

Journées techniques
28 et 29 mai 2013

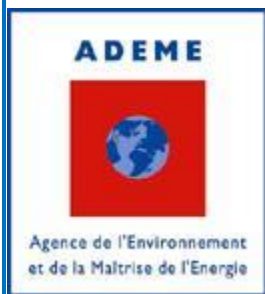
Gestion des sites et sols
pollués



Les substances volatiles : caractérisation, modélisation des transferts, surveillance

Retour d'expérience des projets CITYCHLOR, FLUXOBAT et ATTENA

ATTENA : Cas d'étude sur la gestion par AN d'un site contaminé aux hydrocarbures pétroliers



- **Basée sur une approche progressive, itérative et proportionnelle (textes de 2007)**
 - Évaluation des données historiques
 - 1er schéma conceptuel
 - Étude de faisabilité
 - Quantifications
 - Quantification de la source (masses mises en jeu)
 - Quantification du panache (impacts)
 - Quantification des processus d'AN
 - Modélisation prédictive
 - Définition d'un plan de surveillance
 - Bilan coût avantages
- A chaque étape : évaluation des résultats
 - ➔ **Décision d'arrêt ou de poursuite de la démarche**

➤ Le site :

- Station essence en activité
- Parc à cuves déplacé fin 1997

➤ Déversement accidentel :

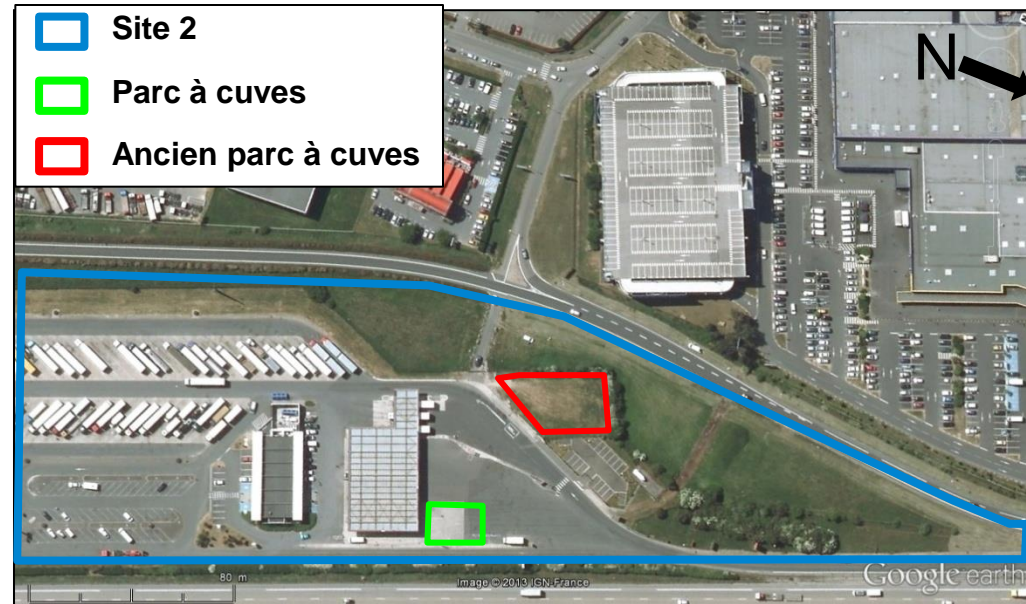
- Juillet 1992 : 500 L de GO
- Novembre 1997 : 9m³ de GO

➤ Déversement diffus :

- Fuite des cuves de SP98

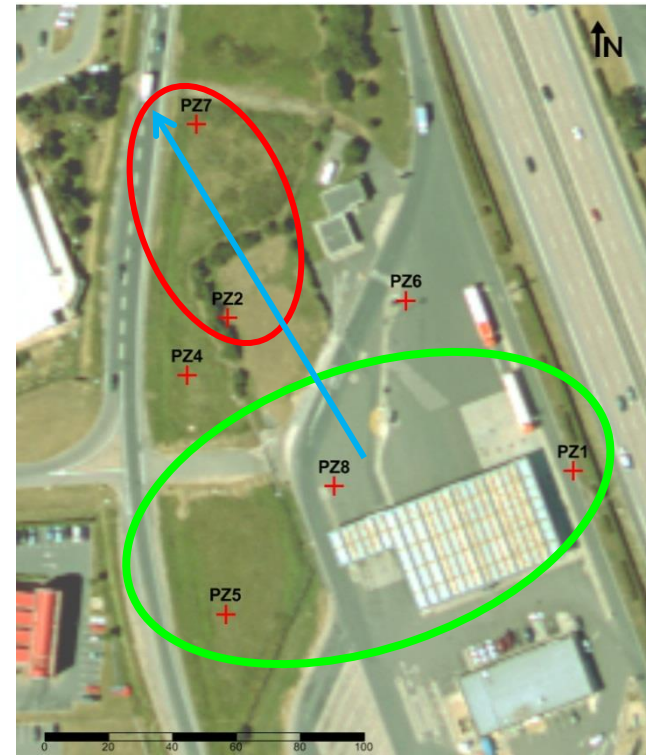
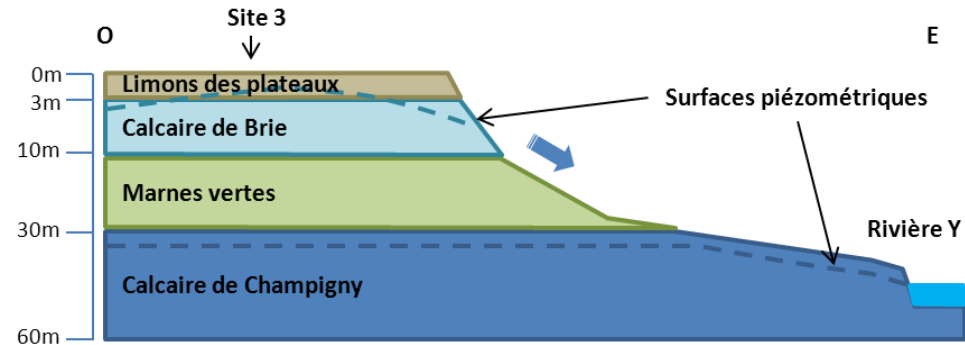
➤ Travaux de dépollution : Excavation des sols

