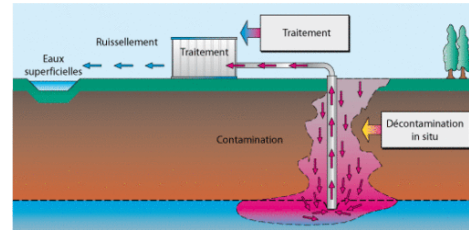
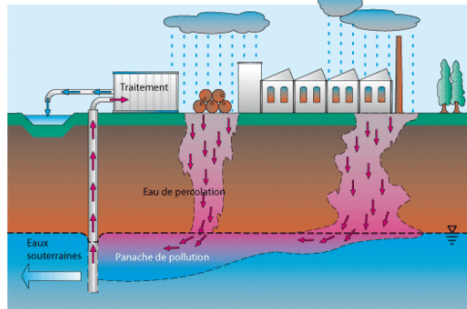


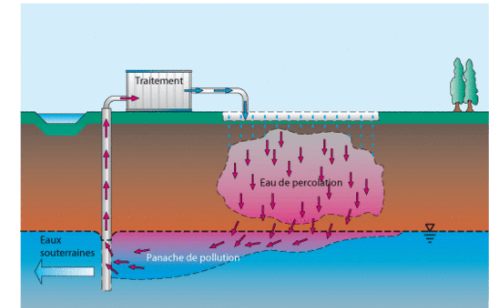


Quelques techniques d'assainissement... *IN SITU*

pompage d'eau et épuration sur site
(P&T - pump and treat)



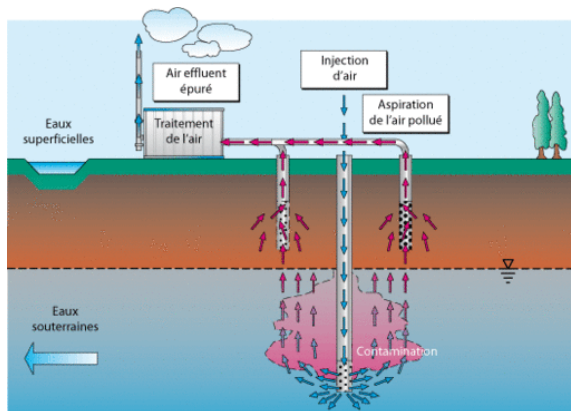
injection d'eau (flushing)



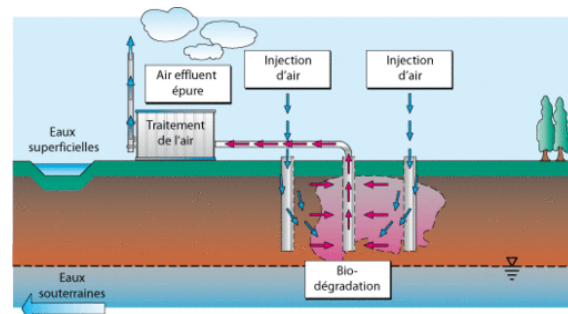
- ❖ oxydation/réduction chimique *in situ* (ISCO/ISCR – *in situ* chemical oxidation/reduction)
- ❖ atténuation naturelle surveillée (MNA – monitored natural attenuation)
- ❖ barrière perméable réactive (PRB)

- ❖ traitement biphasé eau / produit pur (dual phase extraction – water/DNAPL or water/LNAPL)
- ❖ traitement triphasé (bioslurping – water/vapor/LNAPL)

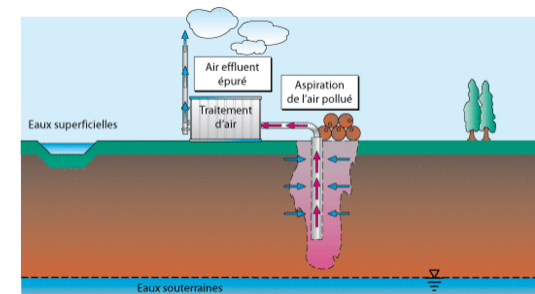
- ❖ écrémage (skimming)
- ❖ bio-stimulation
- ❖ bio-augmentation
- ❖ etc...



(bio) injection d'air (sparging)



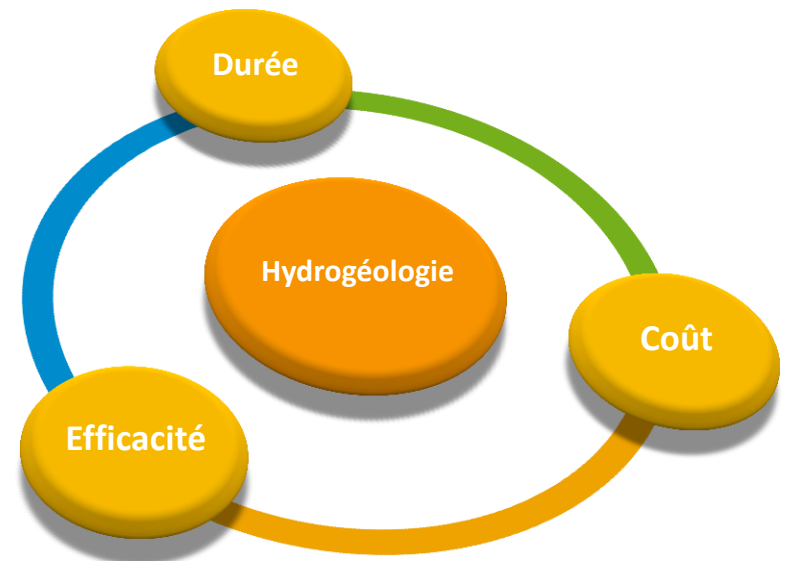
(bio) ventilation (venting)



extraction et traitement de gaz du sol
(SVE – soil vapor extraction)

L'expérience montre que les procédés d'assainissement *in situ* se révèlent peu efficaces à cause de la mauvaise prise en compte de leurs contraintes et limites d'application.

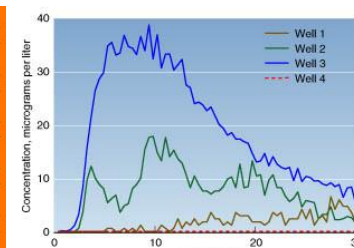
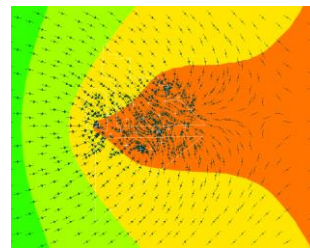
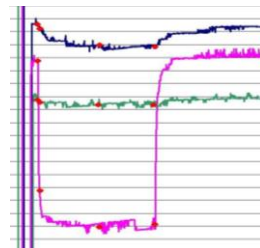
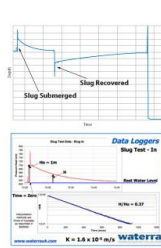
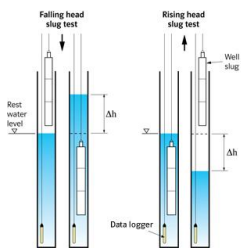
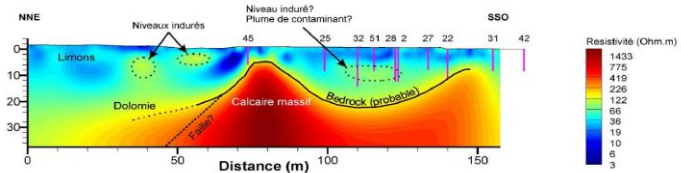
Ainsi, la méconnaissance de l'**hydrogéologie LOCALE** d'un site peut conduire à une augmentation de la durée et des coûts d'assainissement, voire même à l'abandon de la technique initialement préconisée.



Comment procéder ?

Plusieurs approches possibles, souvent complémentaires

- ❖ Forages de reconnaissance
- ❖ Puits et piézomètres
- ❖ Géophysique
- ❖ Slug test
- ❖ Pompage d'essai
- ❖ Traçage
- ❖ Modélisation
- ❖ ...



CAS 1 : Objectif atteint... ou pas !

