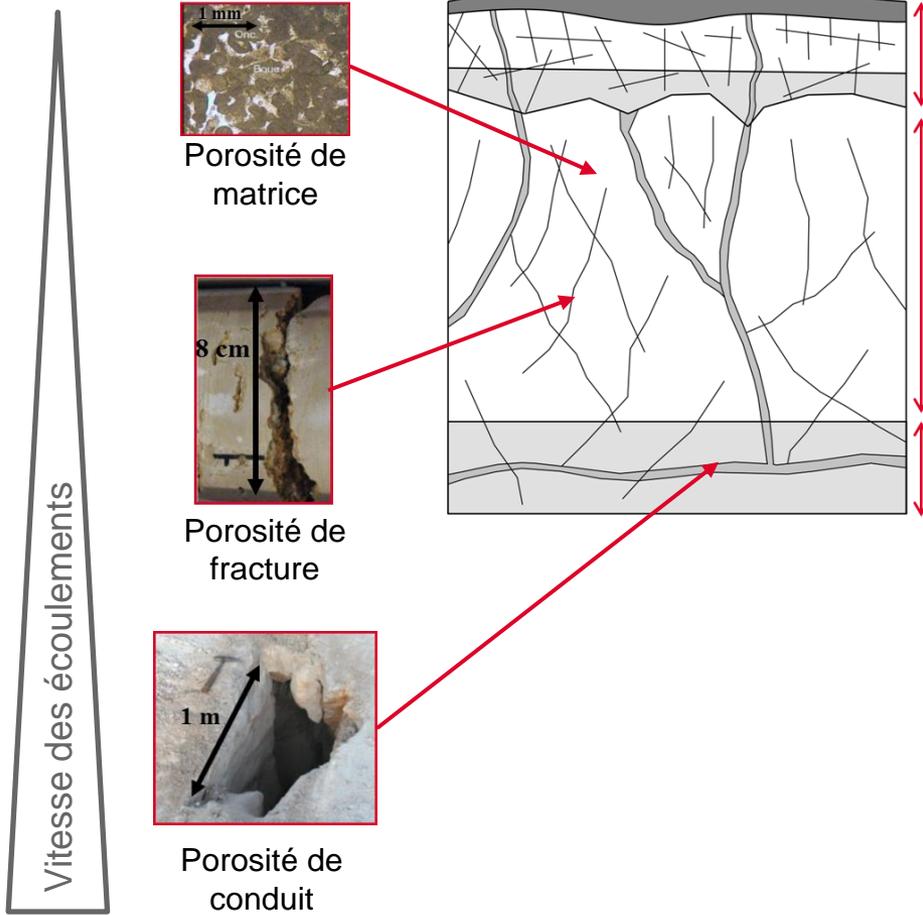
Prof.	Lithologie	Taux de Fracturation	Etage
0	Q1 Colluvion	0,0	Quaternaire
10	C6a Craie blanche tendre	0,0	Companien inf.
20	C5b-c Craie compacte		
30	C5a Craie compacte homogène		Santonien sup.
40			Santonien inf.
50			
60			Coniacien sup.
70			
80			Coniacien moy.
90			
100			Coniacien inf.
110			
120			Turonien sup.-Coniacien inf.
130			
140			
150			
160			
170			
180			
190			
200			
210			
220			

Log stratigraphique

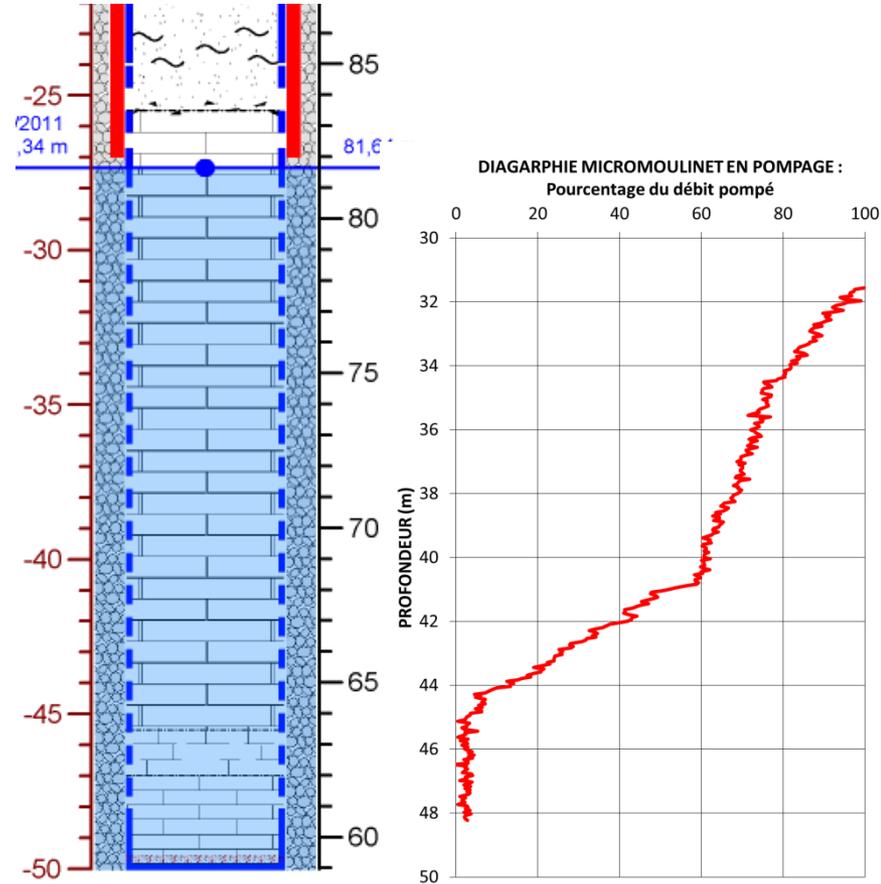
CONNAITRE LE MILIEU : DECRIRE L'HYDROGEOLOGIE LOCALE (1/3)