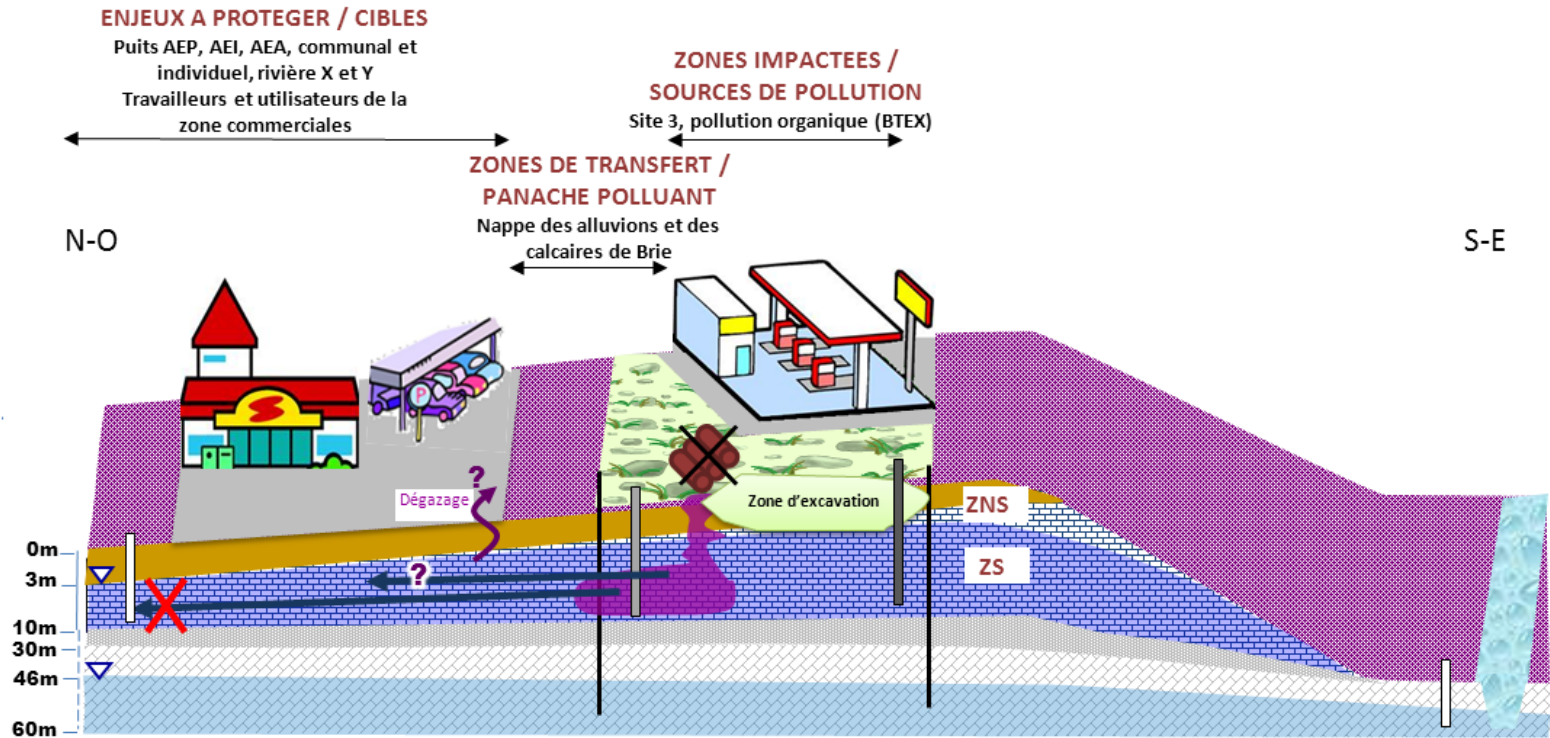
- 40 mg/kg < [HCT] < 65 mg/kg : sols en décharge
- Stockage et traitement des sols fixé à 500 mg/kg



- Contexte hydrogéologique
 - Aquifère limoneux et calcaire
 - Épaisseur = 10 m
 - Nappe superficielle entre 2 et 3 m de profondeur
 - $V = 17$ à 25 m/an

- Réseau de surveillance (existant)
 - Au niveau de l'ancien parc à cuves :
 $C(\text{BTEX}) = 10$ mg/L
 - Au niveau des postes de distribution :
 $C(\text{BTEX}) < 100$ µg/L

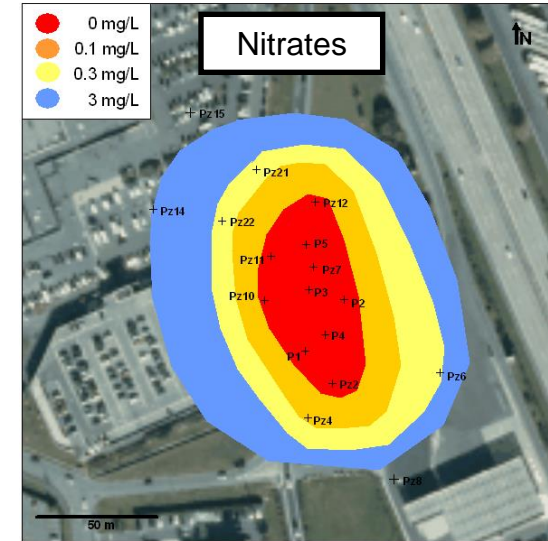
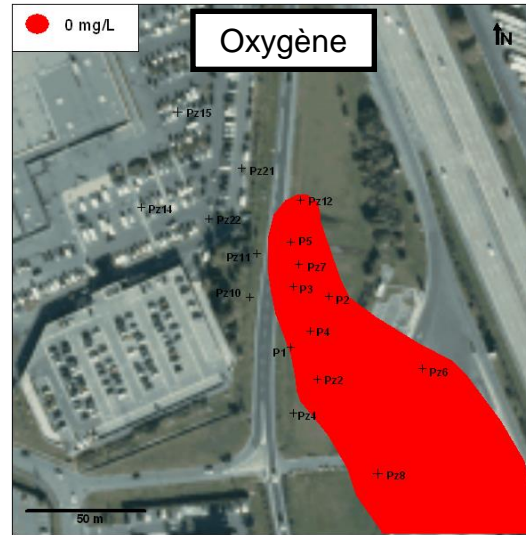




➤ Les interrogations à lever :

- Quelles est l'extension du panache ?
- Y a t-il des phénomènes de transfert gazeux des polluants depuis la nappe ?