Contexte

- ❖ Station-service
- ❖ Pollution HM
- ❖ Remblais, limons fluviaux, alluvions
- ❖ Nappe alluviale, rivière à 50 m
- ❖ PA approuvé



Traitement *in situ* par bioremédiation

- ❖ Intervention après travaux d'excavation
- ❖ Maintenir le panache au droit du site
- ❖ Eliminer/réduire la charge polluante

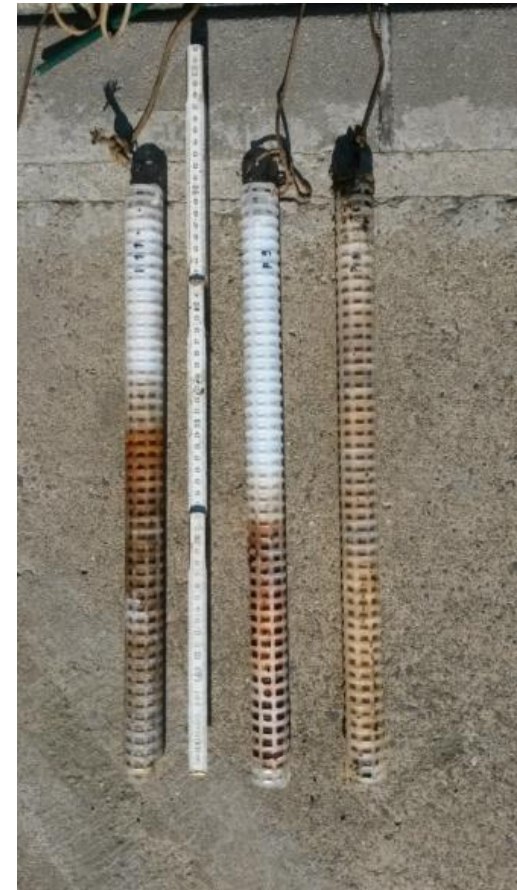


Données disponibles

- ❖ Logs de forage
- ❖ Piézométrie relative
- ❖ Analyses HM eau/sol

Mise en œuvre et... premières surprises

- ❖ « apparition » de diesel en phase libre
- ❖ « augmentation » de la charge argileuse

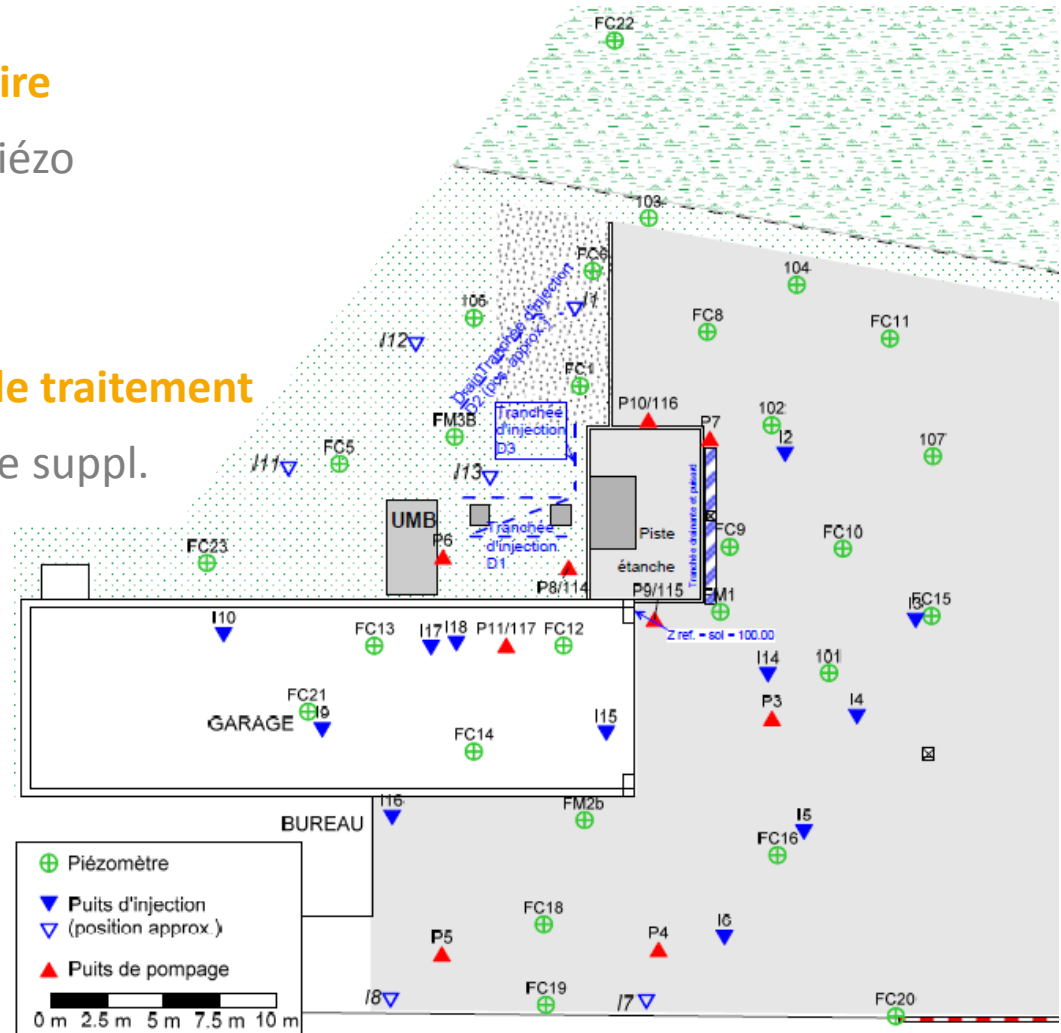


Caractérisation complémentaire

- ❖ 17 forages dont 11 puits/piézo
- ❖ Monitoring analytique

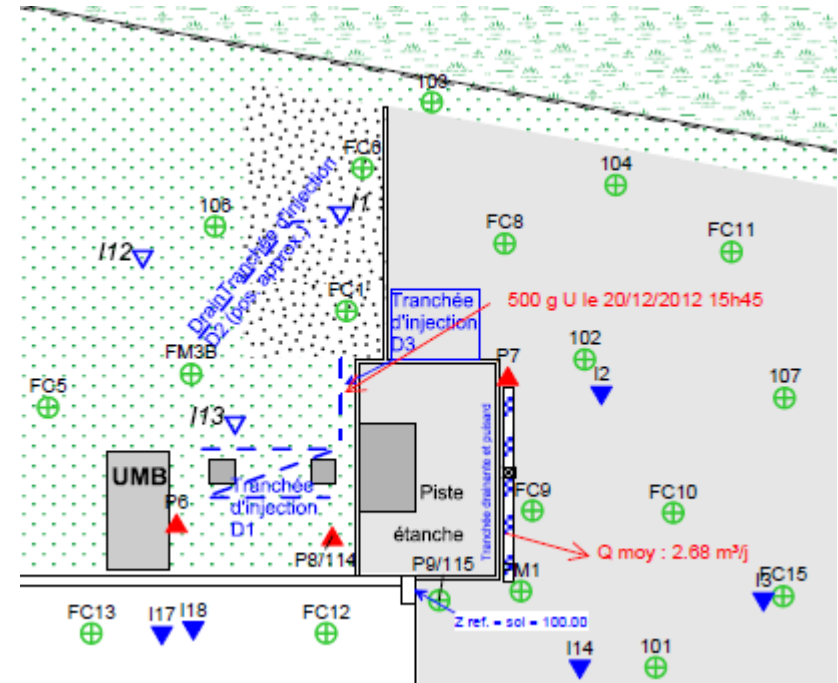
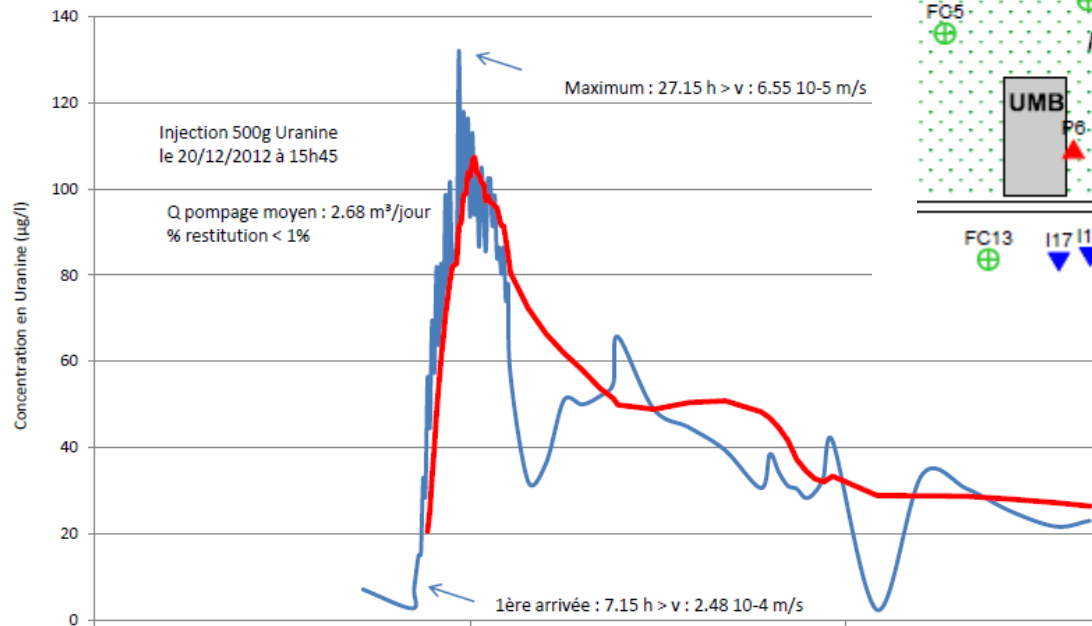
Adaptation des installations de traitement