Exemple de milieux souterrains **très** hétérogènes

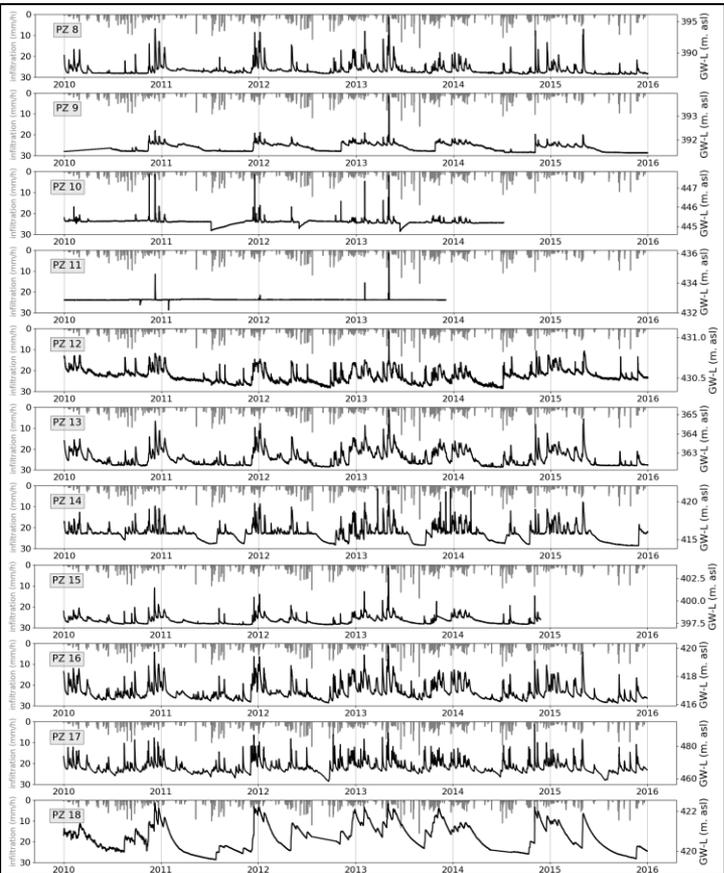
m/an



Exemple de milieux souterrains hétérogènes



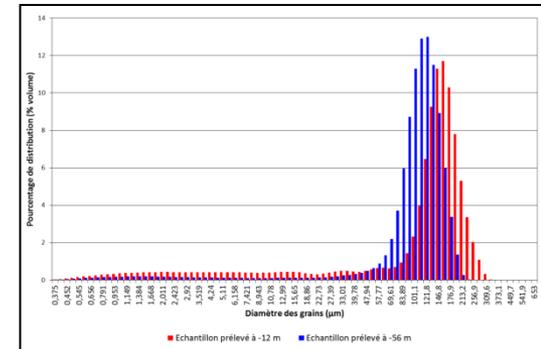
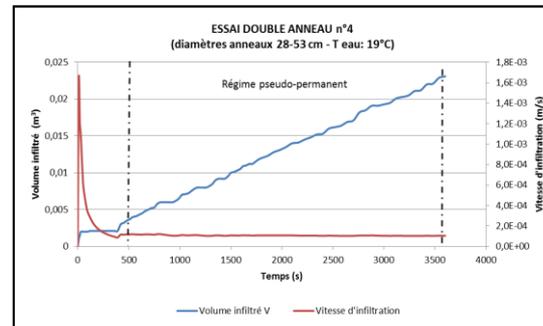
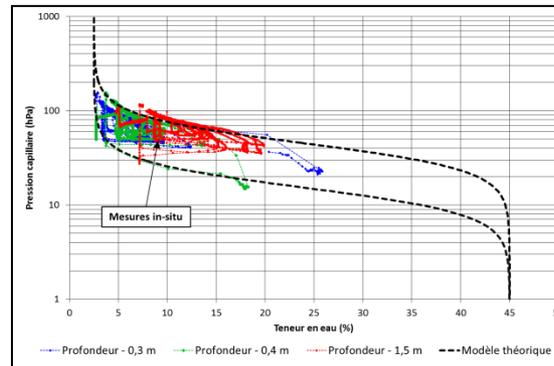
Acquisition de données de terrain ou de laboratoire



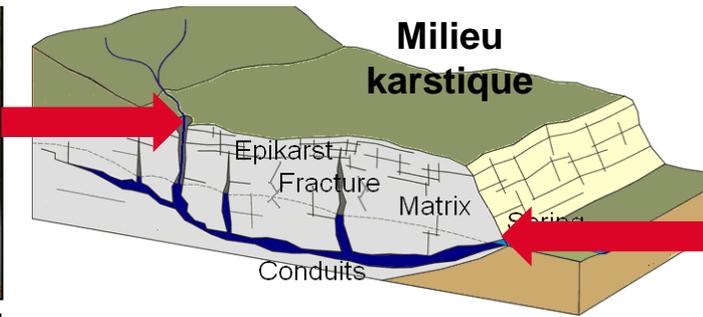
Chroniques piézométriques en forage



Installation et exploitation d'une station sol (zone non saturée)