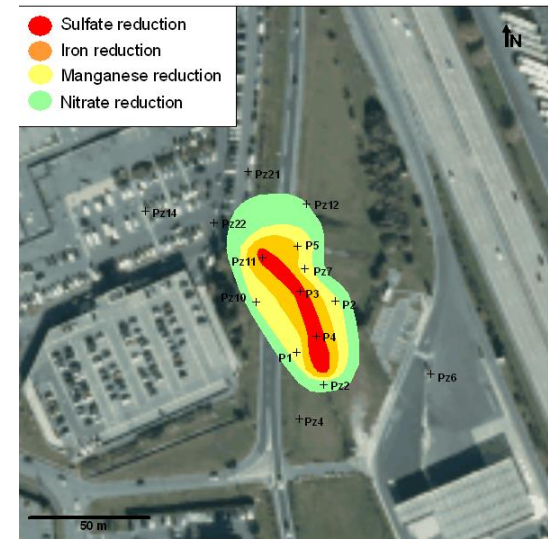
➤ Analyses des accepteurs d'électron



➔ Consommation des accepteurs d'électrons = biodégradation

➤ Mécanisme de biodégradation

➔ Sulfato-réduction



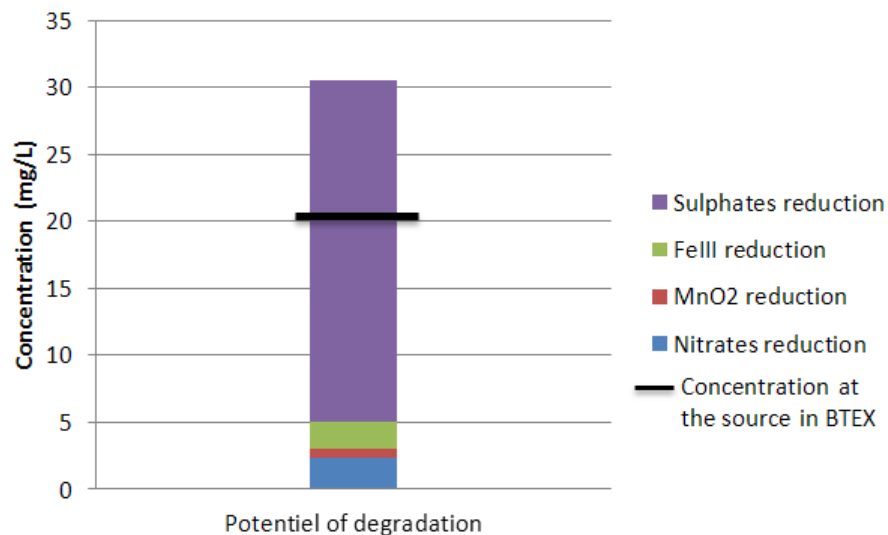
➤ Bilan électronique

Electron acceptors	Oxygène	Sulfates	FeIII	MnO2	Nitrates
Upstream concentration (mg/L)	0	98	80.6	10.8	11
Mass necessary for the degradation of 1 mg of BTEX(mg/L)	3.1	3.8	40.3	16.7	4.7
BTEX can be degraded (mg/L)	0	25.6	2.0	0.6	2.4