- ❖ Points d'injection/pompage suppl.
- ❖ Drains de dispersion
- ❖ Tranchée d'extraction
- ❖ Traçage



Traçage

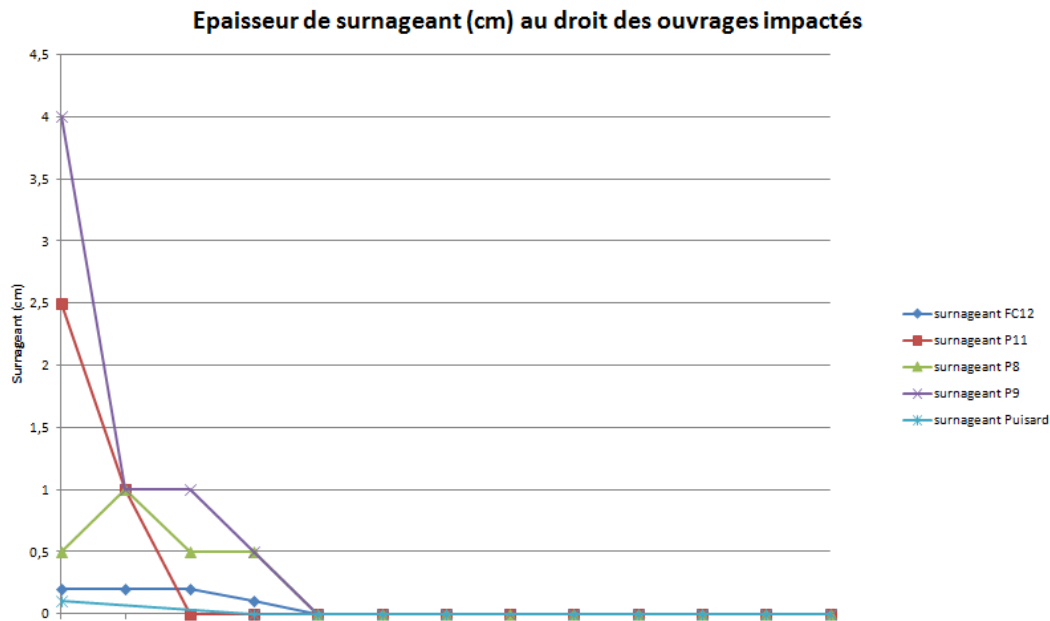
- ❖ Communication effective
- ❖ Restitution < 1%



CAS 1 : Objectif atteint... ou pas !

Et alors que l'objectif est en vue...

- ❖ Crue exceptionnelle
- ❖ Mobilisation de diesel en phase libre



En conséquence

- ❖ Remise en question du PA
- ❖ Caractérisation complémentaire et nouveau PA exigés par l'administration
- ❖ Perte de temps, perte d'argent

CAS 2 : Suivre les traces...

Contexte

- ❖ Ancienne fabrique en milieu urbain
- ❖ Remblais, argiles, limons, sables
- ❖ Nappe phréatique polluée par HM/BTEX
- ❖ PA approuvé

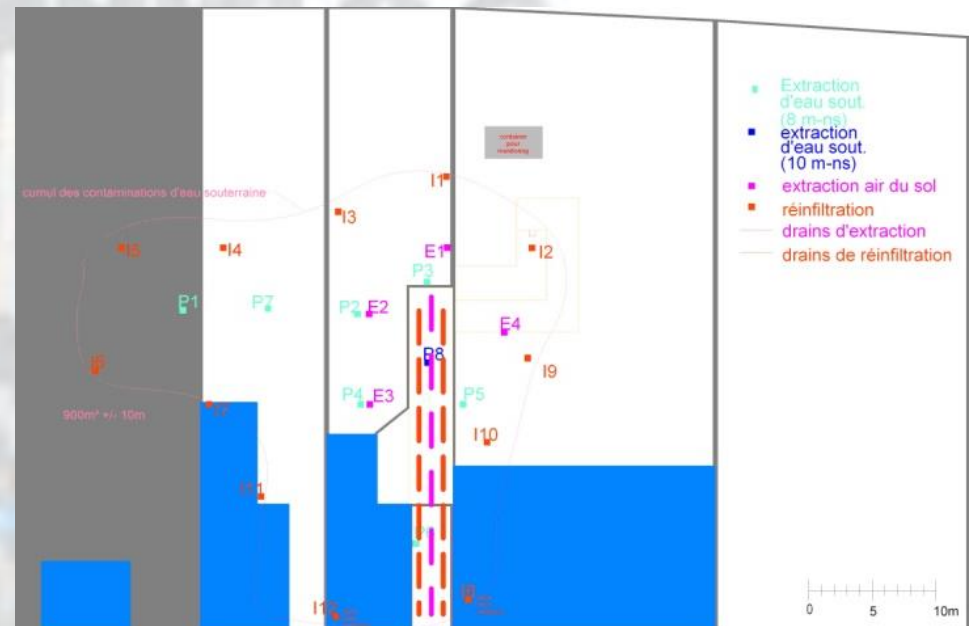
Traitement *in situ* par bioremédiation

- ❖ Intervention après travaux d'excavation (noyau)
- ❖ Présence de bâtiments et fondations
- ❖ Maintenir le panache au droit du site
- ❖ Eliminer/réduire la charge polluante



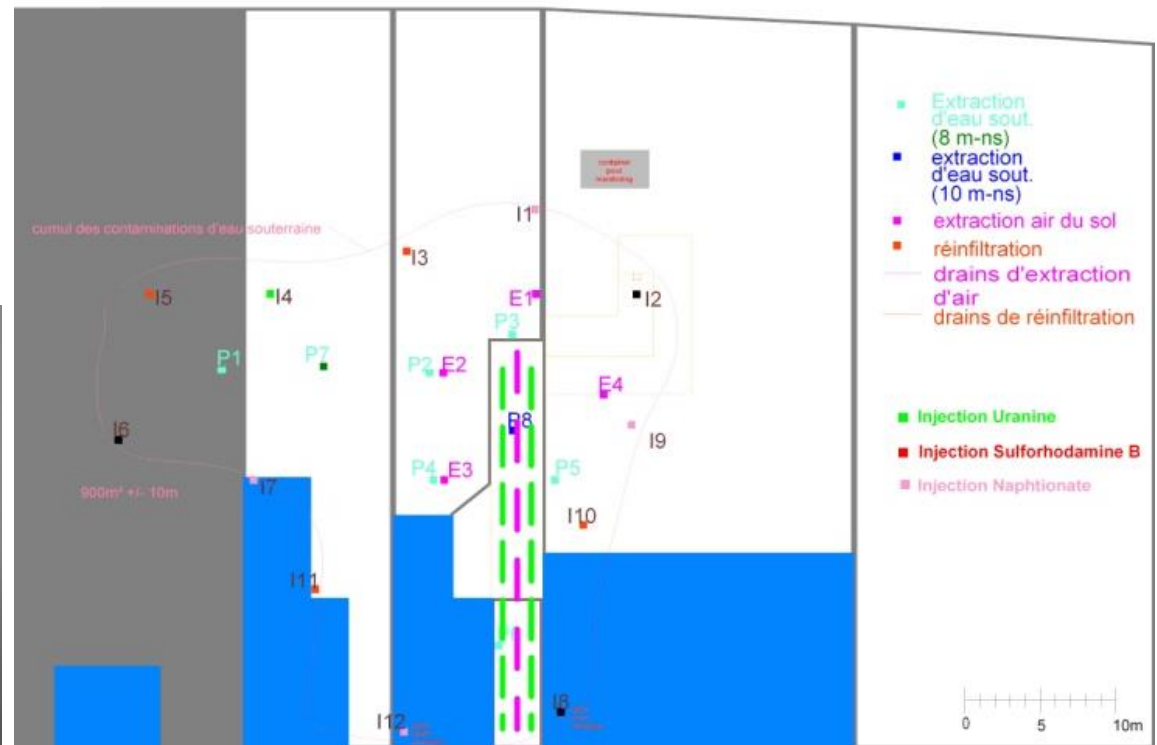
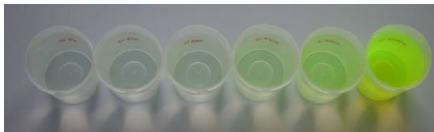
Design

- ❖ UMB (séparateur, stripping, traitement bio)
- ❖ 8 puits et 1 drain d'extraction
- ❖ 14 points d'injection, dont 2 drains
- ❖ 4 points d'extraction d'air du sol (BTEX)