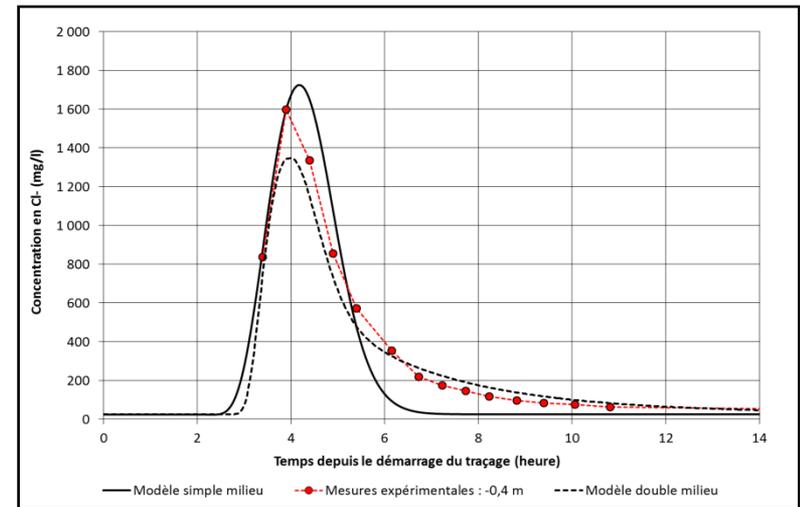
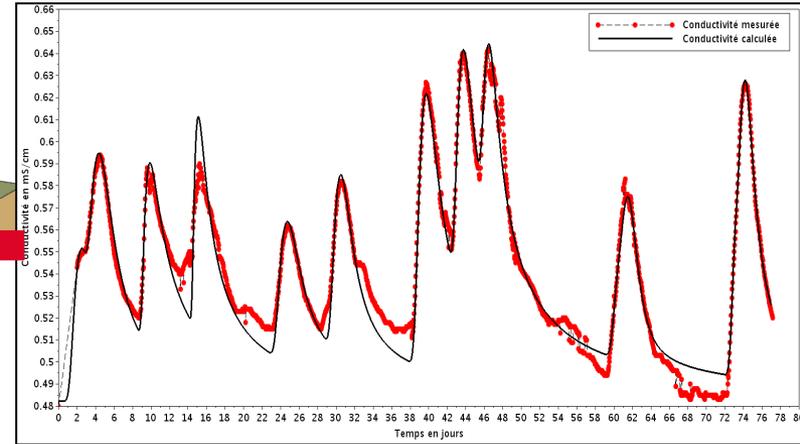
Acquisition de données de terrain ou de laboratoire

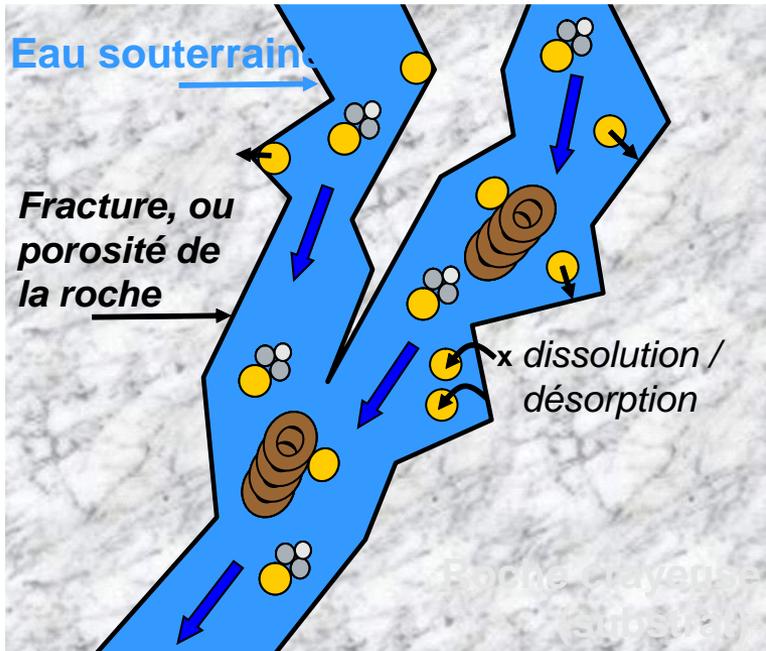


**L'eau souterraine parcourt
1,5 km en 24h.
Taux de dilution: 20**

**Milieu poreux
homogène**

**L'eau souterraine parcourt
2 m en 24h.**





Terme Source : pépite d'uranium métal oxydé UO_2

Spéciation (pH neutre et matrice carbonatée) : Très majoritairement : $UO_2(CO_3)_2^{2-}$, $Ca_2UO_2(CO_3)_3$

Mobilité de l'uranium gouvernée par $Ca_2UO_2(CO_3)_3$ et potentiellement complexe colloïdal

Rétention forte de $UO_2(CO_3)_2^{2-}$ sur les surfaces minérales

Transport of radionuclides in an unconfined chalk aquifer inferred from U-series disequilibria. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 70, 5437 (2006). Hubert, A., Bourdon, B., Pili, E. et Meynadier, L

Investigation of U-colloid interactions in soil by dual field-flow fractionation/capillary electrophoresis hyphenated with inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Talanta*, 85: 2504 (2011). Claveranne-Lamolère, C., Aupiais, J., Pointurier, F. et Potin-Gautier, M.

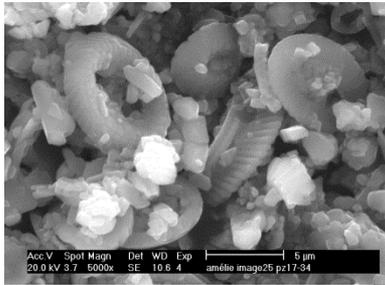
Colloidal transport of uranium in soil: size fractionation and characterization by field-flow fractionation-multi-detection. *Journal of Chromatography A*, 1216: 9113 (2009). Claveranne-Lamolère, C., Aupiais, J., Pointurier, F. et Potin-Gautier, M.