➤ Nitrates, manganèse et fer sont limitants

➤ Conditions plus réductrices = Sulfato-réduction

➔ Accepteurs d'électrons suffisants pour dégrader toute la pollution



Étude de faisabilité de gestion par AN

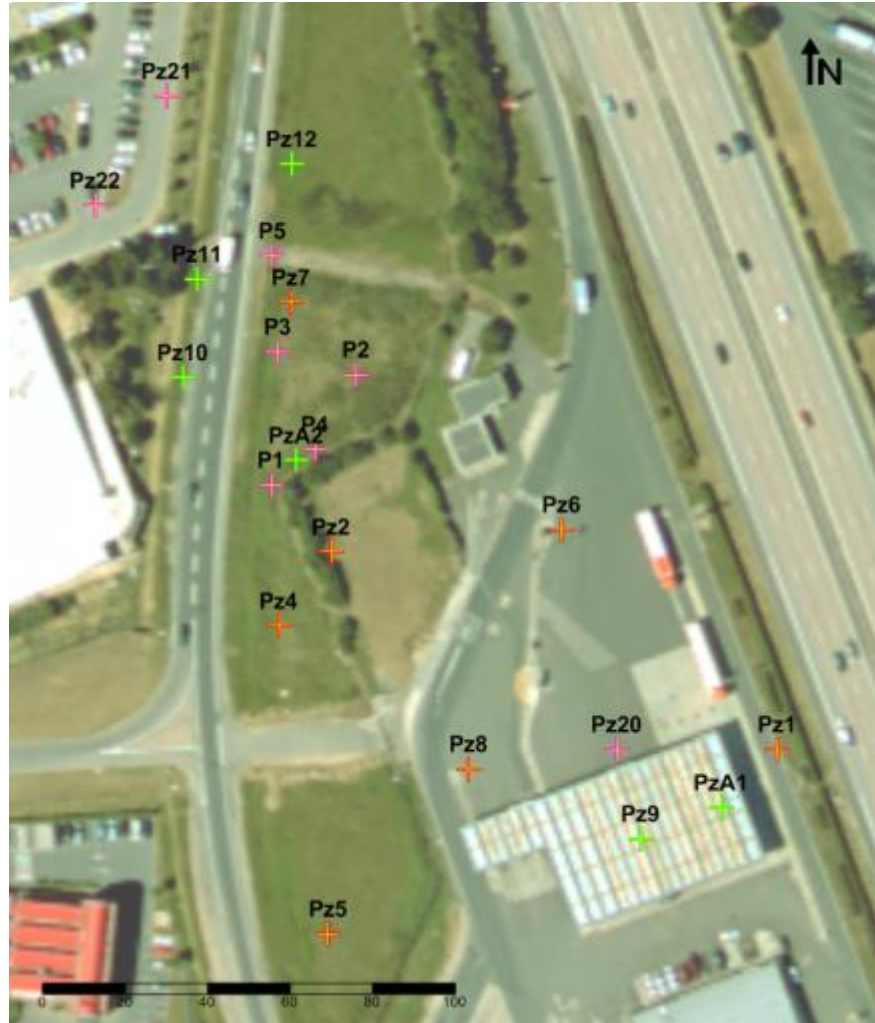


Critères	Facteurs techniques / Praticabilité et contraintes économiques	Faisabilité Elevée	Faisabilité Intermédiaire	Faisabilité Faible
Source de pollution des eaux souterraines	Source maîtrisée - source résiduelle encore active		X	
Définition du panache	Manque d'ouvrage à l'aval de Pz2	?		
Etat du panache	Stable		X	
Compatibilité du panache avec les usages		?		
Hétérogénéité et isotropie de l'aquifère	Hétérogène et anisotrope		X	
Persistance du polluant dans l'environnement	Pas aisément dégradé dans des conditions présentes sur le site (cas du benzène)		X	
Potentiel de pollution des produits dérivés	Pas toxique ou moins toxique que le parent	X		
Données de surveillance	Haut (Données de surveillance cohérentes et acquisition sur une durée de plus de 2 ans à une fréquence semestrielle)	X		
Conditions bio-géochimiques (sur la base du bilan des AE/DE)	Favorable pour les polluants considérés	X		
Surveillance dans la zone d'impact	Accès disponible	X		
Objectifs du propriétaire foncier	Intérêt à long terme	X		

- ➔ Conditions géochimiques réunies
- ➔ Investigations et levée de doutes nécessaires

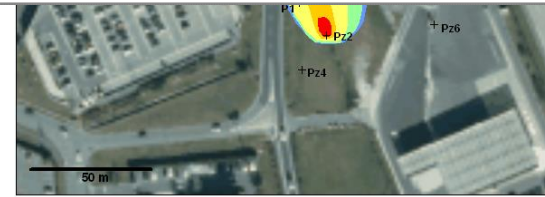
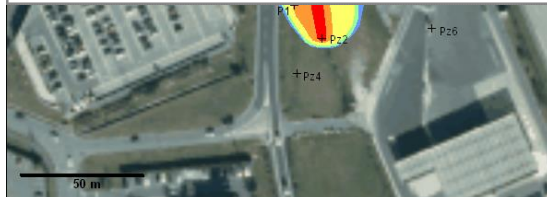
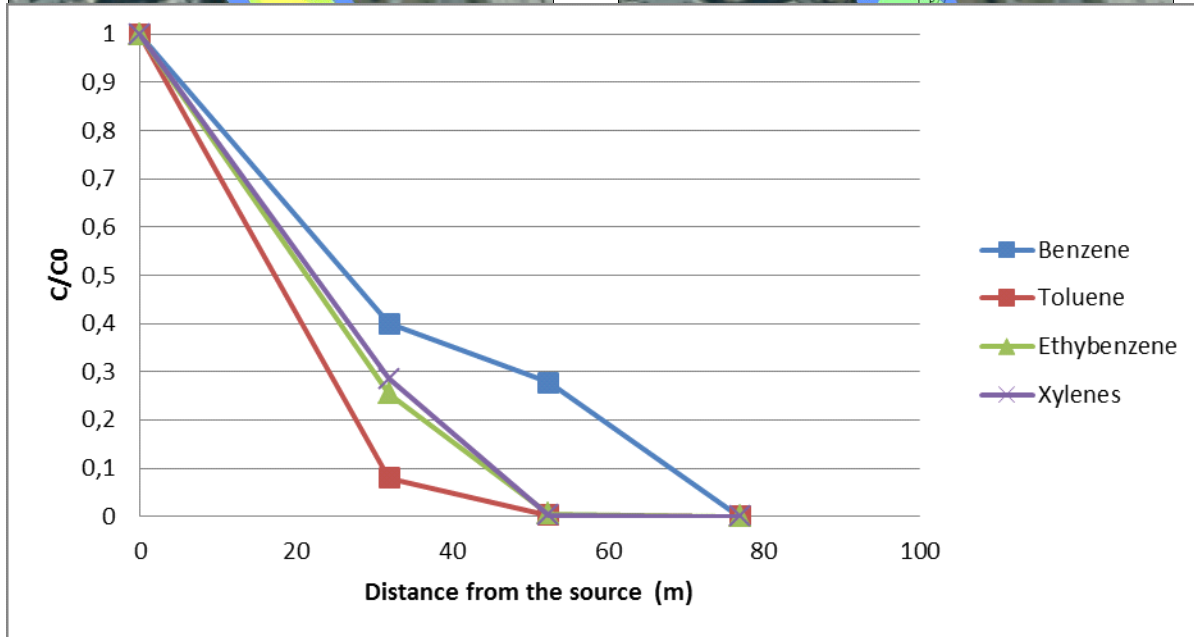
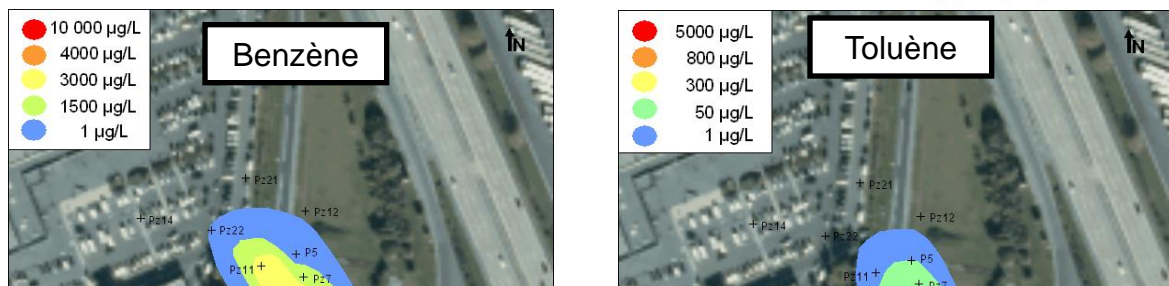
Quantification du panache

➤ Densification du réseau de surveillance:



➤ Composés organiques

➔ Panache : B >> TEX



➤ Réalisation de 6 sondages de sols :