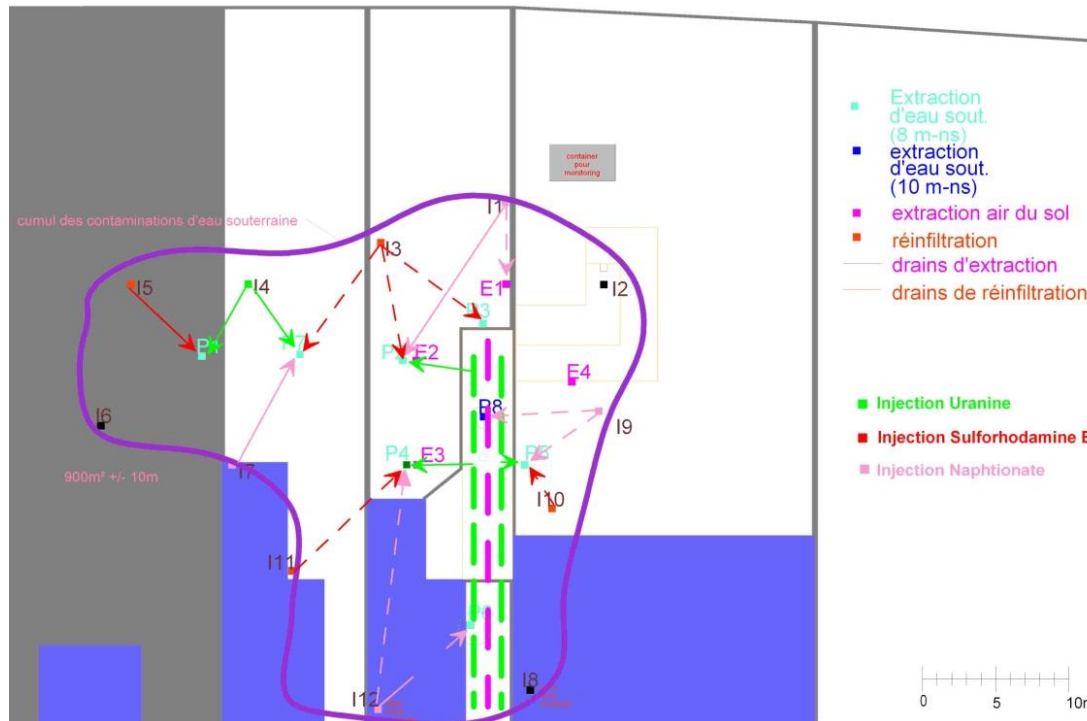
Phase pilote (6 semaines)

- ❖ Démontrer le confinement
- ❖ Vérifier les connexions entre les points IN/EX
- ❖ P&T sans réinfiltration
- ❖ Traçage

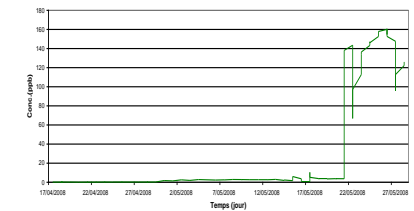


Résultats

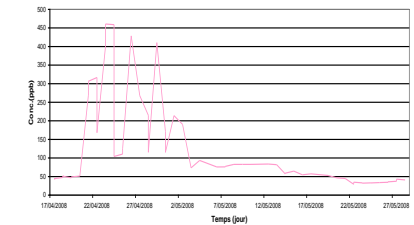
- ❖ Mise en évidence du confinement
- ❖ Connexions IN/EX avérées
- ❖ Validation du processus de traitement *in situ*



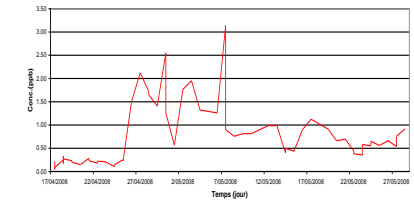
Evolution de la concentration en uranine des échantillons composites



Evolution de la concentration en naphtionate dans les échantillons composites



Evolution de la concentration en sulforhodamine B dans les échantillons composites



	Uranine	Naphtionate	SulfoB
Puits	V _A (m/jour)	V _A (m/jour)	V _A (m/jour)
P1	0.17	/	0.76
P2	0.13	6.35	0.92
P3	0.07	/	0.64
P4	0.13	1.27	1.13
P5	0.03	1.2	0.6
P6	0.008	/	0.64
P7	0.19	4.35	0.93
P8	0.02	1.3	0.56

Contexte

- ❖ Site industriel en activité
- ❖ Pollution HCOV
- ❖ Remblais, limons fluviaux, alluvions, argiles et sables
- ❖ 3 nappes (superficielle, alluviale et profonde)



Traitement *in situ*

- ❖ P&T existant (confinement)
- ❖ Bioremédiation

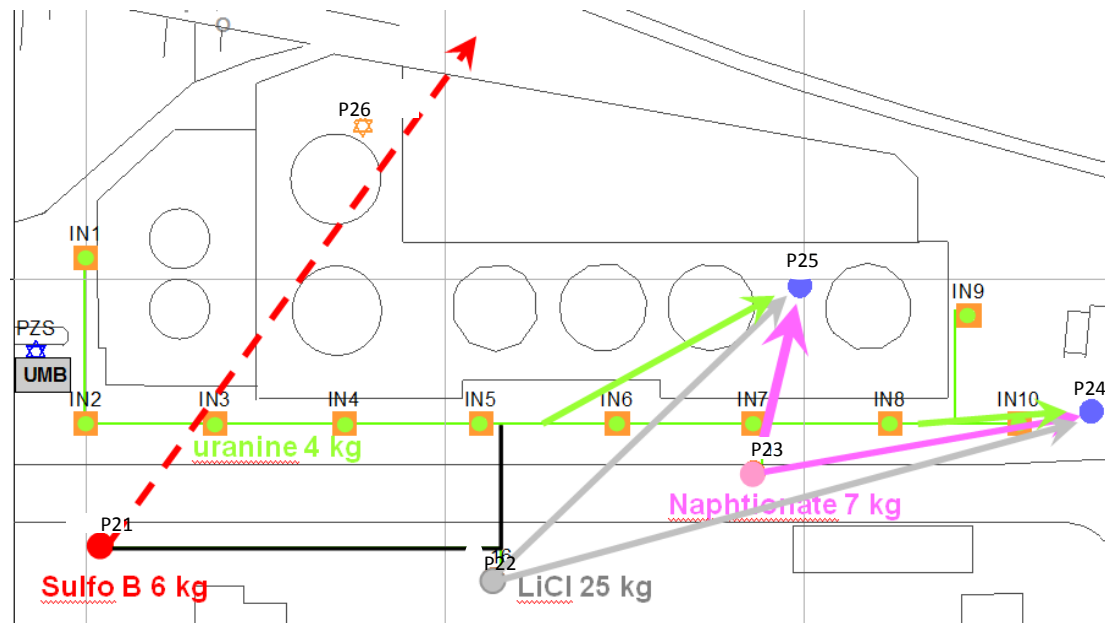


Question

- ❖ Communication entre les points d'injection et de pompage ?

Multi-traçage

- ❖ Points d'injection validés sauf le P21
- ❖ Quid d'un pompage suppl. en P26 ?
- ❖ Dégradation/adsorption des traceurs ?



CAS 4 : To the left and to the right

Contexte

- ❖ Site industriel en activité
- ❖ Pollution HCOV
- ❖ Nappe profonde

Traitement *in situ*

- ❖ P&T (confinement)
- ❖ Barrière bio

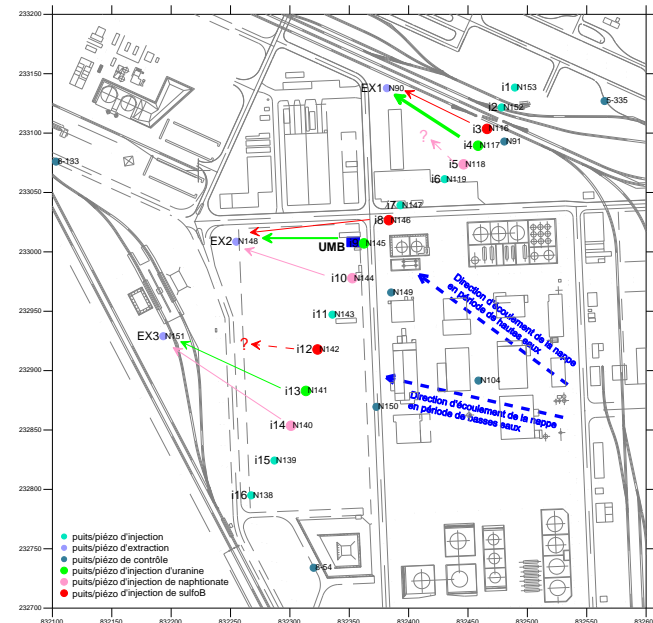
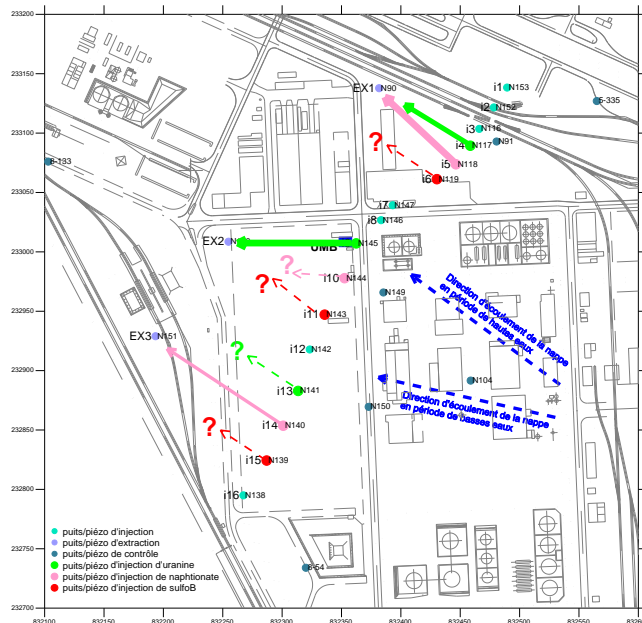