Assessing Migration of Uranium through Chalk Substrate: Field Study and Reactive Transport Modelling. *Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Pollution and Remediation*. Montreal, August 2012. P. Crançon et al

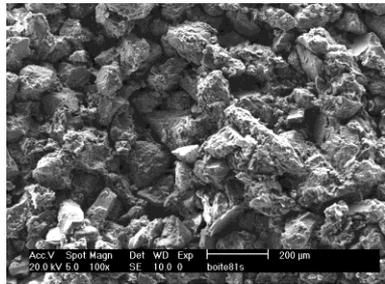
Isotopic investigation of the colloidal mobility of depleted uranium in a podzolic soil. *Chemosphere*, 103 (343-348), 2014. S. Harguindeguy, P. Crançon, F. Pointurier, M. Potin-Gautier, G. Lespes

Colloidal mobilization from soil and transport of uranium in (sub)-surface waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018. S. Harguindeguy, P. Crançon, M. Potin-Gautier, F. Pointurier, G. Lespes

Caractérisation des paramètres du sol relatifs aux interactions et à la migration



Coccolithes de craie



Sables de Fontainebleau



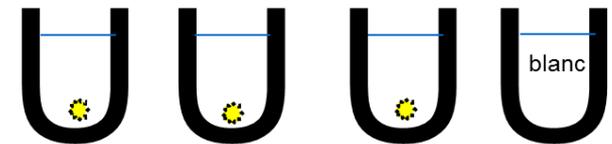
Particules d'argile

Détermination du fond géochimique local (FGL sols et eaux)

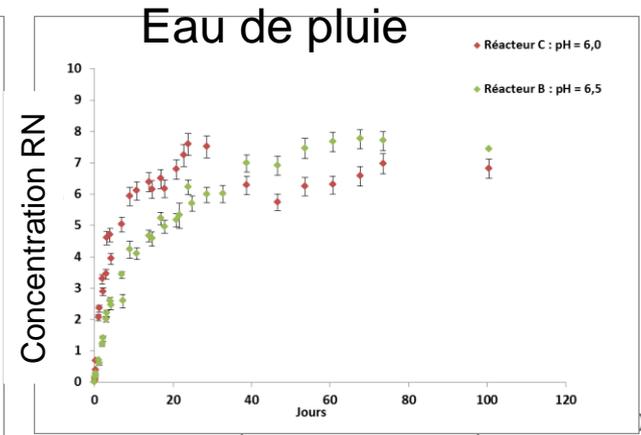
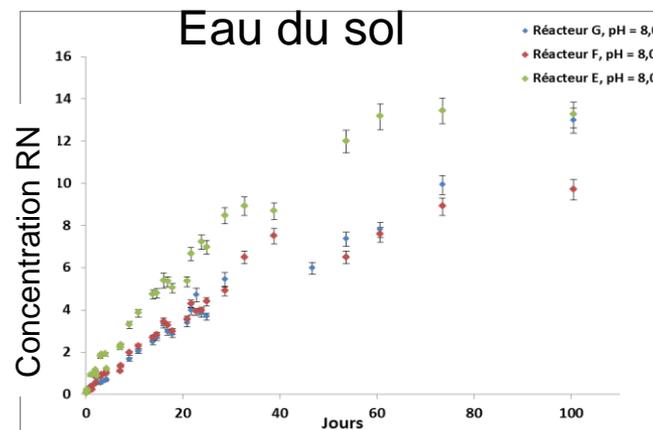
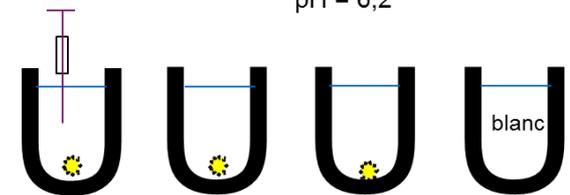
Cortège minéralogique (primaire et secondaire),
CEC, Surf. spécifique,
compo. chimique des eaux,
...

Etudes en laboratoire, spécifique du RN étudié (solubilité, rétention, cinétique)