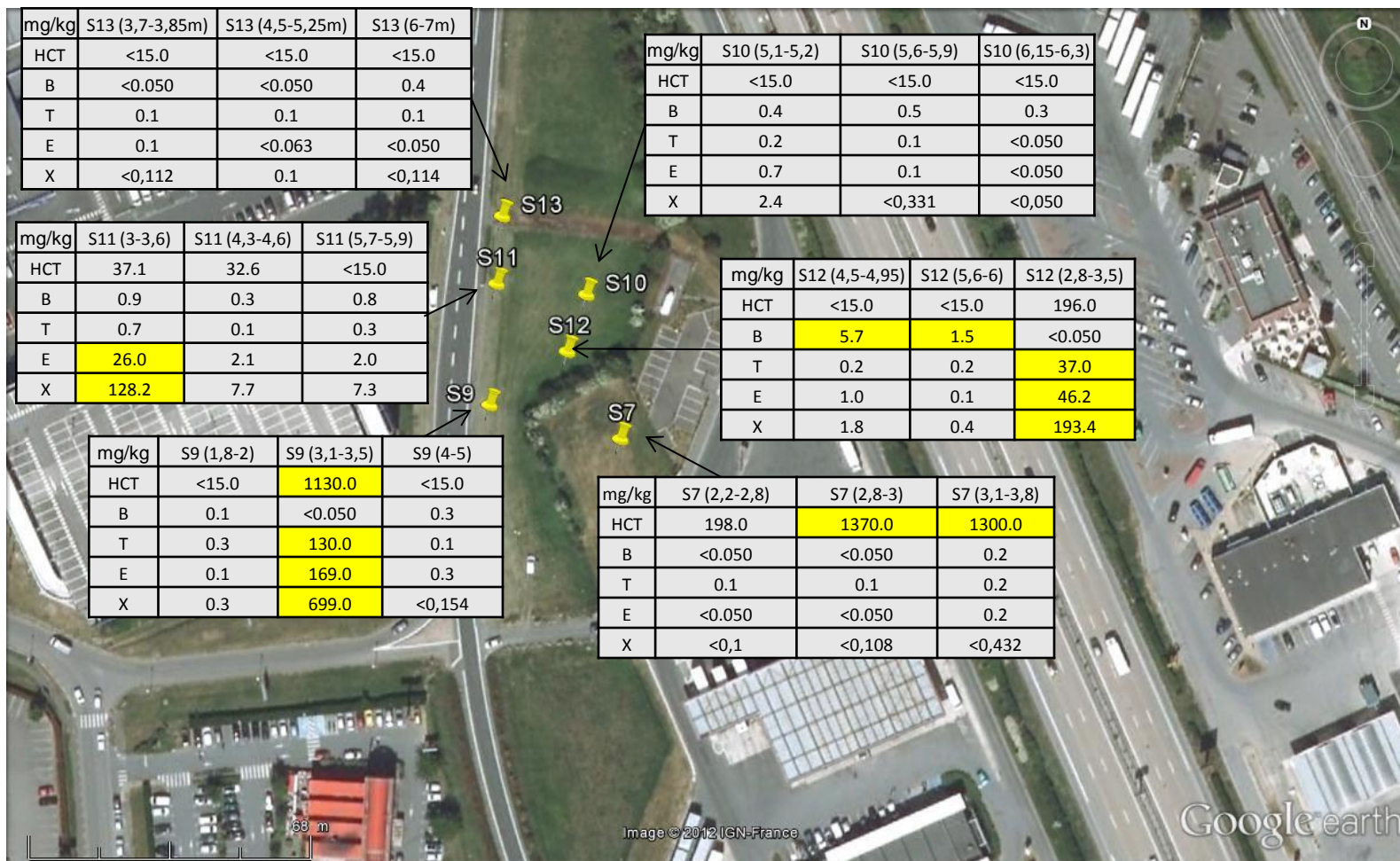
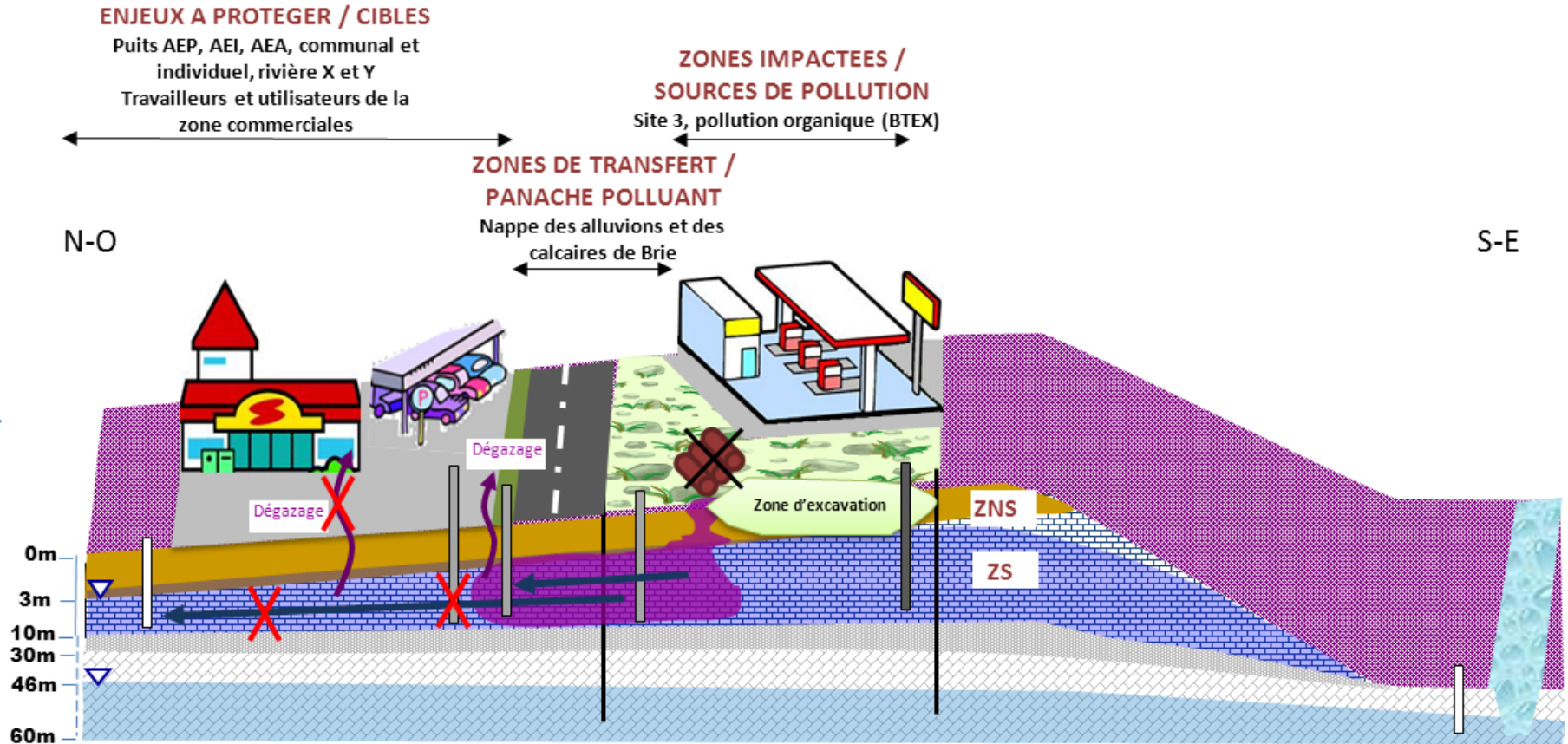