Question

- ❖ Régime d'écoulement en basses eaux/hautes eaux ?
- ❖ Validation de l'extension de la barrière bio

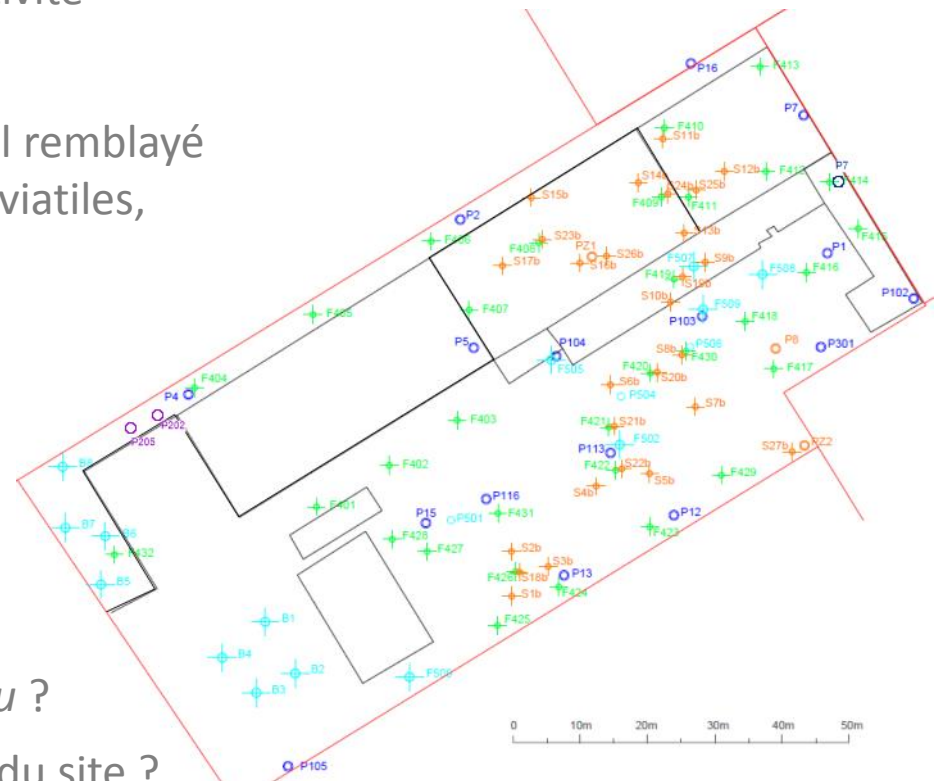
Multi-traçage

- ❖ Sens global d'écoulement vers le N-O (hautes eaux) et O-N-O (basses eaux)
- ❖ Mise en évidence d'un axe d'écoulement préférentiel (chenal E-0)
- ❖ Eau souterraine plus lente en période de basses eaux...
- ❖ ... et meilleure interception par les puits de pompage



Contexte

- ❖ Site industriel en cessation d'activité
- ❖ Pollution ML et HM
- ❖ Remblais (dont un ancien chenal remblayé avec du tout-venant), limons fluviaux, alluvions, argiles et sables
- ❖ 2 nappes (alluviale et profonde) sans communication



Questions

- ❖ Faisabilité d'un traitement *in situ* ?
- ❖ Risque de dispersion en dehors du site ?

Données disponibles

- ❖ Suivi piézométrique; gradient hydraulique variable
- ❖ Pompage de confinement (P&T via drain, 1-2 m³/j)
- ❖ 1 pompage d'essai (24h) sur nappe profonde (T de l'ordre de 3.10⁻³ m²/s)
- ❖ Slug tests (K = 1.10⁻⁵ à 4.10⁻⁸ m/s)
- ❖ Essais Lefranc (K = 10⁻³ à 10⁻⁷ m/s)

Piézomètre 201 :

Profondeur (m)	Coefficient de perméabilité (m/s)
1m50 – 2m00	1.0*10 ⁻³
5m20 – 5m70	2.0*10 ⁻⁶
7m80 – 8m40	2.0*10 ⁻⁶
9m30 – 9m70	2.8*10 ⁻⁵

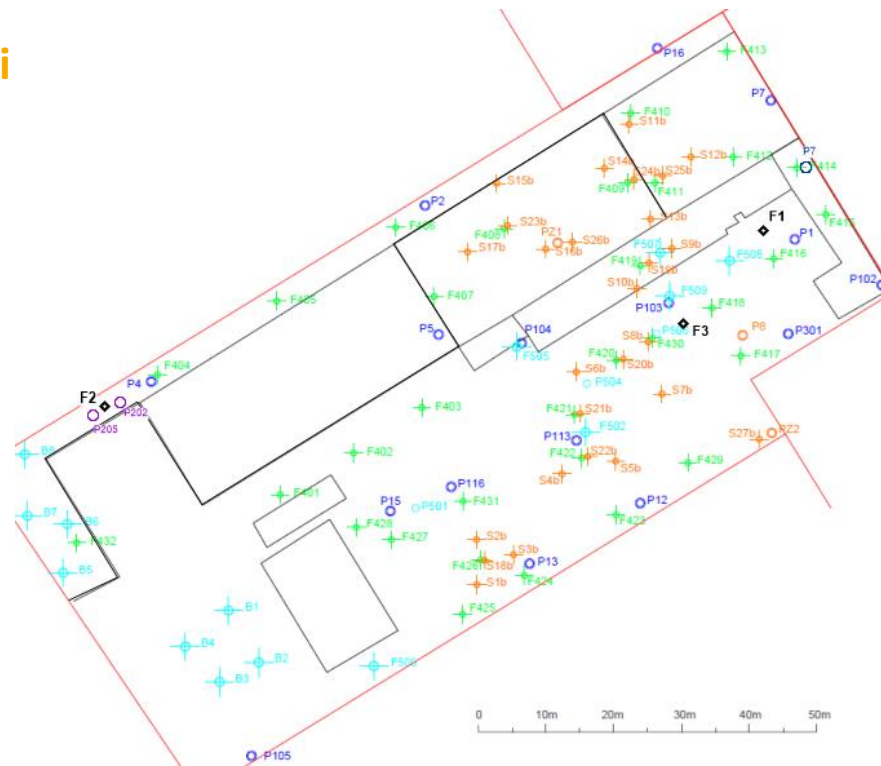
Piézomètre 202 :

Profondeur (m)	Coefficient de perméabilité (m/s)
2m30 – 2m80	1.8*10 ⁻⁴
5m20 – 5m70	3.1*10 ⁻⁷
7m70 – 8m20	5.0*10 ⁻⁵

Dans les deux cas, on observe un niveau superficiel assez perméable de remblais et de limon (perméabilités de l'ordre de 10⁻³ ou 10⁻⁴ m/s) laissant la place, plus en profondeur, à un horizon nettement moins perméable de limons argileux (perméabilités de l'ordre de 10⁻⁶ à 10⁻⁷ m/s). En fin de forage, la perméabilité ré-augmente (témoignant ainsi du passage progressif vers les sables et graviers alluviaux).

CAS 5 : Vous avez dit « piscine »...