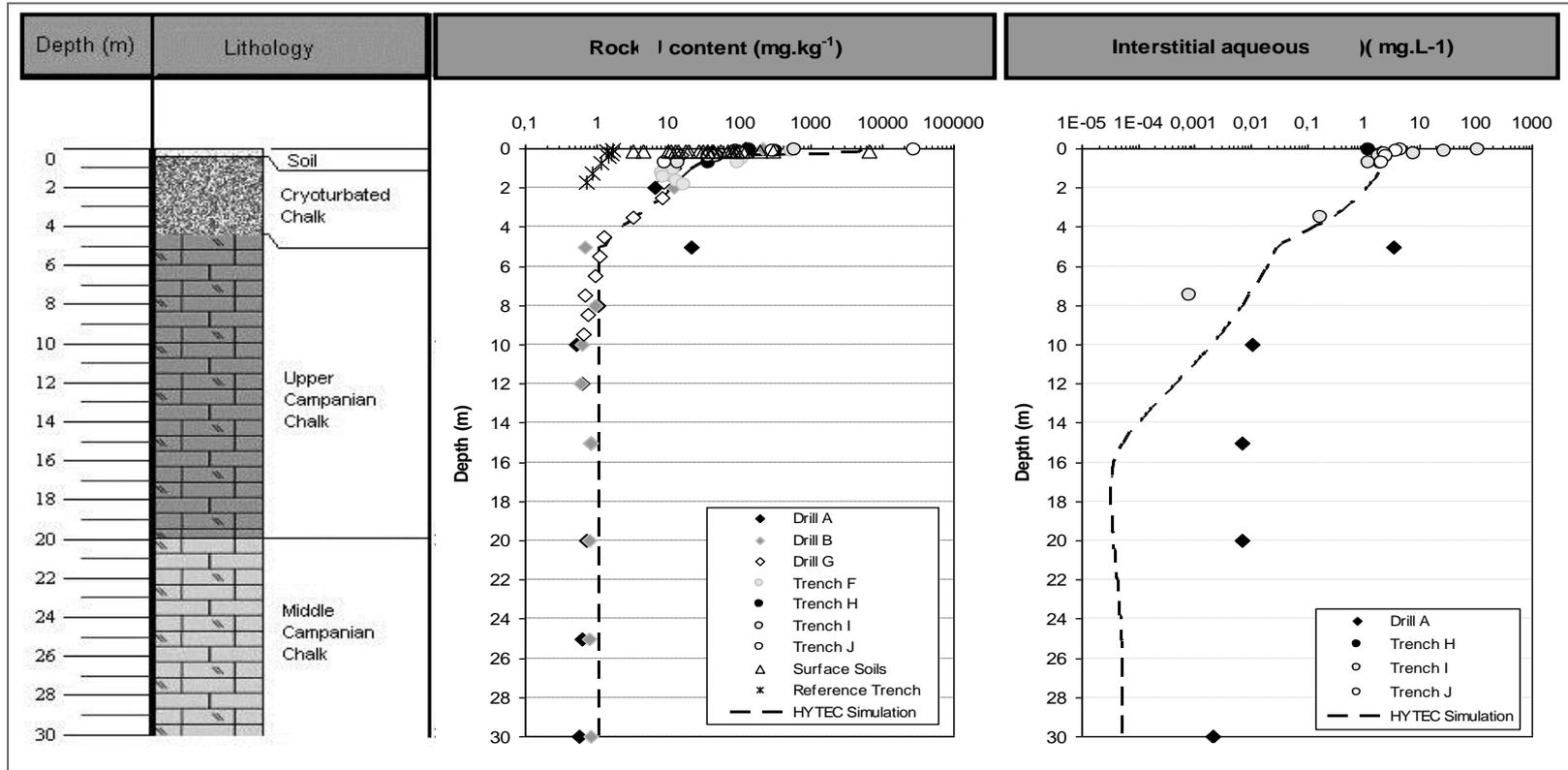
Série de batchs B : Eau du sol
pH = 8,0



Série de batchs A : Eau de pluie
pH = 6,2

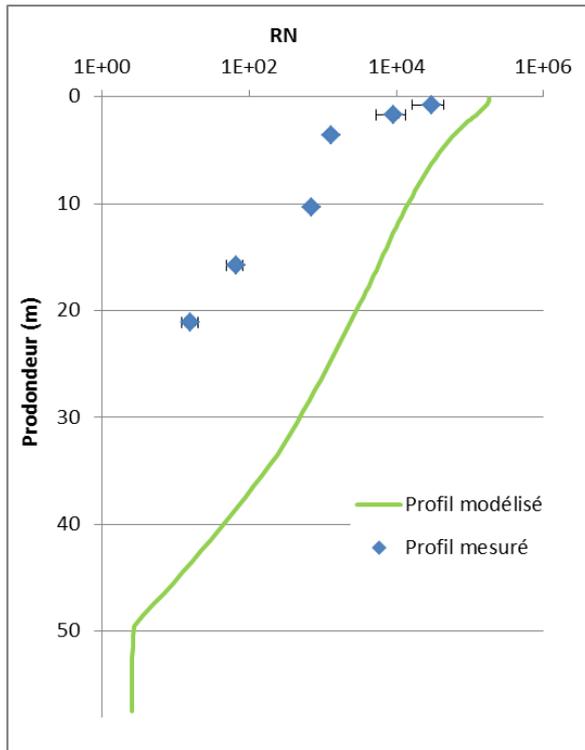


Modèle de migration en champs proche avec rétention dans la craie

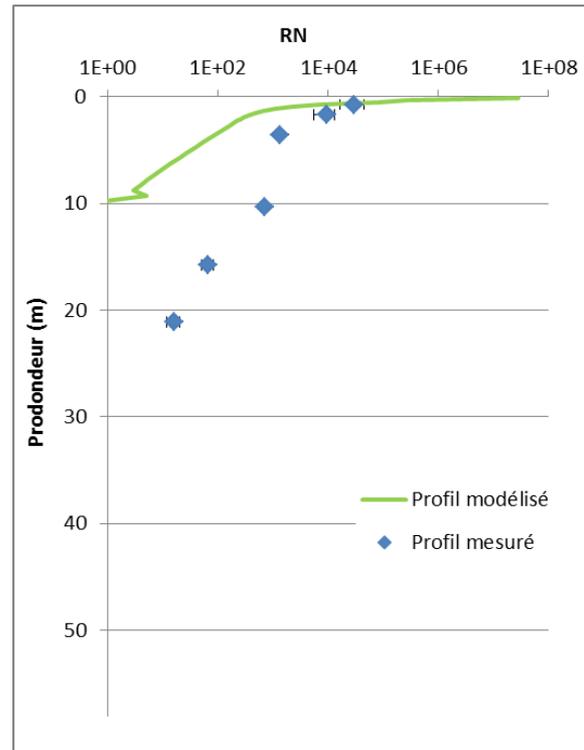


Mesure et modélisation sont cohérentes aussi bien dans la phase solide que dans la phase liquide (eau interstitielle ZNS)