Schéma conceptuel actualisé



➤ Absence de critère limitant :

- Panache compatible avec les usages
- Source maîtrisée

Quantification de la biodégradation



- Analyse des accepteurs d'électrons
 - ➔ Identification des phénomènes de biodégradation sur le site

- Quantification de la biodégradation
 - ➔ Mettre en évidence la diminution de la masse de contaminants
 - ➔ 4 méthodes



➤ 1 ère méthode : Régression linéaire

Comparer l'abattement des concentrations en BTEX et en triméthylbenzene (TMB)

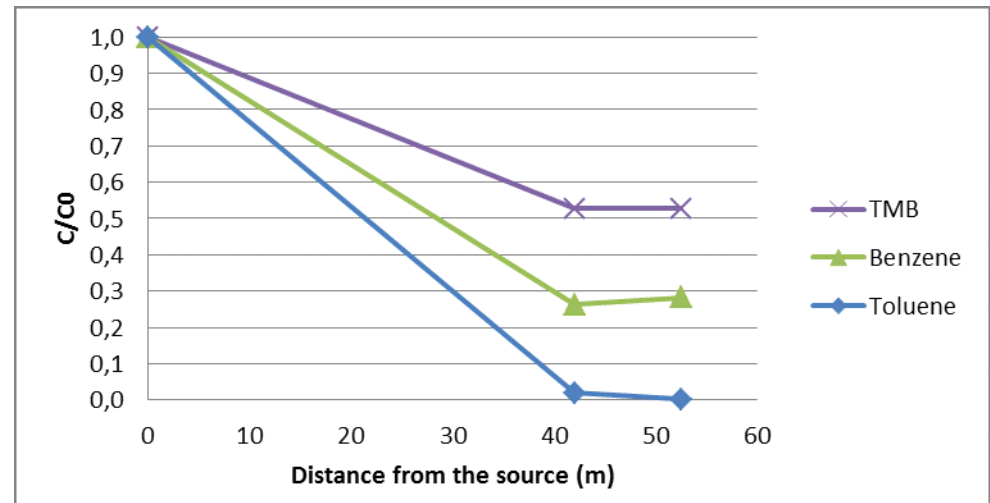
TMB = traceur conservatif des BTEX

- Constante de Henry équivalente
- Coefficient de partition carbone organique/eau équivalent
- Ne se dégrade pas en condition sulfato-réductrice (Chen et al., 2009)

➔ Taux de Biodégradation:

Toluène = 53 %

Benzène = 34 %



➔ Condition d'utilisation de la méthode : Identifier un traceur conservatif de la pollution

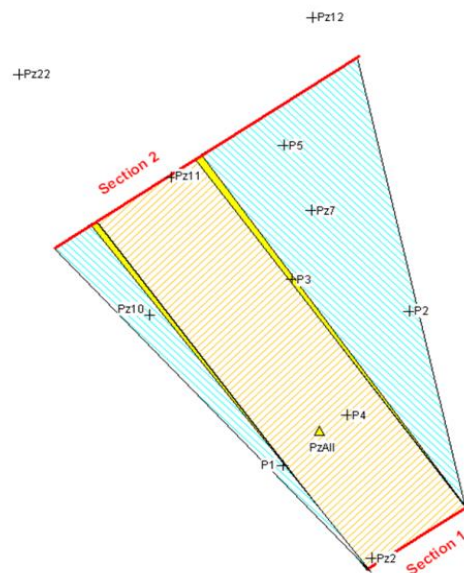
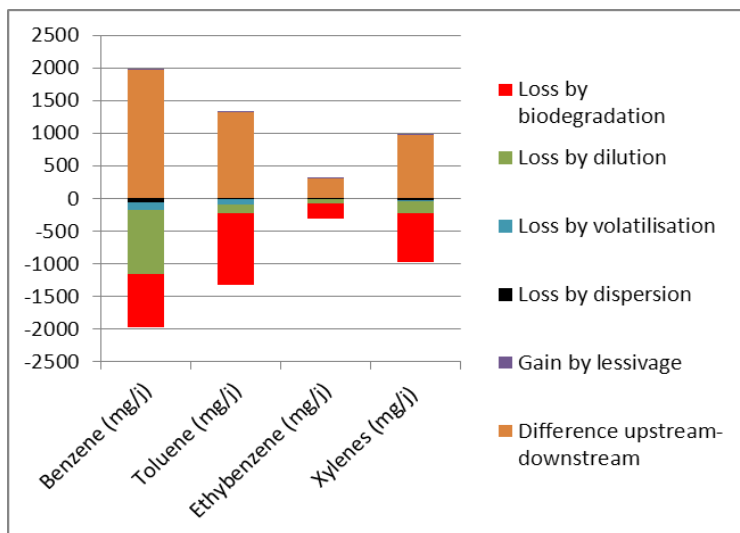
Quantification de la biodégradation



➤ 2ème méthode : Bilan de masse

Bilan de masse entre 2 sections perpendiculaires à l'écoulement

$$\text{flowupstream} - \text{flowdownstream} = \text{flowdilution} + \text{flowdispersion} + \text{flowvolatilised} + \text{biodegradation rate} - \text{flowleached}$$



➔ **Taux de biodégradation** : Toluène = 83 %

Benzène = 42 %



➔ **Condition d'utilisation de la méthode** :