Réponses via 3 pompages d'essai



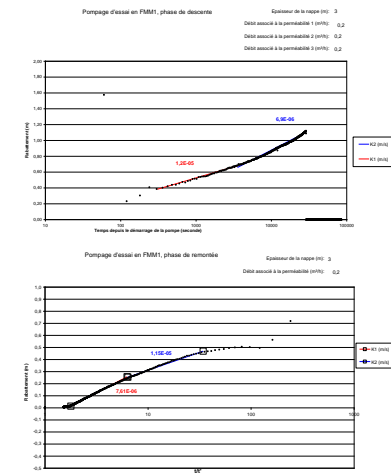
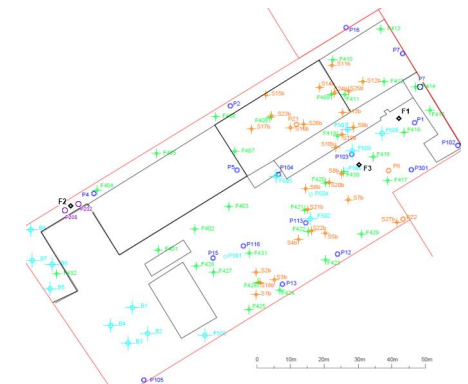
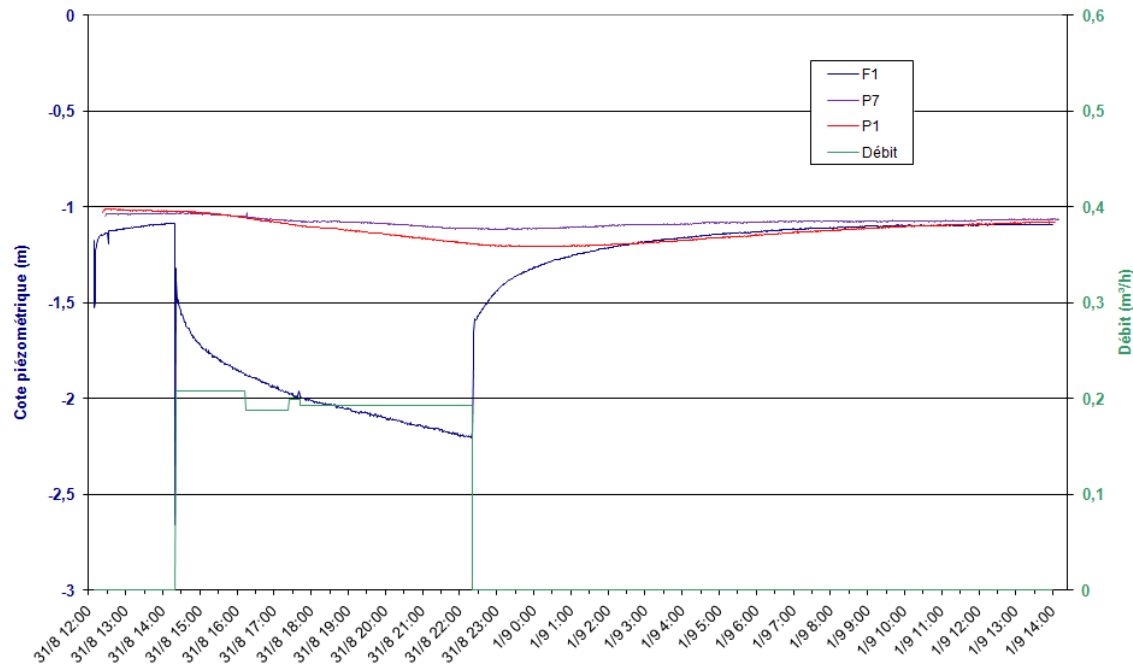
Contrainte principale, la gestion des eaux polluées :

- ❖ adaptation de la durée du pompage en fonction de Q
- ❖ stockage des eaux pompées



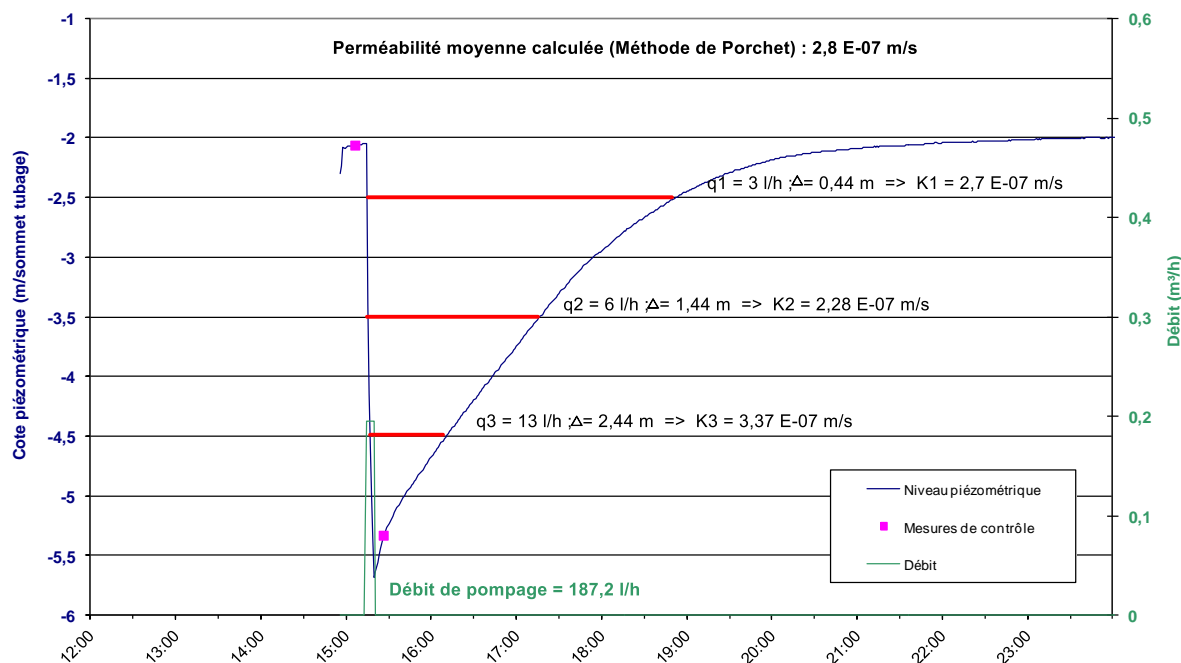
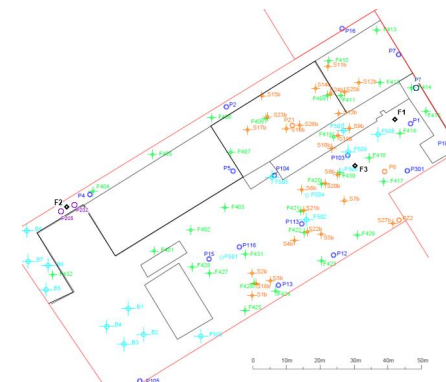
Résultats du pompage d'essai sur F1

- ❖ Régime permanent : $K = 10^{-5}$ m/s
- ❖ Régime transitoire : $K = 10^{-5}$ m/s à 7.10^{-6} m/s



Résultats du pompage d'essai sur F2

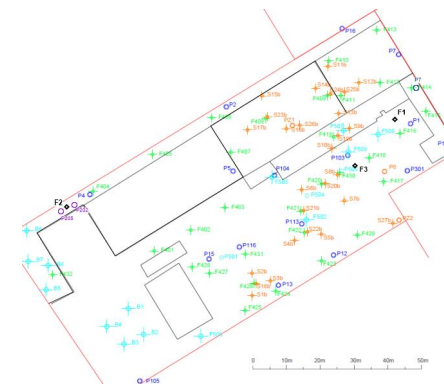
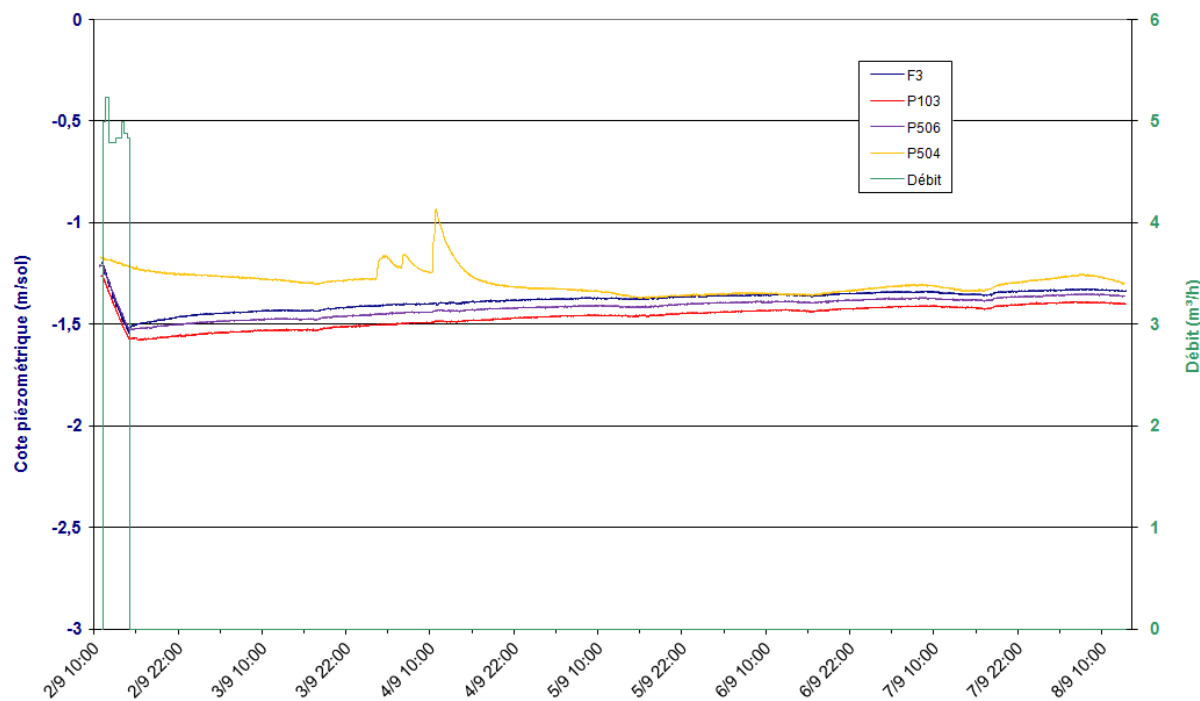
❖ $K = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$