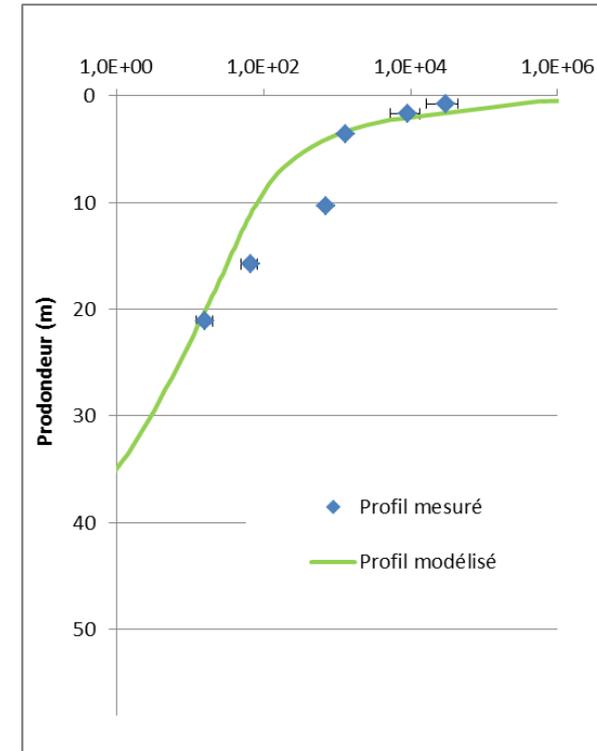
Modèle de migration en champs proche dans des sables