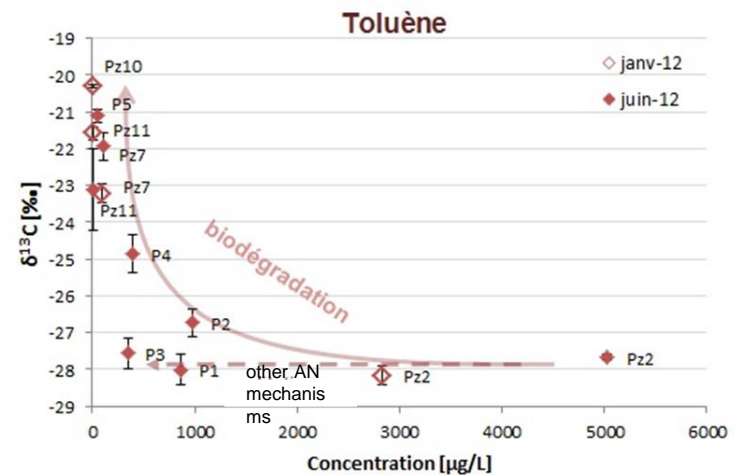
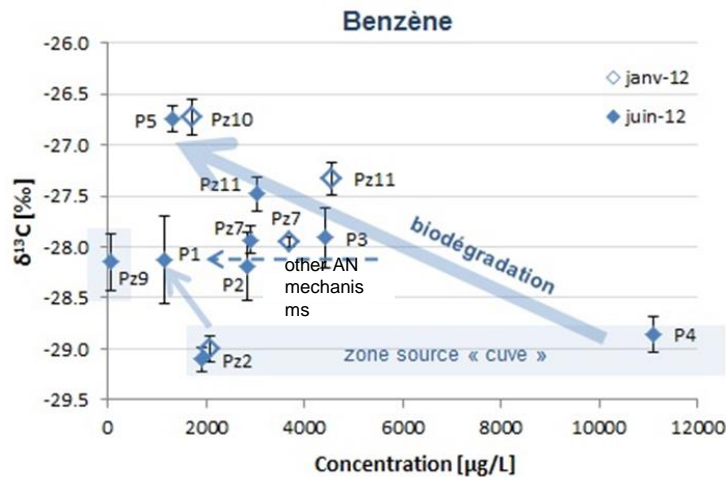
Acquisition et interprétation des données hydrogéologiques et géochimiques

Quantification de la biodégradation



➤ 3ème méthode : Analyses isotopiques

Abattement des concentrations en BTEX = Enrichissement isotopique en carbone 13



Identification des mécanismes de dégradation (ATTENA – Blessing et al. 2012)

➔ Sulfato-réduction

Facteurs d'enrichissement isotopique spécifiques = bibliographie

➔ **Taux de biodégradation** : Toluène = 91 % Benzène = 33 %

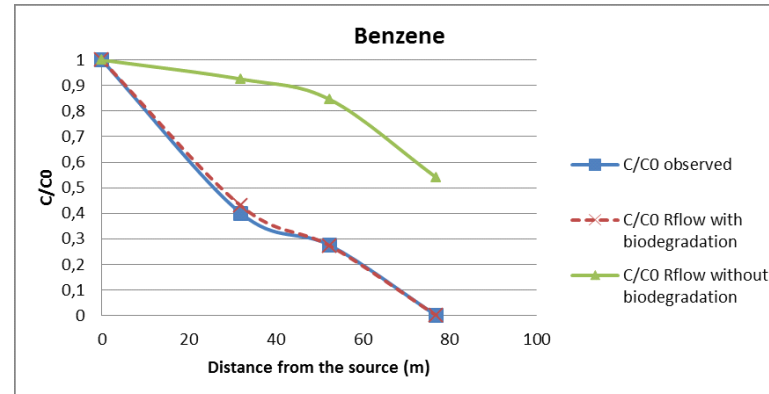
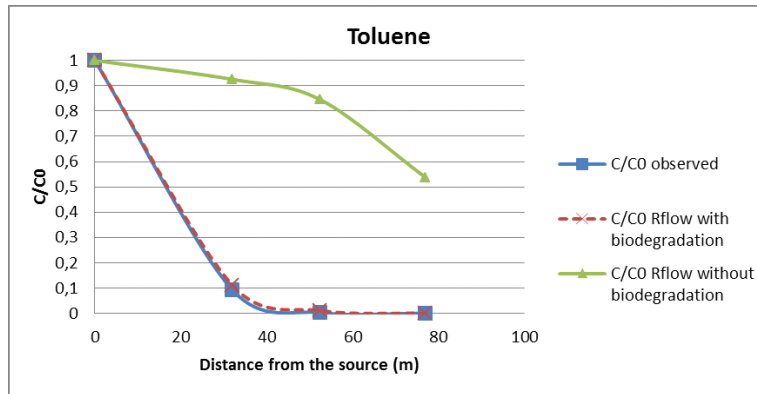
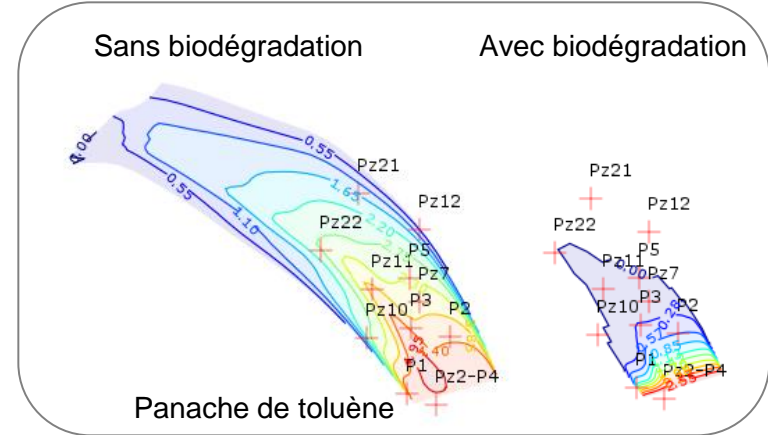
➔ **Condition d'utilisation de la méthode** : Disposer de piézomètres pour réaliser des transects au niveau du panache

➤ 4ème méthode: Modèles numériques

Rflow 2D : code de transport réactif

Réactions séquentielles entre accepteurs

d'électrons et BTEX (O₂, NO₃ et SO₄)



➔ **Taux de biodégradation** : Toluène = 83 % Benzène = 66%

➔ **Condition d'utilisation de la méthode** : Approche la plus détaillée nécessitant l'utilisation de codes de calcul adéquat