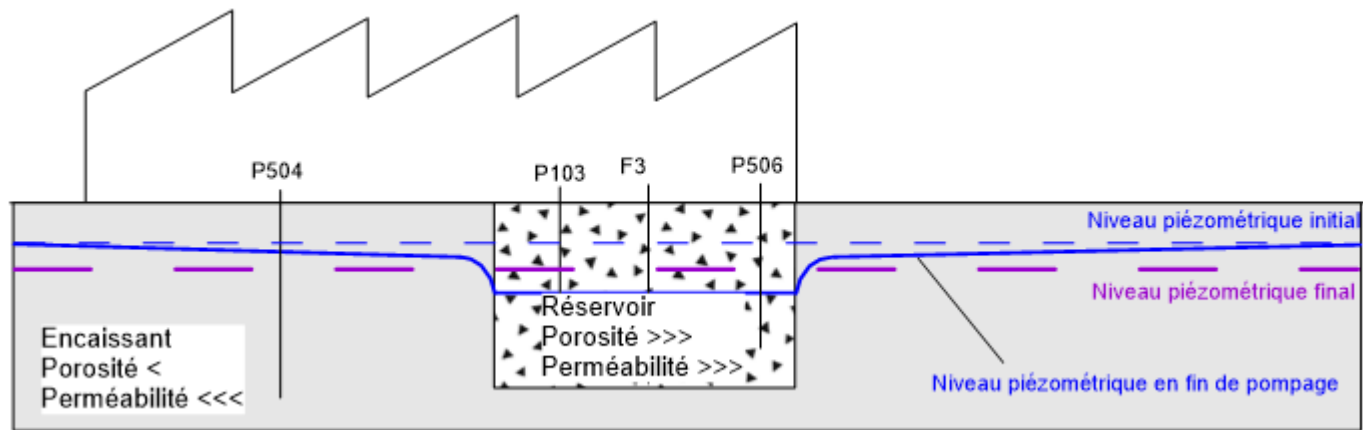
CAS 5 : Vous avez dit « piscine »...

Résultats du pompages d'essai sur F3

- ❖ $K \gggg$
- ❖ Épontes : $K = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$



CAS 5 : Vous avez dit « piscine »...



Conclusions

- ❖ K très contrastées
- ❖ Risque de dispersion non préjudiciable
- ❖ Traitement *in situ* réalisable en tirant parti de la « piscine »

Contexte

- ❖ Cour intérieure d'un bâtiment résidentiel
- ❖ Pollution HM
- ❖ Remblais, limons et sables (niveaux indurés)
- ❖ 1 seule nappe

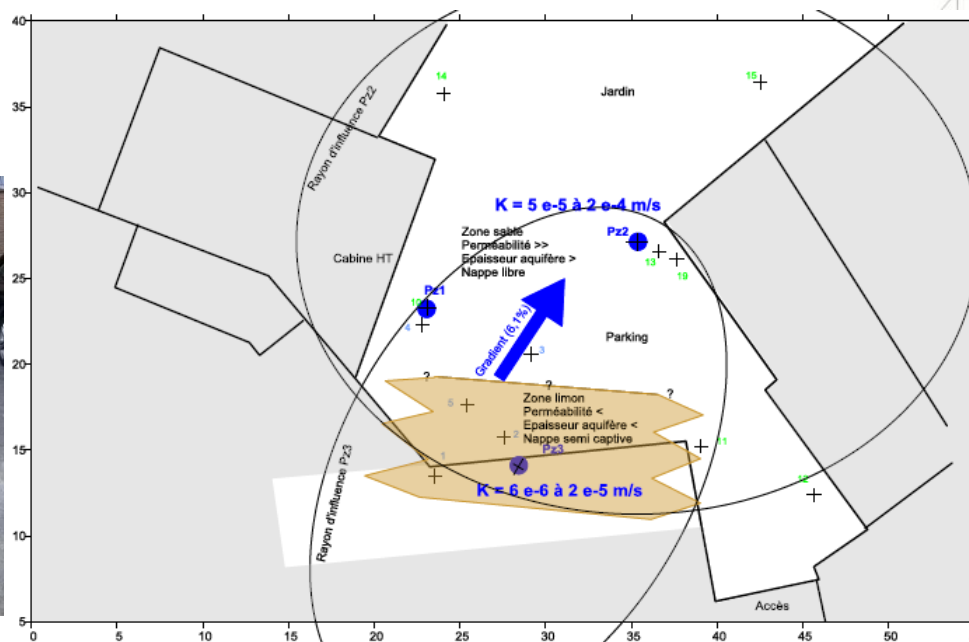


Questions

- ❖ Piézométrie, gradient hydraulique, perméabilité ?
- ❖ Faisabilité d'un traitement *in situ* après retrait du réservoir enterré ?

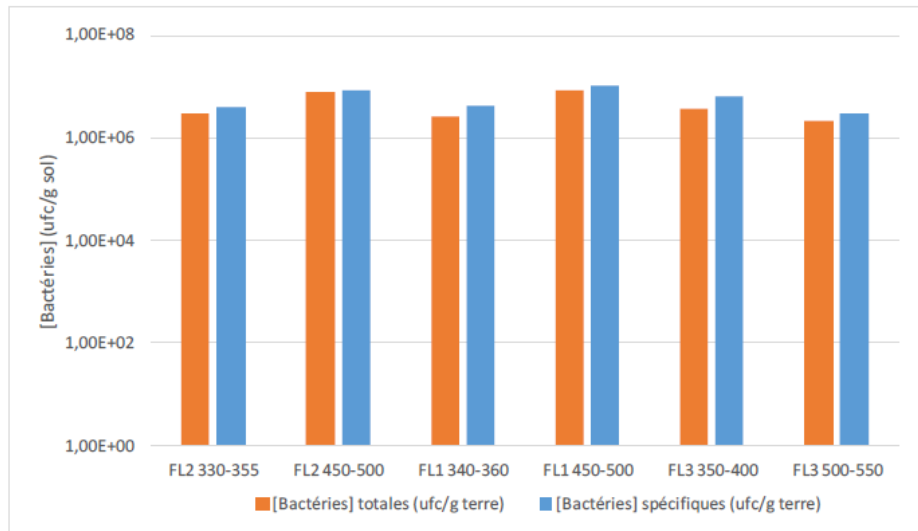
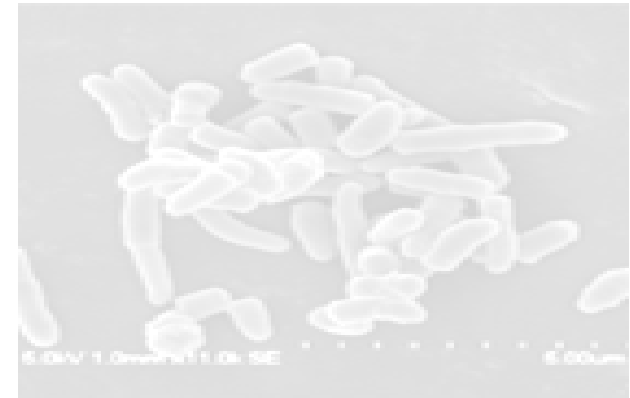
Pompages d'essai

- ❖ Aquifère libre à semi-captif
- ❖ Gradient de 6 % en direction du N-E
- ❖ Ecoulement ESO de l'ordre de 2,5 m³/j
- ❖ $K = 2.10^{-4}$ à 6.10^{-6} m/s