Profil sans prise en compte des mécanismes de sorption



Profil sans prise en compte de la migration colloïdale

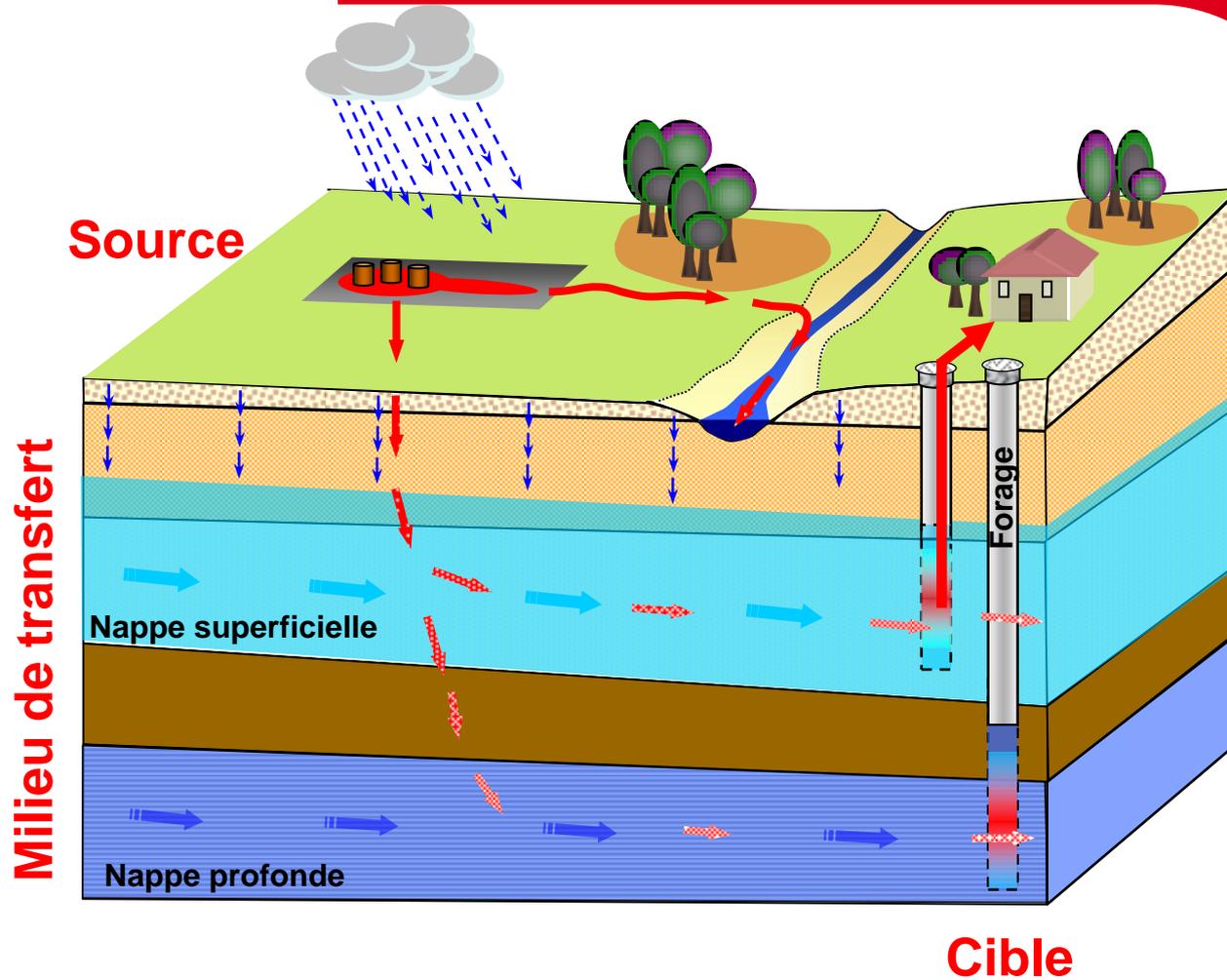


Profil avec prise en compte des mécanismes sorption + colloïdes

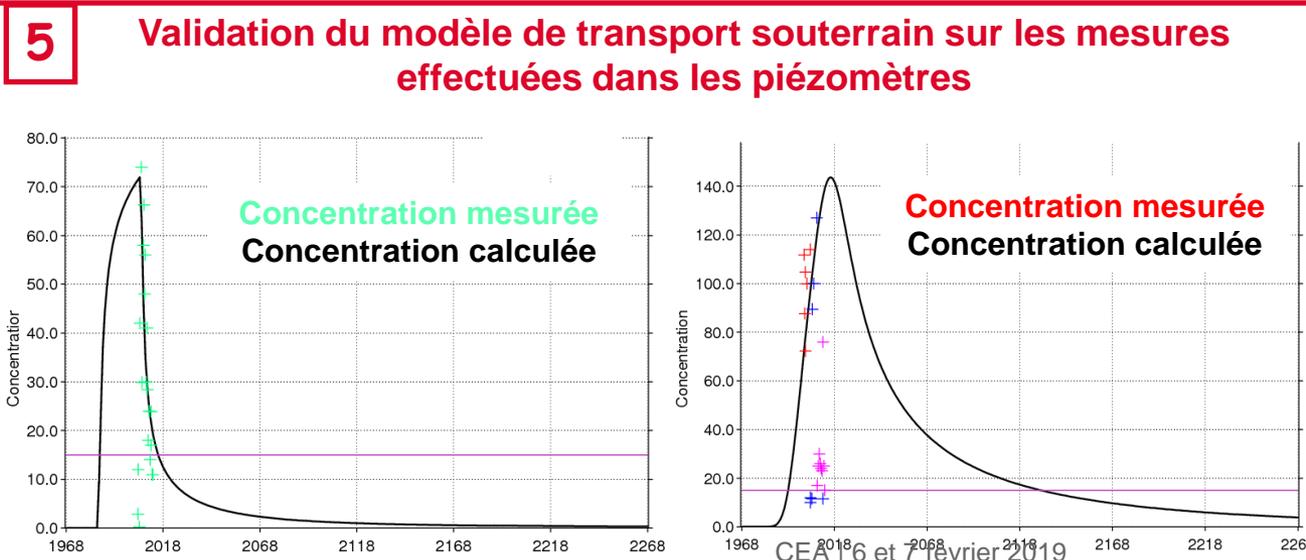
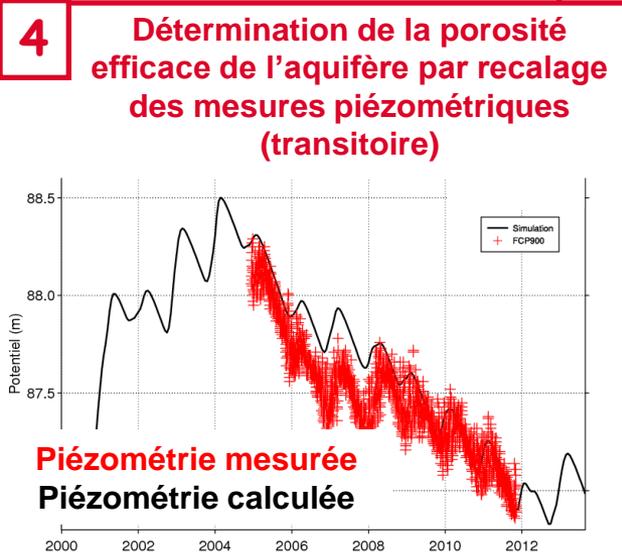
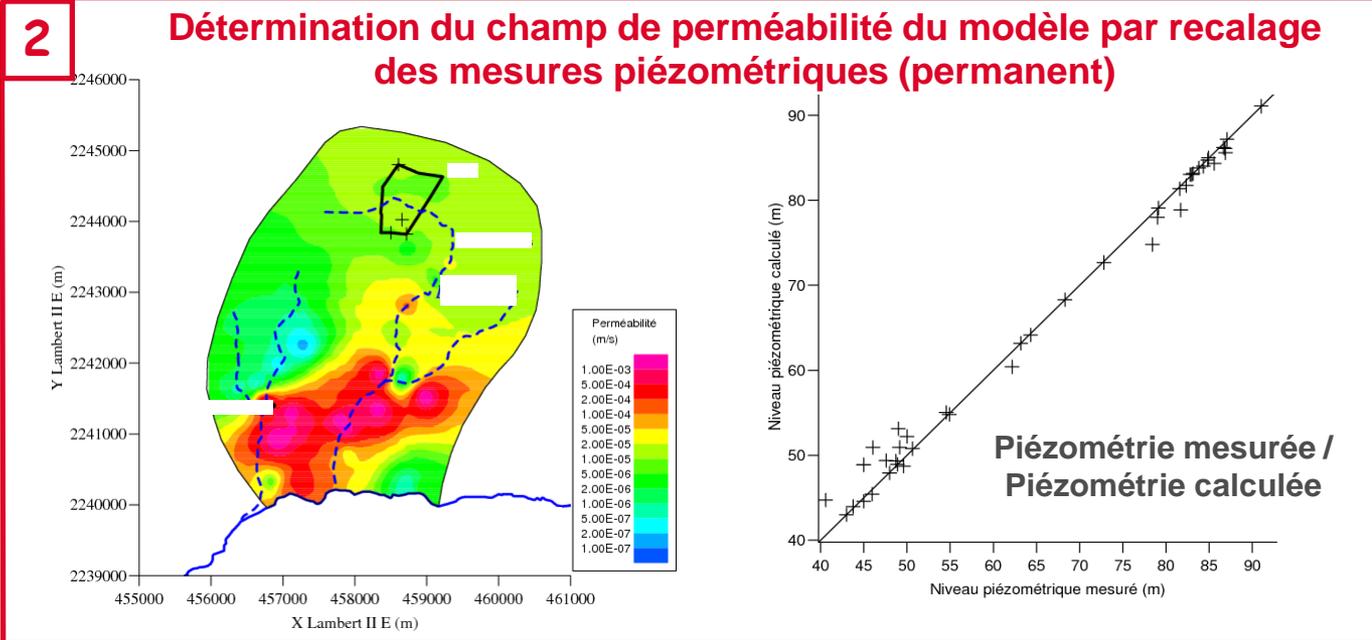
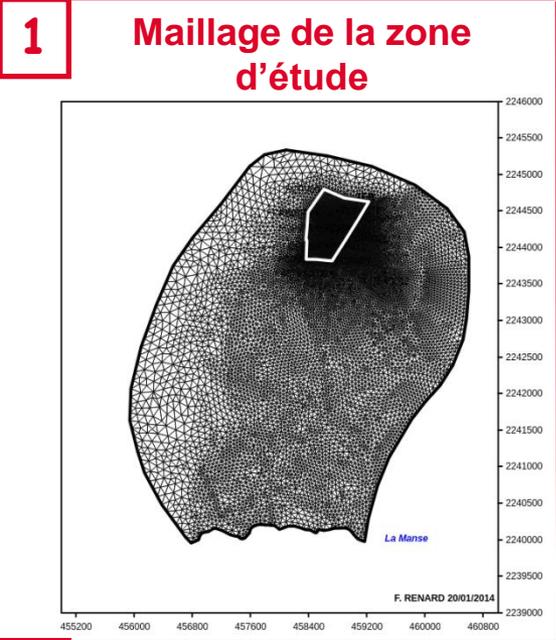
Mécanismes de rétention et de migration colloïdale à prendre en compte pour la bonne reproduction du profil