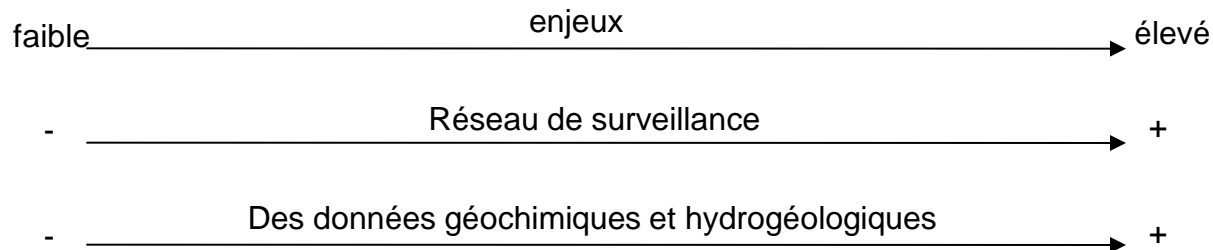
Quantification de la biodégradation



- Taux de biodégradation entre la zone source et la limite du panache

Méthode	Benzène	Toluène
Régression linéaire	34	53
Bilan de masse	42 ± 9 %	83 ± 8 %
Analyses isotopique	33 ± 10 %	91 ± 6 %
Modèle numérique	66	83

- Le choix de la méthode dépend de :



- ➔ Protocole de gestion par AN = Démarche progressive dépendante des enjeux

➤ Diminution du flux observé en Pz2

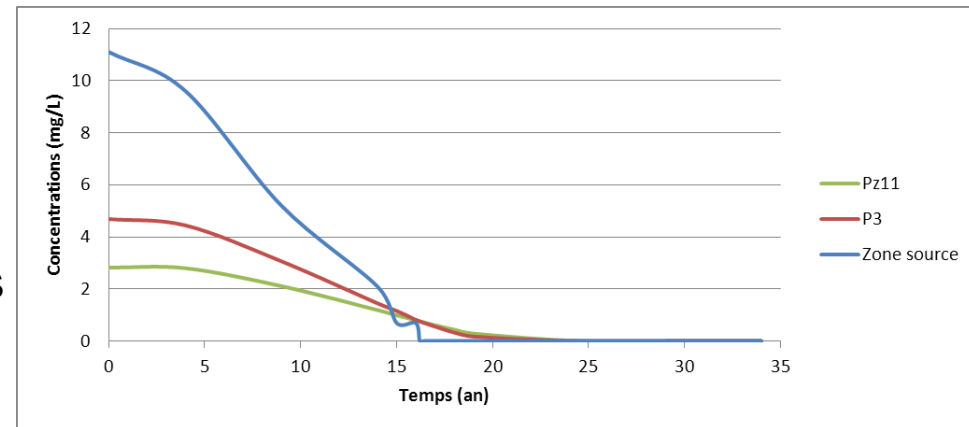
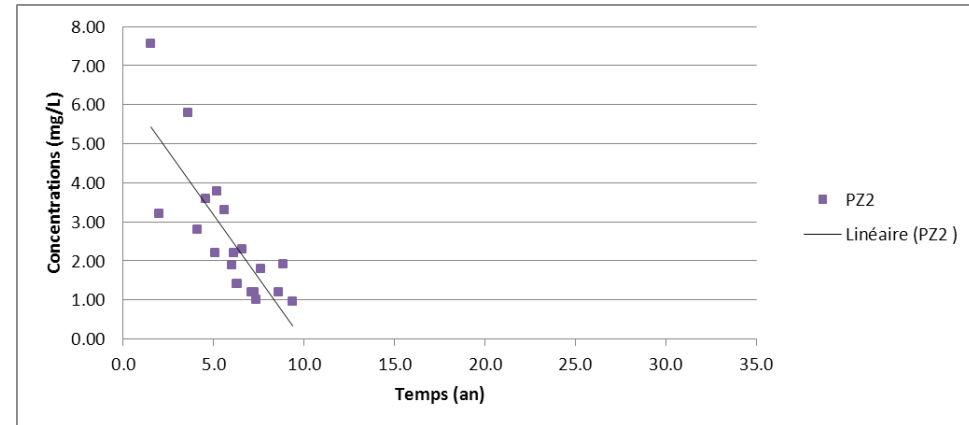
- Environ 0.74 mg/L/an

➤ Utilisation du logiciel Rflow 2D

- Concentrations à la source imposées
- Réaction de biodégradation

➤ Temps de disparition du benzène

- Au niveau de la zone source : 16 ans
- P3 (30 m à l'aval) : 24,5 ans
- Pz11 (50 m à l'aval) : 29 ans



Conclusion



- Biodégradation effective sur le site
- Temps de disparition de la pollution raisonnable
- ➔ Gestion par AN possible sur ce site
- Etablissement d'un plan de surveillance
- Comparaison aux autres options de gestion dans le cadre d'un bilan coût-avantages



➤ Consortium ATTENA

- ADEME
- ARCELORMITTAL REAL ESTATE France
- TOTAL
- RHODIA
- INERIS
- APESA
- BURGEAP

➤ Comité Scientifique

- P. HÖEHNER
- G. SCHÄFER
- P. WERNER

➤ Groupe d'Utilisateurs

- MEDDE/DGPR/BSSS : *D. GILBERT*
- DREAL : *J. HEINZ, E. PEIXOTO*
- BRGM : *A. SAADA, C. BLANC, S. COLOMBANO, L. ROUVREAU, E. VERARDO, C. ZORNIG*
- ADEME : *Y. DUCLOS, N. DUESO*
- TOTAL : *S. DEHEZ, Y. BRET, A. REUBREZ*
- ARCELORMITTAL REAL ESTATE FRANCE : *P. CHARBONNIER*
- Rhodia Services : *T. DELLOYE*
- UIC : *D. CAZAUX (Solvay)*
- INERIS : *F. QUIOT, C. ROLLIN*
- APESA : *J-L. CRABOS, J-F. LASCOURREGES*
- CETIM : *C. CORNET*
- EPF Yvelines : *T. LACAZE*
- BURGEAP : *S. KASKASSIAN, J-M. CÔME*
- UPDS : *F. KARG (HPC Envirotec), J. MAIER (ICF), S. MICHEL, T. GISBERT (ARCADIS), A. DUMESTRE (SERPOL)*
- UCIE : *T. BLONDEL*