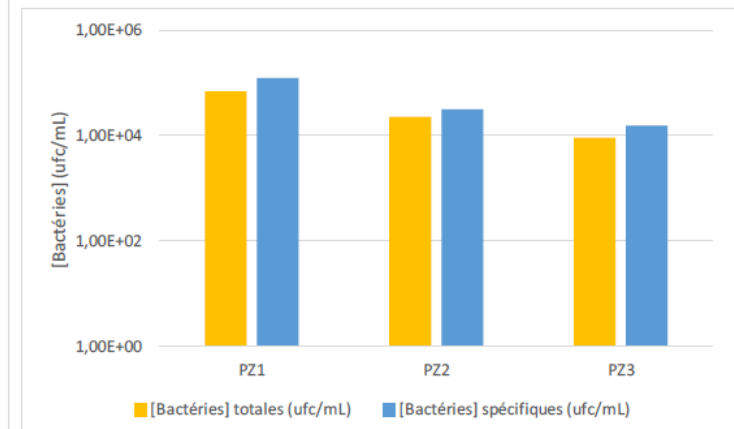


Microbiologie

- ❖ Faune endogène adaptée aux contaminants
- ❖ Métabolisation déjà initiée
- ❖ Inhibition due à la faible quantité d'oxygène disponible



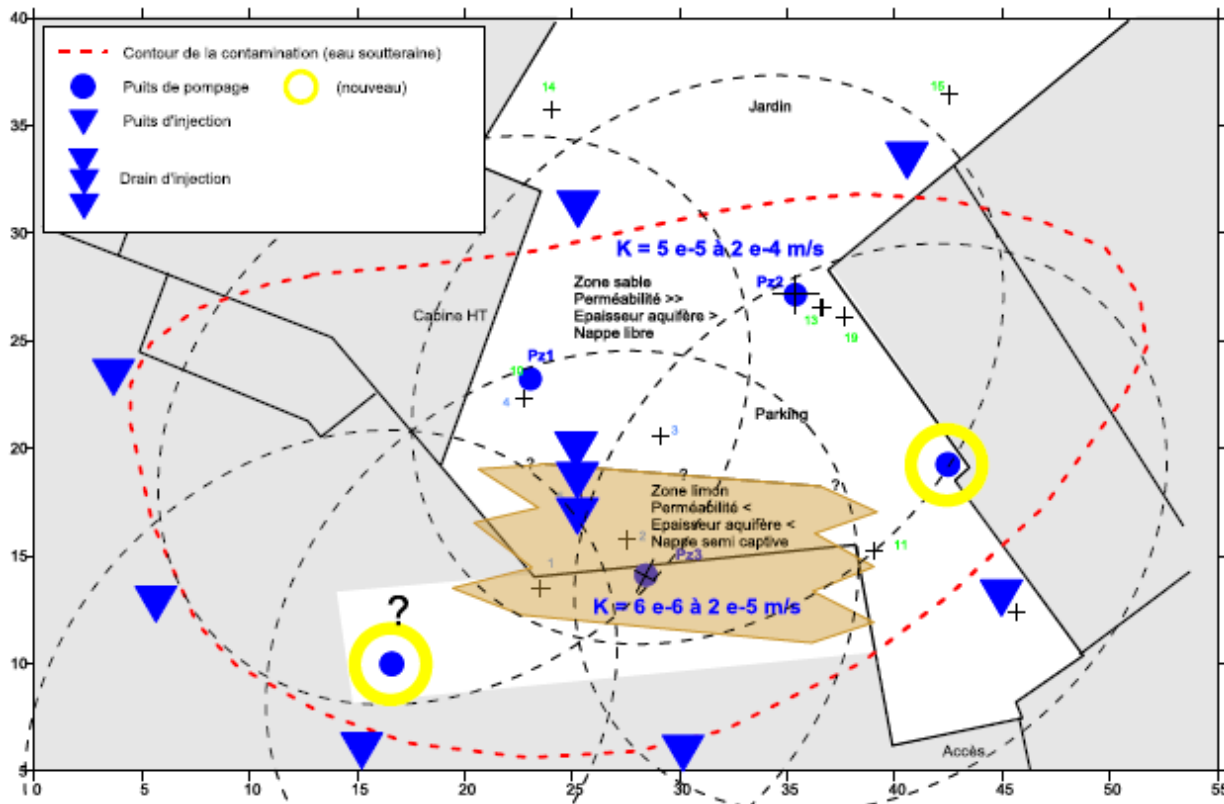
Dénombrement de la population de microorganismes dans les sols



Dénombrement de la population de microorganismes dans les eaux

Conclusions

- ❖ Design du dispositif de traitement par P&T ou par bioremédiation
- ❖ Site propice à un assainissement par biostimulation



Contexte

- ❖ Ancien charbonnage
- ❖ Remblais, argiles, craies.
- ❖ Pollution HC des ESO
- ❖ Piézomètres existants de diam. 1''



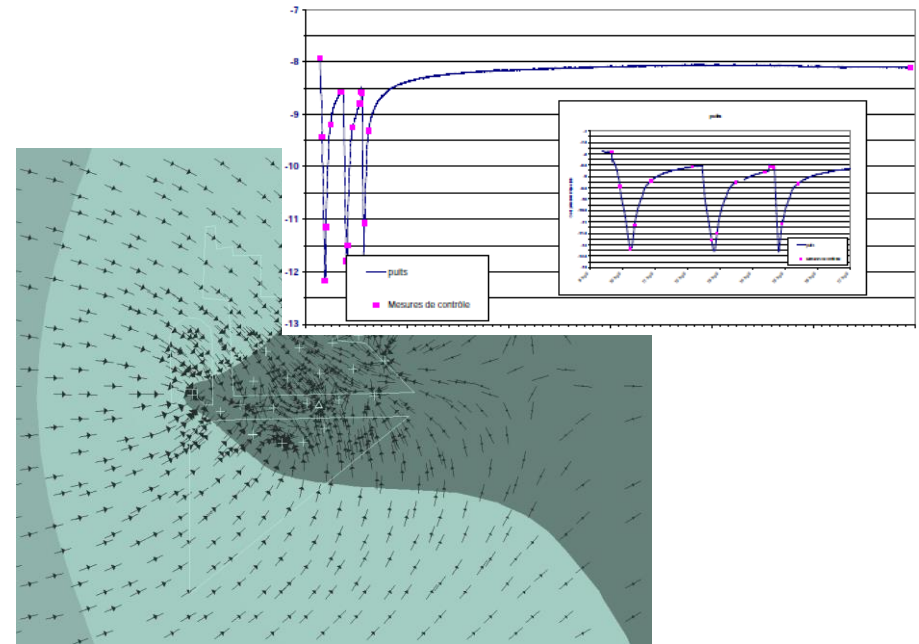
Question

Affiner le dimensionnement d'un réseau de points de confinement hydraulique



Pompage d'essai – modélisation

- ❖ Forage 4'' recoupant l'aquifère
- ❖ Aquifère captif peu perméable
- ❖ Faible alimentation
- ❖ $K = 1,6 \cdot 10^{-6}$ m/s
- ❖ Rayon d'action de l'ordre de 20 m



ROI

- ❖ Réduction du nombre de points de confinement
- ❖ Précision quant au mode de pompage *ad hoc* (très faible débit, intermittent)



« Good ~~music~~ **hydrogeology** makes good ~~people~~ **in situ** »

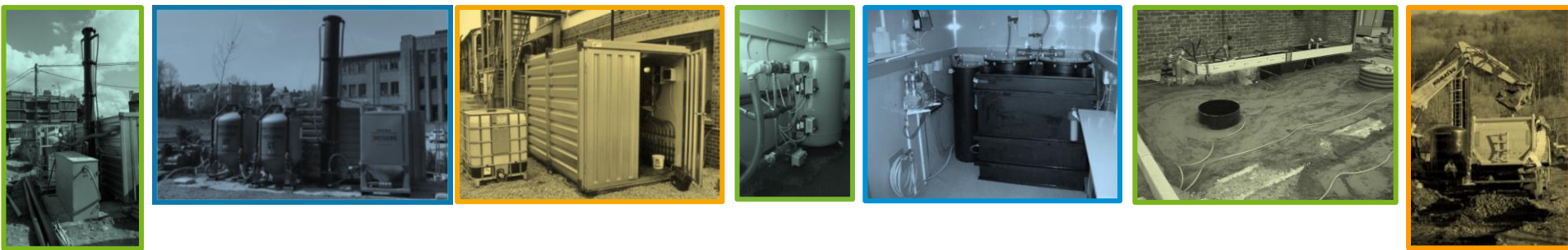
- ❖ Lithologie / granulométrie
- ❖ Piézométrie synchrone
- ❖ Régimes d'écoulement saisonniers
- ❖ Slug tests : c'est toujours mieux que rien
- ❖ Pompage d'essai : (ultra) courte / (très) longue durée
- ❖ Traçage : importance de l'hydrochimisme
- ❖ Modélisation
- ❖ Dimensionnement / phase pilote
- ❖ Optimisation énergétique
- ❖ Coût
- ❖ Durée

**Un couple terrible...
et efficace**



**Mais attention de ne
pas prendre du plomb
dans l'aile !**

Merci pour votre attention !
Des questions ?



Contactez-nous !



Benoît LAVIGNE



Olivier TROMME



Serge KALBUSCH