→ Ces mécanismes doivent donc être investigués spécifiquement pour le RN et le site d'étude

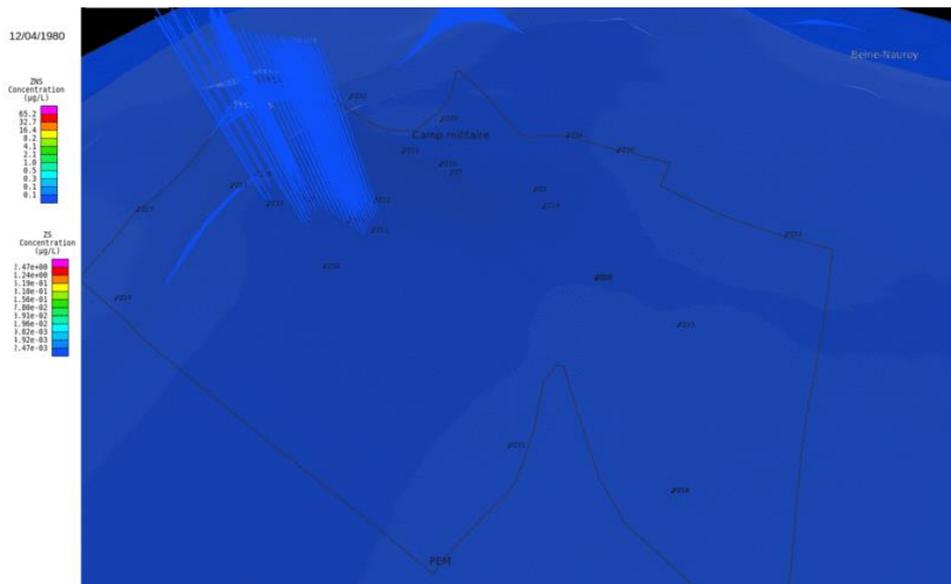
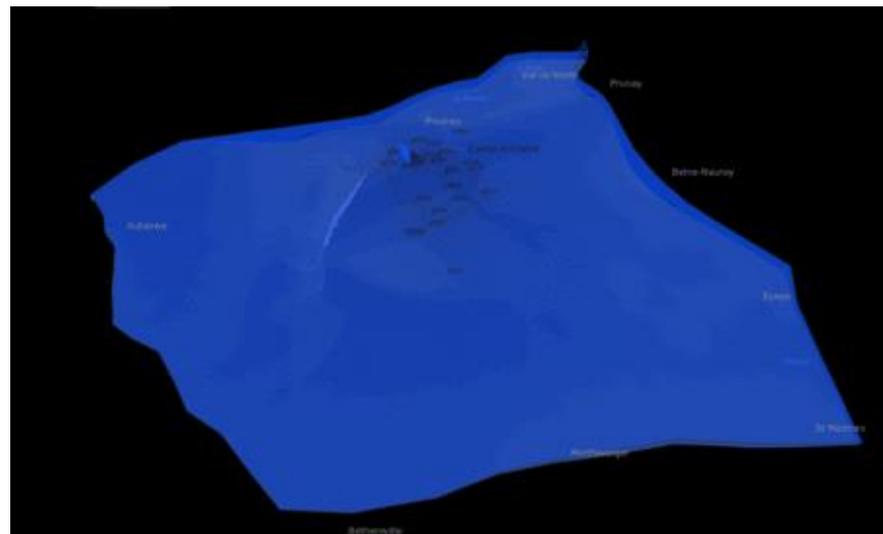
EVALUER L'IMPACT SUR UNE CIBLE



VALIDER UN MODELE NUMERIQUE A PARTIR DES OBSERVATIONS ET MESURES DE TERRAIN



Evolution de l'activité en radionucléide dans la nappe en fonction du temps

A l'échelle du site – 4 km²Champ lointain (bassin hydrologique)
400 km²

CONCLUSIONS

Hydrogéologie

Caractérisation des écoulements d'eau

Zone insaturée **Zone saturée**

Bibliographie

Expérimentations sur le terrain

Analyses en laboratoire

Modélisation numérique des écoulements

Géochimie

Caractérisation du terme source

Identification des paramètres contraignant la migration

Rétention **Colloïdes**

Bibliographie

Caractérisation du fond géochimique local

Identification de mécanismes

Acquisition des données manquantes nécessaires à la modélisation

Modélisation couplée géochimie-transport (champ proche)

Reproduction du FGL

Modèle hydrodynamique réaliste

Intégration des paramètres de migration des RN

Code de transport couplé à un code de géochimie

Modélisation transport généralisé (champ lointain)

Exemple approche « Kd »

Détermination de la date d'arrivée du RN à la cible

MERCI

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019